

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

obor 23-07-08

Strojírenská technologie
zaměření
tváření kovů a plastických hmot
Katedra tváření a plastů

VLIV ZPRACOVÁNÍ NA DISTRIBUCI DÉLEK VLÁKEN U KOMPOZITNÍCH
MATERIÁLŮ PLNĚNÝCH SKLENĚNÝMI VLÁKNY

Martin Kos

KPT - 404

Vedoucí práce: Ing. Anna Šolcová KPT

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	61
Počet příloh	36
Počet tabulek	7
Počet obrázků	11

Datum: 2. 6. 1989

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMELECKÉHO DÍLA, UMELECKÉHO VÝKONU)

pro **Martina K o s a**
obor **2307 - 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: **Vliv zpracování na distribuci délek vláken**
..... **u kompozitních materiálů plněných skleněnými**
..... **vláknami**

Zásady pro vypracování:

1. Teoreticky analyzujte vliv zpracování na zpracování délek vláken
2. Navrhněte metodiku hodnocení distribuce délek vláken
3. Provéďte měření na vstříkovaných tělesech různé tloušťky a z různých materiálů a porovnejte s granulátem
4. Výsledky měření vyhodnoťte a proveďte diskusi

V 148/89-S

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

Komponice
- vlákna a tělesa

TP/KPT

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího DP

Rozsah průvodní zprávy: 35 - 45 stran

Seznam odborné literatury:

1. AGARWAL, B.P. - BROUTHMAN, L.I.: Vláknové kompozity, SNTL, Praha, 1987
2. ULRYCH, F. - VOKROUHLECKÝ - SOVA, M.: Rozdělení délek v polyamidu vyztuženém skleněnými vlákny a jeho vliv na mechanické vlastnosti, Plasty a kaučuk, 9, 1987, s. 262
3. KOLOUCH, J.: Strojní součásti z plastů, SNTL, Praha, 1986
4. Články v odborných časopisech

Vedoucí diplomové práce: Ing. Anna Šalcová

Datum zadání diplomové práce: 26. 9. 1988

Termín odevzdání diplomové práce: 2. 6. 1989



Prof. Ing. Jaroslav Tměj, CSc.

Vedoucí katedry

Prof. Ing. Vladimír Prašil, DrCs.

Děkan

V Liberci dne 26. 9. 1988

" Místopřisežně prohlašuji, že jsem diplomou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury."

V Liberci 2. 6. 1989

Martin K.

O B S A H

	Strana
1. ÚVOD	6
2. TEORETICKÁ ČÁST	8
2.1. Kompozitní materiály	8
2.1.1. Definice kompozitních materiálů . .	8
2.1.2. Charakteristiky	8
2.1.3. Klasifikace	9
2.1.4. Vláknové kompozity	11
2.1.4.1. Krátkovláknové kompozity . . .	12
2.1.4.2. Makrostruktura krátkovláknových kompozitů	12
2.1.4.3. Vlastnosti krátkovláknových termoplastů	13
2.1.5. Vliv krátkých vláken na mechanic- ké vlastnosti kompozitů	14
2.1.5.1. Pevnost vláknových kompozitů .	14
2.1.5.2. Přenos napětí v kompozitech a výpočet kritické délky vlákna .	18
2.2. Technologie vstřikování	19
2.2.1. Princip vstřikování	19
2.2.2. Základní parametry vstřikování . .	20
2.3. Zkracování délek vláken při zpracování .	22
2.3.1. Vliv kompaundace na délku vláken .	22
2.3.2. Vliv plastikace na délky vláken . .	23
2.4. Polyamid 6	25
2.4.1. Plněný PA-6	25
2.4.2. Výroba plněného PA-6	25
2.4.3. Materiál SILAMID, SPOLAMID	26

	Strana
2.5. Metody stanovování distribuce vláken	29
2.5.1. Prosévací technika	29
2.5.2. Obrazový kvantitativní analyzátor množství	30
2.5.3. Bround - Broo-keův fotosedimetr	30
2.5.4. Optický mikroskop se ZEISSOVÝM ana- lyzátozem velikostí částic /ZPSA/	31
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	32
3.1. Vymezení cíle	32
3.2. Optická metoda	32
3.2.1. Zkušební tělesa	33
3.2.2. Odběr vzorků	34
3.2.3. Preparace vláken	35
3.2.4. Snímkování vláken	36
3.3. Konstrukce distribuční křivky	39
3.4. Vyjádření distribuční křivky spojitou křivkou	40
3.5. Srovnání vzorků podle obsahů ploch v histogramech	42
3.5.1. Stanovení kritické délky vlákna	42
3.5.2. Stanovení obsahů ploch	49
3.6. Hodnocení procentuálního obsahu délek vláken	50
3.6.1. Srovnání procentuálního obsahu délek skleněných vláken při různém vstřikovacím tlaku	53
3.6.2. Srovnání procentuálního obsahu délek skleněných vláken při různé teplotě taveniny	54
3.6.3. Srovnání s granulátem	55
4. ZÁVĚR	56

LITERATURA

PŘÍLOHY

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

σ_f	zatěžovací napětí vlákna
σ_m	zatěžovací napětí matrice
σ_c	zatěžovací napětí kompozitu
ϵ	poměrná deformace
E_f	modul pružnosti vlákna
E_m	modul pružnosti matrice
E_c	modul pružnosti kompozitu
d	průměr vlákna
dz	elementární délka vlákna
τ_y	smykové napětí na mezi kluzu
L	délka vlákna
L_c	kritická délka vlákna
σ_{pf}	mez pevnosti vlákna
$(\sigma_f)_{max}$	maximální napětí vlákna
x_i	četnost vláken
f_i	poměrná četnost vláken
F_i	kumulativní četnost vláken
$F(L)$	integrální distribuční funkce Tungova rozdělení
a, b	parametry distribuce
S	plocha
G	granulát

1. Ú V O D

Orientace našeho průmyslu na pokrokové konstrukční materiály, mezi které plasty rozhodně patří, je udávána snahou snižovat spotřebu materiálu, především kovů, jakož i energie a lidské práce ve výrobních procesech. Důležité postavení zaujímají plasty zejména ve strojírenství, kde představují samostatnou skupinu konstrukčních materiálů.

V praxi jsou na součásti z těchto materiálů kladeny nejrůznější požadavky. Od výrobků se požadují určitá pevnost při statickém nebo dynamickém namáhání, tuhost a rozměrová i tvarová stabilita při různých teplotách. Vyvíjejí se proto nové druhy termoplastů, především materiálů s přísadou plniv. Tyto materiály se nazývají kompozity.

Plniva mohou být jak vyztužující, tak nevyztužující. Mezi nejvíce používaná vyztužující plniva patří skleněná vlákna, v menší míře vlákna uhlíková, kovová, azbestová.

Velmi progresivně se jeví organická, vysokomodulová a vysoce pevná vlákna, mezi něž patří i vlákna kevlarová. V současné době jsou však nejrozšířenější vlákna skleněná, která se u nás vyrábí z dostupných domácích surovin.

Typickým představitelem vyztužených termoplastů je u nás polyamid PA-6. Tento termoplast je vyztužen krátkými skleněnými vlákny, jejich délka není větší než 1 mm. Se zvyšující se délkou vláken je sice vyztužující účinek vyšší, ale současně se zhoršuje zpracovatelnost hmoty. Důležité však je, že při plastikaci a vstřikování plastů dochází vlivem mechanických dějů ke zkracování vláken. Tento jev nepříznivě ovlivňuje konečný efekt, vyplývající z použití vláken o větší délce.

V této diplomové práci je popsán vliv některých technologických podmínek (teplota a tlak při vstřikování, tloušťka výstřiku) na zkracování délek skleněných vláken u polyamidových kompozitů.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

2.1.1. Definice kompozitních materiálů

Termoplasty plněné skleněnými vlákny řadíme do skupiny tzv. kompozitů. Slovo "kompozitní" znamená "vytvořený či skládající se ze dvou nebo více odlišných částí". Materiál mající dvě nebo více odlišných materiálových složek neboli fází je podle toho tedy složeným materiálem. Avšak jen tehdy, když mají vytvářející fáze značně rozdílné fyzikální vlastnosti, a tudíž i vlastnosti složeného materiálu jsou zřetelně odlišné od vlastností jeho složek, označujeme takový materiál jako kompozit. /1/

2.1.2. Charakteristiky

Kompozity tvoří jedna nebo více nespojitých fází ponořených ve spojitě fázi. Diskontinuitní fáze je obvykle tvrdší a pevnější než spojitá fáze a nazývá se vyztužovací materiál. Spojitá fáze se nazývá matrice (pojivo).

Vlastnosti kompozitů jsou silně ovlivňovány vlastnostmi svých materiálových složek, jejich rozdělením a vazbami mezi nimi. Při popisu kompozitu jako materiálového systému je nutné specifikovat, kromě složek a jejich vlastností, také geometrii vyztužení vzhledem k systému, která může být popsána tvarem, velikostí a distribucí velikostí.

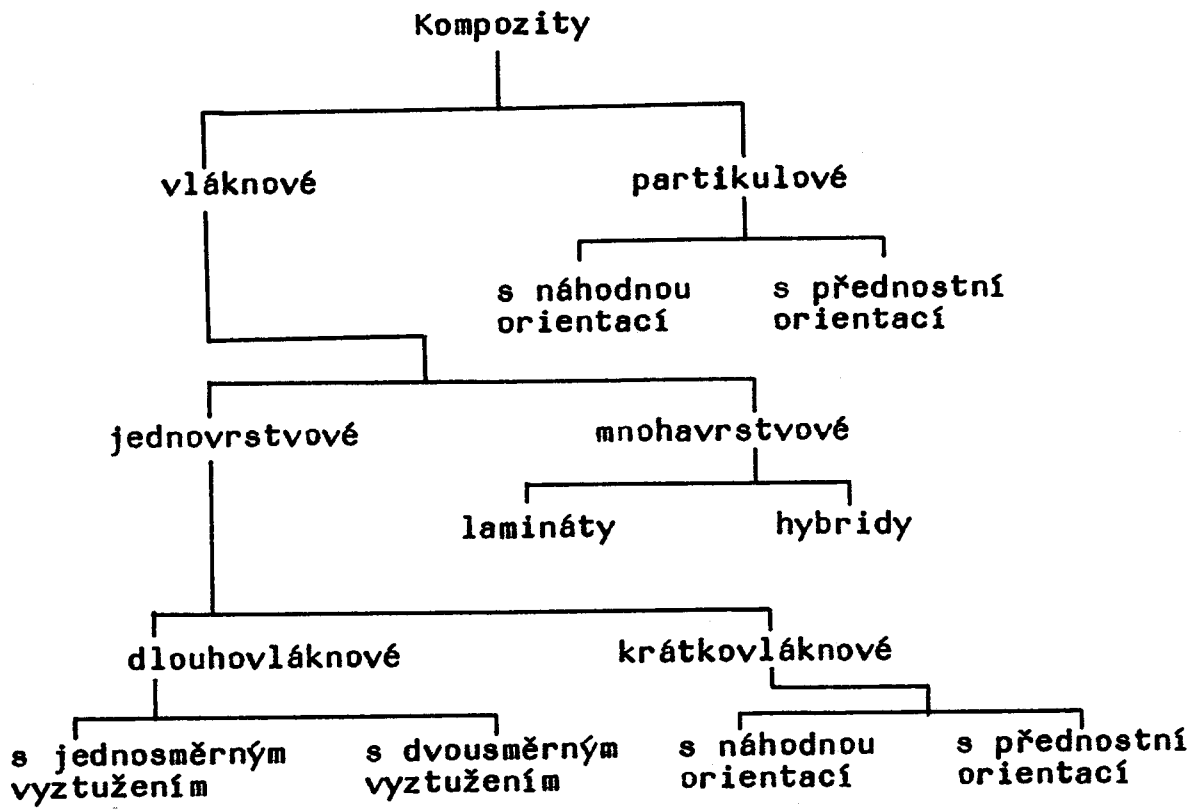
Systemy s vyztužením se však mohou lišit při shodné geometrii např. v koncentraci, orientaci, koncentrační distribuci. Všechny tyto faktory mohou značně ovlivnit vlastnosti kompozitů.

2.1.3. Klasifikace

Každá klasifikace vždy vychází z toho, jak se kompozit definuje. Například třídění založené na porozitě zahrnuje mezi kompozity i porézní materiály, které obsahují anorganické částice, polymerní pojivo, ale i plynnou i případně kapalnou fázi. /2/

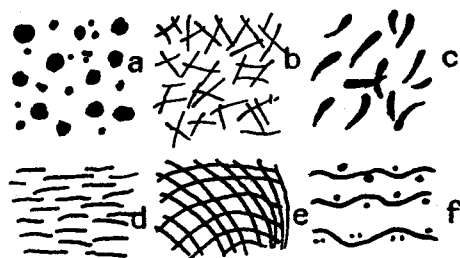
Podle vztahu mezi funkcí plniva a mechanickými vlastnostmi plastu se plniva dělí na vyztužující a nevyztužující. Nevyztužující plniva se většinou přidávají pro snížení ceny hmoty, například ve formě prášku. /3/

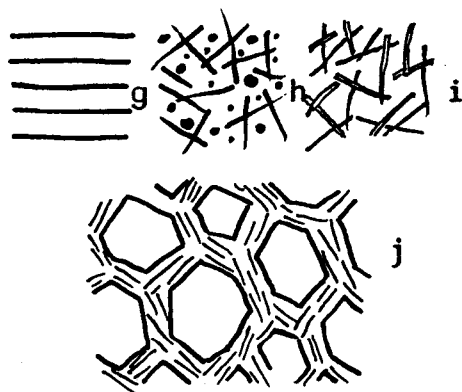
Většina však dosud vyvinutých kompozitních materiálů je vyrobena pro zlepšení mechanických vlastností, jako je pevnost, tažnost, teplotní odolnost. Tyto vlastnosti silně závisí na druhu vyztužujícího plniva a geometrii vyztužení. V obecně přijaté klasifikaci (viz. obr. č. 1) je rozlišovacím znakem částic to, zda jsou vláknité, potom se jedná o vláknový kompozit, nebo jiného tvaru (kulového, krychlového, destičkového a jiného pravidelného či nepravidelného tvaru), pak se jedná o partikulový kompozit.



Obr. č. 1. Klasifikace kompozitních materiálů

Základní možnosti makrostruktury kompozitů jsou znázor-
něny na obr. č. 2.





Obr. č. 2. Schematické znázornění různých možností vyztužení polymerního pojiva

a - částicové (partikulární plnivo); b - náhodně rozmístěná krátká (sekaná) vlákna; c - vločky nebo destičky; d - orientovaná krátká vlákna; e - křížící se vrstvy dlouhých (kontinuálních) vláken; f - tkaniny; g - jednosměrně orientovaná dlouhá vlákna; h - hybridní vyztužení částicemi i krátkými vlákny; i - hybridní kompozit s krátkými vlákny dvou typů; j - uspořádání krátkých vláken v buněčných stěnách vyztužené tvrdé lehčené hmoty. /3/

2.1.4. Vláknové kompozity

Vláknové kompozity se stávají nejdůležitější třídou kompozitních materiálů, protože jsou schopny dosahovat vysokých pevností. Vlákenné kompozity lze zhruba třídit na jednovrstvové a na mnohovrstvové. Vyztužovací vlákna v jednovrstvovém kompozitu mohou být krátká nebo dlouhá vzhledem k jejich průřezovým rozměrům. Kompozity s dlouhými vlákny se nazývají "dlouhovláknové" (vyztužené spojitými vlákny) a kompozity s krátkými vlákny "krátkovláknové" (vyztužené diskontinuitními vlákny).

2.1.4.1. Krátkovláknové kompozity

Krátkovláknový kompozit je takový, ve kterém délka vláknů ovlivňuje jeho vlastnosti. Z důvodů malých průřezových rozměrů se vlákna nemohou používat v technických aplikacích přímo. Vkládají se proto do matricových materiálů, aby vytvořily vláknové kompozity. Matrice spojuje vlákna dohromady, slouží k přenosu namáhání do vláken a chrání je proti narušení okolím a poškození okolím a poškození při zpracování. V kompozitech s krátkými vyztužovacími vlákny je přenosová funkce matrice závažnější než v kompozitech se spojitými vlákny.

2.1.4.2. Makrostruktura krátkovláknových termoplastů

Při vstřikování termoplastů obsahujících krátká vlákná vlákna dochází k orientaci jak makrostruktury, tak mikrostruktury. To znamená, že dochází k orientaci molekul, krystalů a vyztužujícího materiálu.

Důvodem orientace makrostruktury je smykové napětí doprovázející tok roztaveného plastu a pokles tlaku ve směru dráhy toku.

Orientaci krátkých vláken v kompozitním materiálu nelze snadno řídit. Ve většině případů se předpokládá, že vlákna jsou v kompozitu orientována nahodile. Při vstřikovacím tvarování kompozitu ztuženého vlákny se však může objevit výrazná orientace ve směru tečení. V jiných oblastech téhož výrobku může být však orientace zcela rozdílná.

Orientace vláken vytváří značnou anizotropii vlastností a smrštění. Smrštění ve směru orientace vláken, tj. ve směru toku, je vždy menší než smrštění kolmo ke směru

toku, zhruba o 20 až 60 % podle obsahu plniva. Ve směru orientace vláken roste pevnost a modul pružnosti a klesá tažnost. Ve směru kolmém jsou změny opačné. /4/

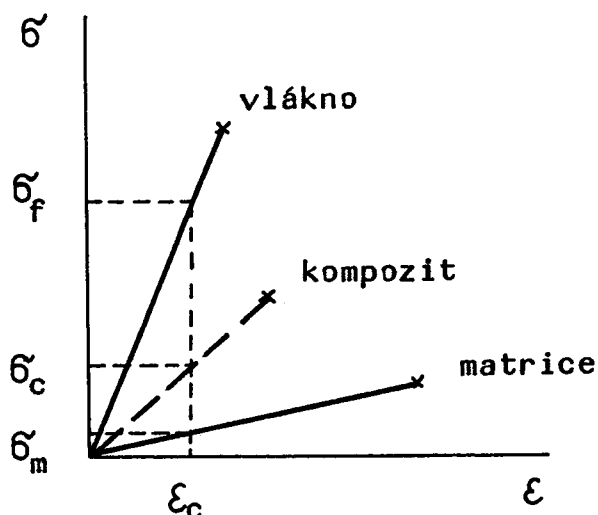
Tyto orientované vláknové kompozity mají dva výrazné rysy. Jsou to řízená anizotropie a vysoký poměr pevnosti k hmotnosti. Řízení anizotropie znamená možnost řídit vlastnosti v různých směrech. Například v jednosměrném kompozitu lze měnit poměr podélné a příčné pevnosti změnou objemového podílu vláken.

2.1.4.3. Vlastnosti krátkovláknových termoplastů

Polymery plněné krátkými skleněnými vlákny se vyznačují řadou vlastností odlišných od základní matrice.

Skleněná vlákna zvyšují tuhost (modul pružnosti) a pevnost při všech druzích namáhání, zmenšují kříp a teplotní roztažnost, značně zvyšují tvarovou stálost za tepla. U navlhklých plastů snižují sorpci vody. Tímto zvyšují rozměrovou přesnost a tvarovou stabilitu. Na druhé straně však značně snižují tažnost a rázovou i vrubovou houževnatost, schopnost tlumení nárazů vibrací. Způsobují také orientaci vláken při vstřikování a tím i anizotropii vlastností zhoršují znatelně dielektrické vlastnosti. Skleněná vlákna chemicky vázaná s polymerem zvyšují kromě toho podstatně pevnost v tahu. Skleněná vlákna patří mezi dražší plniva, zvýšení ceny se projeví zejména u levných polymerů. /4/

Na obr. č. 3 je znázorněna křivka pracovního diagramu kompozitu, která leží vždy mezi křivkami vláken a matrice. Skutečná poloha této křivky však závisí na objemovém podílu složek. Je-li objemový podíl vláken veliký, leží křivka v pracovním diagramu blíže ke křivce vláken, v opačném případě leží blíže křivce matrice. /1/



Obr. č. 3. Pracovní diagram při tahovém namáhání pro kompozity s lineárním chováním matrice

Podíl celkového zatížení přenášeného vlákny roste s rostoucím poměrem modulů vláken a matrice a s jejich rostoucím podílem. Ten musí být co největší, mají-li vlákna přenášet většinu zatížení kompozitu. Ačkoliv maximální objemové procento vláken válcovitého tvaru může být v kompozitu téměř 91 %, zhoršují se obvykle výsledné vlastnosti po překročení 80 % obsahu vláken. Matrice pak již nemůže dokonale "prosakovat" svazky vláken a zcela je obklopit. To má za následek špatnou adhezi vláken s matricí a vznik dutin kompozitu.

2.1.5. Vliv krátkých vláken na mechanické vlastnosti kompozitů

2.1.5.1. Pevnost vláknových kompozitů

Má-li být využito pevnosti vláken musí být jejich délka alespoň taková, aby umožnila přenos veškerého na-

pětí z matrice na částici. Této délce se říká kritická délka L_c .

Jsou-li vlákna kratší než kritická délka, je maximální napětí vláken menší než průměrná pevnost vláken a vlákno se neporuší, bez ohledu na velikost zatěžovacího napětí. V tom případě se lom kompozitu objeví, poruší-li se matrice nebo rozhraní.

Je-li délka vlákna větší než kritická délka, mohou být vlákna napjatá na svou průměrnou pevnost. V takovém případě lze předpokládat, že lom vlákna vznikne, je-li maximální napětí vlákna rovno mezní pevnosti vlákna.

Existuje několik faktorů ovlivňujících pevnost kompozitů. Jsou to: 1) dezorientace vláken v kompozitu,

2) vlákna jsou různých délek,

3) vlákna vykazují různé pevnosti,

4) kvalita mezifázového rozhraní

5) zbytková pnutí. /1/

Při řešení pevnosti kompozitu je třeba zavést určité zjednodušující předpoklady: vlákna mají vhodné mechanické vlastnosti, stejný průřez, rovnoměrné rozmístění v matrici, dokonalou mezifázovou vazbu mezi matricí a vláknem, což zajišťuje splnění podmínky

$$\epsilon_c = \epsilon_m = \epsilon_f ; \text{ kde } \epsilon \text{ je poměrná deformace.} /5/$$

Označení indexů: c - kompozit, f - vlákno, m - matrice.

Při výpočtu se použije směšovací pravidlo s korekcí na konce vláken, které je dáno vztahy

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot S_f + \sigma_m \cdot S_m \quad (1)$$

$$E_c = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \quad (2)$$

kde V označují objemový obsah dané složky v kompozitu. S označují celkové plochy na průřezu pro matici (S_m) a vlákna (S_f), σ_f je napětí působící na vlákna a σ_m je napětí působící na matici, E je modul pružnosti v tahu. Vztah (1) lze přiblížit na diagramu závislosti napětí na deformaci vláken a matrice (obr. č. 3 - viz. str. 14)

Průměrné napětí ve vlákně se určí jako:

$$\bar{\sigma}_f = \frac{1}{L} \int_0^L \sigma_f \cdot dz \quad (3)$$

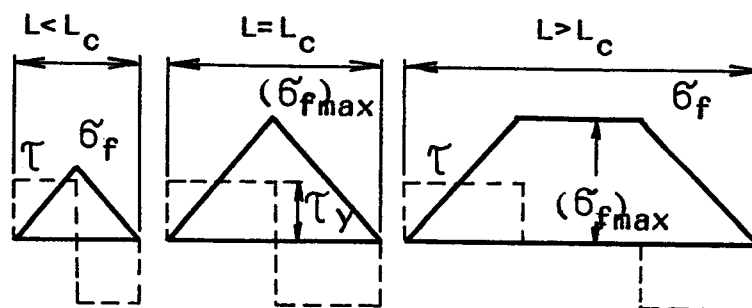
kde L je délka vlákna.

Z obr. č. 4 pro přibližnou napjatost je průměrné napětí dáno vztahy

$$\bar{\sigma}_f = \frac{1}{2} (\sigma_f)_{\max} = \frac{\tau_y \cdot L}{d} \quad \text{pro } L < L_c \quad (4)$$

$$\bar{\sigma}_f = (\sigma_f)_{\max} \left(1 - \frac{L_c}{2L}\right) \quad \text{pro } L > L_c \quad (5)$$

kde L_c je kritická délka, d je průměr vlákna a τ_y je mezipovrchové smykové napětí.



Obr. č. 4 Průběhy napětí vlákna a smykového napětí na rozhraní pro různé délky vlákna.

Po dosazení do rovnice pro pevnost vrstvy ve směru vláken

$$\sigma_{pc} = \sigma_{pf} \cdot V_f + \sigma'_m \cdot (1 - V_f) \quad (6)$$

kde σ'_m je napětí v matrici při přetržení vláken, σ_p značí mez pevnosti (c - kompozitu, f - vlákna), dostanou se výrazy:

$$\sigma_{pc} = \sigma_{pf} \cdot \left[1 - \left(\frac{L_c}{2L} \right) \right] \cdot V_f + \sigma'_m \cdot (1 - V_f) \quad \text{pro } L > L_c \quad (7)$$

$$\sigma_{pc} = \left(\frac{L \cdot \tau_y}{d} \right) \cdot V_f + \sigma'_m \cdot (1 - V_f) \quad \text{pro } L < L_c \quad (8)$$

Podle vztahu (7) by se měla pevnost vrstvy s krátkými vlákny rovnat pevnosti vrstvy se spojenými vlákny. Tak tomu však není z důvodu zanedbání koncentrace napětí v blízkosti konců vláken a v oblastech nepravidelného rozložení vláken v prostoru, např. při křížení vláken. Proto se rovnice (7) blíží skutečnému stavu jen při nízkých koncentracích vláken.

Ze vztahu (6) je zřejmé, že pevnost vláken přímo ovlivňuje pevnost kompozitu.

2.1.5.2. Přenos napětí v kompozitech a výpočet kritické délky vlákna.

Důležitou otázkou u kompozitů s krátkými vlákny je přenos napětí. Ten se děje prostřednictvím konců vláken a válcovým povrchem v okolí konce vlákna za pomoci smykových sil na mezifázovém rozhraní.

Přenos sil mezi maticí a vláknem je poměrně komplikovaný a vede ke koncentraci napětí na koncích vláken. Pokud zanedbáme sílu působící na základnu vlákna, pak se přenos sil děje především válcovým povrchem vlákna a vzniklé smykové napětí je největší na koncích vláken.

Přenos zatížení probíhá pouze na určitém úseku od konce vlákna. Ve větší vzdálenosti od konce vlákna je napětí konstantní. Pokud se předpokládá lineární růst napětí na vlákně (σ_f) od konce vlákna, pak jeho průběh má tvar lichoběžníka s maximální hodnotou dle vztahu

$$(\sigma_f)_{\max} = \frac{E_f}{E_c} \cdot \sigma_c \quad (9)$$

K využití pevnosti vláken v kompozitu dojde, pokud napětí σ_f (výška lichoběžníka) dosáhne hodnot $(\sigma_f)_{\max}$, která odpovídá hodnotě pevnosti σ_{pf} (obr. č. 4. viz. str. 17). K dosažení napětí $(\sigma_f)_{\max}$ je však nutná určitá minimální délka vlákna, tj. kritická délka L_c , která významně ovlivňuje vlastnosti kompozitu (viz. kap. 2.1.5.1.).

Kritická délka vlákna L_c , nezávislá na zatěžovacím napětí, může být definována jako minimální délka vlákna, na které se dosáhne meze pevnosti vlákna σ_{pf} .

Pak platí:

$$\frac{L_c}{d} = \frac{\sigma_{pf}}{2 \cdot \tau_y} \quad (10)$$

Podíl L_c/d se nazývá kritický tvarový poměr. Experimentálně je dokázáno, že dosahuje hodnot 500, zatím co pro optimální tuhost naprosto stačí 100. Kritická délka vlákna jedůležitá vlastnost systému a ovlivňuje mezní vlastnosti kompozitu.

Je-li délka vlákna mnohem větší než přenosová délka, blíží se chování kompozitu chování kompozitu vyztuženého spojitými vlákny. /1/

2.2. TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je způsob tváření plastických hmot, zejména termoplastů, při kterém se zpracovaný materiál v roztaveném stavu vstříkne do tvarové dutiny vstřikovací formy (jejíž teplota je mnohem nižší než teplota tání zpracovávaného termoplastu), kde se pod tlakem ochladí a nechá ztuhnout. /3/

Krátkovláknové kompozity jsou určeny ke zpracování právě touto technologií.

2.2.1. Princip vstřikování

Plast ve tvaru granulí se nasype do zásobníku vstřikovacího stroje. Odtud přichází do tavicí komory, kde působením tepla taje a v roztaveném stavu je vstřikován pohybem šneku nebo pístu do dutiny vstřikovací formy. Forma je kovová a bývá chlazená vodou na teplotu asi 30 - 80°C.

Hmota zcela zaplní dutinu formy a ochlazením přejde do tuhého stavu. Potom se forma v dělicí rovině otevře a výrobek je z formy vyhozen vyhazovacími kolíky. Na to se forma opět zavře a celý cyklus se opakuje.

2.2.2. Základní parametry vstřikování

Mezi faktory, které ovlivňují konečnou kvalitu výstřiku patří tyto základní parametry:

- 1) Teplota taveniny: t.j. teplota naměřená ve vstřikovací trysce v průběhu plnění formy, tedy skutečná teplota vstřikovací taveniny. Měří se buď přímo v trysce nebo před tryskou. Plasty lze vstřikovat v širokém rozsahu teplot, ve kterém se mění viskozita taveniny (polyamid 6 v rozsahu 225 - 270°C). Čím je viskozita taveniny menší, tím menší jsou dynamické odpory a tím lépe tavenina zatéká do formy. Příliš nízká teplota zhoršuje zatékavost a vede k předčasnému ztuhnutí taveniny ve vtokovém ústí, kdežto příliš vysoká teplota může zase způsobit degradaci materiálu a prodlužuje chlazení.
- 2) Vstřikovací tlak a dotlak: obě tyto hodnoty definují tlak na čele pístu nebo šneku, který souvisí s hydraulickým tlakem v hydraulickém pohonu pístu nebo šneku. Z hlediska kvality výstřiku je rozhodující především tlak taveniny ve formě, který je mnohem nižší než tlak vstřikovací, a to o tlakové vstřikovací ztráty v komoře nebo válci, o ztráty k nimž dochází v trysce, a ztráty ve vtokové soustavě. Vstřikovací tlaky u běžných termoplastů se pohybují v rozmezí 30 až 160 N/mm². Průběh plnění dutiny formy je nejdůležitějším úsekem celého vstřikovacího cyklu, protože rozhoduje do značné míry o vlastnostech hotového výrobku. Teplota formy je vždy podstatně nižší než je teplota tuhnutí daného

výrobku. Teplota formy je vždy podstatně nižší než je teplota tuhnutí daného plastu, takže tavenina, při 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.

- 3) Rychlost vstřikování: s velikostí vstřikovacího tlaku souvisí rychlost vstřikování, která určuje dobu, za kterou se naplní forma. Rychlost vstřikování obvykle definujeme jako objem taveniny prošlý tryskou za jednotku času. U šnekových strojů bývá max. 200 až 300 cm³/s (počítáno při vstřiku do volného prostoru). Skutečná rychlost plnění formy je menší.
- 4) Teplota formy: závisí na těchto činitelích
 - a) na typu vstřikované plastické hmoty,
 - b) na výrobku,
 - c) na vlastní formě,
 - d) na vstřikovacím stroji a technologických podmínkách.
- 5) Vstřikovací cyklus: určuje trvání jednotlivých fází vstřikování, důležitých z hlediska kvality výstřiku. Pracovní cyklus má čtyři fáze a jsou to:
 - a) doba plnění - tavenina je vstřikována do formy až po dosažení maximálního tlaku,
 - b) doba dotlačování - navazuje na dobu plnění a končí zamrznutím vtoku,
 - c) doba ochlazování bez tlaku - je doba, po kterou výstřik setrvává v uzavřené formě, a když už není do formy dávána tavenina,
 - d) doba manipulace - je doba, po kterou trvá otevření formy, vyjmutí výstřiku a opětné zavření formy. /2/