



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

PLASTICKÉ MATERIÁLY A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

PLASTIC MATERIALS AND THEIR TREATMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Aleš KOPEČNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL OSIČKA, Ph.D.

BRNO 2013

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Aleš Kopečný

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Plastické hmoty a jejich zpracování

v anglickém jazyce:

Plastic materials and their treatment

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracování rešerše plastických hmot používaných ve strojírenském průmyslu.

Cíle bakalářské práce:

Úvod.

Rozbor materiálů charakteru plastických hmot.

Rozbor využití plastických hmot ve strojírenském průmyslu. Technologické metody zpracování plastických hmot.

Technologie potřebné pro výrobu forem na plasty.

Diskuze.

Závěr.

Seznam odborné literatury:

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vydání Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 1. vydání Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vydání Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
4. ŠTĚPEK, Jiří. Zpracování plastických hmot. 1. vydání Praha: SNTL, 1966. 197 s.
5. KOLOUCH, Jan. Strojní součásti z plastů. 1. vydání Praha: SNTL, 1981. 258 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Karel Osička, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 23.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

V bakalářské práci jsou shrnuty základní empirické poznatky o možnostech zpracování plastických materiálů. Dále jsou uvedeny rozbor charakteru materiálů plastických hmot a rozbor využití těchto hmot ve strojírenském průmyslu. Tato práce se zabývá i technologickými metodami zpracování plastických hmot. Konkrétně je provedeno i shrnutí informací o technologiích potřebných pro výrobu forem na plasty.

Klíčová slova

šroub, nýt, lisování, forma, kaučuk, krystalizace

ABSTRACT

This research the basic empirical knowledge about the processing of plastic materials. The following are analyzes of the nature of plastic materials and analysis of the use of these materials in the engineering industry. This paper deals with the technological methods of processing plastics. Specifically, it is done as a summary of information about the technologies needed for the production of molds for plastics.

Key words

screw, rivet, molding, mould, natural rubber, crystallization,

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOPEČNÝ, A. *Plastické hmoty a jejich zpracování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Osička, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Plastické hmoty a jejich zpracování** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Aleš Kopečný

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu práce panu Ing. Karlu Osičkovi, Ph.D za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ	7
OBSAH.....	8
ÚVOD.....	11
1 Rozbor materiálů charakteru plastických hmot	12
1.1 Vliv struktury plastických hmot na jejich fyzikální vlastnosti	12
1.1.1 Vývoj teorie stavby makromolekulárních organických látek	12
1.2 Vliv tvaru makromolekul na vlastnosti plastů	13
1.2.1 Polymery lineární a rozvětvenou strukturou polymerů	13
1.2.2 Polymery se síťovou strukturou.....	13
1.2.3 Polymery s prostorovou strukturou.....	14
1.3 Mechanické chování polymerů pro strojní součásti	14
1.3.1 Ostatní vlastnosti plastických materiálů	15
1.3.2 Vlivy na vlastnosti plastů.....	15
1.3.3 Pevnostní výpočty součástí z plastů.....	16
2 Rozbor využití plastických hmot ve strojírenském průmyslu.....	18
2.1 Závitové spoje.....	18
2.1.1 Šrouby z plastů.....	18
2.1.2 Matice z plastů	20
2.1.3 Pojistné podložky.....	20
2.1.4 Pojištění kovových závitových spojů polymerními tmely.....	20
2.1.2 Spojování plastových součástí kovovými šrouby	20
2.2 Nýtové a hřebové spoje.....	21
2.2.1 Nýtové spoje	21
2.2.2 Samostatné nýty z termoplastů	21
2.2.3 Integrované nýty z termoplastů	22
2.2.4 Hřebové spoje	22
2.3 Pružné spoje pevné, spojení pružným zaskočením.....	22
2.3.1 Trubkové spoje	22
2.3.2 Háčkové spoje.....	23
2.3.3 Spojení nalisováním.....	23
2.4 Svařované spoje	23
2.4.1 Svary horkým plynem.....	23

2.4.2	Svary přitavováním (výtláčným svařováním).....	23
2.4.3	Svary topným tělesem.....	24
2.5	Lepené spoje	24
2.6	Tmelové výplně	24
2.7	Řetězy a řetězová kola. Lana lanové kotouče.....	25
2.7.1	Řetězy článkové.....	25
2.7.2	Řetězy válečkové	25
2.7.3	Řetězová kola.....	25
2.7.4	Lana	25
2.7.5	Lanové kotouče.....	25
2.8	Řemeny ploché	25
2.8.1	Řemeny klínové	26
2.8.2	Dopravní pásy	26
2.8.3	Řemenice a kladky.....	26
2.9	Ozubená kola	26
2.10	Kluzná ložiska.....	27
2.10.1	Materiály.....	27
2.11	Valivá ložiska	29
2.12	Tlumicí pružné spoje a spojky.....	30
2.12.1	Tlumicí pružné spoje	30
2.12.2	Spojky	30
2.13	Potrubí.....	31
2.13.1	Materiály – Nevztužené plasty	31
2.13.2	Materiály – Vztužené plasty	32
2.14	Materiály používané na těsnění	32
3	Technologické metody zpracování plastických hmot.....	34
3.1	Lisování	34
3.2	Vakuové tvarování.....	34
3.3	Válcování	34
3.4	Vytlačování.....	35
3.5	Vyfukování	35
3.6	Vstřikování.....	36
3.7	Žárové stříkání (šopování) a vířivé nanášení	37
3.8	Zvláknování plastických hmot.....	37
3.9	Svařování plastických hmot.....	38

4	Technologie potřebné pro výrobu forem na plasty	38
4.1	Formy pro vstřikování plastů	38
4.2	Technologie používané při výrobě forem na plasty.....	39
4.3	Příklad použití běžných technologií při výrobě forem na plasty:	40
4.3	Speciální technologie výroby forem na plasty – RIM technologie	40
4.3.1	Uplatnění a princip RIM technologie:	41
4.3.2	Výroba forem.....	41
4.3.3	Výhody RIM technologie	41
5	DISKUZE	43
	ZÁVĚR	44
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	45
	Seznam použitých symbolů a zkratk.....	46

ÚVOD

Cílem této bakalářské práce bylo zpracování rešerše, zabývající se charakterem, využitím a zpracováním plastických hmot. V současné době se stále častěji setkáváme s plastickou hmotou jako náhradou za klasické materiály. Plastická hmota nás obklopuje všude kolem nás a dokonce se i stává, že se často snaží vypadat, jako klasické přírodní materiály – dřevo, kámen, keramika, kov. Možnosti zpracování jsou dnes na takové úrovni, že z této umělé hmoty je možno vyrobit téměř cokoliv, rozhodující je samozřejmě cena. Méně pozitivní stránkou využívání plastických hmot, jsou dopady na naše estetické vnímání, nemluvě o životním prostředí. Nic však nezměníme na tom, že plast je součástí naší kultury.

1 ROZBOR MATERIÁLŮ CHARAKTERU PLASTICKÝCH HMOT

Zpočátku se plasty aplikovaly na spotřební zboží (nízké nároky na funkčnost, snadné a rychlé zpracování). Druhou velkou oblastí rozvoje se stala elektrotechnika (izolační součásti, dobré elektrické a dielektrické součásti). Pronikání plastů do stavebnictví a později i do zemědělství bylo umožněno až výrobou lehčených plastů (izolačních folií, hadic, trubek). Strojní součásti bývají často vystaveny mechanickému a tepelnému namáhání, a proto vyžadují poměrně vysoké hodnoty pevnosti a modulu pružnosti používaných materiálů v příslušném rozsahu provozních podmínek. Navíc musí být strojní součásti relativně přesné a musí mít dostatečnou rozměrovou a tvarovou stabilitu. To všechno splňují kovové materiály, plasty nabízejí ovšem jiné výhody, jako korozivzdornost, schopnost tlumení, nízkou hmotnost a především velmi laciný způsob zpracování tvářením. [2]

1.1 Vliv struktury plastických hmot na jejich fyzikální vlastnosti

Následující kapitola přibližuje spojitost mezi strukturou plastů a fyzikálními vlastnostmi těchto látek.

1.1.1 Vývoj teorie stavby makromolekulárních organických látek

Moderní makromolekulární teorie vychází z těchto základních předpokladů:

- makromolekuly mohou mít nejrůznější tvar – mohou být lineární, rozvětvené, zesíťené a prostorově uspořádané,
- makromolekuly nejsou tuhé řetězce, ale mohou nabývat různých geometrických uspořádání podle toho, jak se mění jejich konformace následkem neustálého pohybu jednotlivých segmentů makromolekul,
- vlastnosti makromolekulárních látek závisí na chemickém složení, velikosti a charakteru mezimolekulových sil, na molekulové hmotě a na tvaru a ohebnosti řetězců.

Téměř u každé vysokomolekulární organické látky můžeme dosáhnout sklovitého, kaučukovitého nebo tekutého stavu. Hladké a dlouhé makromolekulární řetězce a dostatečně velké mezimolekulové síly dovolují vznik krystalické struktury. Nejnižším stupněm uspořádanosti jsou klubička jednotlivých molekul tzv. globule, dosahující velikosti 100-200Å

Vyšší formou uspořádanosti jsou paralelně sružené řetězce – svazky, které jeví náznaky krystalizace. Základní morfologickou formou krystalického polymeru jsou lamely nebo fibrily. Osy molekulárních řetězců jsou kolmé na rovinu lamel. Ke skládání molekul dochází samovolně.

Jednotlivé lamely mohou tvořit spirálovou strukturu. Radiálním skládáním lamel vznikají sférolity. Sférolity jsou krystalické oblasti oddělené „amorfním“ polymerem. Velikost sférolitů stoupá s krystalizační teplotou. Sférolity jsou obecnou formou krystalizace polymerů. Krystalickou strukturu vykazují tedy některé lineární polymery s trojrozměrnou strukturou např. polykondenzační fenolformaldehydové pryskyřice ve stavu rezitu nevytvářejí krystalickou strukturu vůbec. Prostorová síť jejich obří molekuly zabraňuje jejich volnému pohybu jednotlivých segmentů a tím vytvoření krystalických center a krystalů. [1].

1.2 Vliv tvaru makromolekul na vlastnosti plastů

Podle moderní makromolekulární teorie je základním předpokladem pro chování látek jako plastických hmot existence řetězových molekul, vzájemně se ovlivňujících mezimolekulovými silami, které ve srovnání s pevnostmi chemických vazeb řetězců jsou poměrně slabé. Tvar molekul je tedy jedním z hlavních činitelů ovlivňující chování a vlastnosti plastických hmot. Podle tvaru molekul je můžeme schematicky rozdělit na polymery se strukturou lineární, síťovou a prostorovou. [1]

1.2.1 Polymery lineární a rozvětvenou strukturou polymerů

Důležitou vlastností některých lineárních polymerů je jejich krystalizační schopnost. Lineární polymery můžeme rozdělit na polymery se sklonem k samovolné krystalizaci a polymery samovolně nekrystalizující. O krystalizační schopnosti rozhodují v podstatě faktory:

- polarita skupin řetězce (kohezní energie délkové jednotky),
- geometrická pravidelnost řetězce,
- objem postraních substituentů,
- počet rozvětvení a délka postraních řetězců.

Lineární polymery se sklonem k samovolné krystalizaci jsou vláknotvorné, filmotvorné s vysokou pevností a houževnatostí, termoplastické elastické a špatně rozpustné nebo nerozpustné v obvyklých organických rozpouštědlech a mají obvykle úzkou oblast kaučukovitosti, tj. nehodí se dobře pro zpracovatelské postupy, jako je válcování, vytlačování atd., ale naopak pro postupy vyžadující rychlé roztavení jako je vstřikování, zvláknění atd..

Lineární polymery co samovolně nekrystalizují, bývají kaučukovitého charakteru, jsou termoplastické, elastické a dobře rozpustné v organických rozpouštědlech.

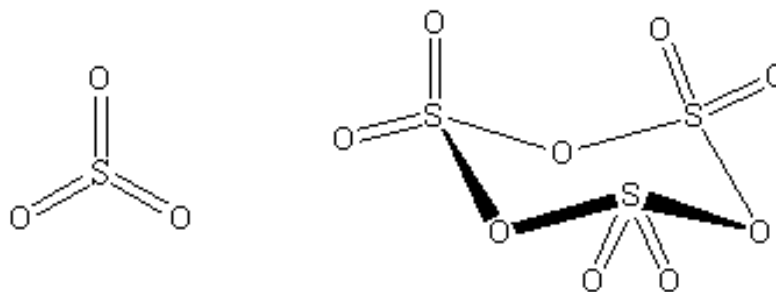
Lineární polymery, které nevykrystalizují za žádných okolností, jsou většinou křehké, velmi dobře rozpustné v organických rozpouštědlech, termoplastické s dobrými optickými vlastnostmi (polystyrén, rezolové pryskyřice atd.). [1]

1.2.2 Polymery se síťovou strukturou

Mezi lineární a prostorovou strukturou polymerů existují přechodná stadia víceméně zesíťovaného polymeru. Jednotlivé lineární řetězce jsou spojeny prostřednictvím příčných můstků. Síťované polymery jsou tedy ve skutečnosti polymery s prostorovou strukturou jejichž síť není ještě tak hustá, aby došlo ke ztrátě elastických vlastností hmoty, ale stačí k tomu, aby tyto hmoty ztratily charakter lineárních polymerů. Vlastnosti síťovaných polymerů tedy závisí na počtu příčných vazeb. Jsou nerozpustné v organických rozpouštědlech, většinou jimi bobtnají a jsou netavitelné. [1]

1.2.3 Polymery s prostorovou strukturou

Vznikají nejčastěji tehdy, je-li počet funkčních skupin dvou spolu reagujících monomerů větší nebo roven pěti. Rozměry lineární nebo rozvětvené molekuly a ve velmi zředěných roztocích vystupují jako samostatné jednotky. Taková molekula nemá objemové hranice, a tedy ani molekulovou hmotu. Na obrázku obr.1 je uvedeno zobrazení tohoto typu struktury. Existují všeobecně platné poznatky, charakterizující vlastnosti látek s trojrozměrnou strukturou. Je to nerozpustnost, netavitelnost, malá nebo žádná elasticita nebo plasticita a značná tvrdost. Typický příklad látky je diamant. [1].

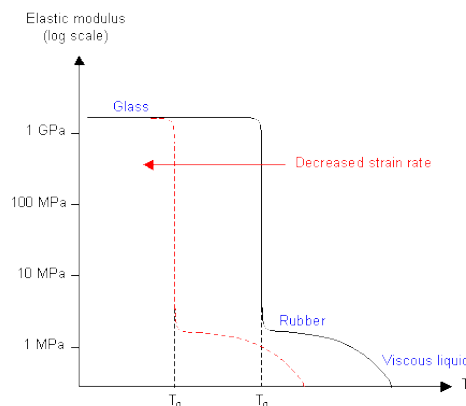


Obr. 1 Prostorová struktura monomerní a trimerní formy oxidu sírového[15]

1.3 Mechanické chování polymerů pro strojní součásti

Mechanické chování polymerů při změnách teploty charakterizuje zřetelně odlišnost plastů od kovů. Polymery nemohou být vzhledem k rozměrnosti molekul být ve stavu plynném. Objevuje se u nich mezi stavem tuhým (sklovitým) a kapalným (viskozním) ještě pro ně charakteristický stav kaučukovitý. Hranice mezi sklovitým a kaučukovitým stavem je teplota skelného přechodu T_g , charakteristická pro každý druh polymeru. Na obrázku obr.2 je graficky znázorněná závislost těchto veličin:

- *Sklovitý stav* (pod T_g). Makromolekuly jako celky jsou tuhé a mechanickým napětím dojde jen k okamžitě se projevujícím pružným deformacím,
- *oblast skelného přechodu* (kolem T_g). Při ohřevu na tuto teplotu se již objevuje pohyblivost celých úseků makromolekul, řetězce se působením napětí začínají rozvíjet a schopnost deformace se zvětšuje,
- *kaučukovitý stav* (nad T_g). Při mechanickém napětí se již řetězce celkem snadno rozvíjejí, ale nikoli ihned, protože k tomu potřebují určitou dobu. Po uvolnění napětí se opět pozvolna vrací do původního neuspořádaného stavu, který je pro ně nejstabilnější,
- *tečení* (kríp) je vratná a nevratná deformace narůstající s časem, vyvolaná dlouhodobým mechanickým namáháním,
- *relaxace napětí* je časově závislý pokles napětí v konstantně deformovaném předejatém tělese z termoplastu. [2]



Obr. 2 Závislost modulu pružnosti na teplotě[17]

1.3.1 Ostatní vlastnosti plastických materiálů

Za zmínku stojí především vlastnosti jako:

- schopnost tlumit rázy a vibrace je u plastů podstatně větší než u kovů,
- nízký součinitel tření za sucha a velkou odolnost proti opotřebení mají semikrystalické termoplasty při výhodné kombinaci pevnosti a houževnatosti,
- rozměrová a tvarová stálost je u plastů značně horší jak u kovů. Způsobeno malou dosažitelnou přesností při tváření, dodatečnými rozměrovými změnami výlisků, křípem, velkou teplotní roztažností, popřípadě absorpcí vlhkosti,
- všechny plasty dobře odolávají korozi způsobené vzdušnou vlhkostí a vodou. Odolnost vůči kyselinám, zásadám, rozpouštědlům je různá podle druhu plasty,
- odolnost proti stárnutí, vzdušné oxidaci, slunečnímu záření je u různých plastů různá, všeobecně je horší než u kovů,
- elektrické izolační vlastnosti plastů jsou vesměs velmi dobré. Některé nepolární plasty mají současně velmi dobré dielektrické vlastnosti. Absorpce vody zhoršuje elektrické vlastnosti plastů,
- tepelná odolnost je nepoměrně horší než u kovů. Běžné levné plasty odolávají teplotám 60 až 80°C, dražší tzv. konstrukční plasty do 100 až 120°C, zvláštní druhy plastů až přes 200°C. U všech plastů se při zvyšování teploty snižuje pevnost a modul pružnosti a roste tažnost a houževnatost až do měknutí polymeru. Při snižování teploty křehnou všechny plasty až pod teplotu T_g . [2]

1.3.2 Vlivy na vlastnosti plastů

Prísady jsou plniva, které účelně mění vlastnosti základního polymeru. Prášková plniva mění podle potřeby fyzikální vlastností např. zvětšují tepelnou vodivost a snižují teplotní roztažnost (křemičitá moučka), zmenšují tření (grafit). U houževnatých plastů zhoršují prášková plniva tažnost a mez únavy. Vlákničitá plniva zvyšují pevnost a modul pružnosti. Jsou to stříhaná vlákna, rouno, textilní ústřížky.

Změkčovadla se přidávají k některým tvrdým polymerům pro získání tvrdosti a ohebnosti.

Stabilizátory zlepšují odolnost polymeru proti zvýšeným teplotám, oxidaci, ultrafialovému záření a povětrnosti. Někdy mírně zhoršují rázovou houževnatost polymeru.

Nadouvadla uvolňují při zpracování plyny a vytvářejí pěnovou strukturu hmoty. Tyto tzv. lehčené hmoty mohou být tvrdé až ohebné a měkké. Mohou mít otevřené (pórovité) nebo uzavřené dutinky.

Molekulová hmotnost polymerů je úměrná délce makromolekulárních řetězců nebo též hodnotě tzv. polymeračního stupně. Vyšší molekulová hmotnost u téhož polymeru dává vyšší tažnost, vrubovou houževnatost a odolnost proti korozi za napětí. Dále snižuje hustotu, procento krystalinity, modul pružnosti a omezuje sklon ke krípu.

Vyšší *krystalinita* znamená vyšší pevnost, vyšší modul pružnosti, větší odolnost proti opotřebení, větší tvarovou stálost za tepla, ale zmenšenou tažnost a rázovou a vrubovou houževnatost.

Molekulární orientace. Při vstřikování plastů dochází v kanálech a tvarových dutinách k rozvinutí řetězců, které se srovnávají ve směru proudění taveniny. To je po ztuhnutí příčinou anizotropie, popřípadě vedou ke vzniku vnitřního prnutí. Může dojít k malé deformaci hotové součásti. [2]

1.3.3 Pevnostní výpočty součástí z plastů

Při pevnostních výpočtech kovových součástí se předpokládá a požaduje, aby materiál byl namáhán pouze elastickými deformacemi, tj. v mezích Hookova zákona $\sigma = \varepsilon * E$. Na tomto předpokladu je založená řada výpočtů z pružnosti pevnosti.

Plasty však vykazují relativně velmi úzké oblasti platnosti Hookova vztahu, neboť modul pružnosti E se s následkem viskoelastického chování polymerů značně mění, a to tak, že:

- E klesá s rostoucím působícím napětím, s rostoucí teplotou a dobou působení napětí,
- E roste s frekvencí zatěžování při dynamickém namáhání.

U plastů není tedy modul pružnosti E materiálovou konstantou, jako je tomu u kovů.

Deformace plastů rovněž není pouze pružnou deformací, jako při běžném namáhání kovových součástí, ale je součtem ideálně elastické ε_1 , viskoelastické ε_2 a plastické ε_3 , graficky na obrázku obr.3 takže můžeme napsat:

$$\varepsilon_{celk} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad (1-1)$$

$$\text{kde } \varepsilon_1 = \frac{\sigma}{E} \quad (1-2)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma}{E} * \varphi(t) \quad (1-3)$$

$$\varepsilon_3 = \sigma * \frac{t}{\eta} \quad (1-4)$$

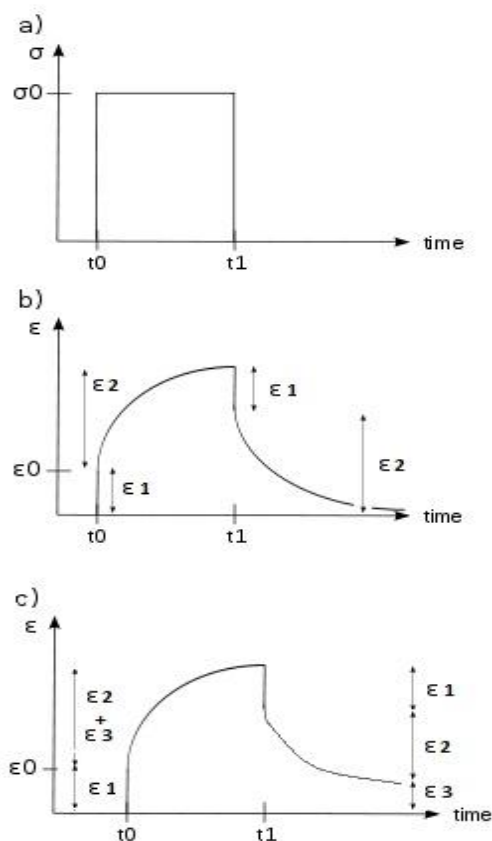
kde σ (MPa) je napětí,

E (MPa) krátkodobý (okamžitý) modul pružnosti v tahu,

$\varphi(t)$...bezrozměrná funkce viskoelastické deformace závislá na čase t (s),

η (MPa.s) Newtonova dynamická

viskozita hmoty při dané teplotě.



Obr. 3 Schéma závislosti deformace plastů na čase

Aby bylo možné používat běžné výpočetní postupy z oboru pružnosti a pevnosti i pro plastové součásti, upravuje se Hookův zákon na tvar:

$$\sigma = \epsilon_{celk} * E_k \quad (1-5)$$

kde σ (MPa) je působící napětí,

ϵ_{celk} celková deformace (celkové měrné prodloužení)

E_k (MPa) konstrukční (zdánlivý) modul pružnosti daného plastu, závislý na působícím napětí, na teplotě plastu na době působení napětí nebo na frekvenci zatěžování při dynamickém namáhání.

Pro smyková napětí platí známý obdobný vztah:

$$\tau = \gamma * G \quad (1-6)$$

kde τ (MPa) je smykové napětí

γ zkos (smyková deformace)

G (MPa) modul pružnosti ve smyku

Závislost mezi E a G je dána vztahem $E = 2G(1+\mu)$, v němž μ je Poissonovo číslo, které je u plastů v rozmezí 0,3 až 0,5. Při hodnotě $\mu = 0,5$ nedochází již při mechanickém namáhání plastové součásti ke změně jejího objemu.

U rovinné napjatosti dané jedním normálovým a jedním smykovým napětím je nutné vypočítat σ_{red} .

Podle hypotézy HMM vychází $\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ (1-7) a z toho $\tau = 0,58\sigma$

Podle Guestovy hypotézy vyjde $\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$ (1-8) a z toho $\tau = 0,5\sigma$

U křehkých plastů, kde pevnost v tahu a v tlaku je různá, se obvykle používá Mohrova hypotéza.

Kritérium napětí stanoví, že skutečné vypočtené napětí musí být menší než dovolené napětí. Dovolené napětí σ_D odvozujeme od meze kluzu tehdy, jestliže daný plast má za daných podmínek výraznou mez kluzu, nad níž dochází k protahování materiálu. Mez kluzu označujeme σ_K . Jestliže plast za daných podmínek nevykazuje mez kluzu, odvozujeme dovolené napětí od meze pevnosti σ_D . Pro krátkodobá namáhání za normální teploty se může brát zhruba toto dovolené napětí:

- $\sigma_D = 0,4\sigma_K$ u semikrystalických termoplastů nad T_g ,
- $\sigma_D = 0,8\sigma_K$ nebo $0,8\sigma_D$ u plastů pod T_g .

Při vyšších teplotách nebo při dlouhodobém statickém nebo dynamickém namáhání je nutno pamatovat, že hodnoty σ_K a σ_D klesají. [2]

2 ROZBOR VYUŽITÍ PLASTICKÝCH HMOT VE STROJÍRENSKÉM PRŮMYSLU

2.1 Závítové spoje

V závítových spojích se plasty používají buď na šroubové a maticové součásti nebo na pomocné součásti, např. podložky, pojistky proti samovolnému uvolňování závítových spojů apod. Pro samostatné závítové části (šrouby a matice) volíme zásadně pevné a houževnaté plasty, nejlépe PA a POM, další vhodné materiály jsou např. PP, PETP, PBTP, PC.

Profily plastových závitů nemají být jemné a ostré, protože z důvodu pevnosti je třeba dostatečně velkého nosného profilu bez ostrých hran a vrubového účinku. U málo pevných měkkých plastů, ale i u materiálů křehkých se doporučují masívnější závity oblé a lichoběžníkové. [2]

2.1.1 Šrouby z plastů

V porovnání s kovovými šrouby se šrouby z plastů používají pro značně menší osově síly, především tam, kde je zapotřebí elektrické nebo tepelné izolace, odolnosti proti korozi nebo chemikáliím, snížení hmotnosti spoje, barevných efektů apod. Další výhody plastových šroubů vyplývají z mnohonásobně menšího modulu pružnosti plastů proti kovům. Jsou to: snazší vyrovnání nepřesností závitů a dosedacích ploch spojovaných dílů, rovnoměrnější rozdělení zatížení na jednotlivé závity podél délky šroubu, větší neformovatelnost, odolnost proti samovolnému uvolnění závítového spoje a schopnost

tlumit chvění a rázy. Výhody jsou typické pro semikrystalické termoplasty, zejména PA, netýkají se plastů vysloveně křehkých. Ukázka plastového šroubu obr. 4 .



Obr. 4 Plastový šroub[12]

Nevýhodou plastových šroubů v porovnání s kovovými je podstatně nižší pevnost, nízká tepelná odolnost, značná závislost pevnosti a modulu pružnosti plastů na teplotě a na čase, popřípadě na obsahu vody v polymeru, rozměrové změny způsobené navlhnutím, nežádoucí pokles předpětí šroubů vlivem relaxace napětí, ohřívání šroubů vystavených vibracím apod.

Plastové šrouby s normalizovaným nebo upraveným normalizovaným metrickým závitem se vyrábějí od M 2,3 do M 20. Volba tvaru hlavy šroubu je ovlivněná nebezpečím ukroucení šroubu při dotahování. Menší šrouby do M 10: válcové, kuželové, půlkruhové nebo čočkovité s drážkou pro šroubovák. Šrouby nad M 10: šestihránná hlava nebo hlava s vnitřním šestihranem.

Materiály:

- Šrouby z PA 66 jsou nejpoužívanější, dostatečná pevnost a houževnatost. Dobře tlumí rázy a vibrace. Značná relaxace, je nutné občasné dotahování. Pro vlhké prostředí používáme PA 11 nebo PA 12. Polyamidy odolávají olejům, tukům a rozpouštědlům používaných ve strojírenství.
- Šrouby z POM mají proti PA větší tuhost, jsou rozměrově stabilnější, protože nenavlhají. Jsou méně houževnaté a vrubově citlivější. Šrouby z POM mají ještě lepší chemickou odolnost než šrouby z PA, hlavně proti rozpouštědlům.
- Šrouby z PETP se používají méně. Mají větší přesnost a užší tolerance než šrouby z PA nebo POM. Mají nižší houževnatost. Omezeně se používají také šrouby z PC, které jsou velmi houževnaté. Jsou však choulostivé na vnitřní pnutí, které se časem téměř nesnižuje a je příčinou snížené pevnosti šroubů. Šrouby z PVC se používají při požadavku na odolnost proti anorganickým kyselinám, jsou křehké a nesnáší vibrace. Šrouby z PS mají výborné dielektrické vlastnosti, jsou však velmi křehké a snadno praskají.
- Šrouby z plastů se uplatňují hlavně v elektrotechnice a elektronice při spojování dílů svorkovnic, kondenzátorů, izolátorů apod. Další obory jsou stavba přístrojů

(korozivzdornost), hračky nebo (nízká hmotnost, barevnost), domácí a kuchyňské potřeby (nízká hmotnost, korozivzdornost) aj.

- Plastové šrouby nemohou pevností sice konkurovat ocelovým, ale v antikorozičních aplikacích někdy nahrazují šrouby mosazné a hliníkové. [2]

2.1.2 Matice z plastů

Plastové matice se vyrábí obvykle ze stejného materiálu jako šrouby, i když to není podmínkou pro funkci spoje. Ve spojích lze využít kombinace kov / plast.

Normalizované šestihranné matice od M 3 do M 16 se vyrábí hlavně z PA 66, méně často z POM. Únosnost plastových matic závisí při dané velikosti závitu na vnějším rozměru (průměru) matice a její výšce. Při stejné výšce matice je únosnost matice větší, jestliže má matice větší vnější průměr, neboť se tím zmenšují radiální deformace vznikající jejím osovým zatěžováním. Proto má být vnější průměr matice aspoň dvakrát větší než jmenovitý průměr závitu. Výška matice je u normalizovaných plastových matic s metrickým závitem stanovena tak, aby únosnost závitu byla vždy větší než únosnost jádra šroubu ze stejného plastu. [2]

2.1.3 Pojistné podložky

Lze k nim použít normalizované šrouby a matice bez úprav. PA podložky se při utahování závitového spoje značně deformují, přizpůsobí se dokonale povrchu stykových ploch, pojišťují závit proti uvolnění a současně ho utěsní.

Jednoduché ploché podložky z PA odpovídají svým tvarem normalizovaným plochým podložkám ocelovým. Jejich pojišťovací a těsnící účinek je menší, ale mají větší možnost opětovného použití.

PA podložky, které mají těsnící funkci, časem ztrácejí předpětí, které je nutné k těsnicímu účinku, musíme je občas dotáhnout. PA podložky, které mají pouze pojistnou funkci není nutné dotahovat, protože je do nich hlava matice nebo šroubu tak zamáčknutá, že se sama nemůže uvolnit. [2]

2.1.4 Pojištění kovových závitových spojů polymerními tmely

Polymerní tmely dokonale pojišťují závit proti uvolnění vibracemi a utěsňují jej, jsou však jen pro jedno použití. Jednosložkové vytvrzovací tmely se nanášejí ve formě kapaliny na kovové závity. Při zašroubování vyplní všechny mezery mezi závity šroubu a matice a následkem styku z kovem a zamezení přístupu vzduchu v mezizávitové spáře nastane za 3 až 10 h vytvrzení na pevný houževnatý polymer. Při použití tmelů nejsou potřeba těsnící a pojistné podložky, matice apod. [2]

2.1.2 Spojování plastových součástí kovovými šrouby

Tento způsob spojení se používá tehdy, má-li být zaručena vyšší pevnost spoje, a také proto, že ocelové šrouby jsou normalizovány a jsou většinou na skladě. Nevýhodou je, že kovové šrouby zvyšují hmotnost výrobku a narušují korozivzdornost celku. Principy spojení:

- ocelový šroub – maticový závit v plastu,
- ocelový šroub – kovová závitová vložka v plastu nebo speciální vložka,

- ocelový šroub a matice – hladký průchozí otvor v plastu.

Podle principu a) se plastové díly spojují závrtnými nebo závitoreznými šrouby, šrouby do plechu a speciálními šrouby. Podle principu b) pomocí kovových závitových vložek zastříknutých nebo dodatečně vsazovaných do plastu nebo prostřednictvím speciálních vložek. [2]

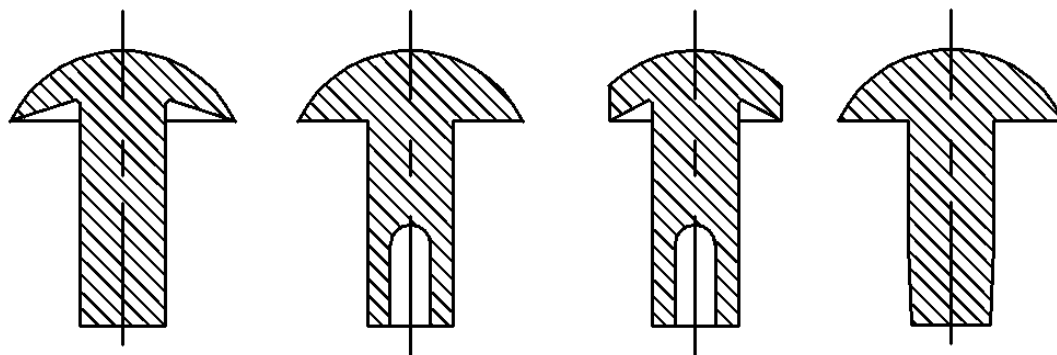
2.2 Nýtové a hřebkové spoje

2.2.1 Nýtové spoje

Nýtování se rychle a levně nerozebíratelné spojování plastových součástí. Používají se buď samostatné nýty z termoplastů či kovů, nebo nýty vytvořené jako integrální část plastového výrobku. Nýtováním plastů můžeme vytvořit pevné spoje, zřídka vždy však těsné a nepropustné. Příčinou jsou deformace plastů vlivem změn teploty nebo pozvolným uvolňováním vnitřního pnutí a pokles předpětí ve spoji následkem relaxace. [2]

2.2.2 Samostatné nýty z termoplastů

Bývají ze stejného materiálu jako spojované součásti nebo často z PA či z POM. Obrázek ukazuje tvary nýtů. Závěrná hlava se vytváří buď za tepla nebo za studena. Schéma možností konstrukce nýtů je zobrazeno na obrázku obr. 5 .



Nýty z termoplastů: a) s vydutou hlavou, b) s dutým dříkem, c) s vydutou hlavou a dutým dříkem, d) s kuželovým koncem dříku

Obr. 5 Nýty z termoplastů

- *Nýtování za tepla* vyžaduje předehřátí nýtů na teplotu, kdy se pevnost materiálu podstatně sníží a umožní značný stupeň deformace dříku. Tento způsob se používá pro průměry větší než průměr 5 mm a výše. Nýtování za tepla je použitelné pro nejrůznější termoplasty a na geometrický tvar dříku nejsou kladeny zvláštní požadavky,
- *nýtování za studena* je rozšířenější, protože je ekonomičtější, ale pevnost spoje je menší. Je použitelné pro průměry nýtů asi do 6 mm z PA, POM, ABS apod. Dochází ke značným viskoelastickým a plastickým deformacím v místě nejmenšího průřezu nýtového dříku. Nýtové spoje uzavřené za studena se nesmějí vystavovat zvýšeným teplotám, aby nedošlo následkem tvarové paměti k zpětným deformacím a k uvolnění spoje. Pevnostní výpočet nýtů se provádí na stříh a na otlačení stejným postupem jako u nýtů kovových. [2]

2.2.3 Integrální nýty z termoplastů

Používají se častěji než nýty samostatné. Jsou vstříknuty vcelku s jednou termoplastovou součástí, zatímco druhá je vstříknuta s odpovídajícími otvory. Obě součásti se spojí nasunutím dříků do otvorů a po tom se snýtují za tepla nebo za studena. Materiál nýtů je dán materiálem součástí, nejčastěji se používá PA, POM, PC, PPO/PS a PP. [2]

2.2.4 Hřebové spoje

Spojení kovovými hřebíky je výhodné pro tenké desky z houževnatých termoplastů, kdy hřebíky můžeme zatloukat za studena. Hřebíky se zatloukají do plného materiálu u měkkých termoplastů (rPE, PP). U tužších a pevnějších termoplastů (PA, POM) je třeba předem vystříknout nebo předvrtat díry, u desek větších tlouštěk je ještě účelné hřebíky předeheřt.

K hřebům je možno přiřadit i kolíky, které se rovněž zatloukají nebo zalisovávají. Mají podélné nebo příčné drážky, popřípadě i zpětné zuby. Kolíky pojišťují spoj především proti pohybu ve směru příčném k ose kolíku a jen málo proti posuvu ve směru osy kolíku. [2]

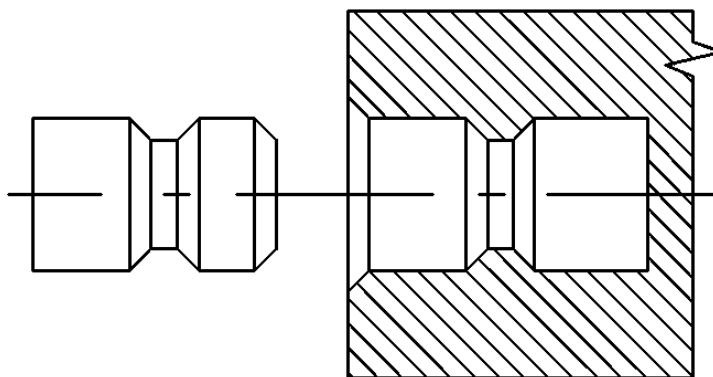
2.3 Pružné spoje pevné, spojení pružným zaskočením

Toto spojení je moderní, jednoduché, spolehlivé a rychlé, typické pro plastové součásti. Protože je velmi ekonomické, vytlačuje do jisté míry závitová a nýtová spojení a uplatňuje se u vstříkovaných součástí, hlavně z termoplastů. Princip pružného zaskočení je v tom, že při spojování je nutné nejprve překonat určitý odpor proti pružné deformaci jedné ze spojovaných součástí, než dojde k zaskočení (zapadnutí) obou částí do sebe a jejich mechanickému spojení.

Hodí se pro ně především pevné, pružné a houževnaté plasty jako POM, PA, PC, PPO/PS, ABS, PP. Zvláště výhodný je POM, protože je houževnatý, pevný a má poměrně vysokou mez pružnosti. [2]

2.3.1 Trubkové spoje

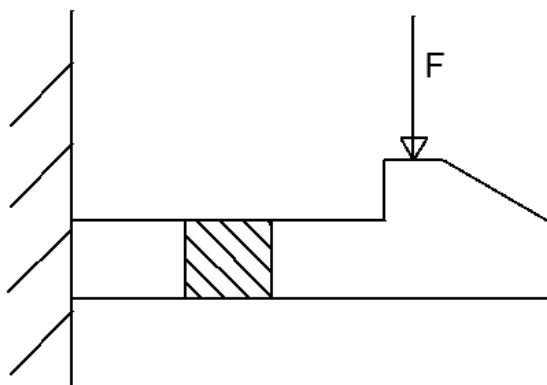
Typickým příkladem je nasazení plastové objímky na čep či hřídel. Na čepu je obvodová drážka, v objímce je vnitřní obvodové osazení. Viz obrázek obr. 6. Čep se zasune od objímky a po překonání odporu (pružné radiální roztažení objímky) zaskočí osazení objímky do drážky čepu. [2]



Obr. 6 Trubkový pružný spoj, ocelový hřídel – náboj z plastu

2.3.2 Háčkové spoje

Pružné háčkové spoje představují vetknutý nosník se zubem. Háček vytvořený na jedné plastové součásti se při nasouvání do otvoru druhé součásti pružně vychýlí a po přejetí okrajové hrany zaskočí zpět. Tím jsou obě součásti spolu mechanicky spojeny. Při rozebírání je nutno háček vychýlit, aby mohl přejet přes okraj otvoru. Silové působení a schéma na obrázku obr. 7. [2]



Obr. 7 Schéma pružného háčku

2.3.3 Spojení nalisováním

Spojení nalisováním se používá např. pro plastový náboj a plastový nebo kovový hřídel k přenášení kroučícího momentu. Spojení je levné, vhodné pro nerozebíratelné spoje. Nevýhodou je, že se pevnost spoje mění s teplotou, obsahem vody v plastu nebo následkem relaxace předpětí. Používáme houževnaté plasty s poměrně velkým podílem elastických deformací, především POM. Jeho výhodou je, že nenavlhá. Používá se i PA 66, který je houževnatější, ale navlhá. [2]

2.4. Svařované spoje

Svařování se dá použít pouze pro termoplasty, které se dají teplem převést do tvárného, popřípadě tekutého stavu. Výhodné jsou termoplasty s pozvolným přechodem do tekutého stavu tj. se širokým teplotním pásmem vysokoviskozního stavu, např. PVC, PS, PE, PP. [2]

2.4.1 Svary horkým plynem

Svařování termoplastů horkým plynem je založeno na stejném principu jako svařování kovů plamenem. Jako svařovací plyn se používá většinou vzduch, ohříváný plamenem nebo elektricky ve svařovací pistoli. Hrozí-li oxidace plastů používáme dusík. Přídavný materiál bývá z téhož typu termoplastu, jako je základní svařovaný materiál. [2]

2.4.2 Svary přitavováním (výtláčným svařováním)

Při výtláčném svařování se housenka vytlačuje z vytlačovacího stroje a ještě v tvárném stavu se vtlačuje do upravené spáry mezi spojovanými deskami, které jsou předehřáté halogenovými zářiči. Velká rychlost svařování a vyšší součinitel pevnosti svaru K proti svařování horkým plynem. Používá se u tlustostěnných desek (5 až 20 mm) z IPE a PP. [2]

2.4.3 Svary topným tělesem

Styková místa svařovaných součástí se zahřejí přiložením kovového topného tělesa. Po změknutí stykových ploch na spojovaných součástech se topné těleso oddálí a obě součásti se k sobě lehce přitisknou dokud nevychladnou. Přítlačná síla nesmí být velká, jinak by se materiál v okolí svaru vyboulil do stran.

Svařování topným tělesem se používá pro pevné a těsné stykové svary trubek, nádob, lopatek odstředivých čerpadel aj. z PVC, rPE, PB a PP.

Další způsoby svařování plastů jsou např. pomocí rotačního tření, ultrazvuku. Můžeme vytvářet svary ocelových plechů s povrchovou vrstvou z PVC nebo vytvářet svary folií z termoplastů. [2]

2.5 Lepené spoje

Lepení plastů navzájem nebo s jinými materiály se používá velmi často, poněvadž má řadu výhod: Možnost slepovat součásti různých materiálů, jednoduchý postup při lepení, relativně velkou pevnost při malé hmotnosti, možnost slepovat i ohebné předměty, minimální lokální koncentrace napětí při správném provedení a nepropustnost spoje. Nevýhody lepení jsou nižší tepelná a někdy i chemická odolnost spoje proti základnímu materiálu, nízká odolnost proti odlupování, někdy i nižší pevnost. Rozlišujeme několik způsobů lepení:

- organická rozpouštědla jsou vhodná k lepení termoplastů, jako PS, SAN, ABS, PMMA, PC, CA, CAB,
- lepidla na bázi kaučuku se používají pro spojování plastů s kaučuky, kovy aj. Pevnost spojů je poměrně malá,
- lepidla na této bázi *roztoků polymerů* se používají pro lepení PVC, PMMA a jako univerzální lepidla,
- *tvrditelná lepidla* mají vesměs velkou adhezi a dávají pevné spoje. Jsou vhodná k lepení reaktoplastů navzájem nebo s kovy, sklem, keramikou apod. Omezeně jsou vhodná i pro některé termoplasty, např. POM, PC.

Pro lepení jsou málo vhodné termoplasty nepolárního charakteru, zejména PE, PP, PTFE. Lze je lepit jen po speciální úpravě povrchu. [2]

2.6 Tmelové výplně

Tmely nejsou lepidla a nemohou vytvářet mechanicky pevné spoje. Zpevňují a utěsňují však již existující spoje jiné, hlavně mechanické. Používají se také pro vyplňování spár, např. při utěsňování a zpevňování kroužků valivých ložisek na hřídeli nebo v náboji, zpevňování trubkových spojů v hydraulických a pneumatických systémech apod. Tmely zjednodušují a urychlují montáž a někdy není potřeba použít složitější konstrukci, přesné obrábění apod. [2]

2.7 Řetězy a řetězová kola. Lana lanové kotouče

2.7.1 Řetězy článkové

Plastové článkové řetězy jsou určeny pro speciální účely a jsou zhotoveny ponejvíce z PA 66, méně často z POM. Jsou lehké, nekorodují a neodírají dopravované břemena, manipulace s nimi je snadná a málo hlučná. Používají se jako závěsné a tažné řetězy pro dopravu lehčích a rozměrnějších břemen choulostivých na poškrábání a odření apod. [2]

2.7.2 Řetězy válečkové

Kombinace plastu a kovu. Ocelový válečkový řetěz s kluznými pouzdry válečků z PA 66 nebo POM. Řetěz nemusí být mazán, a používá se tam, kde je mazivo nežádoucí (potravinářský a farmaceutický průmysl) nebo kde nelze zajistit pravidelné mazání, kde působí vlhkost nebo eroze prachem a nečistotami, jako je tomu u zemědělských strojů. [2]

2.7.3 Řetězová kola

Vyrábí se v menších průměrech jako celoplastová, při větších průměrech je náboj kovový. Používá se převážně PA 66 nebo POM, pro malá namáhání také PUR. PA a PUR velmi dobře tlumí rázy a vibrace při provozu. Tím se snižuje namáhání řetězu a prodlužuje životnost, takže je možné připustit větší otáčky než u ocelových řetězových kol. Vzhledem k vysoké otěruvzdornosti dosahují řetězová kola z PA a PUR větší trvanlivosti, než kola ocelová.

Napínací kladky z PUR nebo PA, vložené mezi větve ocelového válečkového řetězu, snižují opotřebení řetězu a zubů řetězového kola až o 25%, neboť omezují příčné kmitání řetězu. Požití je vhodné u vodorovných nebo šikmých převodů. [2]

2.7.4 Lana

Lana z PA vláken jsou asi o 30% lehčí než konopná a mají podstatně větší pevnost. Používají se jako vazná, závěsná a tažná a rovněž jako lana lodní. Na rozdíl od konopných lan nezvětšují po ponoření do vody zdatelně svou hmotnost. Proti ocelovým snesou PA lana podstatně menší poloměr ohybu, čímž se prodlužuje jejich životnost zejména při dynamickém namáhání. Nevýhoda je pokles pevnosti vlivem povětrnosti a slunečního záření. [2]

2.7.5 Lanové kotouče

Lanové kotouče z plastů se používají pro lana ze syntetických vláken i pro lana ocelová. Pro vysokou otěruvzdornost, poddajnost a schopnost tlumení se používá především PA a PUR. Plastové lanové kotouče šetří lana, snižují jejich opotřebení a prodlužují životnost. [2]

2.8 Řemeny ploché

Nevyztužené řemeny jsou vhodné pro výkon do 7kW. Jsou to pásy z PETP nebo ve speciálních případech z PI. Mají vyhovující pevnost, malou hmotnost a velkou ohebnost. Z toho důvodu se hodí pro velké rychlosti a pro velmi malé řemenice.

Vyztužené řemeny mají vyztužené jádro buď z orientovaného PA pásu, nebo z tkaniny. Používají se pro velké výkony a velké rychlosti. Tyto řemeny mají vlastnosti kožených řemenů s výhodou, že se s postupem času nevytahují, mohou přenášet větší výkony, mají menší ztráty výkonu a lépe tlumí chvění a rozkmitávání. [2]

2.8.1 Řemeny klínové

Speciální klínové řemeny se vyrábí z PUR, protože má velký součinitel tření a velmi dobrou odolnost proti opotřebení. Vyztužují se vlákny, tkaninami a kordy z PA nebo PETP. Proti běžným typům mají větší pevnost, ohebnost, otěruvzdornost a odolávají olejům a rozpouštědlům. Obvodová rychlost těchto řemenů může být až dvojnásobná proti běžným klínovým řemenům. [2]

2.8.2 Dopravní pásy

Obdobná konstrukce jako hnací řemeny. Skládají se z nosné textilní výztuže a z krycí vrstvy z PVC, polychloroprenu nebo PUR. Dopravní pásy pro uhlí v dolech, elektrárnách apod. mají několikavrstvou výztuž z tkaniny z PA nebo PETP a asi 1 mm tlustou krycí vrstvu z PVC. Mají tahovou pevnost 20 až 25 MPa, jsou dobře ohebné a mají velký součinitel tření za sucha i za mokra. [2]

2.8.3 Řemenice a kladky

Celoplastové řemenice malých průměrů je nejlépe vstříkovat z PA nebo POM (případně vyztužených skleněnými vlákny) nebo lisovat z premixů (UP + skleněná vlákna) a pro velmi malá namáhání z bakelitu. Z důvodu tuhosti jsou stěny tlustší než u řemenic kovových. Řemenice větších průměrů se obrábějí z bloků PA, APA, POM. Celoplastové řemenice jsou lehké a méně zatěžují ložiska vlastní hmotností, nevýhodou je menší součinitel tření, malá tuhost a hlavně větší sklon k deformacím. [2]

Kladky pro vedení lan, dopravních pásů se zhotovují z podobných materiálů jako řemenice. Kladky bývají buď pevně na hřídeli nastříknuty nebo jsou na něm nasazeny a pojištěny perem. Při větších rychlostech vsazujeme do kladky kluzné pouzdro z PA plněného grafitem nebo siričkem molybdeničitým, takže není třeba žádné mazání. Konstrukční provedení celoplastových kladek je obdobné jako u řemenic. [2]

2.9 Ozubená kola

Ozubená kola z plastů se používají pro přenosy menších sil při nižších obvodových rychlostech, většinou tehdy, kdy požadujeme provoz bez mazání, dobré tlumení rázů a vibrací, tichý chod a odolnost proti korozi. Vstříkovaná ozubená kola z termoplastů umožňují levnou sériovou výrobu malých ozubených kol i s geometricky složitým ozubením (např. kuželová kola se zakřivenými zuby), ozubená kola obráběná z desek nebo bloků, popřípadě odlévaná, mohou proti tomu dosahovat velkých rozměrů. Příklad ozubeného kola s přímými zuby na obr. 8 .

Požadované vlastnosti materiálu pro ozubená kola z plastů: vysoká mez únavy, velká rázová a vrubová houževnatost, minimální tření, co největší otěruvzdornost, vyhovující rozměrovou stabilitu při změnách teploty a vlhkosti. Nejpoužívanější materiály pro ozubená kola jsou:

- PA se dnes používá nejčastěji vzhledem k vysoké vrubové houževnatosti, která brzdí šíření trhlin, výborné odolnosti proti otěru a výborné kombinaci pevnosti a houževnatosti,
- PA 6 vyniká houževnatostí a tlumícími vlastnostmi, ale vysušením se tyto vlastnosti rychle zhoršují. Má vysokou navlhavost.,
- PA 66 má vyšší mez únavy, lepší otěruvzdornost, větší pevnost a menší navlhavost.



Obr. 8 Ukázka ozubeného kola z plastické hmoty[14]

Další vhodné materiály jsou:

- PA plněné grafitem nebo siričkem molybdeničitým
- PA plněné skelnými vlákny
- PA plněné skelnými vlákny a práškovým PTFE
- POM – Hodí se na více zatížená kola bez rázového namáhání. Nízká navlhavost, velká pevnost a tuhost, citlivější na vruby. [2]

2.10 Kluzná ložiska

Kluzná ložiska jsou jednou z hlavních oblastí použití plastů, poněvadž se ušetří barevné kovy a není třeba olejové mazání. Zjednoduší se tím obsluha a údržba ložisek a často i konstrukce strojního celku, neboť odpadá olejový mazací systém. V některých případech je použití nemazaných ložisek přímo nezbytné, má-li se zamezit znečištění výrobku mazivem např. potravinářský průmysl. Plastová ložiska lépe tlumí rázy a chvění a jsou méně citlivá na nečistoty a cizí částice než kluzná ložiska kovová. Nevýhody: špatný odvod tepla, menší únosnost tuhost, teplotní odolnost a přesnost uložení. [2]

2.10.1 Materiály

Požadavky: nízký součinitel tření, velká odolnost proti opotřebení, vyhovující teplotní odolnost a relativně dobrý odvod třecího tepla, podle okolností také korozivzdornost. Jde-li o samonosné plastové ložisko, musí být navíc ještě pevné, tuhé a odolné proti krípu.

PA je nepoužívanější plast na kluzná ložiska. Vyniká vysokou odolností proti opotřebení a výhodnou kombinací pevnosti a houževnatosti, hlavně typy PA 66 a PA 6. Má poměrně nízký součinitel tření za sucha.

Plněné PA snižují součinitel tření a kríp ložiskových pouzder a zlepšují tak jejich rozměrovou stabilitu. Často používaným plnivem je grafit nebo sirník molybdeničitý nebo vysokomolekulární PE. Tyto příměsi se otěrem uvolňují z materiálu a působí na třecí ploše jako mazivo.

Pórovitá ložiska z PA se lisují za studena za takových podmínek, aby výlisek byl pórovitý. Pak následuje spékání výlisků a sycení pórů olejem. Ložiska mají velmi malé tření a vysokou únosnost, poněvadž jsou při běhu mazána olejem nasáklým v pórech. Kratší životnost, po vyčerpání oleje dojde k zahřátí a natavení.

Materiály ložiskových pouzder:

- POM má lepší rozměrovou stabilitu než PA, ale má nižší součinitel tření, ale větší opotřebení, a proto se nehodí na provoz za such bez jakéhokoli mazání,
- PETP, PBTP se používají pro přesná a rozměrově stabilní vstřikovaná ložisková pouzdra se zvýšenou tepelnou odolností, malým třením a velkou otěruvzdorností,
- polyolefiny mají malé tření, velmi dobrou chemickou odolnost, ale velký otěr, malou únosnost a nízkou tepelnou odolnost. Používají se omezeně pro chemicky agresivní prostředí,
- PI je drahý, použití ve speciálních případech. Snese provozní teplotu 250°C, krátkodobě až 400°C,
- ložiska z Textitu dobře snášejí rázy a hodí se pro těžké provoz, např. ložiska válcových stolic, vodních turbín aj. Jejich tvar se v provozu nedeformuje protože mají velmi malý kríp,
- hlavní výhodou PTFE je vysoká tepelná a univerzální chemická odolnost a tak nízké tření, že není nutno ložiska mazat ani při záběhu. Kromě lisování pouzder odřezávají se z bloků plněného PTFE folie, které se vkládají jako volné výstelky do kovových pánví a tvoří méně náročná foliová ložiska.

Metaloplastická ložiska kombinují nosnou kovovou pánev s tenkou kluznou vrstvou plastu odolnou proti otěru a co nejméně bránící odvodu tepla. Znázorněno v řezu na obrázku obr.9 . Velmi rozšířeným ložiskovým materiálem je typ DU. Skládá se z tří vrstev:

- z jednostranně poměděného ocelového plechu;
- ze střední vrstvy vyrobené spékáním práškového bronzu na poměděné straně plechu, tato vrstva je asi 0,3 mm tlustá a obsahuje 20 až 30% pórů vyplněných směsí PTFE a olova;
- z kluzné vrstvy tenké 0,02 mm obsahující stejnou směs PTFE a olova

Ocelový plech dává ložisku pevnost, tuhost a rozměrovou stabilitu, pórovitá bronzová vrstva odvádí teplo, zvyšuje odolnost proti opotřebení a je zásobárnou PTFE. Kluzná vrstva zajišťuje nízké tření a vyrovnává eventuální nerovnosti hřídele, je důležitá pro chod ložiska a nesmí se poškodit.

Ložiska DP se liší od DU tím, že neobsahuje olovo, díky tomu je vhodné např. v potravinářském průmyslu. DU i DP snesou provozní teploty do 200°C.

Ložiska DX je podobný DU, ale pórovitá bronzovin vrstva je nasycená práškem POM. POM má za sucha větší opotřebení než PTFE, jsou na kluzné ploše vytvořeny kruhové jamky, do nichž se při montáži vetře mazací tuk nebo hustý olej. Tyto ložisko jsou vhodná pro velká zatížení, třecí ploch se dá obrábět a leštit. [2]



Obr. 9 Řez ložiskovým pouzdem [18]

2.11 Valivá ložiska

U valivých ložisek se zhotovují z plastů hlavně klece a uzavírací kroužky obr. 10. Klece z plastů jsou totiž lehčí než kovové, vykazují malé tření mezi klecí a kuličkami a mají velmi dobré tlumící vlastnosti. Materiály: POM, PA 11, PA 12, PA 66. Snesou provozní teploty do 80°C. Klece z PTFE snesou teplotu do 220°C. [2]



Obr. 10 Valivé ložisko s plastovými uzavíracími kroužky[13]

2.12 Tlumící pružné spoje a spojky

Pružnost a schopnost tlumení u některých plastů a elastomerů se využívá v pružných tlumících prvcích, které se uplatňují buď v samostatných pružných tlumících spojích, nebo ve spojkách. [2]

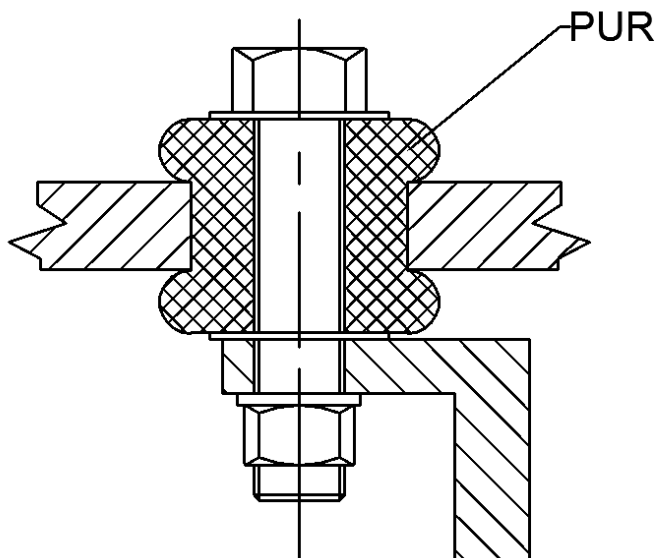
2.12.1 Tlumící pružné spoje

Pohyblivé spoje, tj. v omezené míře umožňují vzájemný pohyb spojených součástí. Při tomto pohybu se plastové nebo elastomerové prvky deformují v mezích svých elastických deformací a současně tlumí rázy i vibrace, jejichž mechanickou energii zčásti přeměňují na teplo. Příklad pružného spojení na obrázku obr. 11.

Na převážně tlumící prvky jsou vhodné vysoce houževnaté termoplasty hlavně PA, rPE, vysokomolekulární PE, PP, EVA a měkčený PVC z elastomerů především butylkaučuk.

Na převážně pružné prvky jsou vhodné plasty s relativně značnými elastickými deformacemi, především POM, dále termoplasty vyztužené skleněnými vlákny, např. PA, PC, PPO/PS a PETP.

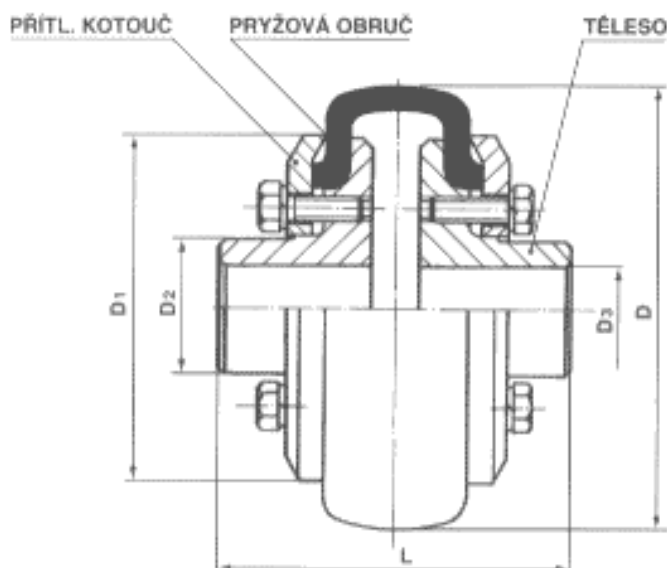
Výhodnou kombinací vysoké pružnosti a velké tlumící schopnosti mají elastomery, z nichž vedle přírodního a polychloroprenového kaučuku se používá zejména PUR elastomer. [2]



Obr. 11 Pružné tlumivé spojení kovových konstrukcí PUR

2.12.2 Spojky

U hřídelových spojek se používají plasty a elastomery na prvky, které tlumí torzní chvění, zachycují a tlumí rázy a dovolují jisté deformace a na prvky kluzné, odolné proti opotřebení. V prvním případě se používá elastomerů, hlavně zesíťovaného PUR, a někdy PA. V druhém případě se používá většinou PA. Náčrt hřídelové spojky obr. 12. [2]



Obr. 12 Obručová spojka[8]

2.13 Potrubí

Používání plastů na trubky a hadice se v poslední době rychle rozšiřuje. Příčinou je jejich odolnost proti atmosférické a půdní korozi a z toho plynoucí úspora drahých ochranných nátěrů, odolnost proti chemikáliím, nízká hmotnost a snadná manipulace a doprava, dobrá otěruvzdornost, elektroizolační vlastnosti a konečně levná výroba bezešvých trubek vytlačováním termoplastů. Možnost navíjení trubek z měkkých termoplastů na bubny umožňuje výrobu dlouhých potrubí, snadnou dopravu, montáž a ohýbání, není potřeba mnoho spojů a kolen, nehrozí popraskání při zamrznutí vody v trubkách. Nevýhoda malé pevnosti termoplastů a jejich sklon ke krípu se u tlakových nebo zavěšených potrubí řeší většinou kombinací s vyztuženými plasty. [2]

2.13.1 Materiály – Nevyztužené plasty

Jsou nejrozšířenější, neboť jsou levné a snadno se zpracovávají vytlačováním.

PVC je nejstarší a jeden z nejpoužívanějších plastů na potrubí. Jeho výhodou je dostatečná pevnost a tuhost, odolnost proti krípu, poměrně nízká teplotní roztažnost, snadné svařování a lepení. Nevýhodou je poměrná křehkost, zvláště za nízkých teplot, a nízká teplotní odolnost. Používá se od 0°C do 60°C.

PVC měkčený se používá na ohebné trubičky a hadice pro podobná média jako tvrdý PVC, hlavně pro beztlakové rozvody benzínu a olejů.

PVCC má větší pevnost a teplotní odolnost, větší odolnost proti hoření. Používá se od 0°C do 90°C, hlavně na horké odpadní vody uvnitř budov.

PE vyniká nízkou hmotností, vysokou houževnatostí i za mrazu a velmi dobrou chemickou odolností. Hlavní nevýhodou je velká závislost pevnosti na teplotě, tepelná roztažnost a značný sklon ke krípu. rPE umožňuje výrobu dlouhých ohebných trubek, které se do průměru 180mm mohou navíjet na buben. 1PE navíjet nelze, má však větší pevnost při zvýšených teplotách. PE trubky se používají na vodovodní a odpadní potrubí, hadice v zemědělství, v chemii, potravinářství. [2]

2.13.2 Materiály – Vyztužené plasty

Jsou dražší, ale mají značně větší pevnost a tuhost a jsou použitelné pro velké tlaky. Pro zvýšení chemické odolnosti se často kombinují s výstelkami z termoplastů.

UP - skelné lamináty. Skleněná vlákna jsou buď stříhaná nebo ve tvaru tkaniny nebo navíjená. Navíjené trubky mají nejvyšší pevnost a připouštějí nejvyšší tlaky. Trubky z UP – skelných laminátů jsou vhodné pro tlaková potrubí, zavěšená potrubí, mají velkou tvarovou stálost a velmi malou teplotní roztažnost. Používají se velkopříměrové klimatizační trubky, pro průmyslovou, případně pitnou vodu, benzín, svítiplyn. Spojují se mechanicky.

Trubky z UP – skelných laminátů s výstelkami z PVC, PVCC, rPE, lPE, PP nebo elastomerů nebo skla dávají potrubí chemickou odolnost podle materiálů výstelky při zachování velké pevnosti a tuhosti, dané sklolaminátovým nosným pláštěm. Nevýhodou je, že teplotní roztažnost termoplastů je několikanásobně větší než tepelná roztažnost skelného laminátu, což ovlivňuje soudržnost mezi pláštěm a výstelkou.

EP - skelné lamináty mají vyšší pevnost a teplotní odolnost než UP – skelné lamináty, jsou však dražší. Používají se hlavně v chemickém průmyslu pro potrubí pracující za vyšší teploty. [2]

2.14 Materiály používané na těsnění

Materiály používané pro těsnění pohyblivých i nepohyblivých součástí ve strojírenství mají být ohebné a pružné ve velkém rozmezí teplot, mají mít minimální kríp a relaxaci, malé tření a při tom velkou odolnost proti otěru a proti trhání a konečně mají být odolné proti stárnutí a chemickým vlivům, zejména proti olejům a rozpouštědlům. Patří k nim elastomery a termoplasty.

- Elastomery, původně nejrozšířenější přírodní kaučuk, dnes jsou nahrazovány syntetickými kaučuky, neboť nemůžou už splnit stále vyšší požadavky kladené na těsnící materiály.
- Butylkaučuk má nízkou prodyšnost, dobrou odolnost proti stárnutí a teplotám do 120°C, nevýhodou je nízká pružnost. Používá se k utěšňování hydraulických kapalin silikátového a fosfátového typu, kyslíkatých sloučenin a alkálií.
- Polychloropren vyniká velkou pružností a jen malou prodyšností, dobrou odolnost proti stárnutí, odolává teplotám - 35°C až + 120°C. Používá se na těsnící manžety, vaky, protiprašné kryty apod.
- Nitrilkaučuk velmi dobře odolává olejům a rozpouštědlům kromě vysoce aktivovaných olejů a aromatických uhlovodíků. Je použitelný při teplotách - 40°C až + 120°C. Jeho nevýhodou jsou horší mechanické vlastnosti; náleží k nejpoužívanějším elastomerům na těsnění.
- Polyuretanový kaučuk má velkou pevnost a výbornou otěruvzdornost. Odolává olejům, je vhodný pro vysokotlaká těsnění do teploty 80°C, ve vodě jen do 150°C.
- Termoplasty mají proti elastomerům vyšší pevnost, nižší součinitel tření, ale postrádají důležitou vlastnost elastomerů – pružnost. Pružnost totiž zaručuje stálé předpětí těsnícího materiálu, jeho neustálé přitlačování k těsněné ploše, a tak dlouhodobou správnou funkci těsnění. Proto je nutné těsnění z termoplastů občas

dotahovat nebo je kombinovat s jinými pružnými prvky – buď s vložkami z elastomerů, nebo s ocelovými pružinami.

- Měkčený PVC se pro svou kyselinovzdornost používá na statická těsnění v chemickém průmyslu do teploty 60°C.
- rPE má rovněž dobrou chemickou odolnost a je vhodný pro teploty od – 50 do + 80°C. Stejně jako měkčený PVC se nehodí se ani rPE pro malou odolnost proti opotřebení na pohybová těsnění.
- PA je vhodný k utěšňování vysokých tlaků. Má vysokou otěruvzdornost, nízký součinitel tření, dobrou odolnost proti olejům, rozpouštědlům a alkáliím. Pro těsnění jsou vhodné měkčí typy a kopolymery PA, aby lépe dosedaly na těsnicí plochu. Navlhající PA 6 nesmí být použit v teplém suchém prostředí, jinak vysychá, křehne, netěsní a navíc odírá kovovou plochu.
- PTFE má vynikající chemickou a teplotní odolnost, dobře odolává stárnutí a má vysokou kluznost. Má však nižší pevnost, sklon ke křípu a hlavně nízkou otěruvzdornost. Proto se často plní grafitem, mletým koksem aj. Používá se pro statická i dynamická těsnění v chemickém průmyslu, ve strojírenství, raketové a kosmické technice, tam, kde se dynamická těsnění nesmějí mazat apod. [2]

3 TECHNOLOGICKÉ METODY ZPRACOVÁNÍ PLASTICKÝCH HMOT

3.1 Lisování

Zpracování plastických hmot při zvýšených teplotách a tlacích, při kterém se pomocí forem dodává materiálu žádaného tvaru. Podle velikosti použitých tlaků se rozlišuje lisování vysokotlaké, nízkotlaké a kontaktní. Jako vysokotlaké lisování se označuje lisování při tlacích nad 30 kp/cm^2 . Nízkotlaké se provádí v rozmezí tlaků 5 až 30 kp/cm^2 , kdežto pod název kontaktní lisování zahrnujeme lisovací pochody prováděné při tlacích pod 5 kp/cm^2 .

Termosetické pryskyřice se zpracovávají lisováním se formě lisovacích hmot, což jsou většinou pryskyřice, plniv, maziv a pigmentů. Plniva zlepšují mechanické a chemické vlastnosti. Je nutné zajistit dokonalé promísení směsi. Používáme suché (hnětení a změny teplot) a mokré (roztok etylalkoholu a metylalkoholu) cesty míchání směsí. Takto získané práškové hmoty se dávkuje do lisovacích forem buď přímo pomocí odměrných nádob, nebo ve formě lisovacích tablet.

Přímé lisování je jedním z nejrozšířenějších způsobů zpracování v plastikářském průmyslu. Tímto způsobem se především zpracovávají termosety a desky z termoplastů. K vysokotlakému přímému lisování se dnes používá téměř výhradně pístových hydraulických lisů (tlaky v lisech 30 až 500 t). Tvar výlisku vymezuje lisovací forma.

Lisování rázem se používá na drobné výrobky z termoplastických hmot, především polyvinylchloridových. Lisovací teploty 160 až 170°C . Pracovní tlak 150 až 300 kp/cm^2 .

Přetlačování (nepřímé lisování, lisostřík). Předehřátá hmota se přivede do plastického stavu v přetlačovací komoře (součást formy), tlakem pístu se pak vytlačí vstřikovacím kanálkem do dutiny formy. Lisovací teploty jsou stejné jako u lisování přímého. Nevýhoda je komplikovanost procesu, větší spotřeba hmoty.

Nízkotlaké lisování je lisování prováděné tlaky od 5 do 30 kp/cm^2 . Použití: tváření fenoplastů a aminoplastů. Je výhodný i pro lisování reaktivních pryskyřic typu polyesterů. Pro tento typ tváření používáme kombinaci pryskyřice a ztužovačů. [1]

3.2 Vakuové tvarování

Účinkem tepla (infračervené záření) se folie nebo deska plastické hmoty vyhřeje na vhodnou tvarovací teplotu a za vakua se přisaje na formu, jejíž tvar se věrně otiskne. Po ochlazení se získá trvalý tvar výlisku. Zpracovaným materiálem mohou být folie a desky z měkčeného polyvinylchloridu, celuloidu, acetátu celulózy, polystyrénu, polyetylénu, polyamidů aj. Využití nízkých tlaků, umožňuje široký výběr materiálů formy. [1]

3.3 Válcování

Způsob přípravy desek nebo folií z plastických hmot. Používají se předehřáté, proti sobě se otáčející válce s nepatrným skluzem. Materiál pak prochází do další štěrbině, kde se již tvaruje folie pravidelným a hladkým povrchem válců. Používaný materiál je převážně polyvinylchlorid a jeho komponenty. Použití 4 nebo 5ti válcových strojů, které mají válce

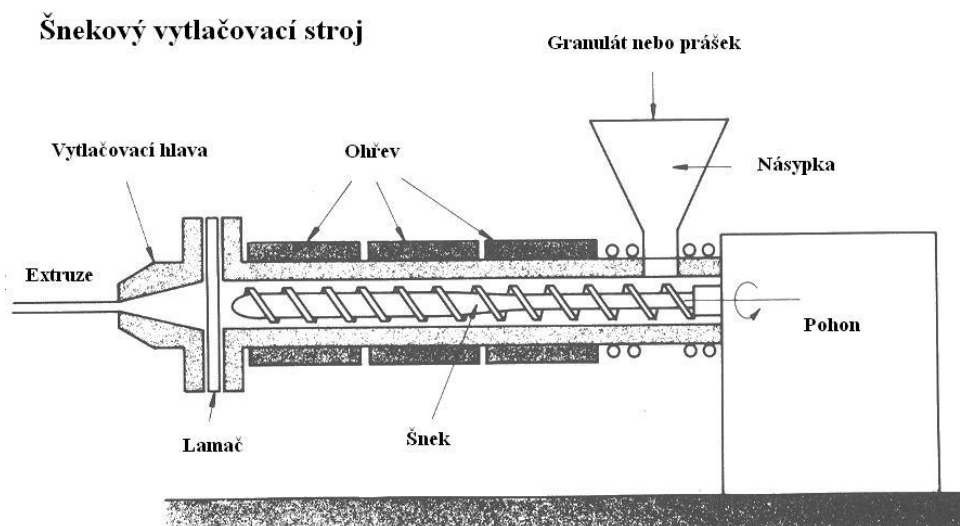
uspořádány do tvaru písmen Z,S,L,I,F. Pro zásobování válcovací stolice se používá šnekových plastikacích strojů, zásobovaných aglomerátem z rychlomíchacích strojů. [1]

3.4 Vytlačování

Způsob zpracování, při kterém je vysokomolekulární látka v plastickém stavu vytlačována z tlakové komory profilovacím zařízením (tryskou, hubicí) do volného prostoru. Pro termoplasty používáme vytlačovací mechanické šnekové stroje, viz obr. 13, pro termosety většinou hydraulické pístové vytlačovací stroje. Vytlačováním se většinou zpracovávají termoplasty při kontinuálním provozu.

Vytlačování teplem tvrditelných hmot je vlastně rozšířením přetlačování s nepřetržitým provozem. Pásmové lisy pracují v přerušovaném cyklu.

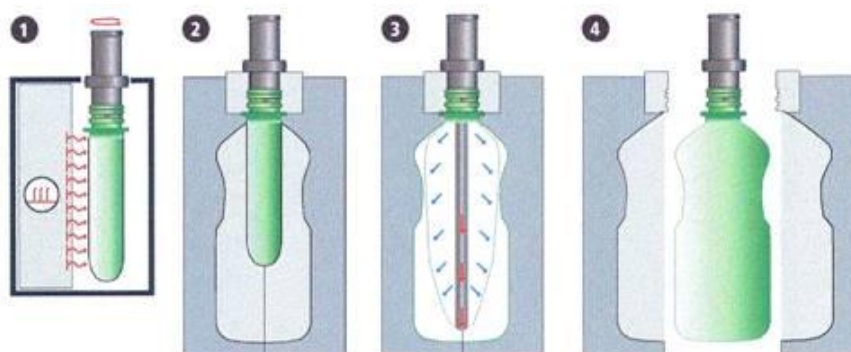
Vytlačování termoplastů se provádí na šnekových vytlačovacích strojích. Tam se hmota plastikuje šnekem v části stroje od násypky k tvarovací hubici. Tento proces vyžaduje důkladné prohnětení a roztavení materiálu, po němž se teprve dodá hmotě konečný tvar. Používáme jednošnekové nebo vícešnekové protlačovací stroje. Přestože u vícešnekových strojů dosáhneme lepší plastikace materiálu, v praxi se používají převážně jednošnekové, a to z důvodu menších provozních nákladů, snadnější údržby a díky různým metodám přípravy směsi, můžeme získat stejně kvalitní výrobek. [1]



3.5 Vyfukování

Jedná se o technologický postup přípravy dutých nádob, jako jsou láhve, nádrže, konve apod. Provádí se dvěma způsoby: výtlačným vyfukováním a vstříkovacím vyfukováním viz obr 14 . První způsob je nejobvyklejší. Skládá se z vytlačení tlustostěnné hadice nebo trubky pomocí vytlačovacího stroje do šterbinové formy, která se na jedné straně uzavře a na druhou se přivede hubice vedoucí vzduch, jehož tlakem se hadice v plastickém stavu vyfoukne do formy. Nevýhodou výtlačného vyfukování je poměrně nerovnoměrná tloušťka stěn, zvláště ve srovnání s tloušťkou hrdla, které se musí opracovávat a zbavovat přetoků. Průměrné výrobní výkony při výrobě malých lahviček z polyetylenu výtlačným vyfukováním při použití techniky rotujících nebo kyvných forem od 1000 do 1500 kusů za

hodinu. Vyfukováním se zpracovává především polyetylén, polyvinylchlorid, ale také polyakryláty a polyamidy. [1]

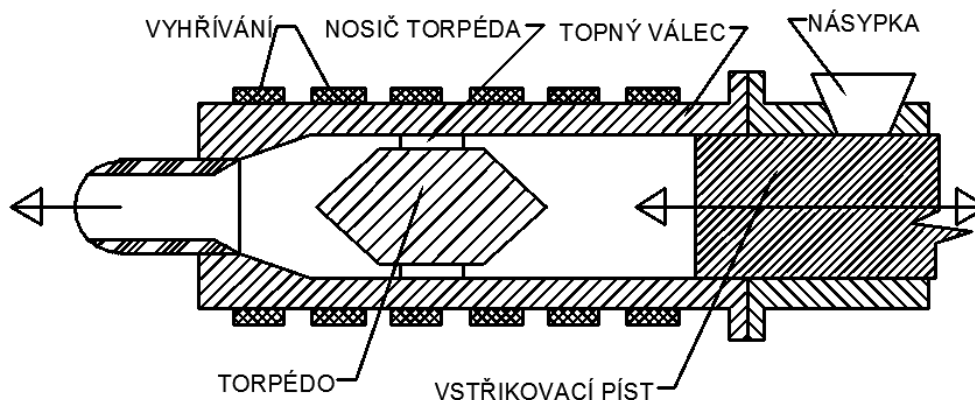


Obr. 14 Princip vstřikovacího vyfukování s přerušovaným procesem [9]

1 – ohřev tvarové části předlisku, 2 – přesun do vstřikovací formy, 3 – vyfukování, 4 – chlazení, vyhození

3.6 Vstřikování

Vstřikování je způsob, při kterém se termoplastický materiál – obvykle ve tvaru granulí – přivádí do tavicích plastikacích komor, z nichž se po roztavení vstřikuje do chladících forem. Aby styk hmoty s vyhřátými stěnami chladící komory byl co největší, obtéká plastikovaná hmota rozváděcí kužel (tzv. torpédo), který rozvádí hmotu ke stěnám. Tím dosáhneme dokonalé plastikace a prohřátí materiálu. Z tavicí komory se roztavená hmota tlakem pístu vstřikovacího válce vstřikuje kalenou ocelovou tryskou do formy, na jejíž ústí dosedá svým kuželovitým zabroušením. Schéma vstřikovacího stroje na obr. 15 .



Obr. 15 Schéma vstřikovacího stroje s plastikací torpédem

Pracuje se s hmotami, u nichž lze dosáhnout maximální plastikace ještě pod hranici tepelného rozkladu. Jsou to např. polyetylén, polystyrén, polyamidy, polymethylmetakrylát, acetat a propionát celulózy atd. [1]

3.7 Žárové stříkání (šopování) a vířivé nanášení

Vynikajících vlastností plastických hmot se využívá i k povrchové úpravě materiálů používaných zejména pro nosné konstrukce a majících nedostatečnou odolnost proti korozi, jako jsou např. kovy, dřevo, cement atd. Nátěrové hmoty nemají dostatečnou tloušťku, takovou, jakou můžeme získat prostřednictvím žárového stříkání plastickými hmotami. Povlak se nanáší speciální pistolí. Jde o rychlé nanášení tlustých povlaků z těžko rozpustných nebo v organických rozpouštědlech nerozpustných plastických hmot. Na druhou stranu je nutnost přehřívát upravovaný předmět, možnost znehodnocení povlaku a obtížná příprava hmoty. V posledních letech se k vytváření ochranných povlaků zejména kovových dílců používá vířivé nanášení. Povlak získaný tímto způsobem je rovnoměrnější a i jinak kvalitnější než při žárovém stříkání. Princip této metody spočívá v ponoření přehřátého předmětu do nádoby v níž se rozvíří prášek plastické hmoty. Po vytvoření povlaku, což je 3 – 30 vteřinách se předmět nechá vychladnout v temperovaném prostředí. [1]

3.8 Zvláknění plastických hmot

Jedná se o zpracovatelský pochod, při němž se z taveniny nebo roztoku vláknovitého polymeru protlačováním otvory trysky získávají vlákna. Lineární stavba makromolekul, vysoká molekulová plocha a dostatečné mezimolekulové síly některých vysokomolekulárních látek dovolují jejich zvláknění. Nazýváme je vláknovými.

Podle jejich přípravy se vláknovité polymery dělí na:

- Mezi A – polymery se řadí látky vzniklé polymerační reakcí, při níž nedochází ke změně chemického složení, jako např. při polymeraci polyetylénu, polystyrénu, polyvinylchloridu, polyvinylalkoholu atd.,
- C - Polymery zahrnují vysokomolekulární produkty polykondenzace a polyadice, při nichž dochází ke změnám chemického složení, jak je tomu v případě polyamidů, polyuretanů, polyhydrazidů atd.

Existují v podstatě dva základní způsoby zvláknění – z taveniny a z roztoku.

Z taveniny se zvlákní polymery, které se při teplotách tavení nerozkládají a u nichž lze snadno dosáhnout vyhovující viskozity taveniny (polyamidy a polyestery). Velkou předností zvláknění z taveniny jsou třikrát až pětikrát větší odtahové rychlosti než při zvláknění z roztoku. Je potřeba vysoká teplota (220 – 250°C) a inertní plyn. Používají se i stabilizátory stupně viskozity, ty napomáhají vzniku stejnoměrné délky molekul.

Opustí-li vlákno trysku, přímo za ní se prudce ochlazuje vzduchem nebo vodou, aby se zabránilo krystalizaci a získalo se vlákno s větším obsahem amorfních podílů.

Zvláknění z roztoku se provádí u polymerů, které mají příliš velký interval mezi teplotou měknutí a skutečnou teplotou tání, snadno podléhající tepelné degradaci. Jde o polymery na bázi celulózy, polymery akrylonitrilu, vyvinilalkohol, polyetylen. Pro zvláknění z roztoků je důležitá volba rozpouštědla. Obecný požadavek je na malou viskozitu, vysoká rozpouštěcí schopnost, dostupnost, nízká cena, nejedovatost, snadná regenerace. Při zvláknění roztoku dochází k zpětnému získání polymerů ve formě vlákna buď vysrážením, a to při tzv. mokřím způsobu, nebo vysušením při tzv. suchém způsobu zvláknění. [1]

3.9 Svařování plastických hmot

Svařování plastů je způsob jejich spojování účinkem tepla a tlaku v místě styku. Z mnoha postupů je vhodné jmenovat především svařování indukční (vedením), radiální (sáláním), třením, horkým plynem a vysokofrekvenčním ohřevem.

Kondukční svařování se uplatňuje většinou v obalové technice ke spojování tenkých folií do tloušťky 0,12 mm. Tlustší folie lze svařet páječkou. Pájkou nahřáté místo se pak spojí přítlačným válečkem.

Radiálního svařování se používá ke spojování masivnějších předmětů, jako trubek, tyčí atd. Spojované plochy se nahřejí vyhřívaným radiátorem a přitisknou se na sebe.

Svařování třením lze provést jen u těch tvarů, které se dají upnout např. na soustruh.

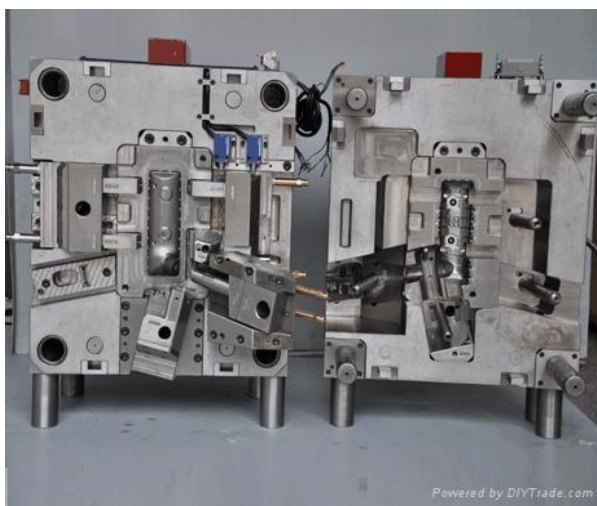
Třením stykových ploch vznikne teplo, jehož množství závisí na tlaku a rychlosti otáčení. Materiál se teplem roztaví a plochy se pak spojí. Aby ohřev postupoval do středu třených ploch, plochy se předem kuželovitě upraví. Dobře provedené spoje jsou velmi pevné. [1]

4 TECHNOLOGIE POTŘEBNÉ PRO VÝROBU FOREM NA PLASTY

V této kapitole jsou shrnuty informace o vstřikovacích formách, běžně používaných pro vstřikování plastových hmot. Kromě forem, se kapitola zabývá tématem nových technologií ve zpracování plastů.

4.1 Formy pro vstřikování plastů

Formy pro vstřikování plastů obr.16 se používají pro vytvoření podoby a tvaru vstřikovaného dílu, při zachování požadovaných fyzikálních a mechanických vlastností. Slouží ke zpracování termoplastů, reaktoplastů, termoplastických elastomerů i kaučukovitých směsí. Řešení vstřikovacích forem vychází z technologického hlediska příslušného výrobku. Při konstrukci a výrobě formy se musí respektovat jak vlastnosti vstřikovaných materiálů, tak možnosti výrobních zařízení i dané požadavky na kvalitu výrobků a také produktivitu práce. Zpravidla je vyžadováno, aby vstřikované výrobky nepotřebovaly další zbytečné dokončovací operace. [3]



Obr. 16 Forma pro vstřikování plastů [16]

Požadavky na kvalitní vstřikovací formu:

- technické, zaručující správnou funkci formy, která musí vyrobit požadovaný počet dílů v požadované kvalitě a přesnosti. Má také splňovat podmínku snadné a bezpečné manipulace i obsluhy v pracovním cyklu,
- ekonomické, které se vyznačují nízkou výrobní cenou, snadnou a rychlou výrobou vstřikovaných dílů, při vysoké produktivitě práce,
- společensky – estetické, které umožňují vytvářet vhodné prostředí při práci. Dodržení všech bezpečnostních zásad při konstrukci, výrobě i provozu formy. [4]

Důležitým úkolem při konstruování forem všeobecně, je stanovení rozměrů a výrobních tolerancí tvarových částí formy. Pro výpočet a stanovení těchto rozměrů je rozhodující smrštění, tolerance jednotlivých rozměrů výstřiku apod.

U vstřikovacích forem se požaduje:

- vysoká přesnost a jakost funkčních ploch dutiny formy a ostatních funkčních částí,
- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí formy, potřebných pro zachycení tlaků při vstřikování,
- správná funkce formy, vhodný a optimalizovaný vtokový systém, funkční vyhazování, odzdušnění, temperování apod.,
- optimální životnost zaručená konstrukcí, použitým materiálem i výrobou. [4]

4.2 Technologie používané při výrobě forem na plasty

Výroba vstřikovacích forem je poměrně obtížná a složitá. Jedná se tedy o proceduru časově i finančně dosti náročnou. Důvodem je práce s kvalitními nástrojovými a mnohdy kalenými materiály a značné požadavky na přesnost. Vezme-li se v úvahu, že v dnešní době je většina částí formy normovaná a vyráběna a dodávána na trh specializovanými firmami, v nástrojárnách a případně firmách, využívajících formy, jsou již díly jen upravovány. Tyto dokončovací operace jsou prováděny především obráběním.

Soustružení

Metoda obrábění rotačních součástí. Hlavní pohyb (rotační) zde vykonává obrobek a vedlejší pohyb (posuvný) koná nástroj. Příkladem využití může být výroba rotačních jader, vyhazovačů či tvarových vložek formy.

Frézování

Frézování je třískové obrábění kovů nástrojem s více břity. Hlavní pohyb (rotační) koná nástroj a vedlejší pohyb (posuvný) koná obrobek. Obrábět je možno rozličné tvary a to ve třech i více osách. Pro tvary složitější, bývá použito tvarových fréz.

Vrtání

Vytváření otvorů pomocí dvou i vícebřitého nástroje, který většinou koná rotační i posuvný pohyb ve směru vlastní osy. Pomocí tvarových či stupňovitých vrtáků lze vrtat i díry složitějších tvarů.

Broušení

Dokončovací operace založená na abrazi obráběného materiálu. Nástroj ve formě kotouče či speciálního tvaru je tvořen drobnými tvrdými částicemi spojenými pojivem. Při rychlém, zpravidla rotačním pohybu nástroje, jsou měkké částice obráběného materiálu vymílány tvrdými částicemi nástroje.

Lapování, superfinišování

Jsou technologické operace používané pro dokončovací úpravy povrchu na přesně kalibrované rozměry. Až do 0,0001 mm. Je dosaženo naprosto lesklých povrchů s drsností menší jak $Ra = 0,2$. K lapování se užívá speciálních past někdy v kombinaci s lapovacím kamenem.

Elektroerozivní obrábění

Jedná se o velmi přesnou metodu obrábění i složitých především vnitřních tvaru, pomocí tvarových elektrod. Obráběcí elektroda je spolu s obráběným materiálem ponořena v dielektrické kapalině. Při přiblížení elektrody dochází k průrazu dielektrika a vzniku výboje, který z materiálu vytrhává drobné částice. [7]

4.3 Příklad použití běžných technologií při výrobě forem na plasty:

V této části je rozebrána posloupnost výrobního procesu jedné dílčí součásti. Nejsou zde popsány principy jednotlivých technologií, ale jejich uplatnění ve výrobě této součásti. Použité technologie: frézování, vrtání, výroba závitů, tepelné zpracování, broušení, elektroerozivní obrábění a leštění.

1. *Frézování (hrubování)* tvoří hlavní proces, při kterém dochází k přetváření polotovaru v hotovou součást. Mezi první operace patří úhlování materiálu s následným hrubováním dělicí roviny, tvaru a vtoku. To znamená, že se s přídavkem obrobí funkční plochy. Nefunkční plocha, ke které patří i vtok, se frézuje na hotovo. Dále se na frézce může předvrtat díra pro vtokový kužel.
2. *Tepelné zpracování.* Po hrubovacím frézování a vrtání se závitováním přichází na řadu tepelné zpracování. Formu je zapotřebí tepelně zpracovat kalením s následným popuštěním.
3. *Broušení* vnějších ploch. Brousí se všechny vnější plochy součásti.
4. Frézování (načisto). Frézováním načisto se dokončí dělicí rovina a celý vtok. Tunelový vtok a kuželový vtok se nefrézují.
5. *Elektroerozivní* obrábění je posledním strojním obráběním. Jedná se o elektroerozivní hloubení. Obrábí se jím dutina formy, tunelový vtok a vtokový kužel.
6. *Leštění.* Finální operací je leštění dutiny formy. Na výlisku je požadovaná vysoká kvalita povrchu. Proto tato plocha na formě musí mít odpovídající kvalitu. Leští se do zrcadlové kvality. [5]

4.3 Speciální technologie výroby forem na plasty – RIM technologie

RIM (Rapid Injection Moulding) technologie je metodou, která se využívá v oblasti výroby plastových dílů. Umožňuje prototypovou, malosériovou a středně sériovou výrobu. Malé

série modelů se vyrábějí vakuovým litím polyuretanů do pružných forem, pro větší série firma používá RIM technologie nebo vstřikování do forem.

4.3.1 Uplatnění a princip RIM technologie:

Široký rozsah využití vzhledem k rozdílným vlastnostem dostupných typů materiálů. Uplatnění při výrobě dílů ve všech významných průmyslových odvětvích včetně automobilového průmyslu (například výroba nárazníků, spoilerů, těsnění) a leteckého průmyslu. Využití najde i v lékařství, elektrotechnice, při výrobě spotřebního zboží atd. Výrobní způsob RIM technologie, že se do vyhřáté formy je speciálním dávkovacím a směšovacími zařízeními dopravuje směs o nízké viskozitě. Ta polymeruje na hotový výrobek řádově za několik desítek sekund. Oproti klasickému vstřikování, kde je polymer vstřikován do studené formy pod vysokým tlakem, je u RIM technologie k dodání směsi použit pouze nízký tlak, blízký tlaku atmosférickému. To umožňuje vyrábět velké díly na relativně jednoduchém zařízení a použití lehkých forem.

4.3.2 Výroba forem

Jednou z hlavních výhod RIM technologie je konstrukce a výroba formy. Příslušnou formu je možné zhotovit frézováním, odlitím nebo kombinací obou metod. Výhodnost té které metody výroby formy je nutno posuzovat podle konkrétních případů, velmi důležité však je, zda vycházíme z CAD dat, technického výkresu nebo již zhotoveného modelu. Formy odlévané se dělí na malé (do 0,5m), střední (do 1m) a velké (nad 1m). Materiál odlévaných forem je závislý na velikosti formy a počtu odlitků. U forem do 1m a série do 500ks se forma odlévá z rychletuhnoucích polyuretanů (F16, F18, F19). U větších sérií (nad 500ks) se k výrobě formy používá epoxidová odlévací pryskyřice EPO 4030. U velkých forem se nanese na model v několika vrstvách povrchová pryskyřice a zalije se laminovací pryskyřicí a laminovací pastou. V případě potřeby se zhotoví rám pro zaručení rozměrové stability. Materiál frézovaných forem se volí v závislosti na požadované pevnosti a teplotní odolnosti. Využívá se například ocel, hliník, umělé dřevo, ale také speciální blokový materiál přímo určených pro výrobu RIM forem.

Materiály určené pro lití RIM technologií jsou dvousložkové polyuretany. Skládají se ze složky A (polyolu), která je volně měnitelná podle požadovaných vlastností výrobku, a složky B (izokyanátu), která je neměnná. Postup výroby RIM graficky viz obr. 17. [6]



Obr. 17 Fáze výroby technologií RIM [11]

4.3.3 Výhody RIM technologie

- jednoduchá konstrukce formy
- velmi nízké náklady na výrobu formy

- vlastnosti materiálů jsou na úrovni technických plastů
- díly bez vnitřního pnutí s rozdílnou tloušťkou stěny
- téměř žádné smrštění a deformace tvaru dílu
- formy můžeme frézovat, odlévat nebo obě metody kombinovat [6]

5 DISKUZE

Kompletní rešerše v podobě této bakalářské práce byla zkompletována na základě několika odborných knih zabývajících se tematikou plastů a plastových součástí kromě kapitoly: Rozbor materiálu plastických hmot, kde jsou uvedeny ze zdrojů především články o termoplastech a dalších důležitých typech plastů využívaných strojním průmyslem. Rešerše obsahuje i přibližně čtyřicet druhů nejčastějších využití plastových dílů, zpracovaných v podkapitolách. Stejným způsobem je zpracován seznam devíti nejpoužívanějších technologií, které jsou využívány ve strojírenském průmyslu. Dále práce obsahuje zpracování informací o formách využívaných při výrobě. Nechybí ani zmínka o nových, speciálních technologiích, které pracují s plastickou hmotou.

Rešerše byla provedena s ohledem na přiměřenou celkovou délku bakalářské práce tak, že u technologií zpracování a plastových jednotlivých dílů byly zmíněny základní a věcné fakta, která se k tomuto tématu vztahují. V případě zájmu o konkrétní zmíněné téma je možné na základě uvedených zdrojů a citací dohledat příslušnou knihu, a tam získat další podrobnosti.

Zmíněné metody se neustále vyvíjejí a zdokonalují, princip metod, uvedený v bakalářské práci, je však zachován. Posloupnost témat v jednotlivých kapitolách je řazena náhodně, nejedná se tedy o seřazení od nejpoužívanějších metod a podobně.

ZÁVĚR

V bakalářské práci jsou zhodnoceny veškeré známé používané způsoby zpracování a využívání plastických hmot, které se rozšiřují stále více do nejrůznějších průmyslových odvětví. Široké spektrum typů plastů nám umožňuje efektivně nahradit doposud používané materiály a často i ušetřit za nákladné drahé kovy, snížit nároky na konstrukci, obecně snížit hmotnost výrobků plastovými díly. Technologie a přísady přidávané do směsí k výrobě plastických hmot nás velmi přibližují k tomu, abychom získali požadované vlastnosti velice jednoduše a především levně.

Kromě výhod a zároveň i nevýhod plastů je vhodné zmínit ještě jednu, poslední výraznou nevýhodu plastických hmot, kterou je především kromě estetického vzezření i problém s recyklovatelností těchto materiálů. Zejména dobu jejich rozkladu ve volné přírodě. Z ekologických důvodů je nutné se starat o to, aby se plasty po skončení jejich užitečné životnosti dostávaly zpět tam, kde je můžeme znovu využít a recyklovat.

Při psaní této práce bylo prioritou uvádět podstatné informace z co největšího množství témat týkajících se tohoto oboru. Některé nákresy použité v tomto dokumentu jsou zjednodušené repliky složitějších mechanismů, které byly pro názornost vytvořeny v programu AutoCad.

Plasty se velmi rychle staly běžnou součástí našeho života, obklopují nás již prakticky na každém kroku. Díky rychlému vývoji technologií je možné očekávat, že z našeho běžného života nejenže nezmizí, spíše je v budoucnu uvidíme i v dalších rolích, které si zatím třeba ještě nedokážeme představit.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ŠTEPEK, Jiří. *Zpracování plastických hmot. 1. vydání Praha: SNTL, 1966. 200 s.*
- [2] KOLOUCH, Jan. *Strojní součásti z plastu. 1. vydání Praha: SNTL, 1981. 260 s.*
- [3] TOMIS, František a HELŠTÝN, Josef. *Formy a přípravky, BRNO: VUT, 1985. 278 s.*
- [4] BOBČÍK, Ladislav a kol. *Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů. 2. opr. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 133 s.*
- [5] HARÁK, Petr. *Řešení technologie formy na vstřikování plastu ve firmě VKV Horák. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 51 s. 5 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.*
- [6] DVOŘÁK, Zdeněk a LÉDLOVÁ, Hana. *Základy výrobních procesů. 1.vydání Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2007. 84 s. MSM 708352102.*
- [7] RUIBAR, Jakub. *Výroba součásti z plastu. Brno, 2009. 77 s., 55, CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojnírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.*
- [8] *Spojky s pryžovou obručí [online]. 2006 [cit. 2013-03-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.sigad.cz/spojky/spojky-s-pryzovou-obrucu-spo1/>>*
- [9] *Vyfukování, výroba tuhých těles [online]. [cit. 2013-03-10]. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/07.htm>*
- [10] KACHYŇA, Jiří. *Návrh a realizace vytlačovací hlavy na tubulární folii. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2011. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jakub Černý.*
- [11] *Rapid injection moduling [online]. [cit. 2013-03-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.youtube.com/watch?v=tvEAcGHZUc0>>*
- [12] *Countersunk head plastic screw [online]. 2013 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.directindustry.com/prod/alliance-plastics/countersunk-head-plastic-screws-56533-542244.html>>*
- [13] *Plastics specialist launches steel ball bearings [online]. 2012 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.drives.co.uk/fullstory.asp?id=1972>>*
- [14] *Revoluční výměnné převody pro SRC [online]. 2011 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://alsracing.net/?p=1467>>*
- [15] *Oxid sírový [online]. 2013 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_s%C3%ADrov%C3%BD>*
- [16] *Plastic mold and die casting [online]. 2011 [cit. 2013-03-15]. Dostupné z WWW: <http://www.diytrade.com/china/pd/9768118/Plastic_mold_and_die_casting.html#normal_img>*
- [17] *Measurment of T_g [online]. 2013 [cit. 2013-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/glass-transition/printall.php>>*

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
ABS	akrylonitril-butadien-styrenový kopolymer
CA	acetát celulózy
CAB	butyro-acetát celulózy
EVA	ethylen-vinyl-acetátový kopolymer
EP	epoxidová pryskyřice
PA	polyamid
PB	butadienový kaučuk
PBT(P)	polybutylentereftalát
PC	polykarbonát
PE	polyethylen
PET(P)	polyethylentereftalát
PI	polyimid
PPMMA	polymethylmetakrylát
POM	polyoxymethylen
PP	polypropylen
PPO	polyfenyloxid
PS	polystyren
PTFE	polytetrafluorethylen
PUR	polyurethan
PVC	polyvinylchlorid
PVCC	chlorinated poly(vinyl chloride)
SAN	styren-akrylonitrilový kopolymer
UP	nenasycený polyester

Symbol	Jednotka	Popis
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
E _k	[MPa]	konstrukční (zdánlivý) modul pružnosti v tahu
G	[MPa]	modul pružnosti ve smyku

T_g	[°C]	teplota skelného přechodu
γ	[-]	zkos (smyková deformace)
ε	[-]	deformace (měrné prodloužení)
η	[Pas]	Newtonova dynamická viskozita hmoty při dané teplotě
μ	[-]	Poissonovo číslo
σ_D	[MPa]	dovolené napětí
τ	[MPa]	smykové napětí
φ_t	[-]	viskoelastická deformace

