

Vliv změny procesních parametrů vstřikování na výsledné mechanické vlastnosti neplněných polymerů

Tomáš Jegla

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Tomáš JEGLA

Osobní číslo: T07344

Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: Technologická zařízení

Téma práce: Vliv změny procesních parametrů vstřikování na výsledné mechanické vlastnosti neplněných polymerů.

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studie na dané téma**
- 2. Příprava vzorků pro test mechanických vlastností**
- 3. Test mechanických vlastností**
- 4. Vyhodnocení naměřených výsledků.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP.

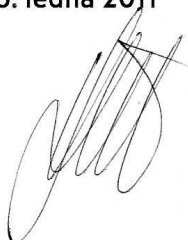
ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
PROJEKT ÚSTAVU PRO VÝROBNÍ INŽENÝRSTVÍ

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Mañas, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

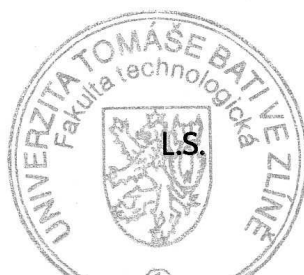
Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2011**

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 10.5.2011



.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) *Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.*

(3) *Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.*

²⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

(3) *Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).*

³⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*

(2) *Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.*

(3) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Předložená bakalářská práce se zabývá vlivem změny procesních parametrů (změna teploty formy) při vstřikování na výsledné mechanické vlastnosti výstřiků. Zvoleny byly materiály HDPE A PP. Mechanické vlastnosti byly hodnoceny zkouškami tvrdosti a tahovými zkouškami na připravených zkušebních tělesech, při teplotách formy 100°C, 60°C a 20°C.

Klíčová slova: termoplasty, vstřikovací stroj, zkouška tahem a měření tvrdosti

ABSTRACT

The presented thesis deals with the influence of changes in process parameters (mold temperature change) of injection on the resulting mechanical characteristics of ejections. Selected were these materials: HDPE and PP. Mechanical properties were evaluated by hardness tests and tensile tests on benchmarks at form temperatures 100 ° C, 60 ° C and 20 ° C.

Keywords: thermoplastics, injection machine, tensile test and hardness measurement.

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Davidu Maňasovi Ph.D. za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady a soustavnou pozornost, kterou mi věnoval při zpracování bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TERMOPLASTY	12
1.1 DRUHY TERMOPLASTŮ	13
1.1.1 Polyetylen (PE).....	13
1.1.2 Polypropylen (PP)	13
1.1.3 Polyvinylchlorid (PVC).....	13
1.1.4 Polystyrén (PS).....	14
1.1.5 Polykarbonát (PC).....	14
1.1.6 Vícekomponentní plasty.....	14
1.1.7 Polyamidy (PA).....	14
1.1.8 Polymethylmetakrylát (PMMA).....	15
1.1.9 Polytetrafluoretylen (PTFE), teflon.....	15
1.1.10 Polyoximetylen (POM)	15
1.1.11 Polybutylentereftalát (PBT).....	15
2 VSTŘIKOVACÍ STROJ	16
2.1 ČINNOST VSTŘIKOVACÍHO STROJE	17
2.2 UZAVÍRACÍ JEDNOTKA.....	18
2.3 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA.....	19
2.3.1 Vstřikovací jednotka bez předplastikace.....	19
2.3.2 Vstřikovací jednotka s předplastikací	20
2.4 VSTŘIKOVACÍ TRYSKY.....	21
2.5 ENERGETICKÁ NÁROČNOST VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ	22
2.6 ŘÍZENÍ A REGULACE VSTŘIKOVACÍCH STROJŮ	23
2.7 TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY VSTŘIKOVÁNÍ DO FOREM	24
2.7.1 Tavní teplota.....	24
2.7.2 Teplota formy	25
2.7.3 Vstřikovací a doplňovací tlak.....	25
3 ZKOUŠKA TAHEM A MĚŘENÍ TVRDOSTI	26
3.1 ZKOUŠKA TAHEM	26
3.2 MĚŘENÍ TVRDOSTI.....	29
3.2.1 Zkouška tvrdosti podle Vickerse (ČSN EN ISO 6507-1)	29
3.2.2 Zkouška tvrdosti podle Knoopu (ČSN EN ISO 4545-1).....	30
3.2.3 Zkouška tvrdosti podle Rockwella (ČSN EN ISO 6508).....	30
3.2.4 Zkouška tvrdosti podle Brinella (ČSN EN ISO 6505-1).....	31
3.2.5 Metoda SHORE	32
3.2.5.1 Princip zkoušky.....	32
3.2.5.2 Zkušební zařízení.....	33
3.2.5.3 Zkušební tělesa (vzorky).....	33
3.2.5.4 Provedení zkoušky	34

3.2.5.5	Zápis hodnoty tvrdosti	34
3.2.5.6	Související normy	35
3.3	CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	35
II	PRAKTICKÁ ČÁST	36
4	URČOVÁNÍ TVRDOSTI	37
4.1.1	Měřicí zařízení	37
4.1.2	Vyhodnocení tvrdosti	38
4.2	TYPY VZORKŮ A JEJICH VYHODNOCENÍ	39
5	POPIS STROJE ZWICK PRO ZKOUŠKU TAHEM.....	40
5.1	METODIKA MĚŘENÍ ZKOUŠKY TAHEM.....	41
5.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	43
5.3	POROVNÁNÍ TAŽNOSTI AS	44
5.4	POROVNÁNÍ MODULU PRUŽNOSTI E.....	45
5.5	POROVNÁNÍ MAXIMÁLNÍHO NAPĚTÍ R_m	46
5.6	POROVNÁNÍ MAXIMÁLNÍ SÍLY F_m	47
6	DISKUZE VÝSLEDKŮ	48
7	UKÁZKA PŘETRŽENÝCH VZORKŮ	52
8	UKÁZKA TAHOVÝCH DIAGRAMŮ	53
	ZÁVĚR	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	55
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	58
	SEZNAM TABULEK.....	60
	SEZNAM PŘÍLOH.....	61

ÚVOD

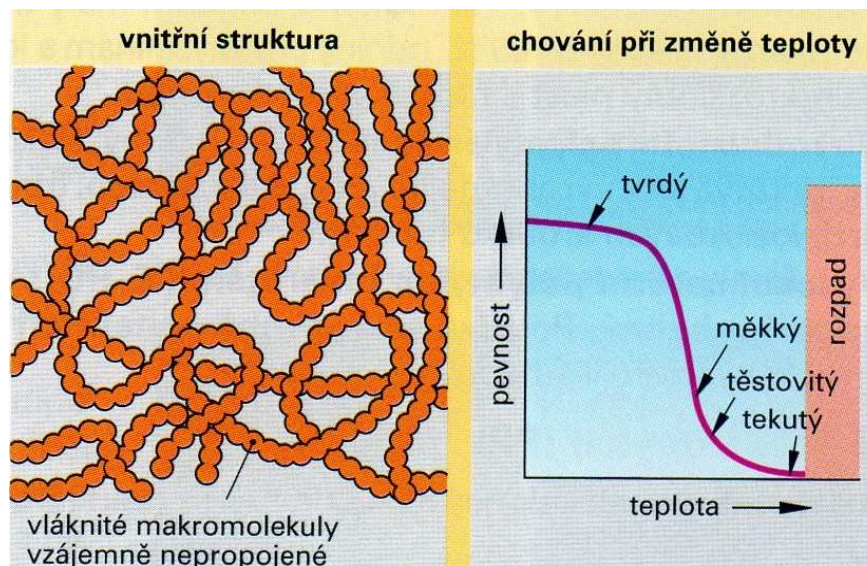
Plasty jsou dnes důležité téměř pro všechna průmyslová odvětví. Plastové výrobky lze dnes nalézt ve většině oborů lidské činnosti. Základní spotřebu plastů ve světě pokrývají standardní termoplasty, pro vstřikování má největší význam skupina konstrukčních plastů a na vrcholu spotřební pyramidy plastů je možno nalézt plasty speciální, které jsou svými jedinečnými vlastnostmi určeny do nejnáročnějších podmínek se širokou škálou použitelnosti.

Jejich uplatnění v budoucnosti se bude dále prohlubovat s rostoucím pokrokem vědy a techniky.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TERMOPLASTY

Termoplasty se skládají z velmi dlouhých molekul tvaru tenkých vláken, která nejsou mezi sebou propojena chemickými vazbami. Soudržnost těchto plastů a jejich pevnost je způsobena hustým propletením těchto vláken, jejich adhezí a vzájemným třením. Při pokojové teplotě jsou termoplasty tuhé a elastické. S rostoucí teplotou roste jejich elasticita, která se mění na plasticitu a potom na tekutý stav. Při opětovném ochlazení se vlastnosti termoplastů vrátí do původního stavu. Termoplasty se dají za tepla tvářet a svařovat. Termoplasty mají svůj název podle plasticity za tepla (řecky thermo=teplo). Po překročení kritické teploty (u PVC až 180°C) vykazuje termoplast známky degradace. Chlor, fluor nebo brom zlepšuje u plastu teplotní odolnost a požární bezpečnost.



Obr. 1 Termoplasty [1]

1.1 Druhy termoplastů

Termoplasty představují největší skupinu plastů. Vyrábí se mnoho druhů termoplastů s velmi odlišnými vlastnostmi. Z termoplastů se dají vyrábět díly velmi levně vstřikováním do forem a vytlačováním. Kromě toho je možné výrobky z termoplastů dále tepelně tvářet nebo svařovat. [1]

1.1.1 Polyetylen (PE)

Vlastnosti: bezbarvý, voskovitého vzhledu, malý třecí odpor, tvarově pevný do 80°C, odolný proti kyselinám a louhům. Velmi rozšířený plast s velmi nízkou cenou.

Nízkohustotní polyetylen (igelit, PE-LD): tuhý, těžko ohebný, používá se k výrobě igelitových tašek, nádob, trubek, nádrží, ložiskových kroužků.

Vysokohustotní polyetylen (mikrotén, PE-HD): měkký, odolný, ohebný. Používá se v výrobě nejtenších sáčků, smršťovacích fólií a hadic.

1.1.2 Polypropylen (PP)

Vlastnosti: velmi podobný PE-LD(tuhý), je však tvarově stálý až do 130°C.

Použití: nádrže praček, díly osobních automobilů, palivové nádrže.

1.1.3 Polyvinylchlorid (PVC)

Vlastnosti: bezbarvý, odolný proti chemikáliím.

Neměkčený PVC (PVC-U): tvrdý, houževnatý, těžko zlomitelný.

Měkčený PVC (PVC-P): elastický jako pryž nebo kůže. K měkčení PVC se používají ftaláty nebo také kadmium a olovo. Z těchto důvodů se nesmí měkčený PVC používat ve zdravotnictví a na výrobu hraček.

Použití: neměkčený PVC: odpadní trubky, kryty, okenní rámy, vodní armatury. Měkčený PVC: umělá kůže, hadice, holínky, ochranné rukavice, izolace a pláště kabelů.

1.1.4 Polystyrén (PS)

Vlastnosti: hladký a kompaktní povrch, odolnost proti slabým kyselinám a louhům. Čistý PS je tuhý, tvrdý, křehký a citlivý na náraz.

Kopolymery polystyrenu. K odstranění křehkosti se do výchozí suroviny styrenu přidává akrylonitril, butadien, nebo obě přísady. Rozlišují se kopolymery s označením ABS, SAN, ASA, které jsou tuhé a houževnaté, tj. odolné proti nárazu.

Použití: skříně a kryty strojů, vnitřní části karosérie osobních aut.

Pěnový polystyrén (PS-E): Zpěnovatelný polystyren napěněný plynem tvoří pevnou pěnovou hmotu s uzavřenou porézní strukturou a má hustotu přibližně $0,02 \text{ kg/dm}^3$. Má vynikající tepelně-izolační vlastnosti. Používá se pro něj také označení styropor nebo hostapor.

Použití: izolační desky, výplně transportních obalů přístrojů citlivých na otřesy.

1.1.5 Polykarbonát (PC)

Vlastnosti: čirý jako sklo, stálý na světle, nezkrslující průhled. Velká pevnost, houževnatost a odolnost proti rozbití rázem. Odolný proti zředěným kyselinám. Hustota $1,2 \text{ kg/dm}^3$ je poloviční než hustota okenního skla, které PC nahrazuje.

Použití: nerozbitné zasklení, kryty svítidel, PC je těžce hořlavý

1.1.6 Vícekomponentní plasty

Vícekomponentní plasty jsou tvořeny směsí dvou a více plastů. Směs má vlastnosti kombinované z vlastností složek. Příkladem je ASA+PC, složená z kopolymerů akrylonitril/styren/akrylester a polykarbonát. Má tvarovou stálost do 120°C .

Použití: pouzdra a kryty elektrických a elektronických přístrojů a zařízení.

1.1.7 Polyamidy (PA)

Vlastnosti: mléčně bílé, hladký povrch s malým třením.

Odolné proti chemikáliím a rozpouštědlům. Tvrdé a houževnaté, pevnost v tahu do 70 N/mm^2 .

Použití: ozubená kola, ložiskové pánve, věnce kuličkových ložisek, vodící lišty, těleso sdružených sacích potrubí osobního automobilu.

1.1.8 Polymethylmetakrylát (PMMA)

Vlastnosti: bezbarvý, čirý jako sklo, nezkrsluje průhled. Tvrdý, houževnatý, odolný proti rozbití, tvárný za tepla. Odolný proti zředěným kyselinám a louhům i atmosférickým vlivům. Není odolný proti acetonu, benzínu, aromatickým uhlovodíkům, alkoholům, trichlorethylenu, horké vodě atd., podobně jako PC.

Použití: ochranné brýle, průhledné kryty, kryty zadních světel automobilů.

1.1.9 Polytetrafluoretylen (PTFE), teflon

Vlastnosti: mléčně bílý voskového vzhledu, hladký povrch, měkký, ohebný, houževnatý a otěruvzdorný. Odolný proti většině chemikálií. Velká teplotní stálost od -150°C do $+280^{\circ}\text{C}$.

Použití: Pánve ložisek, kluzné vodící dráhy, těsnění, povlaky součástí, mazivo, skluznice lyží, povrch nádobí.

1.1.10 Polyoximetylen (POM)

Vlastnosti: mléčně bílý, hladký povrch odolný proti otěru a malým třením, velká pevnost, tuhost a tvrdost i při nízkých teplotách, pružnost. Odolný proti rozpouštědlům, slabým kyselinám a louhům, dobře obrobitelný.

Použití: ozubená kola, články řetězů, západkové spojovací díly.

1.1.11 Polybutylentereftalát (PBT)

Vlastnosti: barva slonové kosti, hladký otěruvzdorný povrch, velká tuhost, tvarová stálost, rozměrová stálost do 140°C . Odolný proti pohonným hmotám, mazivům a rozpouštědlům, dobře obrobitelný, dobré elektrické izolační vlastnosti.

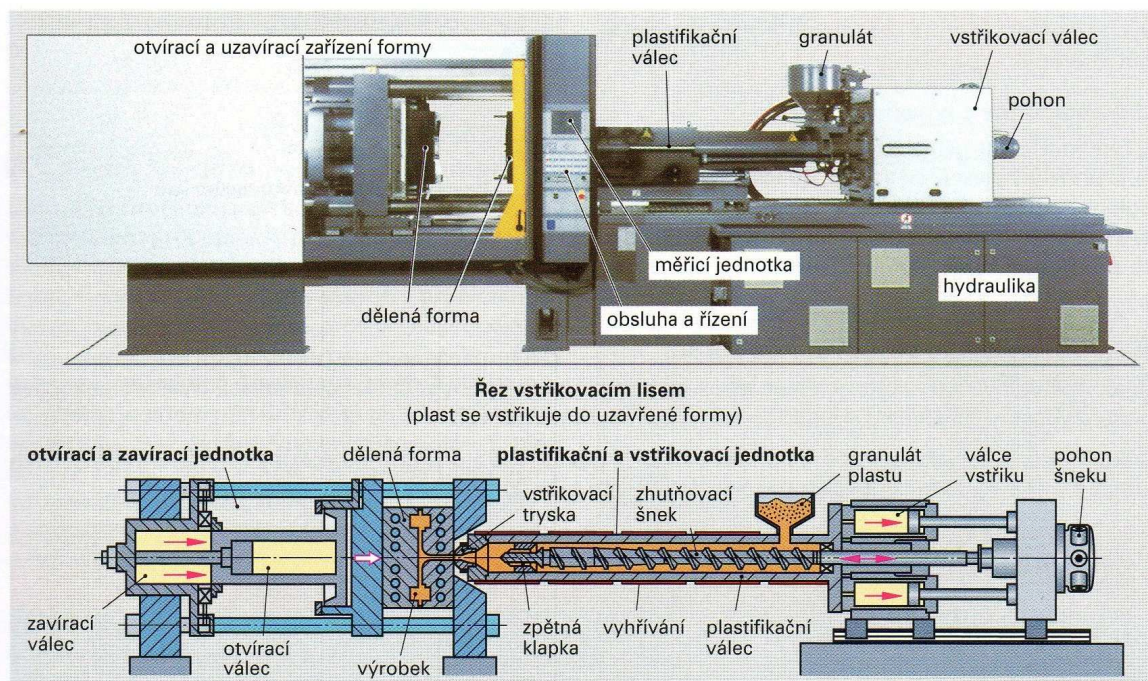
Použití: kryty elektrických přístrojů, pouzdra, desky plošných spojů.

2 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Vstřikovací stroj se skládá ze dvou jednotek na společném podstavci (základu stroje), a to z plastikační a vstřikovací jednotky a dále z dělené formy s uzavíracím a otevíracím (hydraulickým) zařízením. Na vstřikovacích strojích lze vyrábět i výrobky velmi složitých tvarů v úzkých výrobních tolerancích a v obrovských sériích. Vstřikované výrobky nacházejí využití v domácnostech, ve spotřebním průmyslu, strojírenském, automobilovém průmyslu, elektrotechnice atd.

Plastikační jednotka se skládá z plastikačního válce s vylačovacím šnekem. Šnek má podobný tvar jako šnek extrudéru pro vylačování. Má však navíc zpětnou klapku. Plastikační válec má uzavíratelnou vstřikovací trysku.

Otvírací a zavírací jednotka má hydraulický válec pro otevírání formy a hydraulické válce pro pevné uzavření dělené formy. Otvírací válce otevrou po vychladnutí povrchu formy. Zavírací válce drží obě části pevně u sebe proti tlaku vtláčeného plastu. Plastikační šnek pracuje kontinuálně. Ohřívá, mísí a vytlačuje hmotu plastu s požadovanou teplotou a viskozitou, připravuje tedy tekutý plast ke vstřikování do vstřikovací formy. [1]



Obr. 2 Vstřikovací stroj [1]

2.1 Činnost vstřikovacího stroje

Vstřikování do formy probíhá jako koordinovaná činnost vstřikovací jednotky a jednotky s dělenou formou (obr. 3).

Uzavření formy a vstřik plastu

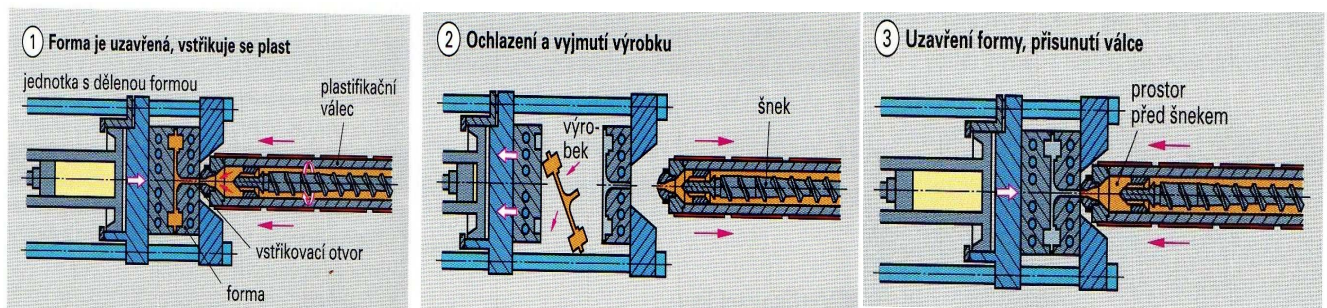
Po uzavření dvojdílné formy se k ní přisune plastikační válec a vtlačí vstřikovací trysku do vstřikovacího otvoru formy. Píst plastikační jednotky posune šnek směrem k trysce a prudce vytlačí tekutý plast před šnekem do formy. Tím se vyplní forma. Šnek se však stále otáčí a vytlačuje do formy další plast vyrovnávající pokles objemu způsobený chladnutím plastu ve formě. Tlak stoupne až na 200MPa. Vzduch při tom unikne odvodušňovacími kanálky mezi oběma polovinami formy.

Chlazení a otevření formy

Při vstřikování termoplastu jsou obě poloviny formy chlazené. Vstříknutá forma postupně od stěn formy vychladne a získá svůj konečný tvar. Vstřikovací tryska se uzavře a plastikační válec se přesune zpět do výchozí polohy. Forma se otevře a vylisek je vyfouknut stlačeným vzduchem.

Uzavření formy a přisunutí válce

Dvoudílná forma je uzavřena. Otáčející se šnek zhutňuje ohříváný plast před sebou, odtlačuje se do zadní polohy a vytváří v prostoru před sebou zásobu plastu pro vstřik do formy. Po dosažení vstřikovacího tlaku se zhutňovací válec přisune k formě a začne nový výrobní cyklus. [1]

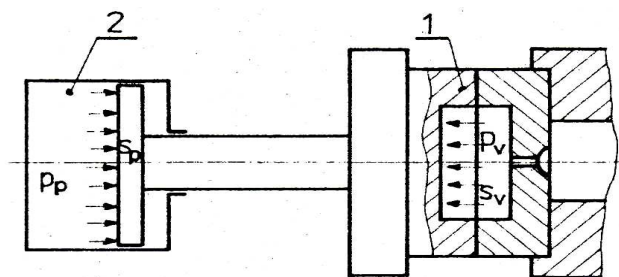


Obr. 3 Pracovní cyklus vstřikovacího stroje [1]

2.2 Uzavírací jednotka

Vstřikovací stroje mají nosnou konstrukci obvykle sloupovou. Menší stroje mívají konstrukci dvousloupovou, větší čtyřsloupovou. Nosné sloupy spojují jednotlivé části stroje a zároveň slouží k vedení jeho pohyblivých částí. Otevření a bezpečné uzavření formy zajišťuje uzavírací ústrojí. Potřebná uzavírací síla je závislá na velikosti stroje, resp. na velikosti plochy průřezu výstřiku v dělicí rovině a na velikosti vstřikovacího tlaku. Uspořádání uzavírací jednotky a tuhost uzavíracího mechanismu má rozhodující vliv na těsnost formy.

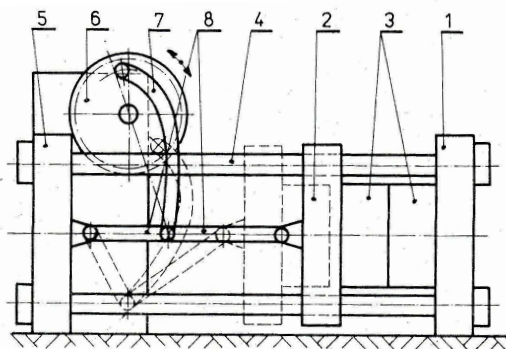
Podle druhu pohonu lze rozdělit uzavírací jednotky na hydraulickou, hydraulickomechanickou a elektromechanickou. [2]



Hydraulická uzavírací jednotka

1 - forma, 2 - hydraulický válec

Obr. 4 Hydraulická uzavírací jednotka [2]



Obr. 4.15 Elektromechanické uzavírací ústrojí

1 - pevná upínací deska, 2 - pohyblivá upínací deska, 3 - dělená vstřikovací forma, 4 - nosné sloupy, 5 - rám stroje, 6 - klikový kotouč, 7 - ojnice, 8 - pákový mechanismus

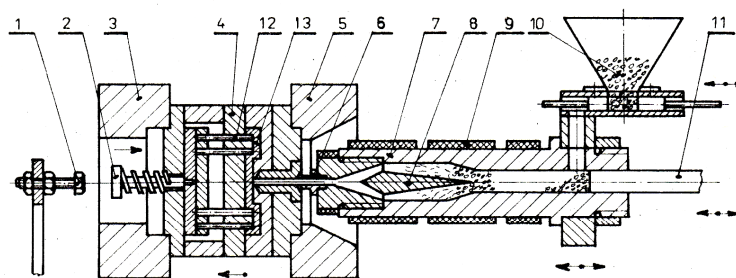
Obr. 5 Elektromechanické uzavírací ústrojí [2]

2.3 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka musí zajistit dokonalou plastikaci a homogenizaci taveniny a dostatečně vysoký vstřikovací tlak. Vstřikovací jednotky se obvykle dělí podle způsobu plastikace. [2]

2.3.1 Vstřikovací jednotka bez předplastikace

Ve vstřikovací jednotce bez předplastikace probíhá plastikace v tavící komoře (pístová plastikace) nebo v pracovním válci (šneková plastikace). Při pístové plastikaci se dávkuje zpracovaný materiál dávkovacím zařízením do tavící komory a to buď objemově nebo hmotově. V tavící komoře se materiál roztaví a tavenina se vstříkne vstřikovacím pístem do formy. Teplo potřebné k ohřátí materiálu z počáteční teploty na teplotu vstřikování dodávají pásová topná tělesa. Výhodou vstřikovacích jednotek s pístovou plastikací je jednoduchá konstrukce a snadné docílení poměrně vysokých vstřikovacích tlaků (přes 100 MPa). Nevýhodou je horší homogenizace taveniny.



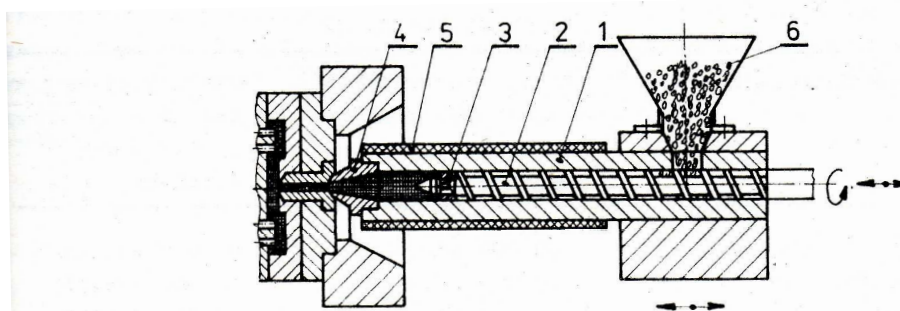
Obr. 4.18 Pístová plastikace

1 - vyhazovací doraz, 2 - tyč vyhazovače, 3 - zadní upínací deska, 4 - dělená vstřikovací forma, 5 - přední upínací deska, 6 - vstřikovací tryska, 7 - tavící komora, 8 - torpédo, 9 - topné těleso, 10 - dávkovací zařízení, 11 - vstřikovací píst, 12 - vyhazovače, 13 - výstřik

Obr. 6 Pístová plastikace [2]

U vstřikovací jednotky s šnekovou plastikací vstupuje zpracovávaný materiál z násypky do pracovního válce. V pracovním válci se šnekem plastikuje, homogenizuje a dopravuje před špicí šneku. Šnek se otáčí a posouvá směrem dozadu, čím vytváří prostor pro taveninu. Po zplastikování potřebného množství se materiál axiálním pohybem šneku vstříkne přes vstřikovací trysku do formy. Pracovní válec je opatřen topením. Přímočarý i rotační pohyb šneku bývá většinou realizován přímočarým nebo rotačním hydromotorem, popř. elektro-

pohonem s mechanickými převody. Aby byl umožněn axiální pohyb, je hnací kolo i hřídel šneku opatřen drážkováním. U nízkoviskózních materiálů má tavenina při vstřiku tendenci vracet se zpět do šnekového kanálu. Z těchto důvodů je na čele šneku zabudován zpětný uzávěr. Zpětné ventily umožňují dosažení vysokých vstřikovacích tlaků a zaručují dostatečnou dobu setrvání materiálu ve šnekovém kanálu. Teplotní režim stejně jako geometrie šneku závisí na druhu zpracovávaného materiálu. Šneková plastikace dává větší výkony než pístová. Také rovnoměrnost prohřevu a homogenizace taveniny je lepší.



Obr. 4.21 Šneková plastikace

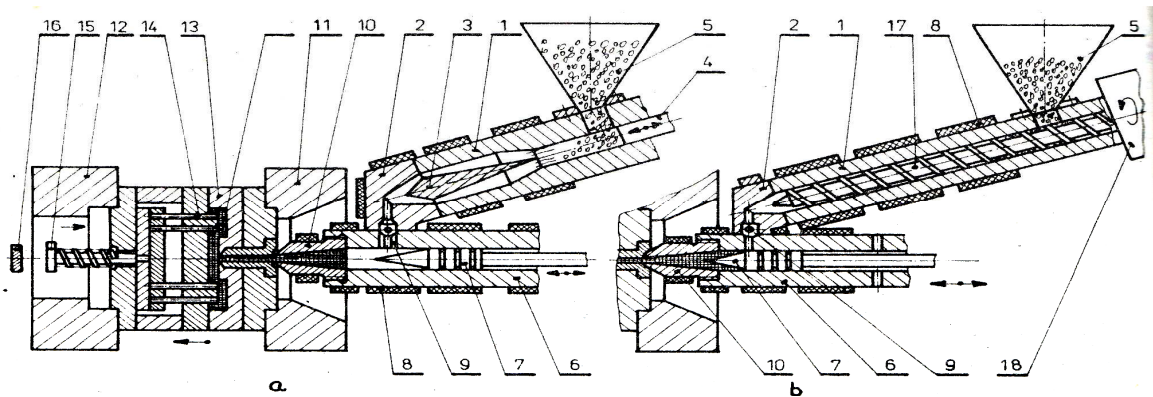
1 - pracovní válec, 2 - šnek, 3 - zpětný uzávěr, 4 - vstřikovací uzávěr, 5 - topné těleso, 6 - násypka

Obr. 7 Šneková plastikace [2]

2.3.2 Vstřikovací jednotka s předplastikací

Zajištění dostatečného plastikačního výkonu a dokonalé homogenizace taveniny vedly k rozdělení vstřikovací jednotky na část plastikací a část vstřikovací. Zpracovávaný materiál se plastikuje v oddělené plastikací jednotce a takto a takto připravená tavenina se dopravuje do vstřikovacího válce, odkud se pak odkud se pak vstříkne pístem do formy. Toto uspořádání umožňuje i výrazné zkrácení vstřikovacího cyklu. Plastikace může probíhat v plastikační komoře (pístová plastikace) nebo v pracovním válci (šneková plastikace). Vstřikování je v obou případech zajištěno vstřikovacím pístem. U pístové předplastikace se tavenina připravuje v tavící komoře, opatřené torpédem a topením. Tavící komora je zakončena hlavou, jejímž prostřednictvím je spojena se vstřikovacím válcem. Připravená tavenina se dopraví před vstřikovací píst a je vstříknuta přes vstřikovací trysku do formy. Aby nedocházelo k přetlačování taveniny ze vstřikovacího válce zpět do tavící komory, je vřazen mezi vstřikovací válec a hlavu tavící komory zpětný ventil. Šneková předplastikace, i když složitější, se vyskytuje častěji. Toto uspořádání umožňuje spojit výhody šnekové

plastikace s výhodami vstřikování pístem. Dosahuje se tím rychlé a dokonalé plastikace materiálu a vysokých vstřikovacích tlaků i rychlostí. V šnekové plastikaci se lépe ovládají plastikací podmínky a dosahuje se vyšších výkonů. Nevýhodou tohoto uspořádání je složitost a vyšší nároky na seřizování a údržbu. Uplatnění nacházejí zejména při vstřikování objemových výrobků.



Obr. 4.23 Vstřikovací jednotka s předplastikací

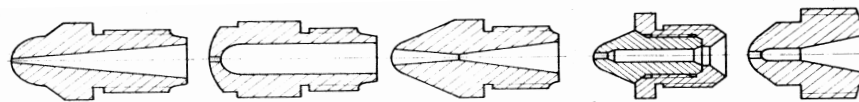
a - pístová předplastikace, b - šneková předplastikace

- 1 - tavicí komora, 2 - hlava tavicí komory, 3 - torpédo, 4 - plastikační píst,
 5 - násypka, 6 - vstřikovací válec, 7 - vstřikovací píst, 8 - topení, 9 - uzávěr,
 10 - vstřikovací tryska, 11,12 - upínací desky, 13 - forma, 14 - vyhazovače,
 15,16 - doraz vyhazovače, 17 - plastikační šnek, 18 - pohon plastikačního šneku

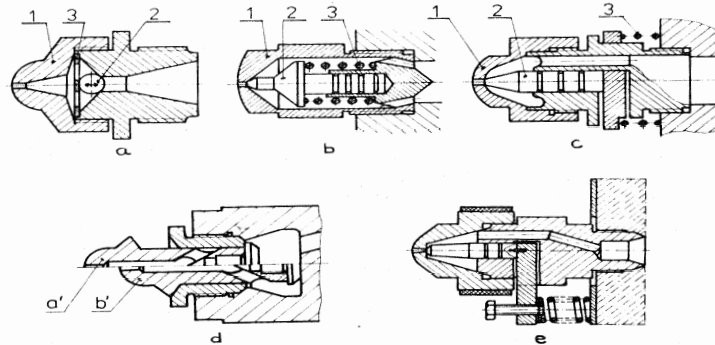
Obr. 8 Vstřikovací jednotka s předplastikací [2]

2.4 Vstřikovací trysky

Vstřikovací tryska zajišťuje dočasné spojení vstřikovací jednotky s formou. Toto spojení musí být dokonalé a těsné. Konstrukční provedení vstřikovacích trysek závisí na druhu zpracovávaného materiálu. Mohou být řešeny jako volně průtočné nebo uzavíratelné. Volně průtočné trysky jsou vhodné pro krátké vstřikovací cykly a materiál s vyšší viskozitou taveniny. Uzavíratelné trysky se používají při vstřikování nízkoviskózních tavenin, zejména při vertikálním uspořádání vstřikovací jednotky. Jsou ovládány dosednutím na formu nebo samostatným mechanickým umístěním nebo vně trysky. U řešení a je průtok trysky uzavírán kuličkou zatlačovanou do sedla plochou pružinou. U jiného řešení tvoří uzavírací element jehla, která se otevírá tlakem taveniny a uzavírá pružinou umístěnou buď uvnitř nebo vně trysky. [2]



Obr. 4.25 Volně průtočné vstříkovací trysky



Obr. 4.26 Uzavíratelné trysky

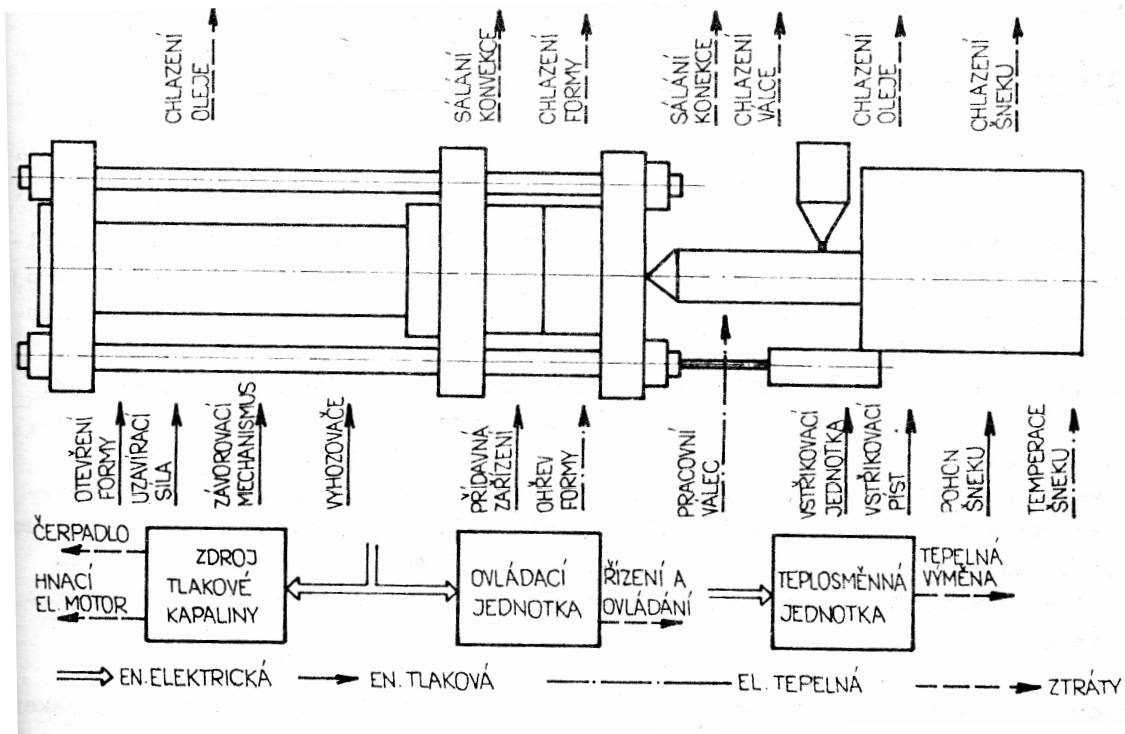
1 - hlava trysky, 2 - uzavírací jehla (kulička), 3 - pružina

Obr. 9 Trysky [2]

2.5 Energetická náročnost vstříkovacích strojů

Elektrická energie odebírána ze sítě je ve vstříkovacím stroji spotřebovávána jako energie tlakové hydraulické kapaliny, energie tepelná a energie elektrická. Energie tlakové hydraulické kapaliny se spotřebovává v pohonech uzavírací jednotky, vstříkovací jednotky, popř. v pohonech přídavných zařízení a na pokrytí hydraulických a hydraulicko-mechanických ztrát. Tepelná energie slouží k temperování formy, plastikačního válce popř. i šneku a ke krytí odpovídajících ztrát. Elektrická energie zajišťuje zejména vlastní spotřebu řídicí a ovládací jednotky vstříkovacího stroje. Pohon šneku lze realizovat buď hydromotorem nebo je použit elektrický pohon. Průběh energetické spotřeby pohonů vstříkovacího stroje je charakterizován jednak krátkodobými výkonovými špičkami, jednak celkovou spotřebou energie při průměrném výkonu. Spotřeba energie v průběhu vstříkovacího cyklu je u jednotlivých spotřebičů velmi rozdílná. Nejvyšší spotřebu energie po relativně krátký čas vykazuje vstříkovací válec, avšak největší množství energie během pracovního cyklu odebírá pohon plastikačního šneku. Z obrázku vyplývá, že během cyklu existují úseky, kdy některá energetická centra pracují s částečným zatížením nebo dokonce naprázdno. Tyto úseky jsou z hlediska energetické spotřeby nejméně příznivé. Nejvíce by měl být omezen zejména chod naprázdno, kdy jsou ztráty hydraulických jednotek největší. Spotřeba energie uzavírací jednotkou dosahuje maxima v krátkém časovém úseku, kdy se vyvozuje uzavírací síla. Uzavírací jednotka ovlivňuje dobu běhu naprázdno hydraulických pohonů ostatních skupin

stroje a má tedy rozhodující vliv na výši energetických ztrát a také na produktivitu celého zařízení. [2]



Obr. 10 Rozdělení spotřeby energie ve vstřikovacím stroji [2]

2.6 Řízení a regulace vstřikovacích strojů

Řízení a regulaci je nutno považovat za neoddelitelnou součást funkce vstřikovacího stroje. Pod pojmem řízení a regulace se rozumí snímání a sledování strojních a technologických parametrů spolu s jejich následnou regulací tehdy, překročí-li naměřené hodnoty přípustnou toleranci. Na strojích se obvykle nastavuje teplota jednotlivých zón vstřikovacího válce a formy, vstřikovací tlak, dotlak, časové úseky pracovního cyklu, otáčky plastikačního šneku, vstřikovací rychlost, vstřikovací objem, uzavírací a dosedací rychlost formy. Stav plastu a podmínky vstřikování jsou určeny technologickými parametry. Z této oblasti nás zajímá zejména teplota a tlak taveniny ve válci, teplota a tlak ve formě, doba vstřiku, doba chlazení aj. Řízením vstřikovacího procesu se rozumí ruční nebo automatické nastavení strojních parametrů bez zpětného hlášení o skutečných hodnotách nastavených veličin. Regulace vstřikovacího procesu umožňuje využít naměřených hodnot pro korekci případných odchylek od nastavených hodnot. Snahou je omezit v procesu vstřikování lidský faktor na nejmenší míru. U běžných vstřikovacích strojů je zajištěn automatický sled jednotlivých operací. U starších strojů se provádí nastavení strojních parametrů obvykle ručně, např. škrtí-

cím ventilem, koncovými spínači, regulátor teploty aj. Moderní vstřikovací stroje jsou vybaveny dokonalejšími hydraulickými prvky, měřením tlaků, teploty a jednotlivých pohybů. Snímače hodnoty jsou využívány pro elektronické řízení procesu. To má význam pro dosažení velké reprodukovatelnosti nastavených parametrů. Dosahuje se tak stejnoměrné a vysoké kvality výstřiků, minimální zmetkovitosti a vysoké produktivity. Veškeré ovládání moderních vstřikovacích strojů se dnes děje elektronicky při rychlém rozšiřování mikroprocesorů. Na základě připraveného programu uloženého v paměti centrální řídicí jednotky umožňují mikroprocesorové systémy optimalizaci procesu. Vstřikovací stroje vybavené těmito řídicími systémy umožňují tzv. adaptivní regulaci vstřikovacího procesu, kdy je proces řízen podle stavu vstřikovací hmoty a hotového výrobku. U složitějších tvarů výstřiku s různou tloušťkou stěn, u výstřiku s vysokou přesností a tam, kde jsou požadavky na vysokou kvalitu povrchu se uplatňuje programové vstřikování umožňující docílení různých vstřikovacích rychlostí během jednoho cyklu.

Použití těchto řídicích systémů zvyšuje kvalitu výrobku. Je však nutné brát v úvahu, že cena takto vybraných strojů je mnohem vyšší než strojů klasických a roste i nárok na vysoce kvalifikovanou obsluhu a údržbu. [2]

2.7 Technologické parametry vstřikování do forem

Technicky dokonalý výrobek ze vstřikovacího lisu je podmíněn optimálním sladěním vlastností plastů, vstřikovací jednotky, vstřikovací formy a také průběhu teplot a rychlostí pohybů. Polohy pohyblivých částí a teploty (parametry procesu) se mění na mnoha místech vstřikovacího stroje a průběhy se regulují podle nastavených parametrů. Nejdůležitějšími parametry jsou teplota a tlak vstřikovaného plastu a teplota formy. [1]

2.7.1 Tavní teplota

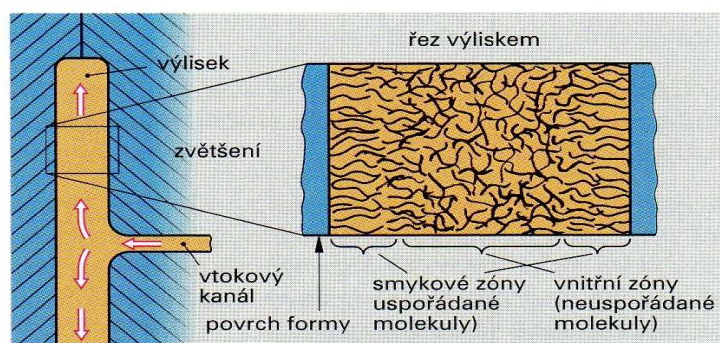
Je určující pro tekutost plastu před vstřikováním. Leží podle typu plastu mezi 200°C a 250°C např. pro termoplastický polyuretan a mezi 260°C a 300°C pro polyamidy a polykarbonáty. Příliš nízká teplota může být příčinou neúplného vyplnění formy a příliš vysoká teplota může poškodit strukturu vstřikovaného materiálu.

2.7.2 Teplota formy

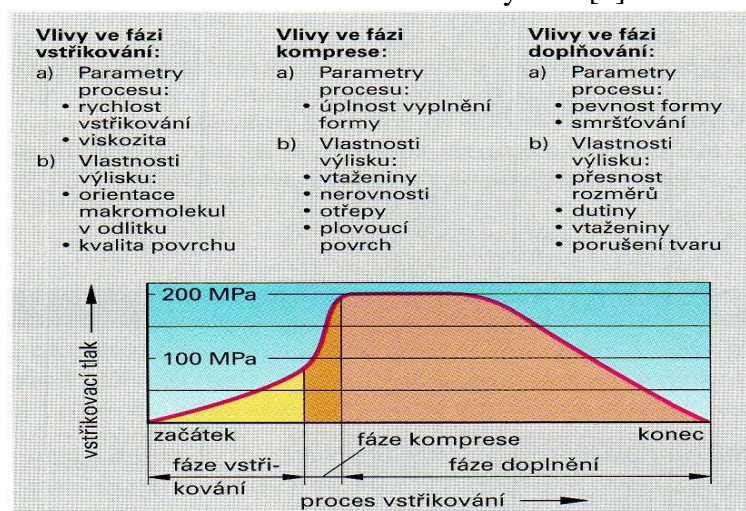
Ovlivňuje zpomalování proudění plastu kolem stěn při vyplňování formy a tím změnu směru vláken makromolekul plastu. Příliš chladná forma tak může nepříznivě ovlivnit vnitřní strukturu vylisku a tím i povrchovou pružnost výrobku. Teplota formy se většinou udržuje mezi 80°C a 120°C. Při této teplotě je výrobek při vyjmutí z formy ohebný, ale tvarově stálý.

2.7.3 Vstřikovací a doplňovací tlak

Musí být nastaven tak, aby při daných průřezích vylisku a daném vtokovém systému vyplnil materiál dokonale formu. Aby probíhalo vyplňování plynule, musí tlak pomalu narůstat a ke konci vyplňování formy v tzv. kompresní fázi musí prudce stoupnout na maximum. Při doplňování formy o úbytek způsobený chladnutím materiálu se udržuje tlak na maximum do ztuhnutí odlitku a pak se plynule snižuje.



Obr. 11 Struktura vylisku [1]

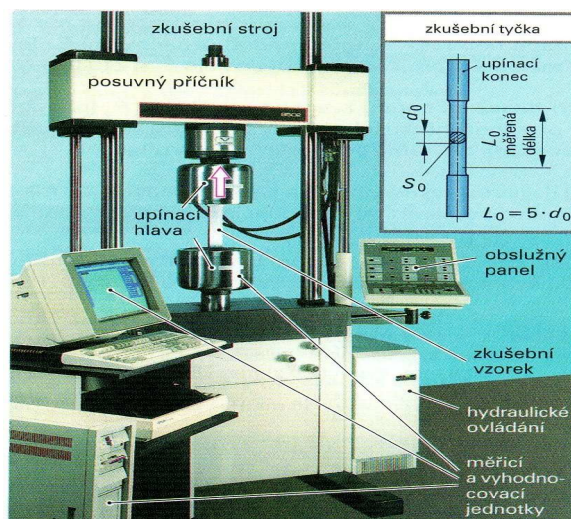


Obr. 12 Průběh vstřikovacího tlaku a parametry ovlivňující vlastnosti vylisku [1]

3 ZKOUŠKA TAHEM A MĚŘENÍ TVRDOSTI

3.1 Zkouška tahem

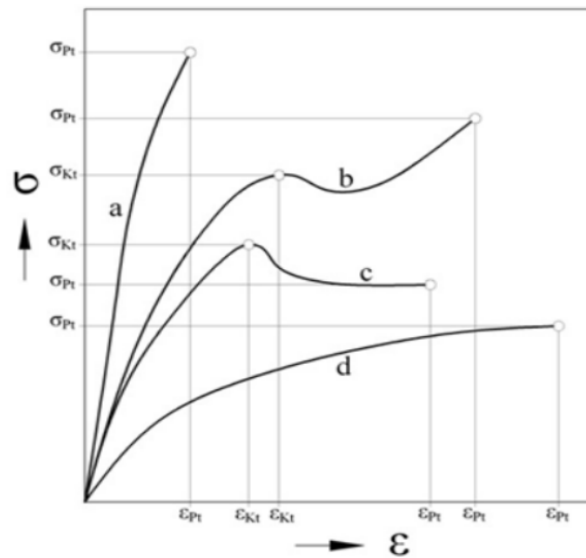
Tahovou zkouškou (zkouškou tahem) se měří pevnost materiálu v tahu a další parametry. Zkouška se provádí se vzorkem tyčového nebo plochého tvaru. Průměr d_0 tyčového vzorku je pětkrát menší než jeho délka L_0 . Zkouška pevnosti v tahu se provádí na univerzálních zkušebních strojích. Zkušební vzorek se upne v dolním i horním sklíčidle stroje. Při zkoušce se horní upínací hlava zvedá konstantní rychlostí a měří se vzdálenost a tahová síla. Až do největší napínací síly odpovídá zúžení tyčky jejímu prodloužení (při konstantním objemu) bez výrazného zaškrčení v jednom místě. Jelikož při mírně stoupajícím napětí klesá rychle průřez, klesá i odpor vzorku (napínací síla) a tím i tzv. smluvní napětí vztahené k původnímu průřezu, vynášené do standardního tahového diagramu.



Obr. 13 Univerzální zkušební stroj pro zkoušku tahem [1]

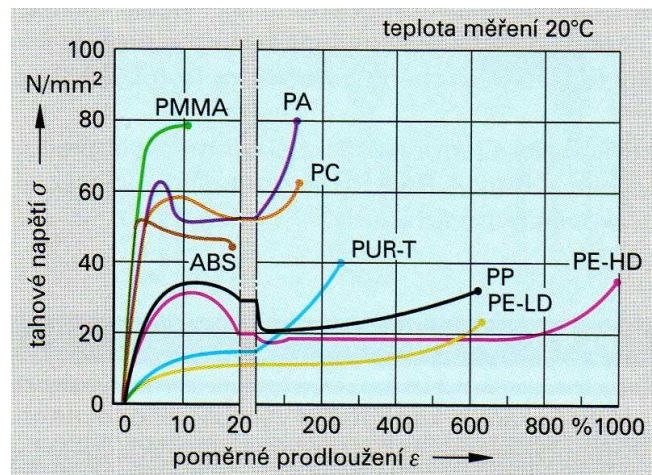
Základní typy tahových diagramů vyskytující se u polymerů a uvedené též v normě ISO527 znázorňuje obrázek 14. Průběh tahových diagramů je silně závislý na teplotě i čase (rychlosti zatěžování) a u jednoho typu plastu se mohou v závislosti na podmínkách zkoušky vyskytovat různé tvary od křehkého charakteru (nízké teploty, vysoké rychlosti zatěžování) přes křivky s výraznou mezí kluzu za normálních teplot až po houževnatý charakter bez meze kluzu. U tahové zkoušky plastů jsou ve srovnání s kovy dvě základní odlišnosti. Uvažujeme-li pevnost materiálu jako maximální dosažené napětí, pak pro některé plasty s výraznou mezí kluzu to může být mez kluzu, a to v tom případě, kdy napětí při přetržení

je nižší než mez kluzu. Pro plasty, u kterých je naopak napětí při přetržení vyšší než mez kluzu, je nutno považovat za pevnost tuto hodnotu. Časová závislost deformačního chování je důvodem, že u plastů nemohl být zaveden pojem tažnosti, tak jak je definován u kovů, kdy její výpočet je založen na deformacích trvalých. U plastů se používá pojmu prodloužení při přetržení, které zahrnuje deformace pružné i trvalé.



Obr. 14 Charakteristické křivky pro polymerní materiály [8]

- a) křehký materiál
- b) houževnatý materiál s napětím na mezi kluzu nižším než napětí při přetržení
- c) houževnatý materiál s napětím na mezi kluzu vyšším než napětí při přetržení
- d) houževnatý materiál bez meze kluzu



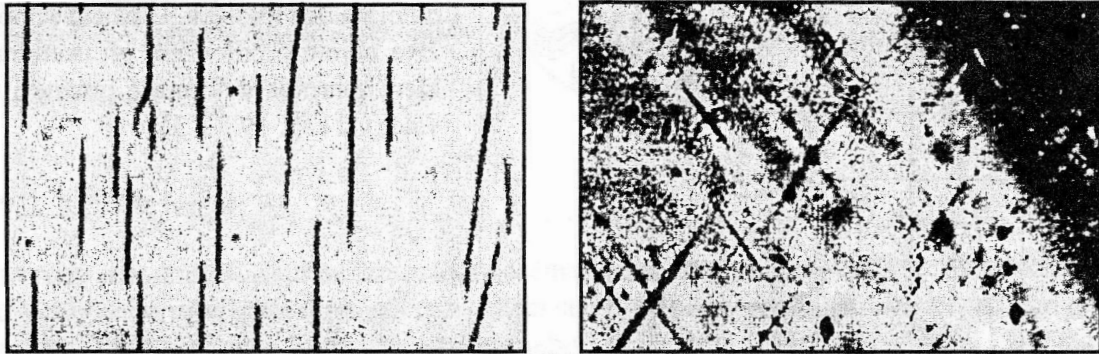
Obr. 15 Tahová křivka polymerů

Plastické deformace, které se uskutečňují ve velmi malých objemech, vznikají v plastech dvěma mechanismy:

Distorzním mechanismem, jehož podstatou je vznik smykových pásů za téměř konstantního objemu. Ve smykových pásích je podstatně větší deformace než v okolních oblastech. Smykové pásy umožňují plastickou deformaci většího rozsahu v makroobjemu a obvykle vedou ke zniku meze kluzu.

Dilatačním mechanismem za vzniku lokálně přetvořených zón. Vznik lokálně přetvořených zón je spojen se zvětšováním objemu, jedná se o dilatační proces. Lokálně přetvořené zóny mají diskovitý tvar o tloušťce 10 až 100 nm, příčné rozměry (až mm) jsou závislé na typu polymeru a podmínkách namáhání. Protože okolní nepřetvořený materiál brání příčné kontrakci, je plastická deformace doprovázena vznikem pórovité hmoty uvnitř lokálně přetvořených zón. Při zdánlivém vzhledu otevřené trhliny tvoří vnitřní část lokálně přetvořené zóny fibrilární útvary vzniklé orientací makromolekul ve směru působícího tahového napětí, zbytek objemu lokálně přetvořených zón jsou pak dutiny. Hustota uvnitř lokálně přetvořených zón je mezi 40 až 60% hustoty kompaktního polymeru. Po dosažení mezního prodloužení fibrilárních útvarů se lokálně přetvořené zóny porušují za vzniku větších dutin (kavit) až do vytvoření ostré trhliny, která po dosažení kritické velikosti vede k porušení rychlým křehkým lomem. Lokálně přetvořené zóny se tvoří především v lineárních amorfních polymerech (PS, PMMA, PVC), při dlouhodobém namáhání však lokálně přetvořené zóny vznikají i v částečně krystalických polymerech (PE, PP). Jak lokálně přetvořené zóny, tak smykové pásy jsou u polymerů iniciovány mikrostrukturami vadami různého druhu. Jedná se o volné konce makromolekul, místa s nižší hustotou vznikající fluktací volného

objemu, o příměsi, nečistoty, nereagované nízkomolekulární podíly apod. U polymerů modifikovaných kaučukem mohou být zdrojem vzniku lokálně přetvořených zón nebo smykových pásů kaučukovité částice dispergované v matici modifikovaného polymeru. [4]



a)

b)

Mechanismy plastické deformace polymerů

a) dilatační – vznik lokálně přetvořených zón (křejzů), b) distorzní – vznik skluzových pásů
Tahové napětí působí ve vodorovném směru

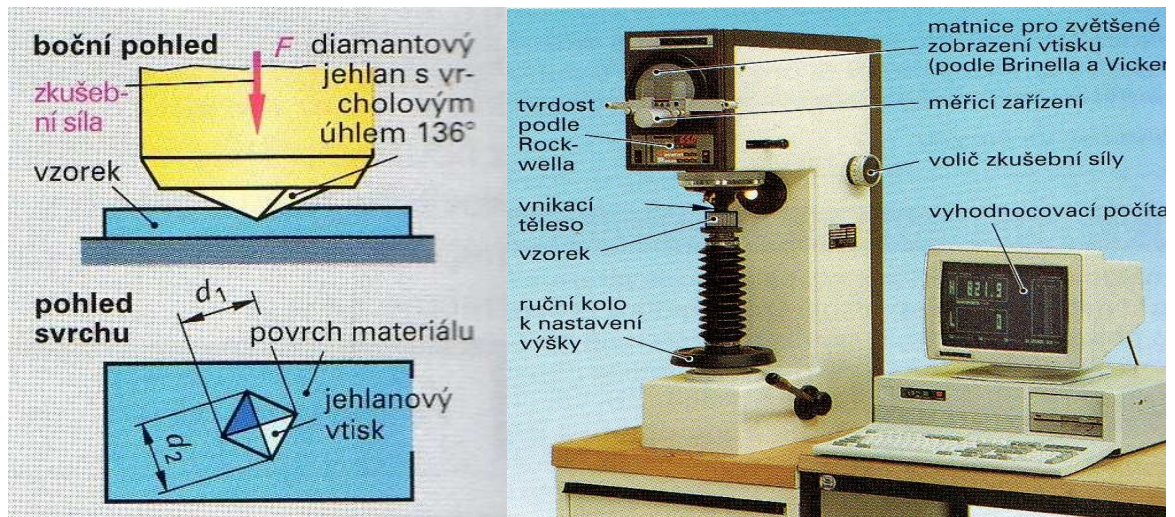
Obr. 16 Mechanismy plastické deformace polymerů [5]

3.2 Měření tvrdosti

Tvrdot je odpor kladený materiálem vnikajícímu (zkušebnímu) tělesu.

3.2.1 Zkouška tvrdosti podle Vickerse (ČSN EN ISO 6507-1)

Při zkoušce tvrdosti podle Vickers se vlačuje do rovné plochy zkoušeného materiálu zkušební silou F diamantové vnikající těleso ve tvaru čtyřbokého jehlanu s vrcholovým úhlem 136° a po jeho vyjmutí se měří úhlopříčky základny vytvořeného jehlanového vtisku. Úhlopříčka d se určuje jako aritmetický průměr obou úhlopříček: $d = (d_1 + d_2) / 2$. Tvrdot podle Vickerse se označuje HV a určuje se podle uvedeného vzorce: $HV = 1,854 * (F / d^2)$



Obr. 17 Zkouška tvrdosti podle Vickerse a Univerzální tvrdoměr [1]

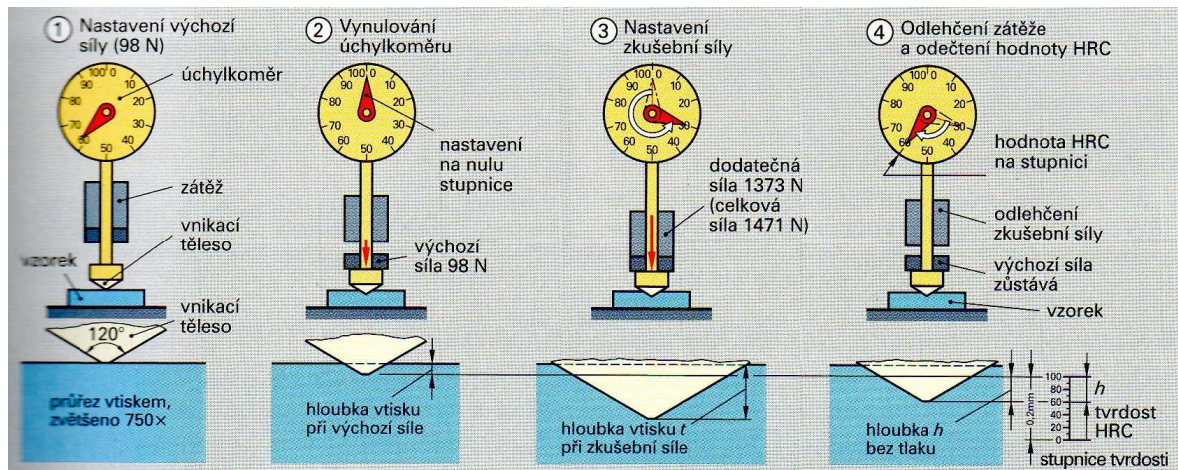
Tvrdost podle Vickerse se označuje číselnou hodnotou tvrdosti, zkratkou HV, hodnotou podílu zkušební síly a síly 9,81 N a dobou působení síly v sekundách. Působení síly 10 až 15 sekund je standardní a v označení se neuvádí. U měkkých a středně tvrdých materiálů jsou hodnoty tvrdosti podle Vickerse téměř stejné jako hodnoty podle Brinella. U tvrdých materiálů se hodnoty liší. [1]

3.2.2 Zkouška tvrdosti podle Knoop (ČSN EN ISO 4545-1)

Liší se od zkoušky podle Vickerse tvarem vnikajícího tělesa, které je tvořeno opět čtyřbokým jehlanem, avšak s kosočtverečnou základnou s poměrem úhlopříček 7:1 a s vrcholovými úhly 130° a 174°. Mikrotvrdost se počítá podle vztahu $KHN = C(F/d^2)$. Zkouška se používá u křehkých materiálů. [1]

3.2.3 Zkouška tvrdosti podle Rockwella (ČSN EN ISO 6508)

Zkouška tvrdosti podle Rockwella se skládá ze čtyř kroků (viz. obrázek)



Obr. 18 Průběh zkoušky tvrdosti podle Rockwella [1]

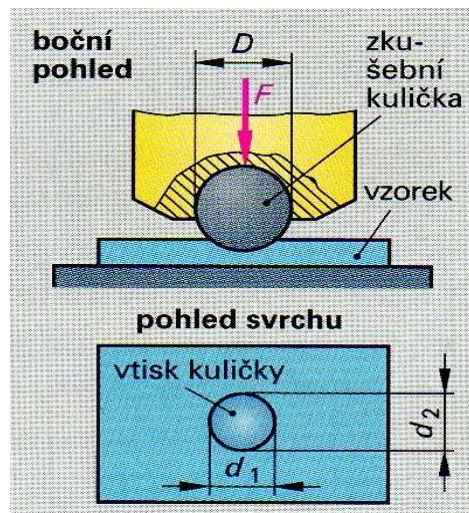
Vnikající těleso nejprve vtlačí do vzorku určitou silou a na té úrovni se vynuluje měřící úchylkoměr, který má 2 stupnice pro dvě vnikající tělesa (kužel a kuličku). Potom se vtlačí vnikající těleso zkušební silou a po krátké chvíli se zvedne. Nárůst hloubky vtisku h je odečten na úchylkoměru v dílcích, přímo jako tvrdost podle Rockwella. Pro materiály různé tvrdosti se používají různé stupnice. K měření tvrdosti tvrdých materiálů se používá diamantový kužel s vrcholovým úhlem 120° . K měření měkkých materiálů se používá zakalená ocelová kulička průměru 1,59mm nebo 3,175mm. K měření různě tvrdých materiálů se používají různé zkušební síly. [1]

3.2.4 Zkouška tvrdosti podle Brinella (ČSN EN ISO 6505-1)

Při zkoušce tvrdosti podle Brinella se do rovny plochy zkoušeného materiálu vtlačuje zkušební silou F ocelová kalená nebo tvrdokovová kulička průměru 1, 2,5, 5 nebo 10 mm. Měří se pak průměr vtisku, nebo hloubka vtisku h . Tvrdost podle Brinella se vypočte ze zkušební síly F a z plochy vtisku v mm^2 pomocí vztahu:

$$HB = \frac{2F}{\pi D^2 \left[1 - \sqrt{1 - (d/D)^2} \right]} \quad (1)$$

V praxi se hodnoty odečtou z tabulek nebo jsou vyhodnoceny počítačem připojeným k tvrdoměru. Zkušební síla se nastaví voličem na tvrdoměru a průměr vtisku se vypočítá jako aritmetický průměr dvou hodnot průměru naměřených ve vzájemně kolmých směrech. U plastů se vychází z hloubky vtisku h .



Obr. 19 Zkouška tvrdosti podle

Brinella [1]

Zkoušky tvrdosti podle Brinella se provádějí na univerzálních tvrdoměrech podobně jako zkoušky podle Vickerse. Zkoušky podle Brinella se hodí jen pro zkoušení tvrdosti středně tvrdých a měkkých materiálů např. hliníku nebo plastů. Tvrdost podle Brinella se označuje naměřenou hodnotou a při standardní síle a velikosti kuličky ještě písmeny HB. Třetí písmeno označuje materiál kuličky, HBS označuje Brinellovu zkoušku s ocelovou kuličkou a HBW s kuličkou z tvrdokovu. Označení může dále obsahovat průměr kuličky (je-li odlišný od 10mm), zkušební sílu v kp (je-li odlišná od standardu) [6]

3.2.5 Metoda SHORE

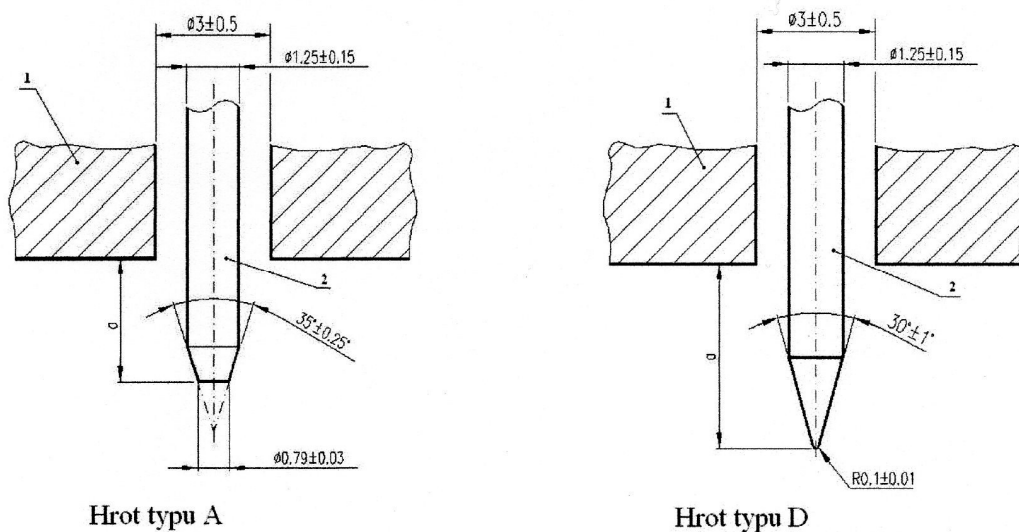
Tato metoda měření tvrdosti plastů je založena na vlačování hrotu tvrdoměru typu A, který se používá pro měkké materiály a tvrdoměru typu D, který se používá na tvrdší materiály. Metoda umožňuje měřit tvrdost na začátku vlačování hrotu anebo po uplynutí stanovené doby nebo obojí. Používá se tehdy, pokud už není vhodná stupnice R u metody dle Rockwella.

3.2.5.1 Princip zkoušky

Princip metody dle Shoreho spočívá v měření hloubky specifikovaného hrotu vtačeného do vzorku materiálu za stanovených podmínek. Hloubka vtačeného hrotu je nepřímě úměrná hodnotě tvrdosti.

3.2.5.2 Zkušební zařízení

K měření tvrdosti se použije tvrdoměr typu A nebo D. Tvrdoměry se skládají z opěrné patky (na obrázku 19 označeno 1), zkušební hrotu (na obrázku 19 označeno 2), ukazatele délky a kalibrové pružiny. V opěrné patce je otvor o průměru 3 mm. Zkušební hrot patce o průměru 1,25 mm vytvořený na tyčince z kalené oceli. Na obrázku 19 je uveden tvrdoměr typu A a tvrdoměr typu D. [3]



Obr. 20 Zkušební hrot tvrdoměru typu A a typu D [3]

Ukazatel délky slouží pro odečet vysunutí špičky zkušební hrotu z opěrné patky. Může být opatřen stupnicí umožňující odečítat vysunutí přímo v jednotkách od 0 při úplném vysunutí do 100 při nulovém vysunutí.

Kalibrované pružiny působí na zkušební hrot tvrdoměru určitou silou dle rovnice.

$$F=455 H_D \quad (2)$$

kde: F-síla vlačování[mN]

H_D -hodnota tvrdosti naměřená tvrdoměrem typu D.

3.2.5.3 Zkušební tělesa (vzorky)

Minimální tloušťka zkušební tělesa musí být 4mm. Pokud nejsme schopni splnit minimální tloušťku zkušební tělesa, tak lze zkušební těleso složit z více tenkých vrstev, aby se dosáhlo požadované tloušťky. Výsledky z vícevrstvých těles se nemusí shodovat s výsledky na zkušebních tělesech z jednoho kusu, protože u vícevrstvých vzorcích nelze docílit do-

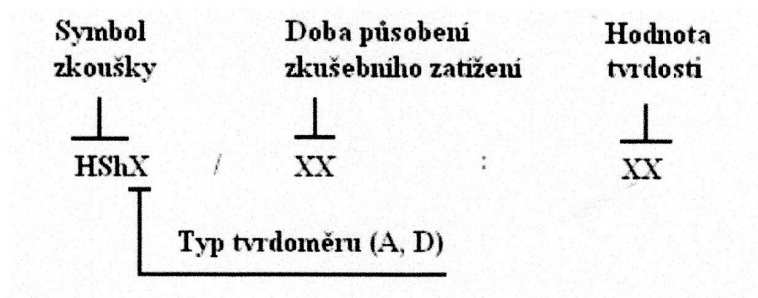
konalého kontaktu mezi jednotlivými vrstvami. Povrch vzorku musí být rovný na dostatečně velké ploše, aby se opěrná patka tvrdoměru dotýkala vzorku na ploše o poloměru nejméně 6mm od špičky zkušební hrotu. Měření tvrdosti není možné provádět na zkušebních vzorcích s nerovným, zaobleným nebo drsným povrchem.

3.2.5.4 Provedení zkoušky

Zkušební těleso se položí na tvrdý rovný vodorovný povrch. Tvrdoměr se přiloží kolmo na zkušební těleso tak, aby špička zkušební hrotu byla od kteréhokoli okraje zkušební tělesa vzdálena nejméně 9 mm. Na zkušební těleso se co nejrychleji a bez nárazu přitlačí opěrná patka, přičemž musí být stále rovnoběžná s povrchem zkušební tělesa. Tlak se volí právě dostačující k tomu, aby došlo k pevnému kontaktu mezi zkušebním tělesem a opěrnou patkou. Tvrdost se odečítá na stupnici přístroje po uplynutí určité doby. Na různých místech zkušební tělesa vzdálených od sebe nejméně 6 mm se provede třicet měření a stanoví se z něj aritmetický průměr. [3]

3.2.5.5 Zápis hodnoty tvrdosti

Zápis hodnoty tvrdosti je znázorněn na obrázku:



Obr. 21 Obecné schéma pro označení zkoušky

tvrdosti podle Shore [7]

Například: tvrdost HshA/ 15:55- kde A je typ tvrdoměru, 15 je doba v sekundách mezi okamžikem uvedení opěrné desky do pevného kontaktu se zkušebním tělesem a provedením odečtu, 55 je hodnota tvrdosti.

3.2.5.6 Související normy

	norma	název	platnost
ČSN	ČSN EN ISO 868	Plasty a ebonit – Stanovení tvrdosti vtláčováním hrotu tvrdoměru (tvrdost Shore)	Říjen 2003
ISO	ISO 868:2003	Plastics and ebonite. Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness)	Duben 2003
DIN	DIN EN ISO 868	Kunststoffe und Hartgummi - Bestimmung der Eindruckhärte mit einem Durometer (Shore-Härte).	Říjen 2003
STN	STN EN ISO 868	Plasty a ebonit. Stanovenie tvrdosti vtláčaním pomocou tvrdomera (Shorova tvrdosť) (ISO 868: 2003).	Květen 2004
BS	BS EN ISO 868:2003	Plastics and ebonite. Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness)	Duben 2003

Obr. 22 Přehled nejběžnějších norem pro metodu Shore

3.3 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo porovnání mechanických vlastností u vybraných typů polymerních materiálů, které byly vyrobeny technologií vstřikování a ochlazovány různou ochlazovací rychlostí. Testované polymerní materiály byly vybrány PP a HDPE. Zkušební tělesa byla připravena technologií vstřikování na vstřikovacím stroji Arburg Allrounder 420C, při teplotách formy (20°C, 60°C a 100°C). Na připravených tělesech byla provedena tahová zkouška na trhacím stroji Zwick 1456 a měření tvrdosti metodou Shore D na tvrdoměru firmy Affri.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 URČOVÁNÍ TVRDOSTI

Pro praktické měření tvrdosti byl použit tvrdoměr firmy AFFRI, který je k dispozici na Ústavu výrobního inženýrství. Pro zkoušky tvrdosti byla zvolena metoda Shore D, která je v reálné praxi používána na zvolené typy polymerů (PP a HDPE).

4.1.1 Měřicí zařízení

Měření tvrdosti bylo prováděno na tvrdoměru OMAG AFFRI ART 13, na kterém byla realizována zkouška tvrdosti Shore se sondou D (viz. obrázek č.23).



Obr. 23 Tvrdoměr OMAG AFFRI ART 13

4.1.2 Vyhodnocení tvrdosti

Výsledné hodnoty byly zprůměrovány pomocí aritmetického vzorce:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

kde: \bar{x} – aritmetický průměr,

x_i – i-tá hodnota měřené veličiny,

n – počet měření.

Vzorec pro výpočet střední kvadratické chyby aritmetického průměru:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (4)$$

kde: s – empirická směrodatná odchylka,

\bar{x} – aritmetický průměr,

x_i – i-tá hodnota měřené veličiny,

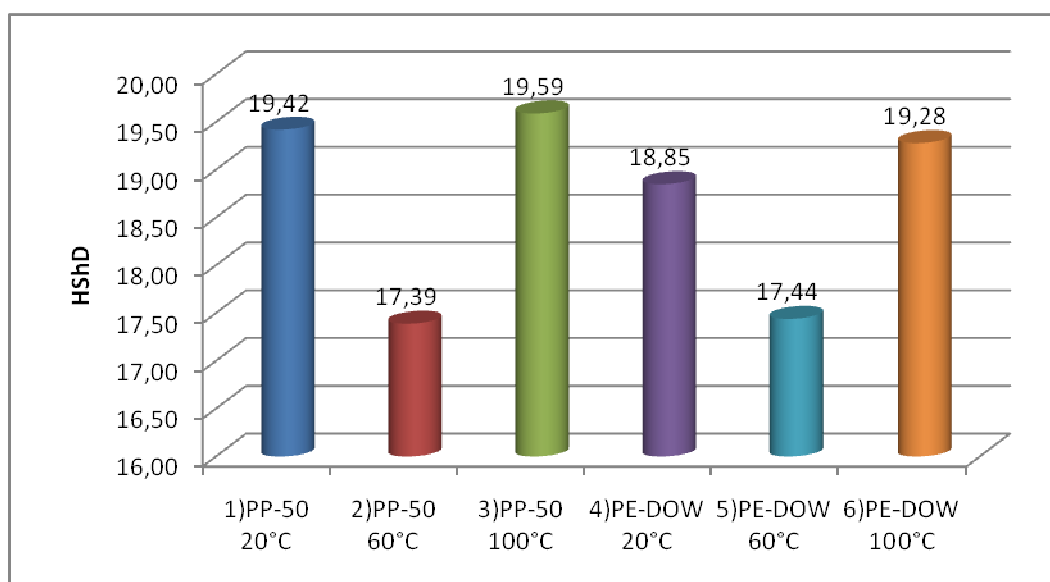
n – počet měření.

4.2 Typy vzorků a jejich vyhodnocení

Pro měření tvrdosti vzorků byla vybrána metoda Shoreho s označením D, která používá vnikající těleso s kuželovým hrotem. Zkušební tělesa byla změřena třicetkrát na jednotlivých místech zkušebního vzorku. Naměřené hodnoty byly graficky zpracovány a vyhodnoceny.

č. vzorku	typ vzorku	arit. průměr	s. odchylka
1	PP-50 20°C	19,42	0,94
2	PP-50 60°C	17,39	0,66
3	PP-50 100°C	19,59	0,73
4	PE-DOW 20°C	18,85	0,86
5	PE-DOW 60°C	17,44	0,93
6	PE-DOW 100°C	19,28	0,79

Tab. 1 Typy vzorků

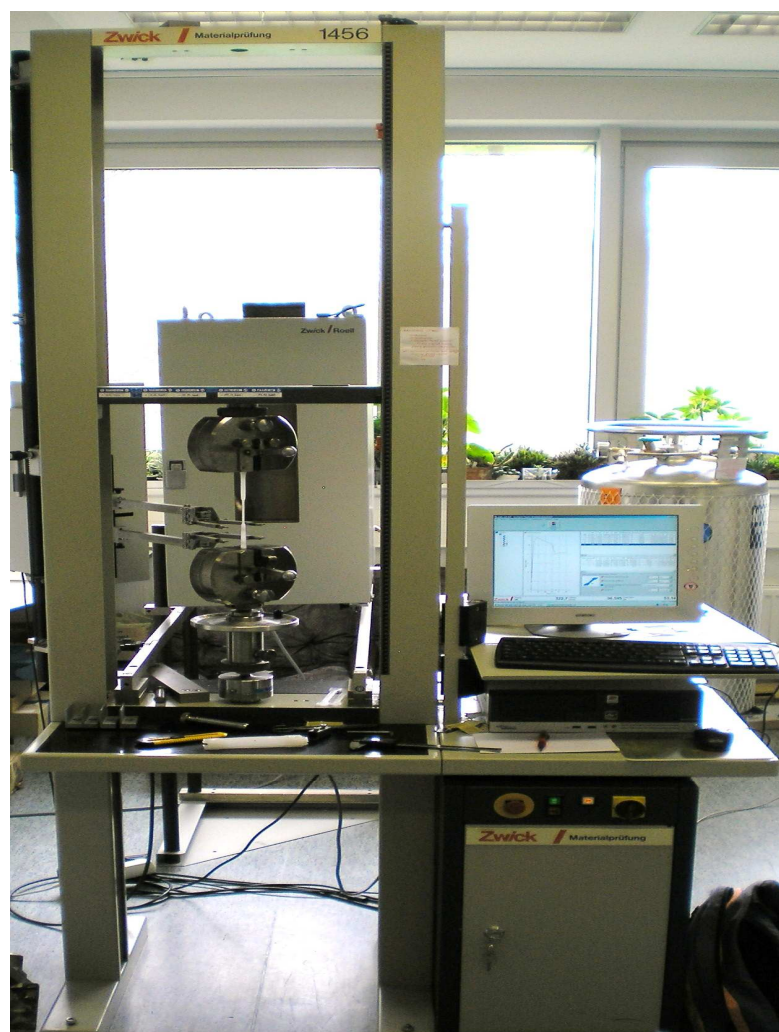


Obr. 24 Tvrdost

Při zkoušce tvrdosti bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty tvrdosti Shore D bylo dosaženo u materiálu HDPE Dow s teplotou formy 100 °C (19,28 HShD) a nejmenší hodnota tvrdosti byla zjištěna u HDPE Dow s teplotou formy 60 °C (17,44 HShD). Materiál PP vykázal největší hodnotu tvrdosti při teplotě formy 100 °C, naopak nejmenší hodnota tvrdosti byla zjištěna při teplotě formy 60 °C.

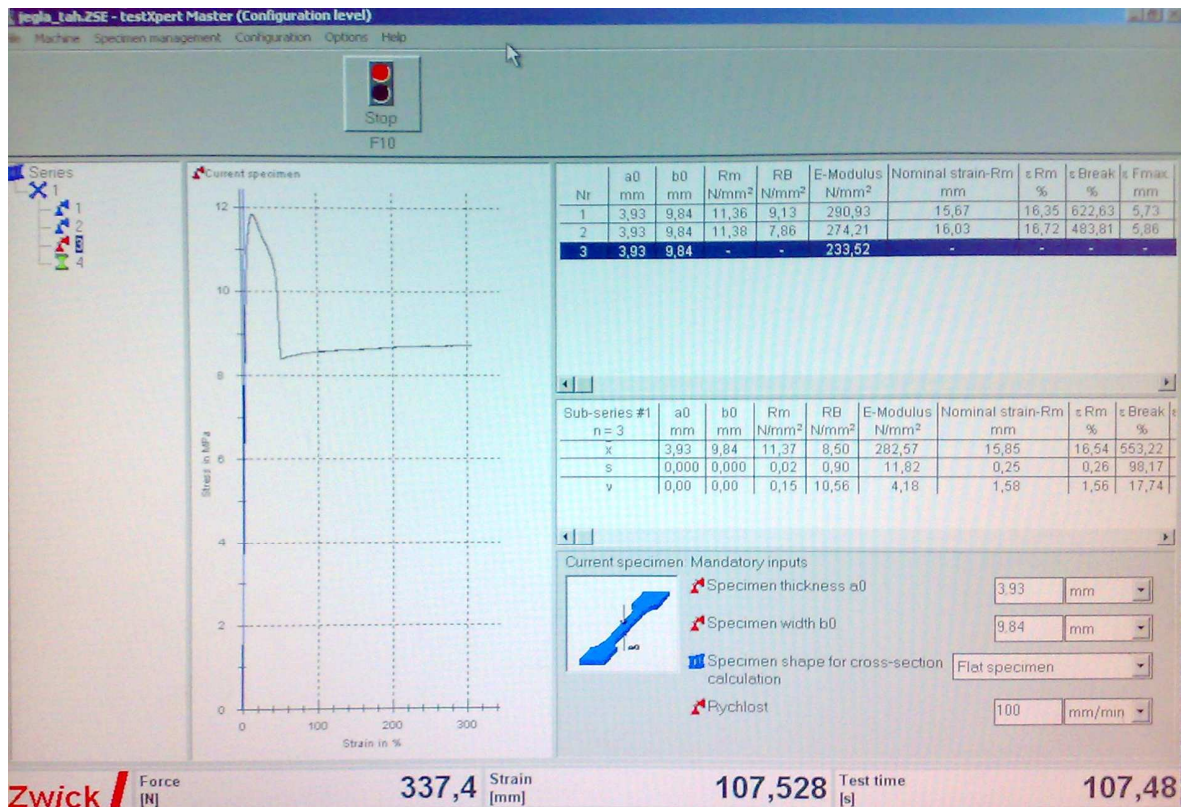
5 POPIS STROJE ZWICK PRO ZKOUŠKU TAHEM

Univerzální trhací stroj ZWICK 1456 se používá pro měření mechanických vlastností. Je vhodný i pro větší tělesa dokáže vyvinout sílu, až 20 kN. Nejčastěji se používá na zkoušky tahem. Při použití vhodných čelistí lze provádět také zkoušku tlakem, ohybem a cyklické. Maximální rychlost posuvu příčnicku je 800 mm/min. Celek jako takový obsahuje počítač s příslušenstvím a vlastní stroj. Při samotné zkoušce se přenáší údaje z přístroje do počítače, které se zobrazují v tabulce.



Obr. 25 Zkušební stroj Zwick 1456

Nastavení parametrů měření se provádí na PC pomocí speciálního programu TestXpert Master. Zjištěné hodnoty zrovna přepočítá a z vypočtených hodnot pak vytvoří graf. Graf je vytvořen v závislosti napětí na deformaci $\varepsilon(\%)$. Program vyhodnotí i statistiku. Zkoušky lze provádět za teploty okolí, ale také při zvýšené či snížené teplotě.



Obr. 26 Prostředí programu TestXpert Master

5.1 Metodika měření zkoušky tahem

Měření mechanických vlastností jednotlivých zkušebních těles na stroji Zwick 1456 jsem prováděl tímto postupem. Zapnul jsem počítač a přístroj. Na počítači jsem spustil příslušný program a v něm si otevřel novou složku. Z nabídky jsem vybral mnou požadovaný průběh grafu a četnost zapisovaných dat. Rychlost zatěžování jsem zvolil 200 mm/min a zvolím vhodnou výchozí polohu pro vhodné upnutí vzorku. Tak aby mi dostatečně držel a nedošlo k vyjetí z upínacích čelistí. Po upnutí do čelistí se na testované zkušební těleso přiloží extenzometr. Ten se tam dává pro přesné zjištění modulu pružnosti E. Kdyby tam extenzometr nebyl započítaly by se do měření veškeré chyby, jako třeba povyjetí z čelistí nebo vůle čelistí stroje a to je pro nás nežádoucí. Po přiložení extenzometru a než spustíme program mohu nadefinovat rozměry vzorku. Posuvkou změřím vzorek a do políčka a0 označujícího tloušťku zadám pomocí klávesnice mnou naměřený rozměr, to samé provedu u políčka b0.

Zatěžující rychlost mám již navolenou 200 mm/min a už stačí jen kliknout na tlačítko START. Jakmile je přístroj v chodu pozorujeme na monitoru získané hodnoty které program zpracoval. Po přetržení vyjmu přetržený vzorek a vrátím čelisti do původní polohy tlačítkem „LE“. Měření jsem opakoval vždy pro celou sérii zkušebních těles.

Podmínky měření:

1. Teplota v místnosti: 21 °C
2. Rychlost posuvu čelistí: 200 mm/min
3. Vzdálenost čelistí: 95 mm
4. Vzdálenost extenzometru: 35 mm



Obr. 27 Zkušební stroj Zwick 1456- čelisti a extenzimetr

5.2 Výsledky měření

Pro měření tahových zkoušek testovaných polymerních materiálů byly vyrobeny zkušební tělesa z PP a HDPE technologií vstřikování, při různé rychlosti ochlazování (viz. tabulka 1). Pro každou sérii měření bylo zvoleno 10 kusů zkušebních těles. Celkový počet měřených vzorků tak představuje 60 kusů. Z programu TestXpert Master jsem získal následující data:

Maximální napětí	Rm [MPa]
Maximální síla	Fm [N]
Youngův modul	E[MPa]
Tažnost vzorku	As [%]

a to v následující podobě:

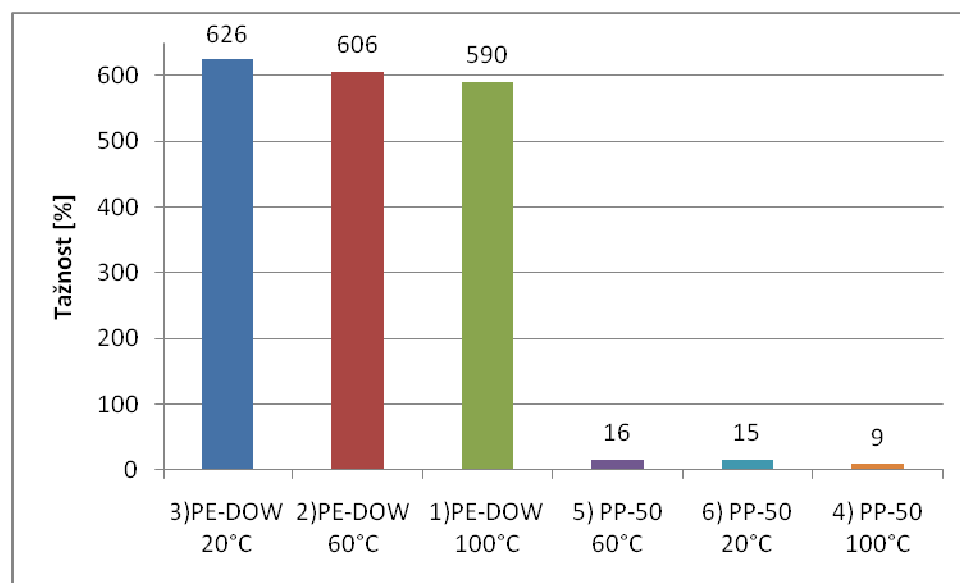
Měřený vzorek	Rm[MPa]	Fm [N]	E[MPa]	As [%]
1)HDPE-DOW 100°C				
x	11,5	444,0	274,8	590
s	0,2	8,5	19,6	71
v	1,9	1,9	7,1	12
2)HDPE-DOW 60°C				
x	11,0	424,7	254,1	606
s	0,3	10,5	7,3	157
v	2,5	2,5	2,9	26
3)HDPE-DOW 20°C				
x	10,7	424,7	243,6	626
s	0,4	16,4	5,7	19
v	3,9	3,9	2,3	3
4) PP-50 100°C				
x	38,5	1526,1	1633,2	9
s	3,9	155,8	146,2	1
v	10,2	10,2	9,0	10
5) PP-50 60°C				
x	40,2	1605,2	1686,3	16
s	0,1	5,0	128,2	2
v	0,3	0,3	7,6	10
6) PP-50 20°C				
x	39,7	1589,2	1653,6	15
s	0,3	11,8	136,7	2
v	0,7	0,7	8,3	15

Tab. 2 Souhrnná tabulka

5.3 Porovnání tažnosti As

Měřený vzorek	As [%]	Rm[MPa]	Fm [N]	E[MPa]
3)PE-DOW 20°C	626	10,7	424,7	243,6
2)PE-DOW 60°C	606	11,0	424,7	254,1
1)PE-DOW 100°C	590	11,5	444,0	274,8
5) PP-50 60°C	16	40,2	1605,2	1686,3
6) PP-50 20°C	15	39,7	1589,2	1653,6
4) PP-50 100°C	9	38,5	1526,1	1633,2

Tab. 3 Porovnání tažnosti



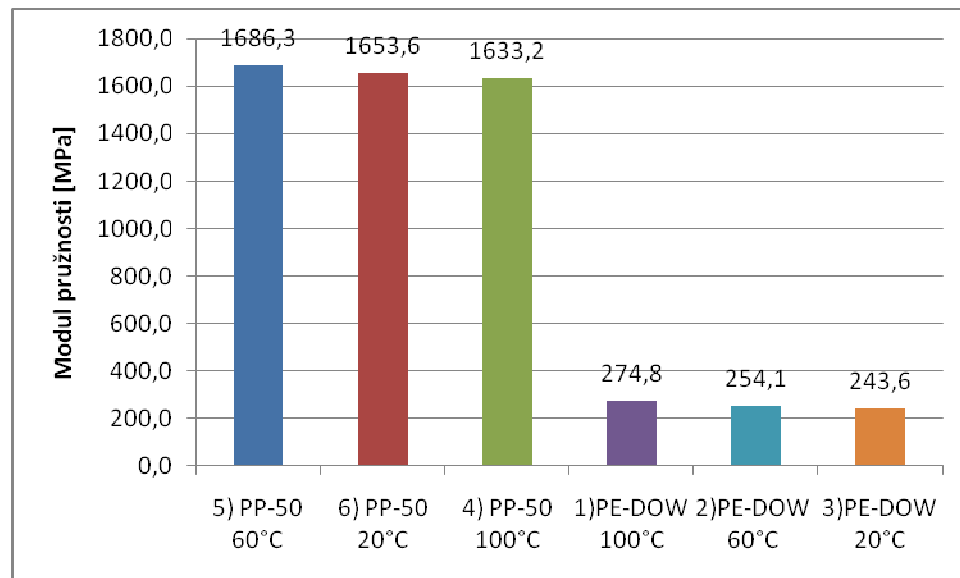
Obr. 28 Tažnost

Hodnota tažnosti zkušebních těles se pohybovala v rozmezí od 9 do 626%-tab. 3. Nejmenší hodnotu tažnosti mělo zkušební těleso PP-50 s teplotou formy 100°C (9%) a největší hodnotu tažnosti dosáhl HDPE-DOW s teplotou formy 20°C (626%). Zkušební tělesa PP-50 s teplotou formy 60°C a PP-50s teplotou formy 20°C vykazaly přibližně shodnou hodnotu tažností (v rozmezí 15-16%).

5.4 Porovnání modulu pružnosti E

Měřený vzorek	E[MPa]	Rm[MPa]	Fm [N]	As [%]
5) PP-50 60°C	1686,3	40,2	1605,2	16
6) PP-50 20°C	1653,6	39,7	1589,2	15
4) PP-50 100°C	1633,2	38,5	1526,1	9
1)PE-DOW 100°C	274,8	11,5	444,0	590
2)PE-DOW 60°C	254,1	11,0	424,7	606
3)PE-DOW 20°C	243,6	10,7	424,7	626

Tab. 4 Porovnání modulů pružnosti



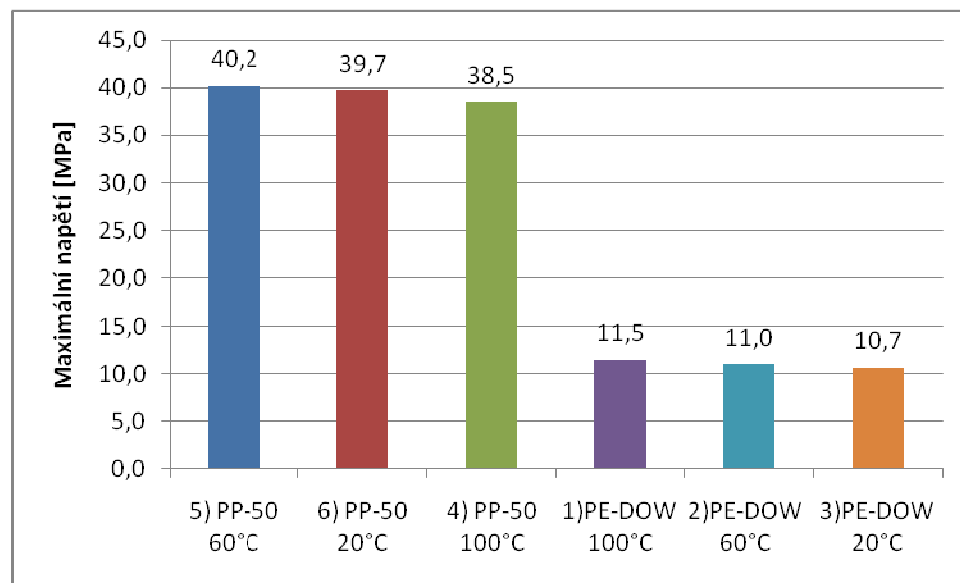
Obr. 29 Modul pružnosti

Naměřené hodnoty modulu pružnosti u zkušebních těles se pohybovaly v rozmezí od 243 do 1686 MPa (tab. 4). Největší modul pružnosti byl zjištěn u zkušebního tělesa PP-50 s teplotou formy 60°C (1686,3 MPa) a nejmenší u HDPE-DOW s teplotou formy 20°C (243,6 MPa).

5.5 Porovnání maximálního napětí Rm

Měřený vzorek	Rm[MPa]	Fm [N]	As [%]	E[MPa]
5) PP-50 60°C	40,2	1605,2	16	1686,3
6) PP-50 20°C	39,7	1589,2	15	1653,6
4) PP-50 100°C	38,5	1526,1	9	1633,2
1)PE-DOW 100°C	11,5	444,0	590	274,8
2)PE-DOW 60°C	11,0	424,7	606	254,1
3)PE-DOW 20°C	10,7	424,7	626	243,6

Tab. 5 Porovnání maximálního napětí



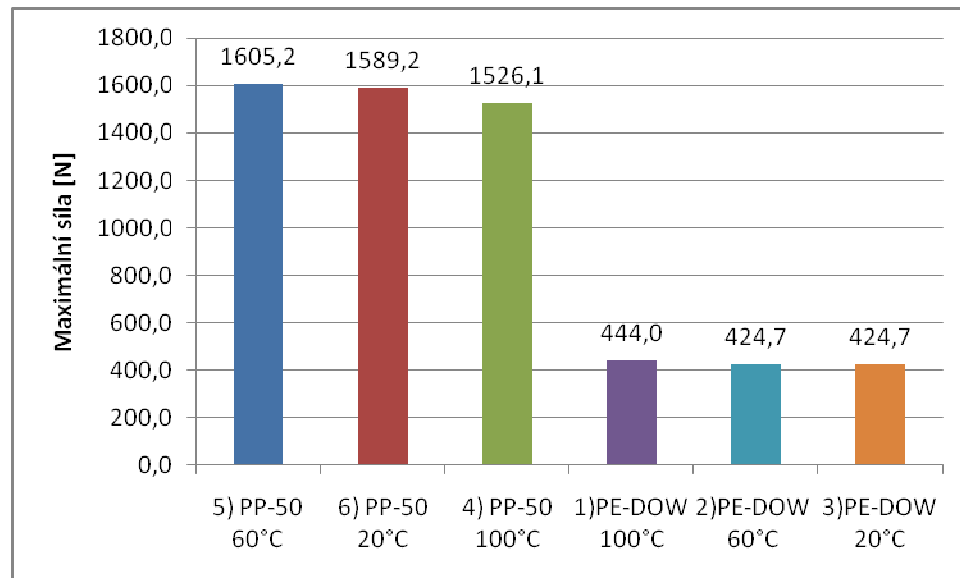
Obr. 30 Maximálního napětí

Napětí v tahu u zkušebních těles se pohybovalo v intervalu od 11 do 40 MPa (Tab. 5). Největší napětí měly zkušební tělesa PP-50 s teplotou formy 60°C (40,2 MPa) a nejmenší napětí mělo zkušební těleso HDPE-DOW s teplotou formy 20°C (10,7 MPa).

5.6 Porovnání maximální síly Fm

Měřený vzorek	Fm [N]	As [%]	E[MPa]	Rm[MPa]
5) PP-50 60°C	1605,2	16	1686,3	40,2
6) PP-50 20°C	1589,2	15	1653,6	39,7
4) PP-50 100°C	1526,1	9	1633,2	38,5
1)PE-DOW 100°C	444,0	590	274,8	11,5
2)PE-DOW 60°C	424,7	606	254,1	11,0
3)PE-DOW 20°C	424,7	626	243,6	10,7

Tab. 6 Porovnání maximální síly

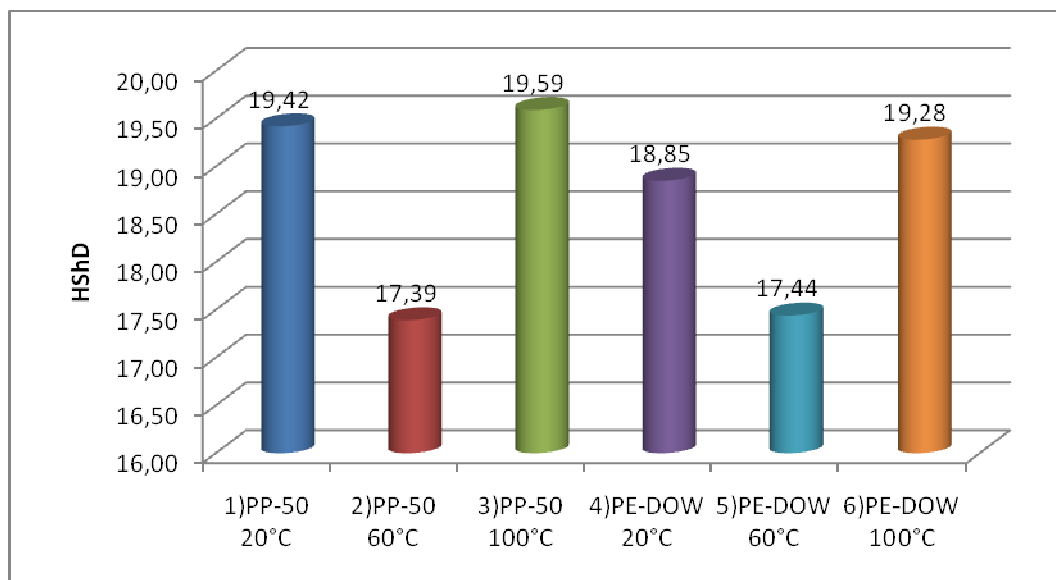


Obr. 31 Maximální síla

Maximální síla se u zkušebních těles pohybovala v intervalu od 424 do 1605 N (Tab. 6). Největší sílu mělo zkušební těleso PP-50 s telotou fromy 60°C (1605,2 N) a nejmenší sílu mělo zkušební těleso HDPE-DOW s telotou fromy 20°C (424,7 N).

6 DISKUZE VÝSLEDKŮ

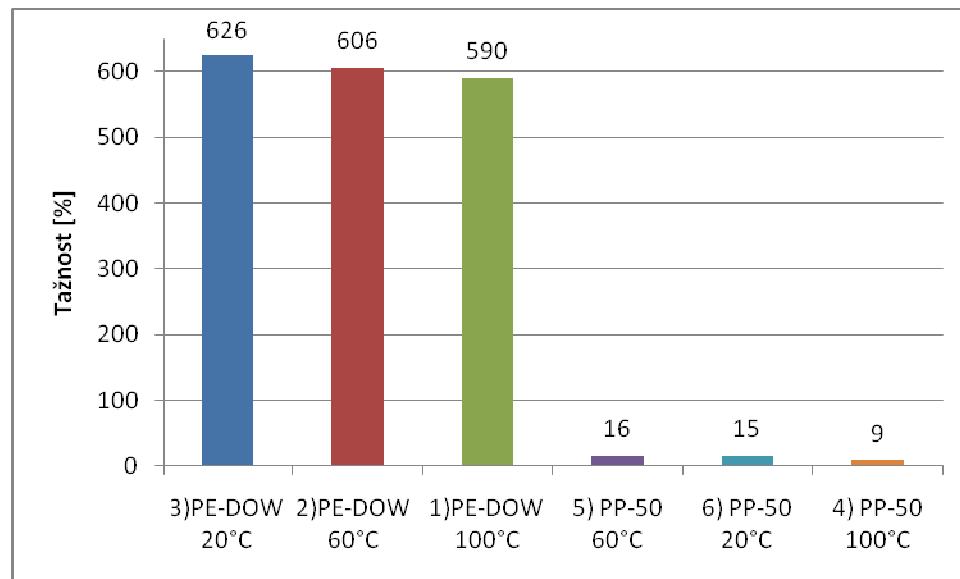
Bakalářská práce se zabývá porovnáním mechanických vlastností zvolených typů polymerních materiálů (HDPE a PP), vyrobených technologií vstřikováním a ochlazených různou rychlostí ochlazování. Zkušební tělesa z HDPE a PP byla vyrobena technologií vstřikování na vstřikovací stroji Arburg Allrounder 420C. Rychlost ochlazování byla určena teplotou formy. Teplota formy byla zvolena 20°C, 60°C a 100°C. Na připravených zkušebních tělesech byla provedena měření mechanických vlastností (tahová zkouška, zkouška tvrdosti). Příprava zkušebních těles a jejich následné mechanické zkoušky byly prováděny v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství. Naměřené výsledky byly graficky zpracovány a vyhodnoceny.



Obr. 32 Tvrdost

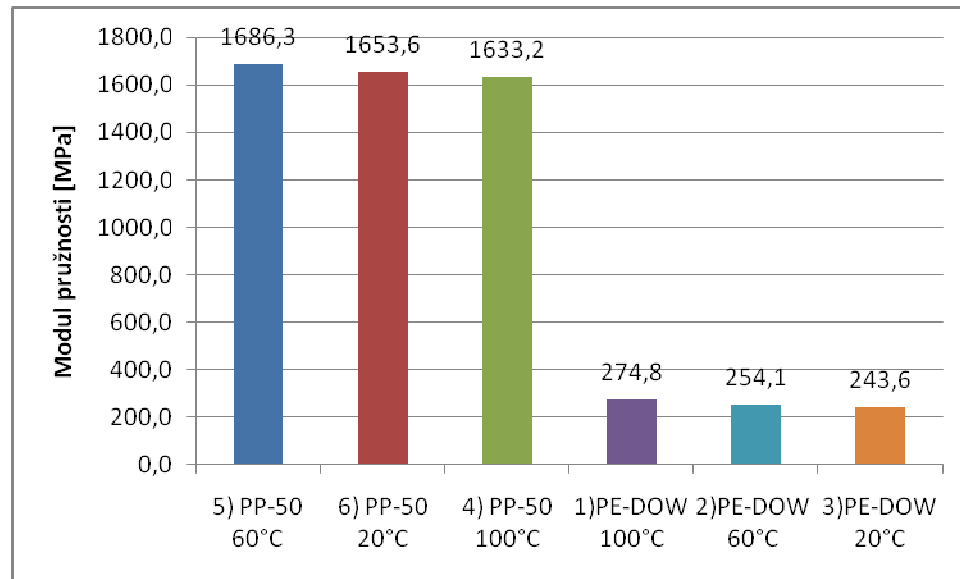
Při měření tvrdosti zkušebních těles na tvrdoměru firmy Affri metodou Shore D vyšlo najevo, že nejvyšších hodnot bylo dosaženo u materiálu PP s teplotou formy 100°C a nejmenších hodnoty tvrdosti byly zjištěny u materiálu PP s teplotou formy 60°C. U materiálu HDPE byla situace velmi podobná a nejvyšší hodnoty tvrdosti Shore D byly zjištěny u HDPE s teplotou formy 100°C, zatímco nejmenší hodnota byla zjištěna u HDPE s teplotou formy 60°C. Oba testované materiály s teplotou formy 20°C vykazaly téměř stejných hodnot tvrdosti shore D (obr. 32). Zjištěné výsledky měření tvrdosti Shore D souvisí se vzniklou strukturou při ochlazování vstřikovaných zkušebních těles. Právě velikost jednotlivých krystalů, jejich tvar a uspořádání hrají při měření tvrdosti zásadní roli. Při velmi

vysoké rychlosti ochlazování se podíl krystalické fáze zmenšuje a může se v povrchových vrstvách nacházet pouze oblast amorfni.



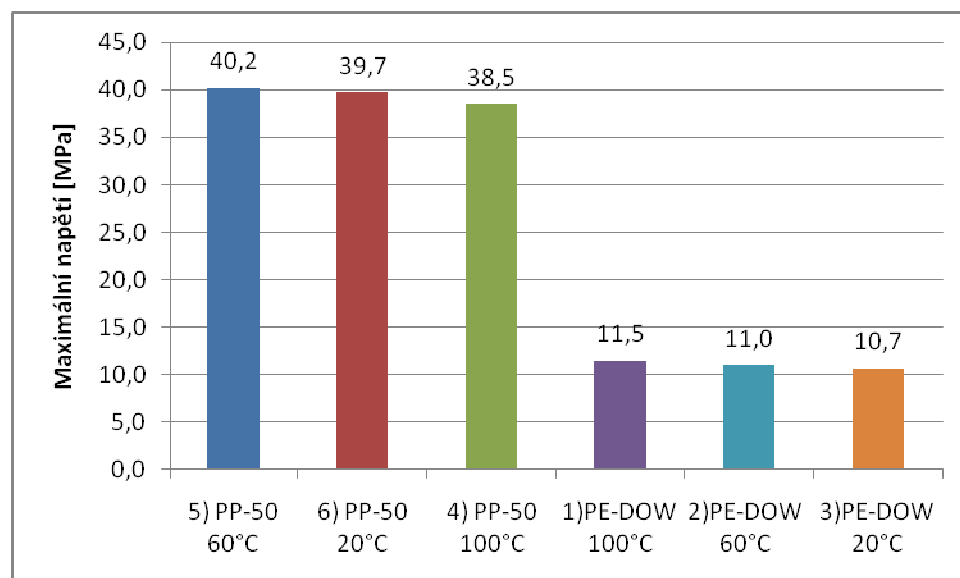
Obr. 33 Tažnost

Z výsledků měření tahové zkoušky prováděné na trhacím stroji Zwick 1456 vyšlo najevo, že nejvyšších hodnot tažnost bylo dosaženo u HDPE s teplotou formy 20°C a nejmenší tažnost byla zjištěna u HDPE s teplotou formy 100°C. U PP byly zjištěné hodnoty tažnosti v porovnání s HDPE velmi malé. Nejvyšších hodnot tažnosti bylo dosaženo u PP s teplotou formy 60°C, zatímco nejnižší hodnoty byly zjištěny u materiálu PP s teplotou formy 100°C. Na výsledky tažnosti má zásadní vliv struktura zkušebních těles. Na struktuře závisí rozložení aplikovaného napětí průběhu příslušného testu.



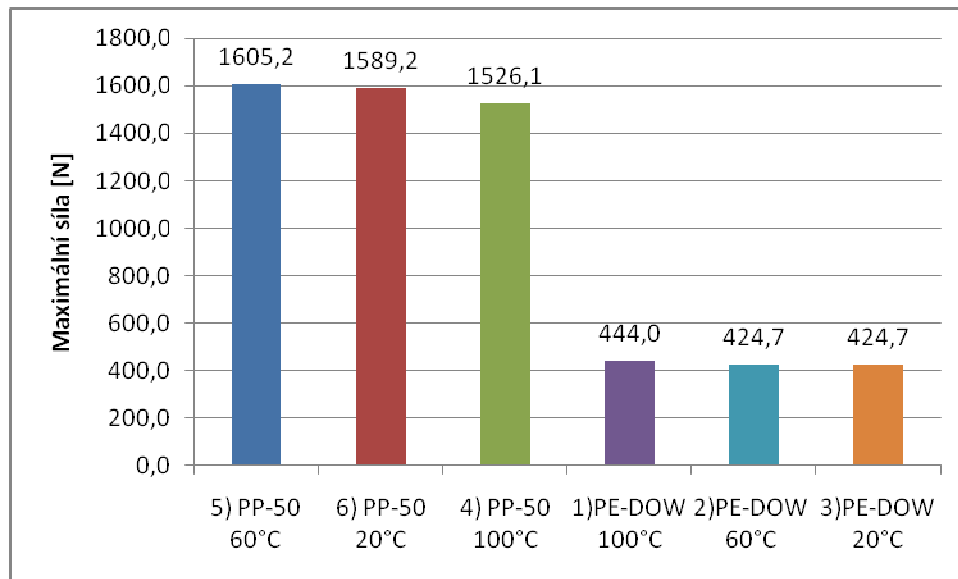
Obr. 34 Modul pružnosti

Z výsledků měření tahové zkoušky prováděné na trhacím stroji Zwick 1456 vyšlo najevo, že nejvyšších hodnot modulu pružnosti bylo dosaženo u PP s teplotou formy 60°C a nejmenší hodnota modulu pružnosti byla zjištěna u PP s teplotou formy 100°C. U HDPE byly zjištěné hodnoty modulu pružnosti v porovnání s PP velmi malé. Nejvyšších hodnot modulu pružnosti bylo dosaženo u HDPE s teplotou formy 100°C, zatímco nejnižší hodnoty byly zjištěny u materiálu HDPE s teplotou formy 20°C.



Obr. 35 Maximální napětí

Z výsledků měření tahové zkoušky prováděné na trhacím stroji Zwick 1456 vyšlo najevo, že nejvyšší hodnoty maximálního napětí bylo dosaženo u PP s teplotou formy 60°C a nejmenší maximální napětí bylo zjištěno u PP s teplotou formy 100°C. U HDPE byla zjištěná hodnota maximálního napětí v porovnání s PP malá. Nejvyšších hodnot maximálního napětí bylo dosaženo u HDPE s teplotou formy 100°C, zatímco nejnižší hodnoty byly zjištěny u materiálu HDPE s teplotou formy 20°C.



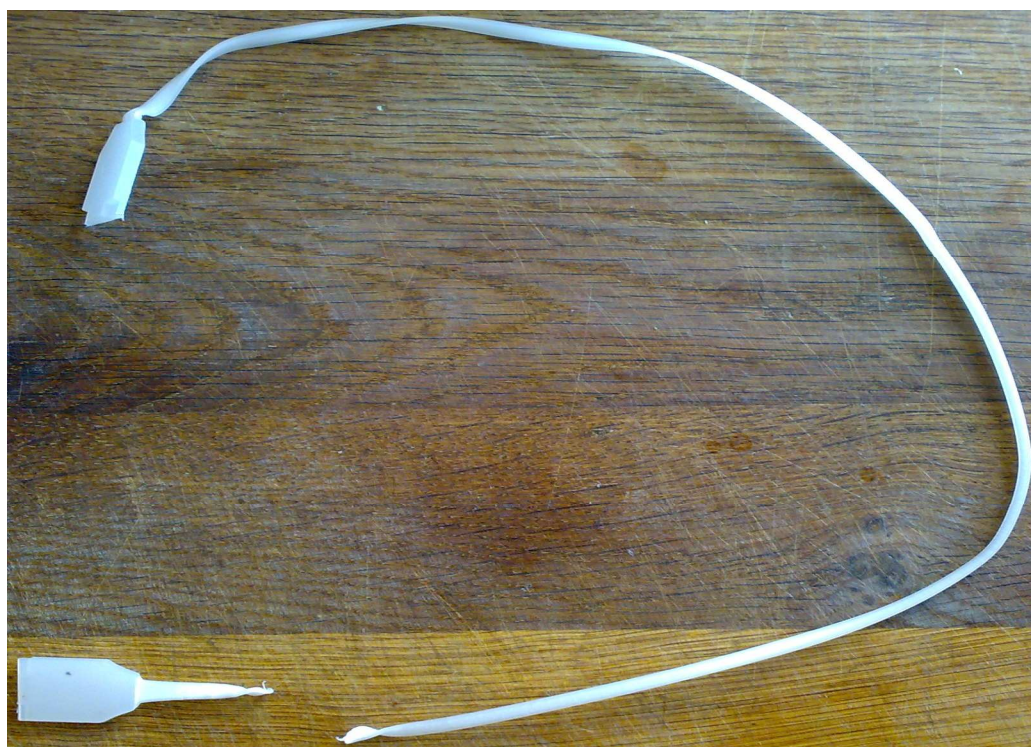
Obr. 36 Maximální síla

Z výsledků měření tahové zkoušky prováděné na trhacím stroji Zwick 1456 vyšlo najevo, že nejvyšších hodnot maximální síly bylo dosaženo u PP s teplotou formy 60°C a nejmenší maximální síla byla zjištěna u PP s teplotou formy 100°C. U HDPE byly zjištěné hodnoty maximální síly v porovnání s PP malé. Nejvyšších hodnot maximální síly bylo dosaženo u HDPE s teplotou formy 100°C, zatímco nejnižší hodnoty byly zjištěny u materiálu HDPE s teplotou formy 20°C.

7 UKÁZKA PŘETRŽENÝCH VZORKŮ

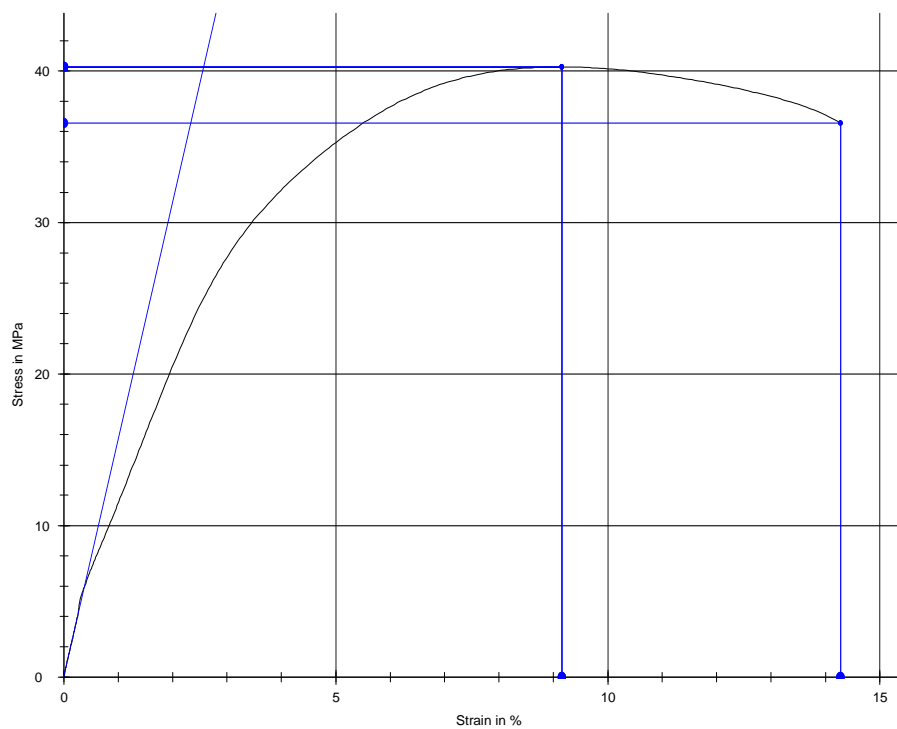


Obr. 37 Polypropylen

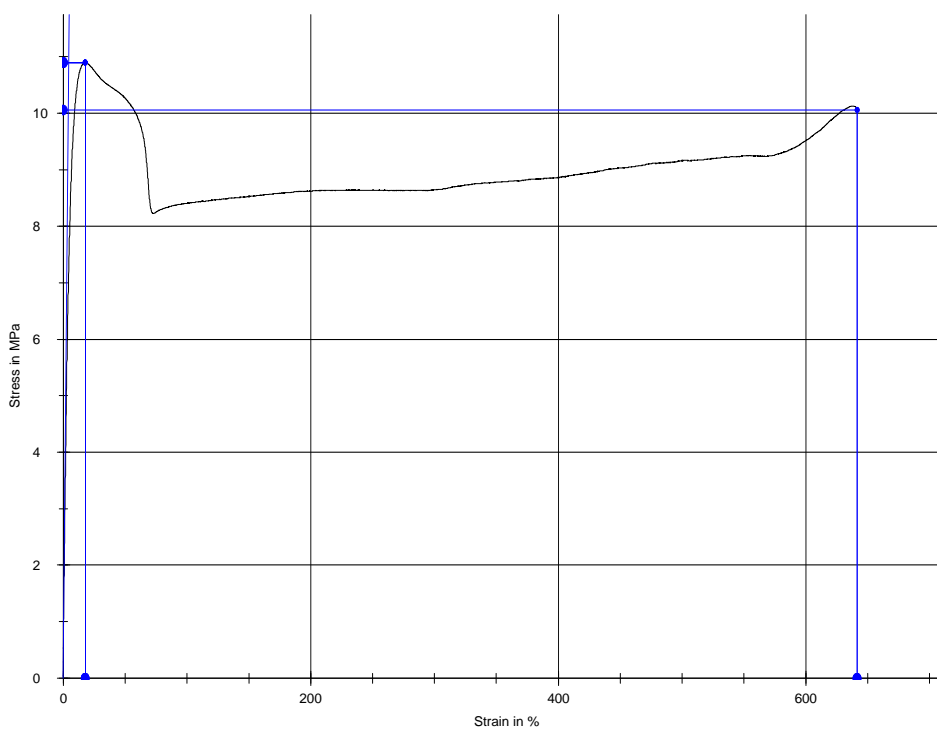


Obr. 38 Polyethylen

8 UKÁZKA TAHOVÝCH DIAGRAMŮ



Obr. 39 Polypropylen



Obr. 40 Polyethylen

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá porovnáním mechanických vlastností zvolených typů polymerních materiálů (HDPE a PP), vyrobených technologií vstřikováním a ochlazených různou rychlostí ochlazování. Zkušební tělesa z HDPE a PP byla vyrobena technologií vstřikování na vstřikovací stroji Arburg Allrounder 420C. Rychlost ochlazování byla určena teplotou vstřikovací formy. Teplota formy byla zvolena 20°C, 60°C a 100°C. Na připravených zkušebních tělesech byla provedena měření mechanických vlastností (tahová zkouška, zkouška tvrdosti). Příprava zkušebních těles a jejich následné mechanické zkoušky byly prováděny v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství. Naměřené výsledky byly graficky zpracovány a vyhodnoceny.

Z naměřených hodnot tvrdosti vyplývá, že nejvyšších hodnot tvrdosti bylo dosaženo při teplotě formy 100°C u obou typů testovaných materiálů. Naopak nejmenších hodnot tvrdosti bylo dosaženo u teploty formy 60°C a tomu odpovídající rychlosti ochlazování.

Při měření tahových zkoušek se ukázalo, že nejvyšší hodnoty tažnosti byly u materiálu HDPE zjištěny při teplotě formy 20°C, zatímco u PP při teplotě 60°C. Nejmenších hodnot tažnosti bylo u obou materiálů (PP a HDPE) dosaženo při 100°C.

Pokud jde o hodnoty pružnosti, max. napětí a max. síly, zde bylo u zmiňovaných veličin zjištěno pro HDPE, že nejvyšších hodnot bylo dosaženo u teploty formy 100°C, u PP byly nejvyšší hodnoty zjištěny při 60°C. Nejmenší hodnoty měřených veličin byly pak u HDPE dosaženy při 20°C a u PP při teplotě formy 100°C.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DILLINGER, Josef, et al. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. PhDr. Miloslava Kučerová; RNDr. Jiří Handlří, CSc.. 1. vyd. Praha : Europa-Sobotáles cz.s.r.o., 2007. 612 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [2] MAŇAS, Miroslav, HELŠTÝN, Josef. *Výrobní stroje a zařízení : Gumárenské a plastikářské stroje II*. [s.l.] : Ediční středisko VUT Brno, 1990. 202 s. ISBN 80-214-0213-X.
- [3] ČSN EN ISO 868. *Plasty a ebonit- Stanovení tvrdosti vtláčováním hrotu tvrdoměru (tvrdost Shore)*. Praha: Český normalizační institut, 2003. 12s.
- [4] PTÁČEK, Luděk, et al. *Nauka o materiálu II.* Brno : Akademické nakladatelství CERN, s.r.o., 1999. 364 s. ISBN 80-7204-130-4.
- [5] CALLEJA, F.J. Baltá, FAKIROV, S. *Microhardness of Polymers*. D.R. Clarke, S. Suresh, I.M. Ward. 1st edition. Cambridge : Cambridge University Press, 2000. 237 s. ISBN 0521642183.
- [6] KŘÍŽ, Rudolf, VÁVRA, Pavel. *Strojírenská Příručka*. Pavel Vávra. Praha : Scientia, 1993. 251. ISBN 80-85827-23-9.
- [7] Hluchý, Miroslav, Kolouch, Jan. *Strojírenská technologie 1-1. díl: Nauka o materiálu*. 3. vyd. Praha: Scientia, 2002. 266 s.
- [8] MACHÁLKA, Karel . *Mechanické vlastnosti strun pro tenisové rakety* [online]. Zlín, 2010. 63 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně . Dostupné z WWW: <<http://dspace.knihovna.utb.cz>>.
- [9] MARTÍNEK, Michal . *Měření tvrdosti polymerů* [online]. Zlín, 2010. 98 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně . Dostupné z WWW: <<http://dspace.knihovna.utb.cz>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PE	Polyetylen
HDPE	Vysokohustotní polyetylén
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
PS	Polystyrén
PC	Polykarbonát
PA	Polyamid
PMMA	Polymethylmetakrylát
PTFE	Polytetrafluoretylen
POM	Polyoximetylen
PBT	Polybutylentereftalát
d_0	průměr tyčového vzorku
L_0	délka vzorku
ČSN	Česká norma
HV	tvrdost podle Vickerse
ISO	Mezinárodní norma
HR	tvrdost podle Rockwella
F	síla vtlačování
H_D	hodnota tvrdosti Shore D
HB	tvrdost podle Brinella
HShA	zkouška tvrdosti Shore A
HShD	zkouška tvrdosti Shore D

n	číslo měření
s	směrodatná odchylka
\bar{x}	aritmetický průměr

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Termoplasty [1]	12
Obr. 2 Vstřikovací stroj [1]	16
Obr. 3 Pracovní cyklus vstřikovacího stroje [1]	17
Obr. 4 Hydraulická uzavírací jednotka [2]	18
Obr. 5 Elektromechanické uzavírací ústrojí [2]	18
Obr. 6 Pístová plastikace [2]	19
Obr. 7 Šneková plastikace [2]	20
Obr. 8 Vstřikovací jednotka s předplastikací [2]	21
Obr. 9 Trysky [2]	22
Obr. 10 Rozdělení spotřeby energie ve vstřikovacím stroji [2]	23
Obr. 11 Struktura vylisku [1]	25
Obr. 12 Průběh vstřikovacího tlaku a parametry	25
Obr. 13 Univerzální zkušební stroj pro	26
Obr. 14 Charakteristické křivky pro polymerní materiály [8]	27
Obr. 15 Tahová křivka polymerů	28
Obr. 16 Mechanismy plastické deformace polymerů [5]	29
Obr. 17 Zkouška tvrdosti podle Vickerse a Univerzální tvrdoměr [1]	30
Obr. 18 Průběh zkoušky tvrdosti podle Rockwella [1]	31
Obr. 19 Zkouška tvrdosti podle	32
Obr. 20 Zkušební hrot tvrdoměru typu A a typu D [3]	33
Obr. 21 Obecné schéma pro označení zkoušky	34
Obr. 22 Přehled nejběžnějších norem pro metodu Shore	35
Obr. 23 Tvrdoměr OMAG AFFRI ART 13	37
Obr. 24 Tvrdost	39
Obr. 25 Zkušební stroj Zwick 1456	40
Obr. 26 Prostředí programu TestXpert Master	41
Obr. 27 Zkušební stroj Zwick 1456- čelisti a extenzimetr	42
Obr. 28 Tažnost	44
Obr. 29 Modul pružnosti	45
Obr. 30 Maximálního napětí	46
Obr. 31 Maximální síla	47

Obr. 32 Tvrdost.....	48
Obr. 33 Tažnost.....	49
Obr. 34 Modul pružnosti.....	50
Obr. 35 Maximální napětí.....	50
Obr. 36 Maximální síla	51
Obr. 37 Polypropylen.....	52
Obr. 38 Polyethylen	52
Obr. 39 Polypropylen.....	53
Obr. 40 Polyethylen	53

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Typy vzorků	39
Tab. 2 Souhrnná tabulka	43
Tab. 3 Porovnání tažnosti	44
Tab. 4 Porovnání modulů pružnosti.....	45
Tab. 5 Porovnání maximálního napětí.....	46
Tab. 6 Porovnání maximální síly	47
Tab. 7 Data tah.....	63
Tab. 8 Data tvrdost.....	64

SEZNAM PŘÍLOH

PI: Tabulka naměřených hodnot-tah

Do přílohy jsou zařazeny všechny naměřené hodnoty u jednotlivých vzorků. Tyto data byla získána při zkoušce na tah na trhacím stroji ZWICK 1456.

PII: Tabulka naměřených hodnot-tvrdost

Do přílohy jsou zařazeny data získané u jednotlivých vzorků. Tato data byla získána na stroji OMAG AFFRI ART 13.

PŘÍLOHA P I: TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT-TAH

	a0	b0	Rm	RB	E	Rm	ε Rm	ε Break	ε Fmax.	ε Break	Rm
Nr	mm	mm	[MPa]	[MPa]	[MPa]	mm	%	%	mm	mm	N
1	3,93	9,84	11,4	9,1	291	15,7	16,4	623	5,7	217,9	439
2	3,93	9,84	11,4	7,9	274	16,0	16,7	484	5,9	169,3	440
3	3,93	9,84	11,8	8,6	234	16,0	16,8	479	5,9	167,6	457
4	3,93	9,84	11,8	8,6	254	15,9	16,6	556	5,8	194,6	457
5	3,93	9,84	11,6	8,6	273	16,2	16,9	569	5,9	199,2	450
6	3,93	9,84	11,5	8,0	298	15,9	16,6	648	5,8	226,7	445
7	3,93	9,84	11,2	9,1	288	16,4	17,1	635	6,0	222,4	434
8	3,93	9,84	11,5	8,7	294	16,4	17,1	567	6,0	198,3	445
9	3,93	9,84	11,3	9,2	272	15,3	15,9	677	5,6	237,1	435
10	3,93	9,84	11,3	8,8	271	15,9	16,6	662	5,8	231,9	438
11	3,93	9,84	10,9	10,1	248	17,3	18,1	642	6,4	224,6	422
12	3,93	9,84	11,2	8,0	256	17,1	17,8	160	6,3	56,1	432
13	3,93	9,84	11,2	11,0	268	17,2	18,0	674	6,3	236,0	431
14	3,93	9,84	10,7	9,5	251	17,5	18,3	631	6,4	221,0	413
15	3,93	9,84	11,5	11,3	248	644,7	678,5	680	237,5	238,0	443
16	3,93	9,84	10,7	9,6	245	18,0	18,8	634	6,6	221,9	413
17	3,93	9,84	10,9	10,7	262	620,0	652,5	654	228,4	228,8	422
18	3,93	9,84	10,8	10,3	250	627,1	660,0	662	231,0	231,6	417
19	3,93	9,84	11,3	10,9	252	627,0	659,9	667	231,0	233,6	437
20	3,93	9,84	10,8	10,4	261	16,9	17,6	654	6,2	228,9	418
21	4	9,93	11,2	10,6	248	614,8	647,0	649	226,5	227,0	443
22	4	9,93	10,4	9,7	240	17,4	18,1	602	6,4	210,5	412
23	4	9,93	11,2	11,1	253	606,6	638,4	640	223,4	224,1	444
24	4	9,93	11,5	11,0	243	619,9	652,4	656	228,4	229,6	456
25	4	9,93	10,5	9,6	244	17,1	17,9	631	6,3	221,0	415
26	4	9,93	10,3	9,2	235	587,1	617,8	625	216,3	218,8	410
27	4	9,93	10,5	9,3	241	18,1	19,0	612	6,7	214,2	418
28	4	9,93	10,5	9,7	245	17,4	18,2	610	6,4	213,6	416
29	4	9,93	10,4	9,3	237	17,0	17,8	601	6,2	210,3	414
30	4	9,93	10,5	9,7	251	17,2	18,0	633	6,3	221,6	418
31	3,99	9,94	39,7	39,5	1695	8,6	8,4	9	2,9	3,1	1574
32	3,99	9,94	39,7	38,1	1729	8,2	8,1	8	2,8	2,9	1576
33	3,99	9,94	39,7	39,7	1688	8,3	8,2	8	2,9	3,0	1575
34	3,99	9,94	39,8	37,8	1381	8,6	8,5	9	3,0	3,1	1579
35	3,99	9,94	39,9	39,9	1632	8,7	8,7	9	3,0	3,1	1582
36	3,99	9,94	39,9	39,8	1612	9,6	9,4	10	3,3	3,5	1583
37	3,99	9,94	39,7	38,8	1433	9,2	9,1	9	3,2	3,2	1573
38	3,99	9,94	27,3	17,5	1750	5,9	5,3	7	1,9	2,5	1083
39	3,99	9,94	39,3	39,3	1861	7,9	7,6	8	2,7	2,7	1560
40	3,99	9,94	39,7	39,5	1553	8,7	8,5	9	3,0	3,3	1576
41	4,01	9,97	40,3	36,6	1567	9,3	9,2	14	3,2	5,0	1610

42	4,01	9,97	40,2	35,6	1566	9,6	9,5	15	3,3	5,4	1608
43	4,01	9,97	40,3	35,8	1919	10,3	10,0	16	3,5	5,5	1610
44	4,01	9,97	40,2	31,1	1806	9,1	9,0	20	3,2	6,9	1606
45	4,01	9,97	40,1	34,9	1627	9,1	9,1	16	3,2	5,5	1603
46	4,01	9,97	40,2	36,8	1742	9,1	9,0	15	3,2	5,2	1606
47	4,01	9,97	40,2	35,1	1607	9,0	9,0	15	3,1	5,3	1605
48	4,01	9,97	39,8	34,8	1767	9,3	9,2	14	3,2	5,0	1593
49	4,01	9,97	40,2	35,3	1518	9,2	9,1	16	3,2	5,4	1605
50	4,01	9,97	40,1	36,7	1743	9,1	9,0	14	3,2	5,0	1604
51	3,99	10,03	40,0	35,5	1844	9,3	9,1	16	3,2	5,8	1600
52	3,99	10,03	39,6	34,9	1573	9,2	9,2	17	3,2	5,8	1584
53	3,99	10,03	40,1	35,2	1717	9,1	9,0	16	3,2	5,5	1603
54	3,99	10,03	39,4	31,9	1684	9,1	9,0	17	3,2	6,1	1576
55	3,99	10,03	39,9	37,1	1350	9,3	9,4	14	3,3	5,0	1598
56	3,99	10,03	39,6	38,2	1649	9,2	9,1	12	3,2	4,3	1583
57	3,99	10,03	39,9	37,3	1800	9,2	9,2	14	3,2	4,8	1595
58	3,99	10,03	39,2	38,7	1578	9,2	9,1	11	3,2	3,8	1569
59	3,99	10,03	39,6	35,6	1692	9,2	9,2	15	3,2	5,3	1584
60	3,99	10,03	40,0	33,7	1648	9,2	9,1	18	3,2	6,2	1601

Tab. 7 Data tah

PŘÍLOHA P II: TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT-TVRDOST

č. m.	PP-50 20°C	PP-50 60°C	PP-50 100°C	PE-DOW 20°C	PE-DOW 60°C	PE-DOW 100°C
1	17,9	18,3	19,4	18,9	14,2	18,6
2	20,0	16,5	19,9	18,1	19,1	17,9
3	19,2	16,7	20,3	20,0	16,6	19,4
4	20,6	17,4	20,1	18,9	17,3	18,7
5	18,8	19,1	18,6	19,8	16,5	20,0
6	20,0	17,7	20,8	20,1	17,3	20,4
7	20,0	17,1	20,2	18,3	16,7	19,6
8	20,8	19,0	20,1	20,3	18,8	19,9
9	19,4	17,4	20,8	19,1	16,3	19,4
10	19,6	17,0	20,3	19,8	17,8	20,2
11	19,8	17,4	18,0	19,0	17,6	20,4
12	19,6	17,2	20,0	18,8	17,3	19,4
13	18,5	18,2	19,6	20,1	17,2	19,7
14	19,5	17,9	20,2	18,0	18,7	20,5
15	18,7	16,7	19,0	19,1	18,0	18,9
16	19,6	18,2	17,9	19,4	17,7	18,3
17	18,3	17,5	20,4	19,9	17,1	19,5
18	20,9	16,9	19,5	18,4	16,6	19,4
19	18,1	17,0	19,5	17,5	18,2	19,6
20	18,3	17,0	19,7	18,0	17,5	19,6
21	19,5	16,8	18,9	18,4	17,2	17,7
22	17,9	17,0	19,6	18,2	17,1	20,1
23	20,7	17,0	19,0	18,0	18,2	18,2
24	19,1	16,9	19,6	20,1	18,3	18,8
25	20,0	17,4	19,8	17,8	17,9	19,8
26	19,5	17,4	18,3	19,0	17,3	18,5
27	17,7	18,1	19,8	17,8	17,2	18,9
28	20,5	17,0	19,5	17,7	18,3	18,2
29	20,9	16,8	19,7	18,9	17,3	18,7
30	19,3	17,0	19,3	18,0	17,8	20,1

Tab. 8 Data tvrdost