

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

nositelka řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23 - 07 - 08

strojírenská technologie

zaměření

tváření kovů a plastů

HODNOCENÍ VNITŘNÍHO STAVU VÝSTŘIKŮ Z AMORFNÍCH PLASTŮ

POMOCÍ KOROZE ZA NAPĚTÍ

Luděk Pištěk

165

Vedoucí práce:	ing. J. Krebs JSc
Rozsah práce a příloh:	107
Počet stran:	59
Počet příloh:	49
a tabulek:	32
Počet obrázků a foto:	12

Vysoká škola: strojní a textilní Fakulta: strojní
Katedra: tváření a plastů Školní rok: 1984/85

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMELECKÉHO DÍLA, UMELECKÉHO VÝKONU)

pro Luďka Pištěka
obor 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: Hodnocení vnitřního stavu výstřiků z amorfních plastů pomocí koroze za napětí

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte příčiny vzniku vnitřních pnutí ve výrobcích z plastů zhotovených vstřikováním.
2. Pojedejte o experimentálních metodách vhodných pro hodnocení vnitřního stavu výstřiků, zejména z amorfních plastů.
3. Zvláštní pozornost věnujte hodnocení pomocí koroze za napětí.
4. Na modelových tělesech zhotovených při různých technologických podmínkách ověřte metodu koroze za napětí.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhněte závěry pro praxi.

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

V 319/85 S

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 35 až 50 stran včetně obrázků a grafů

Seznam odborné literatury:

1. HELL, J.: Plasty a kaučuk XI., 1974, s. 195
2. Sborníky přednášek z konferencí ČSVTS, Dům techniky, Praha 1976 a 1979.
3. NĚMEC, J.-SØRENSEU, S.V.: Pevnost plastických hmot, SNTL, Praha 1970
4. TMĚJ, J. a kol.: Hodnocení vnitřního stavu výstřiků z termo-
plastů, Výzkumná zpráva, VŠST, Liberec 1982

Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Krebs, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 28. 9. 1984

Termín odevzdání diplomové práce: 24. 5. 1985




Doc. Ing. Jaroslav Tměj, CSc.
Vedoucí katedry


Doc. RNDr. Bohuslav Stříž, CSc.
Děkan

v Liberci dne 27. 9. 1984

Místopřísežné prohlášení:

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

V Liberci, dne 24. 5. 1985

Podpis: Luděk Pištěk

Luděk Pištěk

OBSAH:

1. Úvod
2. Teoretická část
 - 2.1 Vnitřní pnutí ve výrobcích zhotovených vstříkáním
 - 2.1.1 Úvod
 - 2.1.2 Rozbor problému
 - 2.1.3 Problematika vnitřního pnutí
 - 2.2 Přehled metod hodnocení vnitřního stavu těles
 - 2.2.1 Kvalitativní způsoby stanovení vnitřního pnutí
 - 2.2.2 Kvantitativní způsoby stanovení vnitřního pnutí
 - 2.2.3 Principy experimentálních metod užívaných pro hodnocení vnitřního stavu výstřiků z amorfních plastů
 - 2.3 Chování plastů v podmínkách koroze za napětí
 - 2.3.1 Úvod
 - 2.3.2 Rozbor problému
 - 2.3.3 Typy tenzoaktivních prostředí na různé druhy materiálů
3. Experimentální část
 - 3.1 Výběr zkušebního materiálu
 - 3.2 Podmínky výroby modelových těles
 - 3.2.1 Odstranění povrchové vrstvy
 - 3.2.2 Rozřezání kotoučů na modelová tělesa
 - 3.2.3 Příprava modelových těles
 - 3.3 Metodika měření
 - 3.3.1 Zkouška tahem
 - 3.3.2 Korozní zkouška
 - 3.3.3 Charakter napěťových trhlin u modelových těles
 - 3.4 Hodnocení výsledků
 - 3.4.1 Úvod
 - 3.4.2 Testy extrémních odchylek
 - 3.4.3 Přímková regresní analýza
 - 3.4.4 Faktorové pokusy 2^n
 - 3.5 Závěr

Seznam použitých zkratek

T_g	.....	teplota zesklennění u amorfních plastů
T_m	.....	teplota tání u krystalických plastů
//	.....	modelové těleso ve směru toku taveniny
\perp	.....	modelové těleso kolmé na směr toku taveniny
t	.....	tloušťka
b	.....	šířka
T	.....	vstřikovací teplota
p_v	.....	vstřikovací tlak
p_d	.....	dotlak
TP	.....	technologická podmínka
σ_r	.....	mez pevnosti v tahu
P	.....	faktor odolnosti proti korozi za napětí
τ	.....	čas u modelových těles

** jaks; - do Loune*

Seznam tabulek v příloze

		Str.
Tab. 4	Zkouška tahem zákl. neexponovaného materiálu pro vzorky \perp , tloušťka 4 mm, s povrchovou vrstvou	60 - 62
Tab. 5	Zkouška tahem zákl. neexponovaného materiálu pro vzorky \perp , tloušťka 4 mm, bez povrchové vrstvy	60 - 62
Tab. 6	Zkouška tahem zákl. neexponovaného materiálu pro vzorky \perp , tloušťka 2 mm, s povrchovou vrstvou	63 - 65
Tab. 7	Zkouška tahem zákl. neexponovaného materiálu pro vzorky \perp , tloušťka 2 mm, bez povrchové vrstvy	63 - 65
Tab. 8	Zkouška tahem zákl. neexponovaného materiálu pro vzorky //, tloušťka 4 mm, s povrchovou vrstvou	66 - 68
Tab. 9	Zkouška tahem zákl. neexponovaného materiálu pro vzorky //, tloušťka 4 mm, bez povrchové vrstvy	66 - 68
Tab. 10	Zkouška tahem zákl. neexponovaného materiálu pro vzorky //, tloušťka 2 mm, s povrchovou vrstvou	69 - 71
Tab. 11	Zkouška tahem zákl. neexponovaného materiálu pro vzorky //, tloušťka 2 mm, bez povrchové vrstvy	69 - 71
Tab. 12	Zkouška koroze za napětí pro vzorky \perp , tloušťka 4 mm, s povrchovou vrstvou	72 - 74
Tab. 13	Zkouška koroze za napětí pro vzorky \perp , tloušťka 4 mm, bez povrchové vrstvy	75 - 77

Tab. 14	Zkouška koroze za napětí pro vzorky \perp , tloušťka 2 mm, s povrchovou vrstvou	78 - 80
Tab. 15	Zkouška koroze za napětí pro vzorky \perp , tloušťka 2 mm, bez povrchové vrstvy	81 - 83
Tab. 16	Zkouška koroze za napětí pro vzorky //, tloušťka 4 mm, s povrchovou vrstvou	84 - 86
Tab. 17	Zkouška koroze za napětí pro vzorky //, tloušťka 4 mm, bez povrchové vrstvy	87 - 89
Tab. 18	Zkouška koroze za napětí pro vzorky //, tloušťka 2 mm, s povrchovou vrstvou	90 - 92
Tab. 19	Zkouška koroze za napětí pro vzorky //, tloušťka 2 mm, bez povrchové vrstvy	93 - 95
Tab. 20	Koeficienty přímkové regresní analýzy pro korozní zkoušku, vzorky \perp ke směru toku	96
Tab. 21	Koeficienty přímkové regresní analýzy pro korozní zkoušku, vzorky // se směrem toku	97
Tab. 23	Faktorový pokus 2^4 pro zkoušku koroze za napětí, modelová tělesa //, s povrchovou vrstvou	98
Tab. 24	Faktorový pokus 2^4 pro zkoušku koroze za napětí, modelová tělesa //, bez povrchové vrstvy	99
Tab. 25	Faktorový pokus 2^4 pro zkoušku koroze za napětí, modelová tělesa \perp , s povrchovou vrstvou	100

Tab. 26	Faktorový pokus 2^4 pro zkoušku koroze za napětí, modelová tělesa \perp , bez povrchové vrstvy	101
Tab. 27	Uspořádání faktorových pokusů, součty hodnot měření	102
Tab. 28	Hodnoty Z_A^2 , S_A , F_A faktorového pokusu, modelová tělesa //, s povrch. vrstvou	103
Tab. 29	Hodnoty Z_A^2 , S_A , F_A faktorového pokusu, modelová tělesa //, bez povrchové vrstvy	104
Tab. 30	Hodnoty Z_A^2 , S_A , F_A faktorového pokusu, modelová tělesa \perp , s povrch. vrstvou	105
Tab. 31	Hodnoty Z_A^2 , S_A , F_A faktorového pokusu, modelová tělesa \perp , bez povrchové vrstvy	106
Tab. 32	Hodnoty rozdílu faktorů P pro sloupcový diagram	107

1. Úvod

Orientace našeho průmyslu, zejména strojírenství, 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. Toto našim podnikům ukládají závěry XV. sjezdu KSČ i další usnesení pléna ÚV KSČ. Posuzováno z těchto hledisek jsou plasty jedním z významných prvků socialistické racionalizace. Důležité postavení zaujímají zejména ve strojírenství, kde představují samostatnou skupinu konstrukčních materiálů. /10/

Prudký růst výroby a spotřeby plastů je podmíněn jejich vlastnostmi, z nichž můžeme jmenovat nízkou měrnou hmotnost, výbornou chemickou odolnost, vynikající elektroizolační a tepelně izolační vlastnosti. Dále se někdy mohou ocenit i optické vlastnosti a nízký koeficient tření.

Širší používání plastů ve strojírenství je pochopitelně možné až nyní, kdy se na trhu objevují nové druhy se zvýšenou pevností /např. vyztužené plasty/, tepelnou odolností a s některými speciálními vlastnostmi. Vznikají nové jevy - sdružování jednoduchých dílů ve složitější vícefunkční součásti a četné koncepčně zcela nové konstrukce, založené na speciálních vlastnostech plastů. Aplikace plastů přinášejí úspory výrobních nákladů, úsporu kovů a zvýšení užitné hodnoty výrobku. Například použitím samomazných ložisek z plastů místo původních bronzových, mazaných tlakovým olejem se ušetří bronz, odpadne olejový systém, zvýší se provozní spolehlivost celého strojního zařízení a sníží se nároky na jeho údržbu. Dále jako příklad můžeme uvést pístní kroužky PTFE. Nepotřebují

přívod oleje a konstrukce pístních kompresorů se tímto zjednodušuje. Příkladů by bylo možno uvést řadu, ale je zřejmé, že ekonomický přínos použití plastů je značný.

Kromě úspěšných aplikací plastů ve strojírenství existují i aplikace nevydařené, kde výrobky z plastů mají proti výrobkům z klasických materiálů funkční závady, kratší životnost, neestetický vzhled. Toto někdy vede ke zjednodušenému názoru, že se plasty ve strojírenství mohou uplatnit pouze na okrajové a mechanicky nenamáhané díly, rukojeti, tlačítka, kryty apod. Skutečná příčina však bývá také v tom, že návrh výrobku z plastu byl proveden na základě nedostatečných znalostí o chování plastů v daných podmínkách. Plasty mají menší rozměrovou a tvarovou stálost, jejich vlastnosti jsou značně závislé na teplotě a čase, jsou náchylné ke korozi za napětí, vyskytuje se vnitřní pnutí apod. /9/

Problematice vnitřního pnutí a koroze za napětí je věnována i tato práce. Cílem práce je analyzovat příčiny vzniku vnitřního pnutí ve výrobcích z plastů zhotovených vstřikováním, hodnocení vnitřního pnutí metodou koroze za napětí a vliv povrchové vrstvy na náchylnost ke korozi za napětí. Moje pozornost se soustředila na chování standardního polystyrénu typu Krasten 127, výrobce k. p. Kaučuk Kralupy nad Vltavou.

2. Teoretická část

2.1 Vnitřní pnutí ve výrobcích zhotovených vstřikováním

2.1.1 Úvod

Vstřikování je důležitý technologický proces, jehož výsledkem jsou finální výrobky, vyznačující se řadou předností. Za předpokladu, že jsou splněny požadavky na optimální konstrukci jejich tvaru a technologické podmínky během zpracovatelského procesu rovněž odpovídají optimu, setkáváme se u nich téměř s ideální kombinací vlastností. Přirozenou snahou techniků je neustále zdokonalovat dosažený stav a všechny příznivé parametry posouvat na vyšší úroveň. V oblasti vstřikování termoplastů je možno v současné době pozorovat několik trendů. Je to např. zlepšování funkčních a užitných vlastností při současném snižování hmotnosti výrobků a tedy při úspoře surovin, dále zvyšování spolehlivosti a životnosti výrobků zkvalitněním jejich vnitřního stavu a konečně je to řízení procesu vstřikování tak, aby spotřeba práce i energie byla minimální.

2.1.2 Rozbor problému

Vstřikování termoplastů představuje nestacionární děj, při němž byl polymer tvořený jednotlivými makromolekulami vystaven neizotermickému tváření. V procesu plnění dutiny formy se tavenina chová jako nenewtonská kapalina, která je vystavena značnému mechanickému a tepelnému namáhání. Tento tepelně mechanický režim /nazývaný také tepelně mechanická historie/, kterým hmota během zpracovatelského cyklu prochází, zanechává svůj odraz ve struktuře finálního výrobku, přičemž pojem

"struktura" je nutno chápat v co nejširším smyslu, tedy nejen strukturu na úrovni molekul, ale i strukturu nadmolekulární. Proto by bylo spíše vhodnější hovořit o "vnitřním stavu" daného výrobku. /2/

Složitost vstřikovacího procesu se projevuje jednak v nehomogenitě fyzikálně mechanických vlastností u jednotlivého výrobku, jednak v kolísání výsledných makrovlastností mezi jednotlivými výrobky v dané sérii. K tomuto kolísání dochází vždy, přestože jsou technologické parametry udržovány na zdánlivě stále stejné úrovni. Nehomogenita vlastností je způsobována jak nestejnými vlastnostmi napříč stěnou výrobku, tak nestejnými vlastnostmi v ploše výrobku. Důsledkem tohoto druhého jevu je vznik anizotropie vlastností a změna vlastností např. v závislosti na vzdálenosti od vtoku. Takováto nehomogenita je velice nepříjemná, protože místa s nižší pevností se snadno mohou stát zdrojem trhlin.

Studium vnitřního stavu plastových dílů však není jednoduchá záležitost. Probíhá zde řada jevů, při čemž hranice mezi jednotlivými jevy je často velmi neurčitá. Stačí uvést takové pojmy, jako je konformace makromolekul, anizotropie vlastností, vnitřní pnutí a další. Z toho pak také vyplývá, že i zkušební metody, které jsou navrhovány pro studium určitého jevu ve větší či menší míře zachycují účinky jevů dalších. /1,2/

2.1.3 Problematika vnitřního pnutí

Pod pojmem vnitřního pnutí se rozumí souhrn sil a momentů působících uvnitř tělesa, při čemž jejich výslednice je v každém okamžiku rovna nule. V praxi to znamená, že k vyrovnaní sil a momentů dochází bez

působení vnějších sil. Rovnováha, která se takto ustaví, může být porušena změnou vnějších podmínek, např. zvýšením teploty, nebo působením vhodných chemikálií a vnitřní pnutí se pak projeví změnou tvaru tělesa, nebo vznikem trhlin.

Podle rozložení vnitřního pnutí v uvažovaném tělese se toto pnutí dělí do tří skupin:

1. Vnitřní pnutí I. druhu, která jsou homogenní, nebo téměř homogenní ve větších oblastech materiálu. Při zásahu do této vnitřní rovnováhy z vnějšku, např. odstraněním povrchové vrstvy na vhodném místě, dochází vždy k viditelným a měřitelným změnám rozměrů.
2. Vnitřní pnutí II. druhu jsou více méně homogenní jen v malých oblastech materiálu, např. u kovů v oblasti jednotlivých zrn. Při vnějším zásahu do vytvořené rovnováhy pozorovatelné změny mohou nastat, ale nemusí.
3. Vnitřní pnutí III. druhu se týká jen nejmenších oblastí materiálu vymezených např. jen několika atomovými vzdálenostmi.

Celkový napěťový stav v daném tělese vyvolaný vnitřním pnutím je dán součtem jednotlivých druhů, při čemž pnutí nižšího druhu zahrnuje vždy i pnutí vyšších druhů. U výrobků z plastů lze hodnotit pouze pnutí I. druhu.

Posuzuje-li se vnitřní pnutí v plastových výrobcích z molekulárního hlediska, lze za jeho příčiny považovat deformaci mezimolekulárních vazeb projevující se porušením rovnovážné vzdálenosti mezi molekulami při daných termodynamických podmínkách a nebo deformací valenčních úhlů. /4/

Za původ vnitřního pnutí se považuje tepelně mechanický režim, kterým hmota prošla než byla přetvořena v konečný výrobek.

Hodnotíme-li proces vstřikování termoplastů z tohoto hlediska, je možno jej rozdělit do tří etap, a to:

1. plastikace plastů v tavící komoře
2. plnění dutiny formy roztaveným plastem
3. tuhnutí plastu po zaplnění dutiny formy

Účel plastikace je takový, aby se hmota dostala do takového stavu, aby jí bylo možné dopravit do dutiny formy. Z hlediska vnitřního pnutí je důležitá teplota hmoty, a to proto, že celá dávka z plastikované hmoty nemá ve všech částech stejnou teplotu. Nelze tedy předpokládat, že dutina formy bude zaplněna hmotou o stejné teplotě.

Plnění dutiny formy má zásadní vliv na vnitřní stav výstřiku, přesto že trvá jen zlomek sekundy, nebo několik málo sekund. Hmota je vystavena účinkům smykových sil a dochází také k jejímu chladnutí. Mění se tím její termodynamické a fyzikální vlastnosti. Vlivem vnějšího tlaku se při toku taveniny dutinou chladné formy vytvoří rychlostní profil, který je provázen orientací molekul ve směru toku. Tento jev vzniká v důsledku smykových sil. Velikost smykových sil se mění napříč dutinou formy, proto jejich účinek je v různých místech různý. Výsledkem je různý stupeň konformačních změn zasažených makromolekul.

Další jev, který provází plnění dutiny formy je ochlazování hmoty, které se děje odvodem tepla do stěn formy. Teplota hmoty vstupující do formy leží asi 50 - 100 °C nad teplotou viskózního toku T_f , což má za následek chování roztavené hmoty jako viskózní kapaliny. Při vstříknutí do dutiny formy tenká vrstva hmoty ztuhne na stěnách formy. Předpokládejme, že teplota této vrstvy je rovna teplotě stěn formy a že tato teplota je menší, než teplota zeskelnění plastu. Z toho vyplývá, že se polymer nachází při plnění dutiny formy v různém termo-

dynamickém stavu. Ve stavu sklovitém na jedné straně a ve stavu viskózní kapaliny na straně druhé. Změna teploty je však spojitá, proto musí být přítomny vrstvy hmoty i s ostatními přechodovými vlastnostmi. Zvláště důležitá je oblast teplot nad teplotou zeskelnění. Zdá se, že právě tato oblast v rozhodující míře ovlivňuje takové vlastnosti jako je orientace molekul a vnitřní pnutí. Stav hmoty vytvořený za těchto podmínek však není stabilní, molekuly se snaží zaujmout takovou konformaci, která se vyznačuje minimální hodnotou volné entalpie. Z toho tedy vyplývá, že společně s dějem, který vede k vytváření nestabilní struktury probíhá děj opačný, který nestabilitu struktury ruší. Tento děj se nazývá relaxační /1,2,4/.

Třetí cyklus je charakteristický tím, že dochází k tuhnutí plastu v dutině formy. Hmota se již dutinou nepohybuje, až na malou oblast přiléhající k ústí vtoku. Převládající děj je vytváření teplotního gradientu napříč stěnou výrobku. V důsledku tohoto vznikají tepelná pnutí. Vlastní příčinou těchto pnutí jsou objemové změny, kterým hmota podléhá následkem změny teploty. Pnutí vzniká, protože povrchové vrstvy, které jsou ve styku se stěnou formy chladnou rychleji než vrstvy uprostřed. Chladnutím se zmenšuje objem povrchových vrstev. V důsledku toho vznikají v povrchových vrstvách napětí tahová a ve vnitřních tlaková. Po vyrovnání teplot se smysl napětí obrátí.

Tepelná pnutí a pnutí z orientace molekul jsou považována za rozhodující. Pnutí však mohou být do výrobku zanesena i jinými způsoby, například brzděným smršťováním, kdy výrobek má takový tvar, která znemožňuje volné smrštění hmoty, pnutí od vyhazovačů, přeplnění dutiny formy atd. U krystalických plastů se na vnitřním pnutí podílí i nerovnoměrný stupeň krystalinity v různých místech výrobku.

Obecně se soudí, že největší podíl na vnitřním pnutí má orientace, nebo obecněji změna konformace molekul. Vliv tepelných pnutí se považuje za poněkud malý.

Při vytvoření, nebo zániku orientované struktury dochází ke změně volné entalpie G podle vztahu:

$$dG = dH - T \cdot dS \quad /1/$$

Současně platí, že změna volné entalpie odpovídá práci vykonané vnější silou:

$$dG = F \cdot dl \quad /2/$$

kde dG - změna volné entalpie

dH - změna entalpie

T - teplota /K/

dS - změna entropie

F - vnější síla

dl - změna rozměru uvažovaného tělesa

spojením /1/ a /2/ obdržíme vztah pro sílu F

$$F = \left(- \frac{\partial H}{\partial L} \right)_T - T \cdot \left(\frac{\partial S}{\partial L} \right)_T \quad /3/$$

Pozn.: vztah /3/ platí pro $p = \text{konst.}$, $T = \text{konst.}$

Ze vztahu /3/ vyplývá, že deformační síla je určena dvěma složkami. První je změna entalpie, má povahu energetickou a druhá je změna entropie, ta souvisí s uspořádáním kinetických jednotek. Neuvažujeme-li extrémy /ideální krystal, ideální kaučuk/ pak u reálných polyměrů odpovídá změně v orientaci molekul určitá síla. Tuto sílu je vhodné stanovit, nebo změřit.

Vnitřní stav těles je produktem zcela konkrétních technologických podmínek. Obecně lze předpokládat, že děje, které podmiňují zvýšení smykových sil a zpomalují relaxační

děje mají za následek větší nestabilitu struktury a tedy i větší vnitřní pnutí. V praxi to znamená, že vnitřní pnutí z orientace se snižuje se zvyšující se teplotou roztavené hmoty, se zmenšující se rychlostí plnění formy, snižujícím se vstřikovacím tlakem a dále pak se zvyšující se teplotou formy. Také snížení do tlaku má za následek snížení vnitřního pnutí. Tepelná pnutí závisí hlavně na velikosti teplotního gradientu /2/.

Vnitřní pnutí je na výrobku rozloženo zcela nerovnoměrně. V tom spočívá jeho škodlivost. Průměrné hodnoty vnitřního pnutí však dosahují malých hodnot. V místě, kde je vnitřní pnutí maximální, se mohou vytvořit zárodky mikroskopických trhlin. Tyto trhliny za určitých podmínek mohou přerůst v trhliny ^{makroskopické} mikroskopické a může dojít k porušení celistvosti výrobku. V počátečním stadiu se nemusí jednat o trhliny, ale o zóny s nataženými molekulami. Tyto zóny vznikly částečným rozvinutím molekul původně sbalených do klubek. Tím vznikají zóny s řidším obsazením prostoru, které mohou obsahovat i částečně zpřetrhané, natažené, tj. orientované molekuly. Toto nepatrné poškození se neprojeví v makroměřítku, při měření meze pevnosti v tahu, nebo modulu pružnosti, ale projeví se například při cyklickém zatížení, dlouhodobém stabilním zatížení, nebo korozi za napětí.

2.2 Přehled metod hodnocení vnitřního stavu těles

Vnitřní pnutí má zásadní vliv na kvalitu výrobku. Proto se mu věnuje značná pozornost. K jeho hodnocení byla vypracována celá řada metod. Tyto metody můžeme v zásadě rozdělit na metody kvalitativní, které umožňují stanovit pouze relativní hodnoty pnutí a na metody kvantitativní, které dávají možnost stanovit absolutní hodnoty

vnitřního pnutí vyjádřené v MPa. Oba druhy těchto metod mohou být dále destruktivní a nedestruktivní /13/.

2.2.1 Kvalitativní způsoby stanovení vnitřního pnutí

a/ Hodnocení samovolného smrštění za vyšší teploty

Metoda je založena na stanovení velikosti smrštění těles vystavených teplotě vyšší, než je teplota zeskenování T_g /u amorfních plastů/, nebo nad teplotou tání T_m u krystalických.

b/ Metoda tepelných šoků

Těleso je zahříváno na teplotu blízkou teplotě deformace, tj. nad teplotou T_g , pokud jde o amorfní plasty, nebo na teplotu T_m , pokud jde o krystalické plasty. Po ohřátí plast prudce ochladíme ponořením do studené vody. Velikost vnitřního pnutí vyjadřujeme počtem cyklů ohřev - ochlazení, které těleso snese bez prorušení.

c/ Metoda měření rozdílů indexů lomu

Vzorek s vnitřním pnutím je pozorován v polarizovaném světle. Podle rozdílu v indexu usuzujeme na stav vnitřního pnutí.

d/ Penetrometrická metoda

Princip metody je v tom, že vtlačujeme jehlu s tupým hrotem do vzorku. Podle rychlosti vtlačování hodnotíme vnitřní pnutí na základě toho, že jehla do oblasti s vnitřním pnutím vniká rychleji, než do oblasti bez vnitřního pnutí.

e/ Metoda koroze za napětí

bude podrobně rozpracována v dalším textu.

2.2.2 Kvantitativní způsoby stanovení vnitřního pnutí

a/ Přímé měření síly vznikající v tělese během smršťování

K samovolné deformaci tělesa je nutná určitá síla, která je akumulovaná v tělese jako potenciální energie. Je možno jí měřit.

b/ Rentgenová metoda

Vnitřní pnutí v tělese způsobuje změnu mřížkové konstanty, kterou lze stanovit pomocí mikrorentgenu. Z této změny a modulu pružnosti plastu můžeme stanovit hodnotu vnitřního pnutí. Nevýhodou je náročnost na čas i zkušenost.

c/ Metoda polarizačně optická

Je to modelová metoda, která podává vizuální obraz o průběhu napětí v celém rozsahu zkoušeného modelu.

2.2.3 Principy experimentálních metod užívaných pro hodnocení vnitřního stavu výstřiků z amorfních plastů

V této podkapitole jsou některé metody a jejich principy užívané pro amorfní plasty podrobněji rozpracované. Informativní přehled metod byl uveden v podkapitolách 2.2.1 a 2.2.2.

a/ Metoda samovolného smrštění za vyšší teploty

Metoda je založena na stanovení velikosti smrštění těles vystavených teplotě vyšší, než je teplota zeskelnění T_g /u amorfních plastů/, nebo nad teplotou tání T_m u krystalických. Princip metody spočívá v tom, že se vyrobená modelová tělesa určitých rozměrů po určité době zahřívají na předepsané teplotě. Tělesa jsou vložena mezi dva tenké ocelové plechy s vrstvou oleje, které jsou zatíženy závažím. Tím se zabrání zkroucení těles. Po určité výdrži na teplotě se tělesa pozvolna ochladí, po úplném ochlazení

tělesa proměříme mikrometrem. Vypočteme smrštění dle vztahu:

$$s = \frac{x_0 - x}{x_0} \cdot 100 \quad /4/$$

kde x - rozměr zjištěný po zahřátí
 x_0 - rozměr původní

pozn.: rozměrem rozumíme šířku, délku, tloušťku tělesa
Mírou pnutí je smrštění. U některých materiálů se může pohybovat okolo 20-30 %.

b/ Metoda polarizačně optická

Tato metoda podává vizuální obraz o průběhu napětí v celém rozsahu zkoušeného modelu. Princip spočívá ve schopnosti určitých látek - sklo, PMMA - vykazovat dočasný dvojlom, který pak pozorujeme v polarizovaném světle. Na vyšetřování potřebujeme průhledný model, geometricky podobný skutečnému tělesu. Prosvětlením modelu pozorujeme dva druhy čar - isochromáty a isokliny. Isochromáty se jeví v monochromatickém světle jako tmavé čáry a ukazují nám místa s maximálním rozdílem hlavních napětí. Tento rozdíl je úměrný maximálnímu smykovému napětí. Metoda se dá vyhodnotit kvantitativně /početně/, ale i kvalitativně, kdy měřítkem vnitřního pnutí je počet isochromát určité barvy, např. červené.

c/ Metoda odbrušování povrchových vrstev

Princip této metody spočívá v tom, že se z tělesa postupně odbrušuje určitá tloušťka povrchové vrstvy. Po každém odbroušení proměříme těleso a z rozměrů určíme deformaci vzniklou vnitřním pnutím. Zjištěná deformace je mírou vnitřního pnutí. Jedním z hlavních způsobů odstranění povrchové vrstvy je soustružení, což bylo použito i při získávání výsledků této práce.