

Svařování plastů tepelným zrcadlem

Bc. Petr Mol

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr Mol**
Osobní číslo: **T13531**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Svařování plastů tepelným zrcadlem**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování rešerše k dané problematice
2. Příprava výrobků srovnávanými technologiemi
3. Vyhodnocení výsledků
4. Stanovení doporučení pro praktické použití

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milan Žaludek, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

30. ledna 2015

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2015

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: MOL PETR

Obor: VYROBNÍ
INŽENÝRSTVÍ

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 obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit 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 8.5.2015



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

Tématem této diplomové práce je svařování plastů tepelným zrcadlem. Diplomová práce je rozdělena na dvě hlavní části, na část teoretickou a část praktickou.

Teoretická část je zaměřena na konstrukční materiály, jejich rozdělení a zejména na plasty. Dále se práce zaměřuje na svařování plastů, různé druhy svařování, jejich deformace a vlivy na materiál.

Praktická část se zabývá rozdílem mezi svařováním plastů OPF a po 30 minutách. Úkolem je zjistit, která z těchto metod bude výhodnější.

Klíčová slova: Plasty, Svařování plastů, Testování

ABSTRACT

The theme of this thesis is plastic welding by heat mirror. The thesis is divided into two main parts, the theoretical and practical.

The theoretical part is focused on construction materials, their distribution and in particular plastics. The thesis is also focused on the plastics welding, various types of welding, deformation and material influences.

The practical part deals with the difference between plastic welding OPF and after 30 minutes. The task is to find out which of these methods will be more profitable.

Keywords: Plastic, Plastic welding, Testing

Děkuji svému vedoucímu Ing. Milanu Žaludkovi, Ph.D., za odborné vedení a ochotu, kterou mi věnoval při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ondřejovi Horáčkovi a celé firmě Miele technika s.r.o. se sídlem v Uničově za cenné rady a spolupráci.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY	12
1.1 ROZDĚLENÍ KONSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ	12
1.2 PLASTY	12
1.2.1 Základní definice.....	13
1.2.2 Použití plastů	14
1.2.3 Výroba a chemické složení plastů.....	14
1.2.3.1 Polymerace.....	15
1.2.3.2 Polykondenzace	16
1.2.3.3 Polyadice.....	16
1.2.4 Druhy plastů	17
1.2.4.1 Termoplasty	17
1.2.4.2 Reaktoplasty.....	19
1.2.4.3 Elastomery	20
1.2.5 Přísady do plastů	21
1.2.5.1 Různé druhy přísad do plastů.....	22
1.2.6 Fyzikální výklad mechanického chování plastických hmot.....	23
1.2.7 Zkoušení vlastností plastů	25
1.2.7.1 Čtyři přístupy k pevnosti polymeru	26
1.2.8 Vlastnosti důležitých plastů	28
2 SVAŘOVÁNÍ	31
2.1 SVAŘOVÁNÍ PLASTŮ	32
2.1.1 Podstata svařování termoplastů.....	33
2.1.2 Základní parametry svařování	33
2.1.3 Svařitelnost materiálů.....	34
2.1.4 Rozdělení metod svařování termoplastů	35
2.1.4.1 Svařování horkým tělesem.....	35
2.1.4.2 Polyfúzní svařování	37
2.1.4.3 Svařování elektrotvarovkou	38
2.1.4.4 Svařování infračerveným ohřevem (INFRARED WELDING).....	39
2.1.4.5 Svařování třením.....	39
2.1.4.6 Svařování laserem.....	41
3 Pnutí a deformace při svařování	44
3.1 Pnutí a deformace u jednotlivých metod svařování	45
3.1.1 Svary trubek – přímé svařování horkým tělesem.....	45
3.1.2 Svary desek a profilů – přímé svařování horkým tělesem	46
3.1.3 Svary desek a profilů – svařování horkým plynem a přídavným materiálem.....	46
3.2 TVORBA NAPĚŤOVÝCH TRHLINEK	47
II PRAKTICKÁ ČÁST	49
4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	50

4.1	MIELE TECHNIKA S.R.O.....	50
4.2	CÍLE EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI PRÁCE	50
4.3	PŘÍPRAVA A POŽADAVKY	51
5	ZKUŠEBNÍ VZORKY	52
5.1	MODUL.....	53
5.2	CELKOVÝ 3D MODEL	53
5.3	VSTŘIKOVACÍ KANÁLY	55
5.4	ANALÝZA PRŮBĚHU VSTŘIKOVÁNÍ	56
5.5	KONSTRUKČNÍ ABNORMALITY	57
5.6	TEPLOTA V OBVODECH.....	58
5.7	TLAK V CHLADÍCÍM OKRUHU.....	59
5.8	REYNOLDSOVO ČÍSLO.....	60
5.9	TEPLOTNÍ ZÁZNAM	61
6	ROZMĚROVÝ PROTOKOL	62
7	VLASTNÍ ZKOUŠKY	74
7.1	MECHANICKÉ ZKOUŠKY	74
7.1.1	Zkouška celého svaru	74
7.2	TAHOVÁ ZKOUŠKA VYŘEZANÝCH VZORKŮ.....	77
7.3	OHYBOVÁ ZKOUŠKA VYŘEZANÝCH VZORKŮ	80
7.4	TEPELNÁ ZKOUŠKA	82
	ZÁVĚR	86
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	87
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	89
	SEZNAM OBRÁZKŮ	90
	SEZNAM TABULEK.....	93

ÚVOD

V poslední době se zvyšuje trend využívání plastového materiálu a narůstají požadavky na jeho vlastnosti. Plasty neboli polymery často obsahují další látky na zlepšení užitečných vlastností, např. zvýšení houževnatosti, pružnosti, odolnost proti korozi a jiné, a proto v poslední době nahrazují klasické materiály. Vyznačují se velkou variabilitou vlastností, jako je např. tvrdost, tepelná odolnost a pružnost. Mezi jejich velké výhody patří nízká hustota, chemická odolnost, jednotnost složení a struktury, a dobrá zpracovatelnost energicky málo náročnými technologiemi vhodnými pro masovou výrobu. Z různých plastů se vyrábí slitiny tzv. polymerní směsi. Tyto směsi se využívají v automobilovém průmyslu (disky, nárazníky, přístrojové desky, součásti interiérů) ve výpočetní a sdělovací technice (kryty mobilních telefonů), v elektrotechnice a elektronice (zástrčky, vypínače).

Rostoucí počet dílů z plastu a jejich složitost si žádá jejich kvalitní a rychlé spojení do složitých tvarů. Pokud vynecháme metodu lepení a mechanického spojení, tak hlavní oblastí spojování plastů je svařování, které je použitelné pro řadu plastických materiálů. Obdobně jako u kovů, i zde dochází ke spojení v důsledku působení teploty a určitého tlaku mezi dvěma komponenty. V průběhu několika let bylo vyvinuto mnoho metod zahřívání (tavení) svařované oblasti, avšak pro každý druh plastového materiálu se hodí jiná metoda svařování. Každá z těchto metod má své výhody a nevýhody.

Tato diplomová práce je zaměřena na svařování plastů tepelným zrcadlem. Bude vyroben stanovený počet zkušebních vzorků, kdy jedna polovina vzorků bude svařena metodou OPF a druhá polovina vzorků bude svařena metodou relaxace 30 minut. Cílem praktické části tedy bude porovnání těchto dvou metod a vyhodnocení jejich vlastností

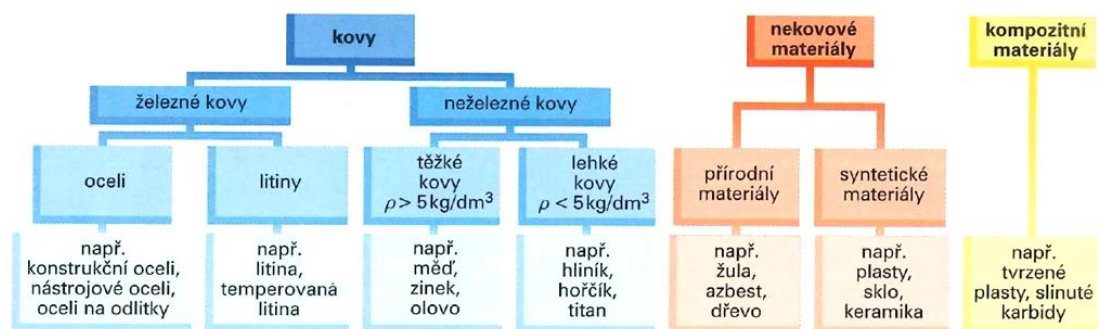
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY

1.1 Rozdělení konstrukčních materiálů

Pro souhrn a utřídění rozmanitých konstrukčních materiálů se tyto materiály dělí do skupin podle látkové podstaty a podle vlastností (obr. 1).

Konstrukční materiály tvoří tři hlavní skupiny, jako kovy, nekovy a kompozitní materiály. Tyto skupiny se dále dělí na podskupiny, jako např. železné kovy, zahrnující oceli a litiny nebo syntetické materiály, zahrnující plasty, sklo, keramiku. [1]



Obr. 1: Rozdělení materiálů do skupin [1]

1.2 Plasty

Plasty jsou uměle vyrobené organické látky polymerní povahy, používané jako konstrukční nebo textilní materiály. Základní látky pro výrobu plastů představují většinou jednoduché uhlovodíky získané z ropy nebo zemního plynu. Ve struktuře uhlovodíku je někdy uhlík nahrazovaný křemíkem (silikony) a vodík chlorem (např. u PVC) nebo fluorem (např. v teflonu). [1]

Plasty jsou makromolekulární sloučeniny, skládající se z obřích molekul (makromolekul), které jsou vytvářeny množstvím malých základních konstitučních jednotek (merů) jednoho nebo více druhů. Hranice mezi vysoko (makro) a nízkomolekulárními látkami není úplně jednoznačně stanovena. Obecně se mluví o makromolekulách, jestliže je molekulová hmotnost rovna nejméně 10 000. Někdy se ovšem udává jako spodní hranice molekulové hmotnosti pro makromolekulu i 1 000, záleží na tom, kam umístíme rozhraní mezi oligomerem a polymerem. [2]

1.2.1 Základní definice

Atom je nejmenší částice hmoty, chemicky dále nedělitelná, jeho stavba je pro každý chemický prvek jedinečná.

Molekula je nejmenší částice chemické sloučeniny, která ukazuje všechny základní vlastnosti charakterizující danou sloučeninu.

Relativní atomová hmotnost je hmotnost atomu prvku vyjádřená v jednotkách rovných 1/12 skutečné hmotnosti atomu uhlíku ^{12}C .

Relativní molekulová hmotnost je součet relativních atomových hmotností všech atomů v molekule.

Monomer je výchozí látka, ze které se polymerací vyrábí polymer.

Polymer je látka, kterou tvoří makromolekuly charakterizované mnohonásobných opakováním konstitučních jednotek vázaných mezi sebou.

Homopolymer je polymer odvozený z jednoho druhu monomeru.

Kopolymer je polymer odvozený z více než jednoho druhu monomeru.

Depolymerizace je proces přeměny polymeru na monomer nebo na jeho směs.

Řetězec je makromolekula nebo její část, oligomerní molekula, nebo blok, tvořené lineární nebo rozvětvenou sekvencí konstitučních jednotek mezi dvěma hraničními konstitučními jednotkami, jimiž může být větvící bod nebo jinak definovaný rys makromolekuly.

Lineární řetězec je řetězec neobsahující mezi hraničními jednotkami žádný větvící bod.

Rozvětvený řetězec je řetězec, ve kterém se vyskytuje mezi hraničními jednotkami alespoň jeden větvící bod.

Konstituční jednotka je skupina atomů nebo atom v řetězci polymerní nebo oligomerní molekuly.

Strukturní jednotka (opakující se konstituční jednotka) je definována jako nejmenší konstituční jednotka, jejímž opakováním se tvoří regulární polymer.








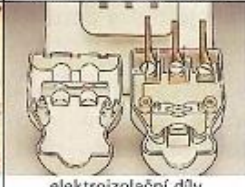
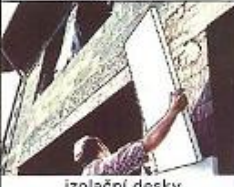

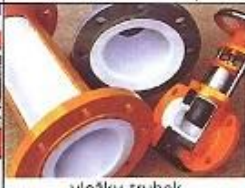
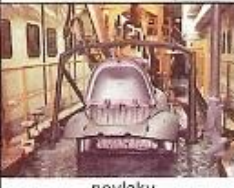
Slitina polymerů (blend) je homogenní směs polymerů, které se navzájem alespoň trochu snášejí např. houževnatý povětrnosti odolný PVC vyrobený mícháním PVC-U s chlorovaným polyethylenem.

Směs polymerů je nehomogenní soustava, ve které je modifikující přísada rozložena v podobě malých částic v základním materiálu, tzv. matici.

Sít je vysoce rozvětvená makromolekula, kde každá konstituční jednotka je propojena se všemi ostatními konstitučními jednotkami a makroskopickým fázovým rozhraním mnoha trvalými cestami vedoucími strukturou. [2]

1.2.2 Použití plastů

Plasty dnes v moderní technice zaujímají stále významnější místo. Jejich mnohostranné použití spočívá v jejich mimořádných vlastnostech a možnosti vyrábět plasty s velmi rozdílnými vlastnostmi. [3]

<p>Nízká hustota: 0,9 až 1,4 kg/dm³ (výjimka PTFE: $\rho = 2,2 \text{ kg/dm}^3$)</p>	<p>nádoby díly automobilů díly letadel</p>	 <p>nádoby, kanistry</p>	 <p>lopatková kola ventilátorů</p>	 <p>přístrojové desky</p>
<p>Od tvrdých a pevných až po měkké a elastické. Dobře tvářitelné a obrobitelné, odlévatelné</p>	<p>části strojů pryžové elastické konstrukční díly kryty strojů</p>	 <p>části převodovek</p>	 <p>pneumatiky automobilů</p>	 <p>součásti nářadí</p>
<p>Elektroizolační, tepelně izolační vlastnosti</p>	<p>rukojeti nástrojů elektrické konstrukční součásti tepelně izolační materiály</p>	 <p>rukojeti nástrojů</p>	 <p>elektroizolační díly</p>	 <p>izolační desky</p>
<p>Korozní odolnost proti mnoha chemikáliím a agresivním vlivům prostředí</p>	<p>nádoby na chemikálie trubky armatury povlaky</p>	 <p>kryty stroje</p>	 <p>vložky trubek</p>	 <p>povlaky</p>

Obr. 2: Typické vlastnosti a použití plastů [3]

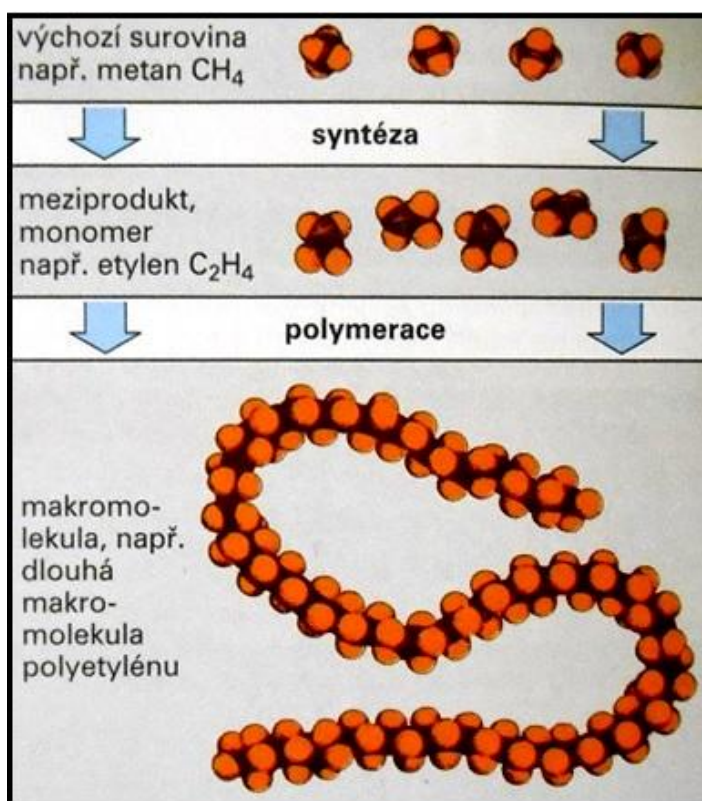
1.2.3 Výroba a chemické složení plastů

Polymery se vyrábí z monomerů, nízkomolekulárních organických sloučenin, získávaných převážně z ropy, respektive z ropných frakcí. Největší objem výroby představuje etylen, vyráběný z benzinové ropné frakce krakováním v přítomnosti vodní páry. Stále větší význam má i výroba etylenu ze zemního plynu - v podstatě metanu – nebo z plynných směsí odpadajících při rafinaci ropy. Platí to především pro USA, ale i pro další země,

mající vlastní zdroje nebo rozsáhlý import zemního plynu. Tato výroba dává větší výtěžky než postup vycházející z ropné frakce. Pokud se etylen nezpracovává přímo v místě výroby, dodává se odběratelům pomocí potrubního systému. [2]

Druhý největší objem patří propylenu. Vyrábí se většinou z ropné frakce, podobně jako etylen. Nejnověji se však vyrábí reakcí zemního plynu s vodní párou na speciálním katalyzátoru. Vedlejším produktem při tomto postupu je vysokooktanový benzin, LPG a topný plyn. Naprostá většina dalších monomerů má svůj původ v ropě. [2]

Spojování monomerů do makromolekul může probíhat polymerací, polykondenzací nebo polyadicí. Plasty jsou tvořeny převážně uhlovodíky. Kromě atomů uhlíku a vodíku dále plasty obsahují kyslík, dusík, chlor a fluor. [1]

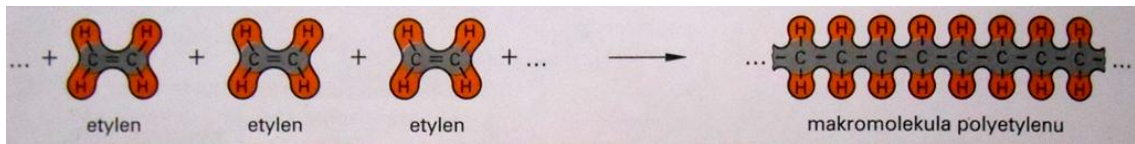


Obr. 3: Molekulární model výroby plastů [1]

1.2.3.1 Polymerace

Polymerací se rozumí skládání řetězové makromolekuly, vycházející z malých molekul (monomerů), které mají alespoň jednu dvojnou vazbu. Po rozštěpení dvojně vazby se naváže velký počet těchto molekulových stavebních jednotek v jednu velikou molekulu (makromolekulu). [2]

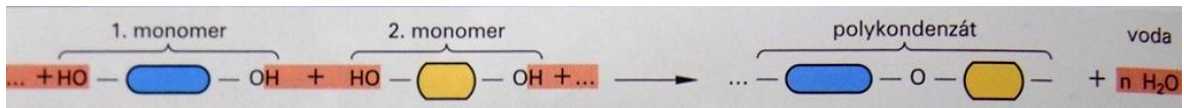
Příklad: výroba polyetylenu z etylenu. Vznikají makromolekuly tvaru vláken. [1]



Obr. 4: Příklad polymerace [1]

1.2.3.2 Polykondenzace

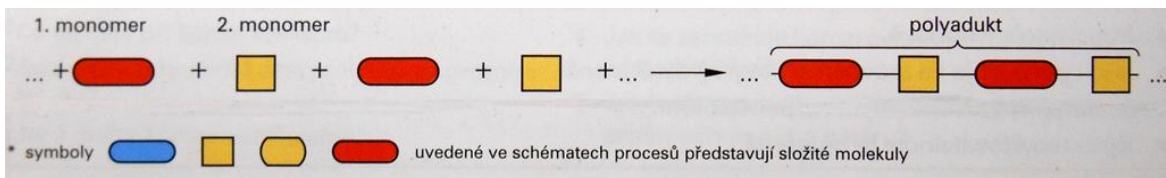
Při polykondenzaci se spojují různé nebo stejné molekuly při odštěpování jednoduchých látek, např. vody (H_2O) nebo amoniaku (NH_3). Příklad: výroba polyesterové pryskyřice. Vznikají makromolekuly tvořené dlouhými vlákny, propojenými mnoha vazebními můstky do pevné struktury. [1]



Obr. 5: Příklad polykondenzace [1]

1.2.3.3 Polyadice

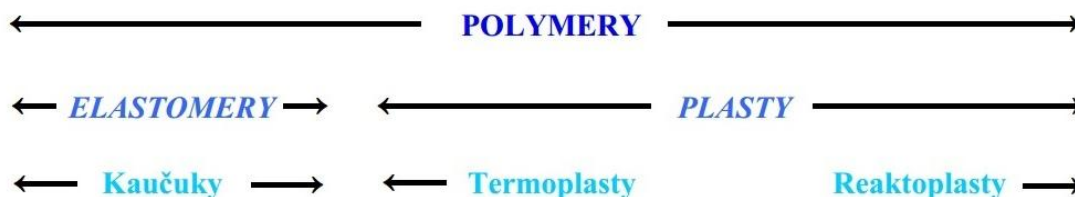
Při polyadici spolu reagují dva odlišné druhy monomerů (dvě stavební jednotky), obsahující v molekule reaktivní atomové skupiny. Nevzniká při tom žádný štěpný produkt, ale vodíkový atom se přesouvá z jedné reaktivní skupiny na jinou, čímž probíhá slučování. Mohou vznikat jak makromolekuly lineární, tak i síťované. Příklad: výroba polyuretanu. Vznikají makromolekuly tvořené dlouhými vlákny, propojenými řídkými vazebními můstky do pevné elastické struktury. [2]



Obr. 6: Příklad polyadice [1]

1.2.4 Druhy plastů

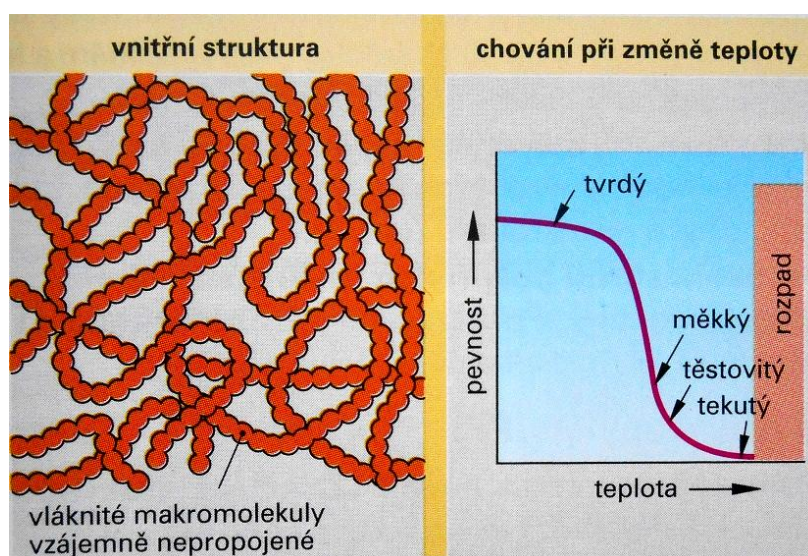
Plasty se rozdělují podle vnitřní struktury do tří skupin: termoplasty, reaktoplasty a elastomery. Každá skupina plastů má svou typickou vnitřní strukturu, která je příčinou vlastností a chování při zvyšování teploty. [1]



Obr. 7: Základní rozdělení polymerů z hlediska jejich chování za běžné a zvýšené teploty [9]

1.2.4.1 Termoplasty

Termoplasty se skládají z dlouhých molekul tvaru tenkých vláken, která nejsou mezi sebou propojena chemickými vazbami (obr. 8). Soudržnost těchto plastů a jejich pevnost je způsobena hustým propletením vláken, jejich adhezí a vzájemným třením. Při pokojové teplotě jsou termoplasty elastické a tuhé. Se zvyšující se teplotou roste jejich elasticita, která se mění na plasticitu a potom na tekutý stav. Při opětovném ochlazení se vlastnosti termoplastu vrací do původního stavu. [1]



Obr. 8: Termoplast [1]

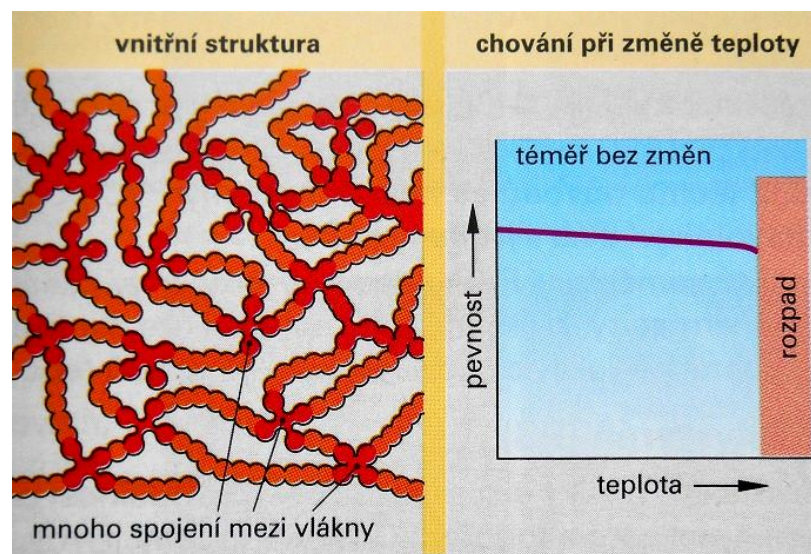
V eustatickém stavu můžeme za působení síly vzorek materiálu do určitého stupně protáhnout, přestane-li síla působit, vrací se vorek zpět do původního stavu (nemusí to být hned a úplně). V plastickém stavu materiál drží tvar, který mu dáme. V tomto stavu se tvarují výrobky hlavně vytlačováním, válcováním, vyfukováním. V tavenině se materiál chová jako tekutina, ze které vyrábíme výrobky a polotovary vstříkáním, odléváním a můžeme je taky v tomto stavu svařovat. Za vyšších teplot, zvláště v tavenině, jsou termoplasty náchylné k destrukci termooxidací. K teplenému rozkladu však dochází i bez přítomnosti kyslíku, a proto omezujeme dobu zahřívání materiálu na technologické minimum. [2]

Tab. 1: Základní vlastnosti nejdůležitějších termoplastů [7]

Název (zkratka)	Polární (P) Nepolární (N) Amorfní (A) Krystalizující (K)	Modul pružnosti v tahu [Mpa]	Mez pevnosti v tahu [Mpa]	Teplota tání [°C] Teplota skelného přechodu [°C]	Hustota [kg.m ⁻³]
Polyethylen (PE)	N K	200 – 1400	8 – 35	120 – 137 -110 až -122	914 – 960
Polypropylen (PP)	N K	1100 – 1300	21 – 37	176 -24	900 – 907
Polystyren (PS)	N A	2275 – 3275	36 – 65	– 92	1050
Polytetrafluoretylen (PTFE)	N K	410	14 – 36	327 -110	2150 – 2200
Polyvinylchlorid (PVC)	P A	2400 – 4200	40 – 60	– 75	1390 – 1959
Polymethylmetakrylát (PMMA)	P A	2500 – 3500	60 – 85	– 105	1190 – 1959
Polyoxymetylen (POM)	P K	2600 – 2900	62 – 70	181 -40	1250 – 1506
Polyamid 6 (PA 6)	P K	1200 – 1400	70 – 85	220 40	1130
Polyamid 66 (PA 66)	P K	1600 – 2000	77 – 84	265 65	1140
Polyfenyleneter (PPE)	P A	2400 – 2700	70 – 78	– 210	1100
Polyetylenetereftalát (PET)	P K	3100	50 – 80	334 –	1370

1.2.4.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty se skládají z dlouhých molekul tvaru tenkých vláken, která jsou mezi sebou propojena na mnoha místech chemickými vazbami (obr. 9). Reaktoplasty nemění příliš své mechanické vlastnosti s rostoucí teplotou jako termoplasty, protože je jejich struktura zpevněna vazbami mezi vlákny. Po překročení kritické teploty se reaktoplast rozpadne, aniž by vůbec předtím změknu. [1]



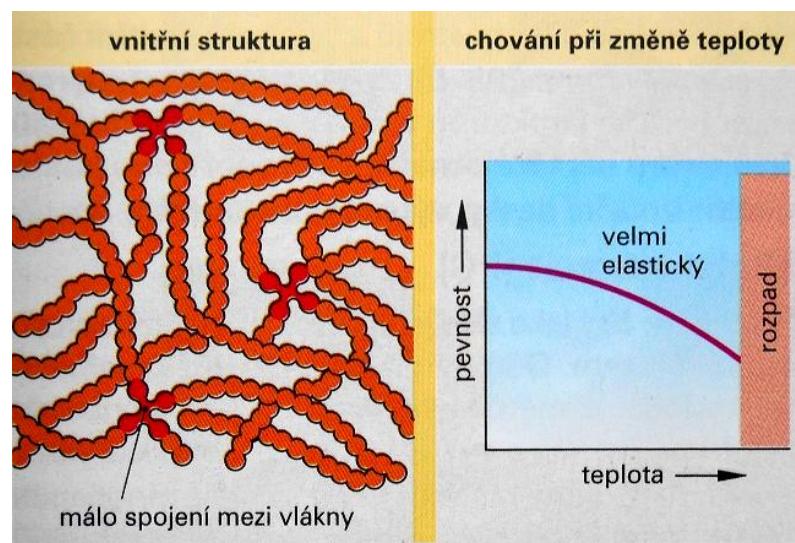
Obr. 9: Reaktoplast [1]

Reaktoplasty nepřechází do elastického nebo plastického stavu, ani je není možné převést do taveniny. Nedají se tvářet ani svařovat. Při dostatečně vysoké teplotě se chemicky rozkládají, obdobně jako termoplasty, a mají stejnou reakci se vzdušným kyslíkem. Chemický rozklad, pyrolýza, případně reakce s kyslíkem za vysoké teploty platí obecně pro všechny organické látky, tedy i pro všechny druhy polymeru. Reaktoplasty vzdorují i silně agresivním rozpouštědlům. [2]

1.2.4.3 Elastomery

Elastomery se skládají z dlouhých molekul tvaru tenkých vláken, která jsou mezi sebou řídko propojeny chemickými vazbami. Díky této struktuře se mohou elastomery plasticky tvarovat ve velkém rozpětí. Vlákna se dají několikanásobně natáhnout, aniž by se po uvolnění tahu projevila tato deformace na změně původních rozměrů. Elastomery nejsou za tepla tvářitelné ani svařitelné. [1]

Se zvyšující teplotou se stávají měkčími a pružnějšími, aniž by však vlivem zvýšené teploty přecházely do plastického nebo kapalného stavu. Jejich významná vlastnost je pružnost neboli elasticita (schopnost materiálu nabýt původního tvaru po ukončení deformujícího napětí). Elastomery se s nízkou teplotou stávají tužšími, tvrdnou, zvýšená teplota způsobuje zvýšení pružnosti a poklesu tvrdosti. [2]



Obr. 10: Elastomer [1]

1.2.5 Přísady do plastů

Pojmem přísady rozumíme látky, které jsou v polymerech fyzikálně dispergované bez toho, aby významněji ovlivňovaly jejich strukturu, a přidávají se do polymerů s cílem zlepšit vlastnosti nebo snížit cenu výrobku z plastu. Z chemického hlediska jde o sloučeniny rozdílných typů, které se často rozdělují podle účinků na vlastnosti vzniknutých plastů, např. na přísady ovlivňující zpracovatelské vlastnosti a na přísady modifikující užitkové vlastnosti. Obvykle však není velká hranice mezi jednotlivými skupinami, protože jedna přísada může ovlivňovat současně zpracovatelské i užitkové vlastnosti plastu. [4]

I když modifikace vlastností plastů přísadami se dá realizovat poměrně lehce, způsobuje hodně problémů. Při úpravě vlastností na určité aplikace je třeba použít několik přísad naráz, které se mohou navzájem ovlivňovat. Výběr vhodné přísady, případně kombinace přísad je zpravidla velmi náročný. Účinek přísady je kromě jejich vlastností ovlivňovaný i způsobem přimíchávání do polymeru, mísitelností a snášenlivostí s polymerem. Vzhledem ke zdravému životnímu prostředí musí plasty splňovat různé předpisy vládních zdravotnických institucí. Výběr vhodné přísady vyžaduje hodně poznatků a zkušeností. Je třeba zohledňovat více faktorů: vlastnosti polymeru, způsob a podmínky zpracování, požadavky na výrobu z hlediska zpracování a používání, vlastnosti jednotlivých přísad a jejich vzájemné interakce. Všeobecně se vyžaduje, aby přísady měly tyto vlastnosti:

- Co největší účinnost,
- přiměřenou snášenlivost s polymerem,

- dobrou odolnost proti zpracovatelským teplotám (případně i proti světlu),
- vhodnou konzistenci a finální úpravu,
- přísady nesmí negativně ovlivňovat vlastnosti polymeru,
- v případě speciálních aplikací (např. Při styku s potravinami) se vyžadují dobré organoleptické a fyziologické vlastnosti,
- přijatelná cena a dostupnost. [4]

1.2.5.1 Různé druhy přísad do plastů

Změkčovadla jsou látky většinou organického původu, jejich přidáním snižujeme zpracovatelskou teplotu polymeru na úroveň podstatně nižší, než je teplota jejich degradace. Pomocí změkčovadel lze výrazně ovlivňovat a regulovat fyzikálně-mechanické vlastnosti polymerních směsí a jejich výrobků. Z fyzikálně-mechanických vlastností jsou to především zvýšená flexibilita, lepší tvarovatelnost, vláčnost, ohebnost, snížená teplota skelného přechodu. [4, 9]

Maziva jsou pomocné látky, které ulehčují zpracování obtížně zpracovatelných plastů, např. PVC, PS, PTFE tím, že zlepšují tokové vlastnosti a adhezi na povrchu části strojů, které přicházejí do styku s taveninou. Mimo jejich hlavní úlohu tj. zlepšení tokových vlastností mají maziva i jiné důležité funkce. Můžou působit na urychlení tvorby taveniny, na zlepšení lesku, jako antiblokové a separační činidla a také zlepšovat zbarvení i mechanické vlastnosti. Maziva jsou organické látky, částečně přírodního původu, jako jsou produkty ropy, živočišné a rostlinné tuky, částečně syntetické produkty. Dodávají se obvykle se formě sypkého materiálu, který má sklon k shlukování, s teplotou tavení asi 150 °C. V menším množství se používá jako kapalina. Pastovité produkty se pro špatnou manipulaci nepoužívají. [4, 9]

Antidegradanty jsou přísady, které dlouhodobě chrání výrobky před vnějšími vlivy během jejich používání. Rozdělují se na:

- **Světelné stabilizátory.** To jsou přísady, které absorbují ultrafialové záření, tzn. nejvíce energickou složku slunce, které způsobuje degradaci polymeru. Světelné stabilizační účinky projevují také některé pigmenty, nejvyšší je prokázán u aktivních sazí. [9]
- **Antioxidanty.** Vzdušný kyslík způsobuje degradaci plastu po dlouhé době expozice především za normální teploty. Za zvýšené teploty se proces urychluje a mluvíme

o tzv. oxidačním stárnutí, což se projevuje štěpením makromolekul na radikály, které zahájí řetězovou oxidační reakci vedoucí k degradaci plastu. Antioxidanty jsou látky, které omezují tuto řetězovou oxidaci. [9]

Separáční činidla se používají k usnadnění vyjmutí výrobku z formy. Kromě vnějších maziv lze do této skupiny zařadit i silikonové oleje nebo disperze z PTFE, a separáčn

í fólie z celofánu nebo polyvinylalkoholu. [9]

Plniva tvoří skupinu přísad, která se svoj

í strukturou, složením, chemickým charakterem a fyzikáln

ími vlastnostmi podstatně liší od vlastností polymerní matrice. Plnivy lze zlepšit mechanické vlastnosti výrobku (např. pevnost, houževnatost, odolnost proti o

těru), ale jednou z jeho hlavních výhod je cenová stránka. Je zde totiž možnost náhrady polymeru ve výrobku určitým objemem relativně levnějš

ího plniva. Jsou to většinou tuhé látky používané ve formě prášků nebo granulí. Plní se jimi termoplasty, reaktoplasty i kaučuky. [4, 9]

Barviva, pigmenty dávají polymernímu materiálu určitý barevný odstín. Jsou v polymerech nerozpustné, podle původu jsou anorganické, organické a bronze (kovové prášky), mohou působit také jako nukleační činidla. Různá barviva použitá na stejný polymer mohou vyvolat různá smrštění v

ýstřiků. Základem barevného koncentrátu je tzv. nosič, tj. plast, který obsahuje 20x až 100x více pigmentů a barviv než původní přírodní granulát. Základním požadavkem, kladeným na barevné koncentráty je jejich tepelná stálost tzn. nosič, pigment i barvivo musí beze změny odolat výrobním podmínkám i při několikanásobném zpracování regenerátu. Dalším požadavkem je světelná stálost, odolnost vůči UV záření a zdravotní nezávadnost. [5]

1.2.6 Fyzikáln

í výklad mechanického chování plastických hmot

Tuhé těleso, které je deformováno vnější silou do nového ustáleného stavu a které se vrací do původního stavu, jakmile vnější síla zmizí, je nazýváno tělesem elastickým. Kapalina naopak nemá pevný tvar, mění jej vlivem vnějších sil, teče, přičemž vzniká teplo vlivem vnitřního tření. Tuhé těleso je charakterizováno elasticitou, kapalina viskozitou. Plastické hmoty jako materiály, jejichž podstatnou složkou jsou polymery, mají vlastnosti blízké se více či méně vlastnostem tuhého tělesa či viskózní kapaliny, a to v závislosti na teplotě a čase, ve kterém jsou jejich vlastnosti pozorovány nebo využívány. [6]

Základním vztahem klasické teorie elasticity je Hookeův zákon, který říká, že pro izotropní těleso složky tenzoru napětí jsou úměrné složkám tenzoru deformace, takže např. pro směr x platí (za předpokladu, že směry x a y jsou vzájemně kolmé)

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \sigma_x - \frac{\mu}{E} (\sigma_y + \sigma_z); \quad \gamma_{xy} = \frac{1}{G} \sigma_{xy}, \quad (1)$$

kde $\varepsilon_x = \Delta l / l_0$ je lineární deformace ve směru x ,

γ_{xy} -smyková deformace.

Chování izotropního ideálně elastického – hookeovského tělesa – je tedy charakterizováno dvěma konstantami a to Youngovým modulem E a Poissonovým poměrem μ . Třetí konstanta, modul pružnosti ve smyku G , je pak definován vztahem

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (2)$$

Právě tak je možno definovat další elastickou konstantu, modul stlačitelnosti K , kde

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\mu)} \quad (3)$$

Chování ideálně viskózní kapaliny vyjadřuje Newtonův viskozitní zákon: složky napětí jsou úměrné složkám rychlosti deformace. Pro nestlačitelnou kapalinu pak platí:

$$\sigma_x = 2\eta \dot{\varepsilon}_x - p; \quad \sigma_{xy} = \eta \dot{\gamma}_{xy} \quad (4)$$

($\dot{\varepsilon} = d\varepsilon/dt, \dot{\gamma} = d\gamma/dt, p$ je hydrostatický tlak)

Ideálně viskózní nestlačitelnou kapalinu popisuje jediná materiálová konstanta, smyková viskozita η ; její jednotkou je poise (1 poise = 1 dyn s/cm²). [6]

Plastické hmoty jsou obecně zařazovány mezi materiály viskózně elastické, pro popis jejich chování se pak používá teorie viskoelasticity.

Deformaci viskoelastického materiálu lze rozložit na tři části

$$\gamma(t) = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3, \quad (5)$$

Všechny tři členy jsou úměrné konstantnímu napětí σ . První člen γ_1 je okamžitá Hookeova deformace, γ_2 je tzv. zpožděná elastická deformace (či vysoce elastická), která je pro polymery velmi charakteristická. Bývá popisována tzv. funkcí zpožděné elasticity $\psi(t)$, vztahem

$$\gamma_2 = \sigma(1/G)\psi(t). \quad (6)$$

Zpožděně elastická deformace γ_2 je vratná, mizí postupně (v závislosti na čase), jakmile přestane působit napětí, nastává tzv. zotavení. Třetí člen γ_3 je Newtonův tok, který je úměrný době působení napětí podle vztahu

$$\gamma_3 = \sigma(t/\eta). \quad (7)$$

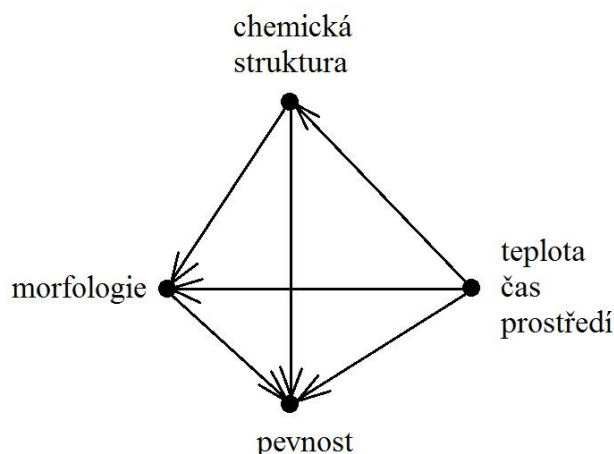
Viskózní deformace je nevratná, γ_3 zůstává, i když přestane působit napětí. [6]

1.2.7 Zkoušení vlastností plastů

Vlastnosti, které charakterizují odpor nebo odolnost materiálu proti porušení soudržnosti, se označují jako pevnostní nebo mezní vlastnosti. Příkladem těchto vlastností je pevnost v tahu, tažnost, životnost (doba, při níž vznikne lom) nebo odolnost proti oděru. Samotné porušení soudržnosti materiálu za vzniku nových povrchů vyvolané mechanickým napětím se nazývá lom. V obecném významu je tedy lom nejen přelomení polyesterové lžičky, ale i protržení pryžového míče vnitřním přetlakem. Lom je totiž singularita vnějších deformačních procesů i vnitřních strukturních změn. Krom toho je popis pevnostního chování většiny materiálů komplikován jeho citlivostí na přítomnost strukturních vad, výrazným experimentálním rozptylem a závislostí na vnější geometrii tělesa. [8]

Mechanické vlastnosti polymerních materiálů jsou závislé na jejich struktuře. Strukturu však můžeme uvažovat na různých úrovních – od molekulární přes nadmolekulární, případně fibrilární, strukturní uspořádání polymerních směsí a kompozitů až po makroskopické nehomogenity a trhliny. Strukturní uspořádání, které lze pozorovat mikroskopem, se obvykle označuje jako morfologie. Mechanika polymerů tedy zasahuje do několika vědních disciplín, které jsou zaměřeny na různé strukturní úrovně hmoty. Tyto úrovně přitom ovlivňují mechanické chování různě. Obecně lze říci, že nedestruktivní mechanické charakteristiky (např. moduly pružnosti) jsou spíše integrální charakteristiky materiálu v celém objemu, zatímco pevnostní vlastnosti (např. pevnost nebo houževnatost) jsou citlivé hlavně na přítomnost větších strukturních útvarů a nepravidelnost v materiálu. Soubor zdánlivě identických zkušebních těles proto může vykazovat značný rozptyl pevnostních vlastností, který má fyzikální příčiny. Samotná molekulární struktura pak často působí na pevnost až druhotně nebo zprostředkovaně, např. že ovlivní kinetiku krystalizace nebo schopnost polymeru zpevňovat se orientací. Experimentální podmínky (čas, teplota, prostředí) rovněž ovlivňují mechanické chování, ale současně působí i na

morfologii. Toto je schematicky znázorněno čtyřstěnem na obr. 11. Toto schéma má závažné praktické důsledky. Dnes se totiž ukazuje, že ovládnutí vztahů mezi přípravou, zpracováním, strukturou a vlastnostmi je pro inovaci polymerních materiálů často důležitější, než syntéza zcela nových typů polymerů. [8]



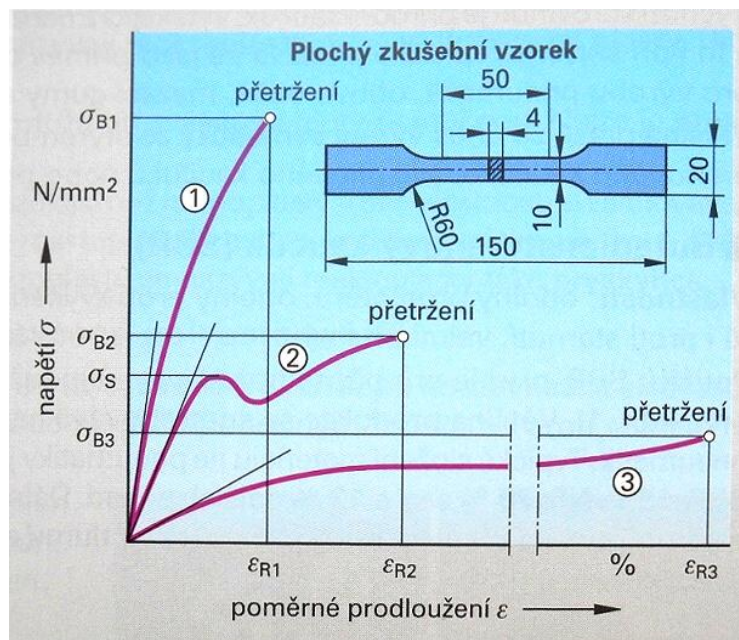
Obr. 11: Schematický čtyřstěn faktorů, které ovlivňují pevnost polymerů [8]

1.2.7.1 Čtyři přístupy k pevnosti polymeru

Experimentální hodnocení pevnostních i deformačních vlastností polymerů v pevném stavu může sledovat různé cíle:

- a) První a nejspíše nejstarší z nich je přístup technologický. Už při syntéze prvních polymerů sloužily mechanické vlastnosti jako základní charakteristiky kvality nových materiálů. Například vývoj technologie syntetických vláken by nebyl možný bez soustavného výzkumu jejich mechanického chování. Mechanické a zejména pevnostní vlastnosti jsou také důležitým kritériem při kontrole výroby plastů, její optimalizaci. K tomuto účelu je třeba, aby podmínky zkoušky byly co nejjednodušší a sjednoceny v normě. [8]

Mechanické vlastnosti plastů se provádí pomocí tahové zkoušky. Zkouška se provádí se zkušebním vzorkem. Měří se tahová síla a prodloužení vzorku a z naměřených hodnot se vytvoří diagram (obr. 12). Ze smluvního diagramu je možné odečítat parametry vztažené k výchozímu průřezu vzorku: pevnost v tahu σ_B a tažnost ε_R . [1]



Obr. 12: Diagram zkoušky tahem různých typů plastů [1]

Podle mechanických vlastností se rozlišují tři typy plastů:

- tvrdé tuhé plasty, např. polystyren, neměkčený PVC nebo PMMA (obr. 12-1). Jejich nejdůležitějším parametrem je pevnost v tahu σ_B ,
- tvrdé ohebné (pružné) plasty, s výraznou mezí kluzu σ_S v tahovém diagramu, např. vysokohustotní polyetylen nebo polyamid (obr. 12-2),
- gumově elastické plasty s velkou tažností ϵ_R , jako butadienový kaučuk nebo nízkohustotní polyetylen (obr. 12-3). [1]

Další důležitou materiálovou konstantou je modul pružnosti v tahu E , vyjadřující tuhost materiálu jako poměr napětí a poměrného prodloužení ($E = \sigma/\epsilon$), odpovídající strmosti tahové křivky v jejím počátku. [1]

- b) S rozšiřováním konstrukčních aplikací plastu a kompozitů roste význam mechanických vlastností jako číselných podkladů pro dimenzování konstrukčních částí. V tomto případě už si nevystačíme pouze s obyčejným tahem nebo tlakem. Vzhledem k předpokládanému provoznímu namáhání je třeba materiál hodnotit také při víceosé napěťové geometrii, krátkodobé zkoušky doplnit pozorováním materiálu pod napětím (případně i v aktivním prostředí) a určit teplotní interval, v němž může být materiál používán. [8]
- c) Ještě jinou podobu mají mechanické experimenty při zkoušení hotových výrobků. Experimentátor musí zvolit takové uspořádání zkoušky, které co nejvěrněji napodobuje skutečné provozní namáhání nebo příčinu selhání. Příkladem

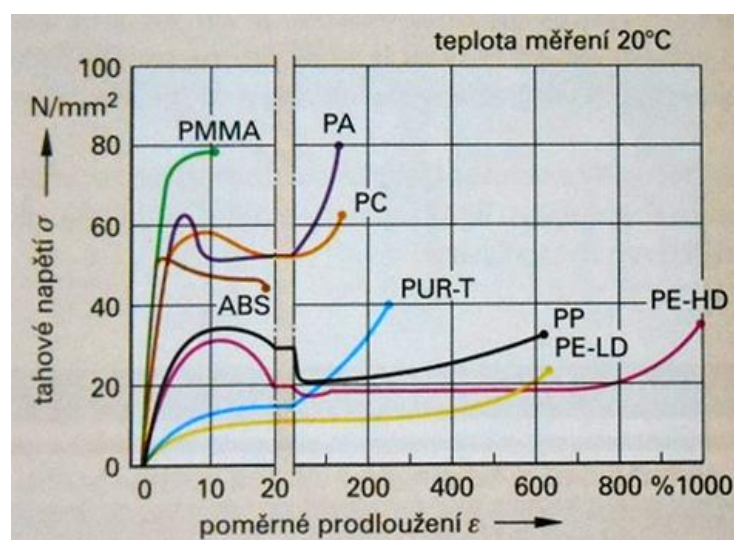
je testování horolezeckého lana, ochranné přilby, brýlových skel nebo přepravky na zeleninu. [8]

- d) Kromě uvedených tří praktických přístupů se také rozvíjí základní a teoretický výzkum pevnostních vlastností. K tomuto jsou samotné mechanické zkoušky obvykle nedostatečné, ale je třeba je kombinovat s dalšími fyzikálními přístupy, jako je mikroskopie (např. vyšetření lomových ploch), difrakce světla a záření X, infračervená spektroskopie nebo elektronová paramagnetická rezonance. Pozoruhodné informace poskytuje sledování zvukových signálů (akustické emise), urychlených částic a elektromagnetická záření (fraktoemise), které emituje postupující lomová fronta. Pokrok v pochopení mechanismů pevnosti polymerů je velice důležitý z vědeckého hlediska, ale současně vytváří předpoklady pro materiálové inovace a efektivní aplikace nových materiálů. [8]

1.2.8 Vlastnosti důležitých plastů

- Pevnost v tahu, mez kluzu

Různé druhy plastů mají různé tahové charakteristiky obr. 13. Tvrdé a tuhé plasty, jako polyamidy (PA), polykarbonáty (PC), polymethylmetakrylát (plexisklo, PMMA) a některé kopolymery polystyrenu (ABS) mají pevnost v tahu od 50 N/mm^2 do 80 N/mm^2 . Méně pevné plasty, jako polyetylen (PE), polypropylen (PP) a polyuretan (PUR-T) mají pevnost v tahu od 30 N/mm^2 do 40 N/mm^2 . [1]



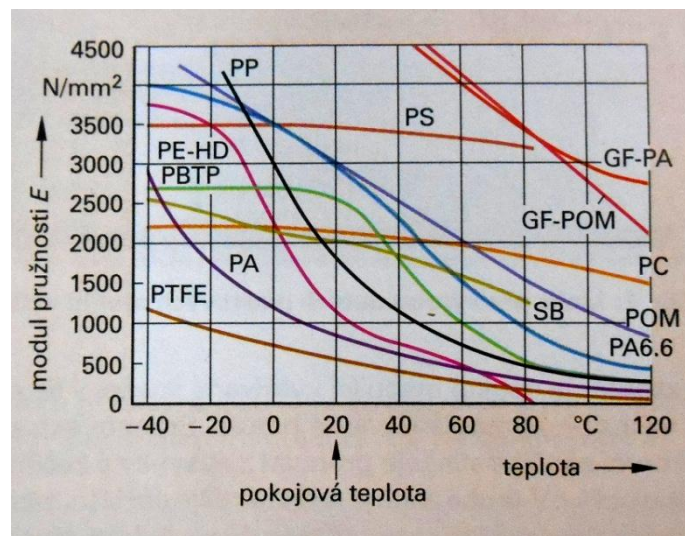
Obr. 13: Diagramy zkoušky tahem různých plastů [1]

Při srovnání těchto hodnot s hodnotami pevnosti oceli od 300 N/mm^2 do 1500 N/mm^2 je jasné, že plasty je možné použít jen na málo zatížené konstrukční díly. Kompozitní

materiály s plasty a skleněnými, karbonovými (uhlíkovými) nebo kevlarovými (aramidovými) vlákny se vyrovnají pevnosti v tahu nelegovaným ocelím. [1]

- Tuhost (pružnost)

Modul pružnosti v tahu E , charakterizující tvarovou tuhost materiálu má při pokojové teplotě hodnoty u různých plastů od 500 N/mm^2 do 3500 N/mm^2 obr. 14. Se zvyšující se teplotou tato hodnota klesá.

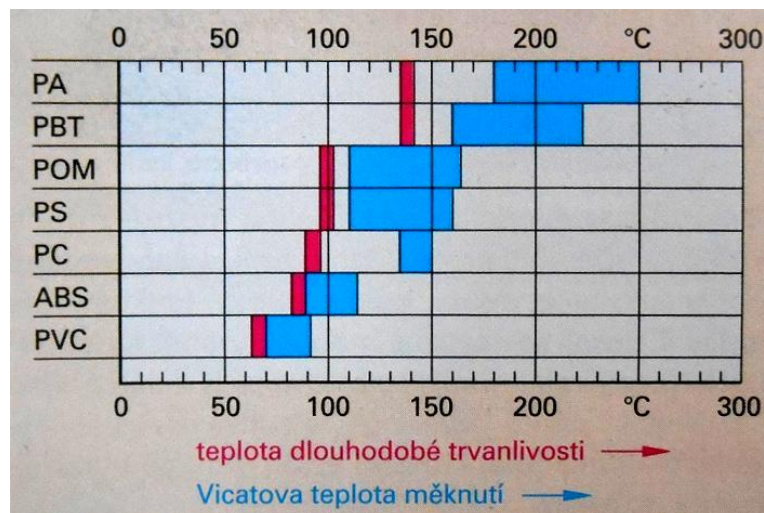


Obr. 14: Teplotní závislost modulu pružnosti E (tuhosti) různých plastů [1]

Při srovnání těchto hodnot s hodnotami tuhosti oceli kolem 210000 N/mm^2 je zřejmý rozdíl. Nezpevněné plasty se proto nehodí na mechanicky zatěžované konstrukční díly. Kompozitní plastové materiály vyztužené pevnými vlákny, jako např. polyamidy se skleněnými vlákny (GF-PA) mají daleko větší modul pružnosti v tahu E , tedy i tuhost. Mají také podstatně větší odolnost proti tečení při stálém zatížení. Pro svou malou hustotu (kolem 2 kg/dm^3) se tyto materiály používají při výrobě letadel, osobních automobilů, jízdních kol aj. [1]

- Stálost při vyšších teplotách

Vicatovy teploty měknutí různých plastů mají poměrně veliké rozpětí obr 15. Zatímco je PVC stabilní jen přibližně do 70 °C , jsou polyamidy stabilní až do 210 °C . Teplota dlouhodobé trvanlivosti, omezující dlouhodobou použitelnost i pro teplotně stabilní plasty je např. pro polyamidy kolem 130 °C obr. 15. [1]



Obr. 15: Teplotní stálost plastů

- Teplota skelného přechodu

Z průběhu závislosti modulu pružnosti na teplotě vyplývá, že nejdůležitější fyzikální charakteristikou, rozhodující o teplotním rozsahu konstrukčního použití plastů, je teplota skelného přechodu T_g . Hodnota T_g úzce souvisí se strukturou konstituční jednotky polymeru. Čím je tato struktura komplikovanější a tuhost makromolekul větší, tím je nesnadnější pohyblivost molekulárních segmentů a T_g se zvyšuje. Protože je T_g z fyzikálního hlediska mezní hranicí pro konstrukční použití amorfních polymerů, je snaha syntetizovat polymery s co nejvyšší T_g . Se vzrůstající T_g a tuhostí makromolekul se ovšem zhoršuje zpracovatelnost polymerů kvůli značně vysoké viskozitě taveniny. Z toho důvodu se některé polymery s vysokou T_g mísí s vhodným polymerem o nižší T_g , aby se zlepšila zpracovatelnost.

2 SVAŘOVÁNÍ

Svařování patří svým charakterem mezi nerozebíratelné druhy spojení dvou nebo více dílů. Ke spojení dojde v důsledku dodání určitého množství energie do místa styku těchto dílů. Bylo vyvinuto více způsobů a technologií svařování, neboť je kvalitativně více možností přívodu tepla nebo kinematické energie do místa svaru. Různé způsoby svařování si dále vynutila potřeba svařovat velké množství různých druhů materiálu při ještě větší potřebě různého konstrukčního uspořádání svařovaného uzlu. [10]

Svařování má rozsáhlé a velmi různorodé uplatnění ve strojírenství i v dalších průmyslových oborech. Umožňuje vyrábět strojní části i celé konstrukce spojovaných součástí jednoduchého tvaru. Další uplatnění je v opravárenství při renovaci nebo výměně opotřebovaných součástí i celých zařízení. Podstatou svařování kovů je vytvoření metalurgického spojení, tj. spojení založeného na působení meziatomových sil, které jsou příčinou soudržnosti a pevnosti kovů, tedy sil, které udržují velmi účinně přesné vzájemné polohy a odstupy atomů tvořících atomovou mřížku uvnitř části. Zároveň také zabezpečují stálý tvar kovových předmětů. Aby mezi atomy, které náleží ke dvěma kovovým částem, začaly působit uvedené síly, je třeba přiblížit atomy tvořící povrchové vrstvy, na vzdálenost normální meziatomové vzdálenosti v krystalové mřížce uvnitř kovu. Podařili-li se to v celé styčné ploše, zanikne dřívější rozhraní mezi oběma částmi a vznikne více nebo méně dokonalý tvar. K tomuto cíli je třeba dodat určitou energii, která může být tepelná a mechanická v různých vzájemných poměrech. [11]

Výhody svařování:

- Zjednodušení konstrukcí, možnost uplatnění nových, ekonomicky vhodných koncepcí konstrukce,
- při dodržení určitých výhodných kritérií, možnost náhrady za výkovky a odlitky,
- uplatnění tvůrčí schopnosti konstruktérů, např. možnost řešení konstrukcí jako deskové, přihrádkové, skříňové, skořepinové,
- snížení hmotnosti konstrukcí vhodnou volbou a účelným využitím materiálu, volbou vhodných svarových spojů, způsobu svařování a zejména dovoleným namáháním svarového spoje,
- snížení výrobních nákladů,
- zvýšení tuhosti konstrukcí.

Nevýhody svařování:

- Svarový spoj se tvoří za tepla v úzce omezeném pásmu svařovaných částí – lokální ohřev,
- u řady způsobů svařování probíhá proces svařování postupně ve směru svarové housenky, čímž průběh teplot je velmi nestejnomy,
- dochází ke změnám struktury i mechanických vlastností svarového spoje,
- při rychlém chladnutí svarů ocelí vyšší pevnosti je nebezpečí zakalení v tepelně ovlivněném pásmu základního materiálu,
- vznik vnitřních pnutí a deformací,
- jakost svaru a jejich únosnost s funkční způsobilost je nepříznivě ovlivněna skrytými vnitřními vadami ve svarech, vnitřní vady zeslabují nosný průřez a mají i vrubový účinek, za spolupůsobení vnitřních pnutí jsou vnitřní skryté vady zdrojem latentního nebezpečí porušení svaru. [11]

2.1 Svařování plastů

Vedle svařování kovových materiálů mají své nezastupitelné místo i plasty. Plasty patří mezi nejvýznamnější nekovové konstrukční materiály. Širší použití plastů ve strojírenství, elektrotechnice, stavebnictví, chemii a mnoha dalších oborech bylo podmíněno vývojem nových druhů plastů se zvýšenou pevností, teplotní a chemickou odolností a dalšími parametry. Vznik těchto nových materiálů podmiňoval i rozvoj zpracovatelských technologií, umožňujících výrobu stále složitějších a technicky náročnějších plastových dílců a plastových polotovarů (desky, tyče, trubky a další profily). To si vynutilo technický pokrok i ve spojovacích technologiích, jako je lepení a svařování plastů. Nejčastěji se svařování plastů používá na plastových dílech, u kterých není možnost jejich výroby z jednoho kusu. Ke svařování plastů obvykle dochází ve formě polotovarů – fólií, desek, profilů, ale také u vstřikovaných součástek. Svařování plastů nachází uplatnění např. v obalové technice (svařování fólií), ve spojování trubek a velkorozměrných rour při realizaci potrubních sítí pro rozvod plynu i kapalných médií, při stavbě konstrukcí a aparatur pro chemické a potravinářské strojírenství (nádrže otevřené i uzavřené, různé vany, žlaby), ve stavebnictví při výrobě různých stavebních prvků, a mnoha dalších různých plastových komponentů. [15]

Svařují se pouze termoplasty, které splňují požadavky na svařitelnost materiálů. Reaktoplasty a elastomery nelze svařovat, proto je možné u těchto materiálů použít jiné metody spojování. [2]

2.1.1 Podstata svařování termoplastů

Termoplasty působením tepla měknou, přecházejí v taveninu, ve které se můžou spojovat. Ve stavu taveniny musí dojít k tlaku nahřátých ploch proti sobě, aby došlo k promísení makromolekul ve spoji. Potom musí být u svařovaných materiálů obnoven původní stav pozvolným ochlazením bez jeho urychlování. Vzniká tak nerozebíratelný spoj o poměrně vysoké pevnosti.

Svařování termoplastů je fyzikální proces, kde na rozdíl od svařování kovů nedochází v tavenině k zásadní přeměně materiálu. Makromolekuly zůstávají bez chemických změn, tj. bez přeměny řetězců. Dojde tak pouze k jejich promísení a po ochlazení k obnovení vzájemných přitažlivých sil.[2]

2.1.2 Základní parametry svařování

Základními parametry svařování je teplota, tlak, čas. Musí se vzájemně přizpůsobit s ohledem na chemicko-fyzikální vlastnosti svařovaných plastů, druh použité svařovací technologie a na podmínky prostředí.

- Teplota je proměnlivá s druhem plastu, ale i s metodou svařování. Např. u materiálu PP je teplota horkého tělesa při svařování polyfúzí 250 – 270 °C, při svařování na tupo 200 – 220 °C a při svařování horkým plynem a přídavným materiálem rychlotryskou je teplota horkého plynu 300 – 340 °C (měřeno 5 mm uvnitř trysky). Svařovací teploty pro různé typy plastů a stejné metody jsou také často rozdílné, např. při svařování polyfúzí je pro PE-LD teplota 190 – 200 °C a pro PE-HD teplota 250 – 270 °C.
- Tlak musí vždy působit na spojovaných plochách svařovaných dílů. U ručních postupů svařování je přítlak vyvozen svářečem ručně. U strojních postupů je dosažen mechanicky za pomoci svářečen přes tlačné pružiny nebo soustavou pák, také hydraulikou strojů i pneumatickými pohony. U některých metod svařování je na podporu vytvoření tlaku na svařovaných plochách konstrukčně řešen jejich tvar, např. řešení studených a teplých míst u svařování elektrotvarovkou.

- Čas je hodnota ovlivněná metodou svařování, někdy přesně vymezená. Pro svařování polyfúzí a svařování metodou na tupo je čas přísně vymezen pro jednotlivé fáze postupu. Např. svařování horkým plynem, rychlotryskou nebo extruderem je čas odvozen od rychlosti svařování, kterou řídí svářeč. [2]

2.1.3 Svařitelnost materiálů

Svařitelné jsou pouze termoplastické materiály, avšak zpravidla pouze termoplasty stejného druhu a typu, tedy stejné chemicko-fyzikální struktury. Důvodem jsou odlišné vlastnosti taveniny a různé tokové vlastnosti materiálu. Výjimkou je však možné svařování PVC-U s PMMA. Plasty stejného chemického složení, ale s rozdílným uspořádáním makromolekulárního řetězce (např. polyethyleny) jsou vzhledem k mnohotvárnosti typů mezi sebou jen omezeně svařitelné. Rozhodujícím kritériem pro svařitelnost je kromě toho tokové chování materiálu (hodnota indexu toku). [2]

Svařitelnost můžeme rozdělit:

- Zaručenou, kdy spojujeme stejné druhy a typy materiálů se shodným nebo blízkým indexem toku taveniny či skupinou indexu toku, např. PE-HD s PE-HD nebo PP-R s PP-R.
- Podmínečnou, kdy spojujeme stejné druhy materiálu, ale odlišné typy, např. PP-h s PP-R, PE-HD s PE-MD, PVC-U s extrudovaným PMMA. Podmínkou jejich svařitelnosti je např. potvrzení vzájemné svařitelnosti výrobcem na základě posouzení indexu toku nebo provedenými zkouškami svařitelnosti. V podstatě nelze kombinovat při svařování různé druhy plastových materiálů mezi sebou, např. PE s PP nebo PVC s PP. [2]

2.1.4 Rozdělení metod svařování termoplastů

Tab. 2: Přehled metod svařování plastů dle nosiče tepla [2]

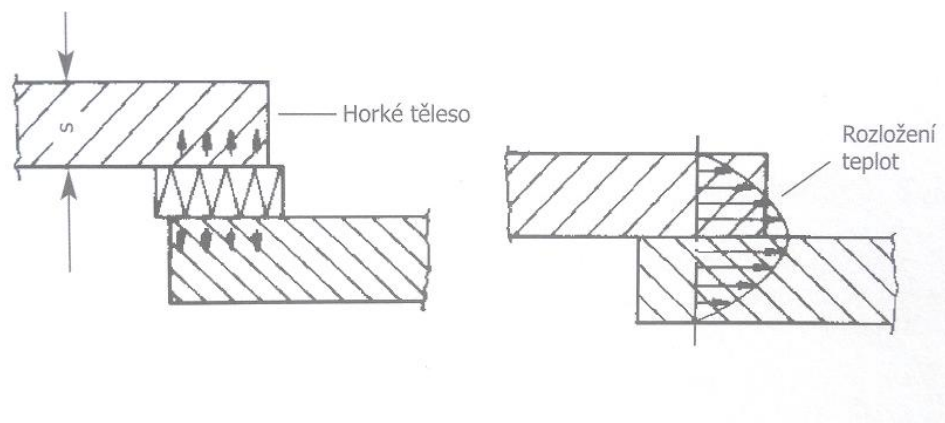
Metody svařování plastů			Přídavné materiály	Svařované polotovary
Svařování horkým tělesem (H)	Přímé	Na tupo horkým tělesem (HS)	Bez přídavného materiálu	Trubky, desky, profily
		Profilové horkým tělesem (HN)		Desky, profily
		Ohraňování hor. Tělesem (HB)		Desky
		Polyfúzní svařování (HD)		Trubky
		Elektrotvarovkou (HM)		Trubky
		Horkým klínem (HH)		Fólie, profily
		S oddělením svaru (HT)		Fólie a tenké profily
		Bezvýronkové (WNF)		Trubky
	Nepřímé	Impulsní horkým tělesem (HI)		Fólie
		Tepelně kontaktní hor. Tělesem (HK)		Fólie
Kotoučové svař. (HR)		Fólie		
Svařování horkým plynem (W)	Ruční horkým plynem (WF)	Drát, tyčinka	Trubky, desky, profily	
	Horkým plynem s rychlotrýskou (WZ)	Drát, tyčinka	Trubky, desky, profily	
	Přepřátovací horkým plynem (WU)	Bez přídavného materiálu	Fólie	
	Extruderem s příd. Materiálem (WE)	Drát, granulát	Trubky, desky, profily	
Ostatní metody svařování plastů	Extruderem ohřev sáláním (LE)	Drát, granulát	Trubky, desky, profily	
	Infračerčeným paprskem (IR)	Bez přídavného materiálu	Trubky, desky	
	Ultrazvukem (US)		Fólie, desky	
	Třecí svařování (FR)		Rotační a tvar. Plochy	
	Vysokofrekvenční (HF)		Fólie	
	Laserem		Fólie	

2.1.4.1 Svařování horkým tělesem

Spojované plochy se nejprve zahřejí horkými tělesy (zrcadly) zpravidla elektrickými vyhřívači. Jejich tvar je přizpůsoben ohřívání svařovací ploše nebo svařovaná plocha je ohřívána elektrickou topnou šroubovicí, která je navinutá v těle tvarovky. Vlastní svařování se provádí ručními svařovacími přístroji, nebo stroji s rozdílným stupněm mechanizace, případně i automatizace bez použití přídavného svařovacího materiálu. [2, 18]

Přímé svařování horkým tělesem

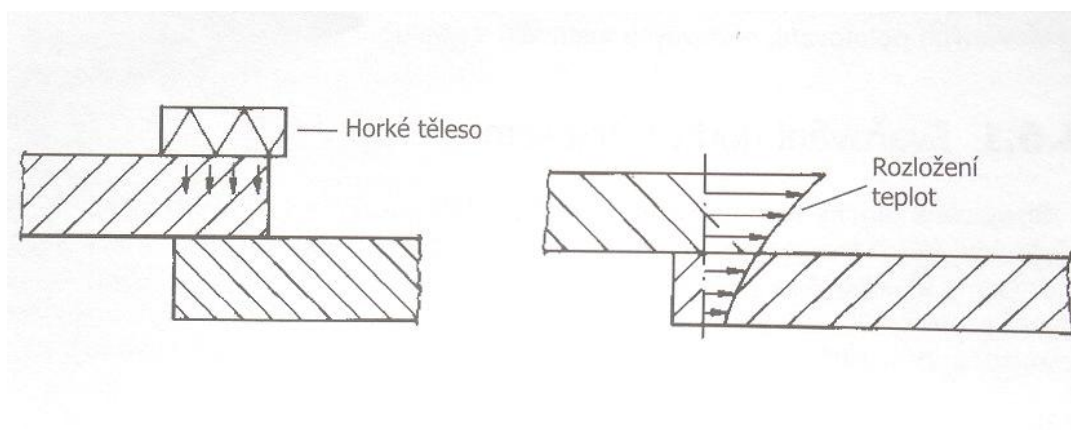
Potřebné svařovací teplo se přenáší bezprostředně z horkého tělesa na svařovanou plochu materiálu. Rozdělení teplot je výhodné, protože se svařované materiály rovnoměrně ohřívají na celé svařované ploše a teplota směrem od ní rovnoměrně klesá. Těmito metodami je možné svařovat i materiály s větší tloušťkou stěny. [2, 18]



Obr. 16: Přímé svařování [2]

Nepřímé svařování horkým tělesem

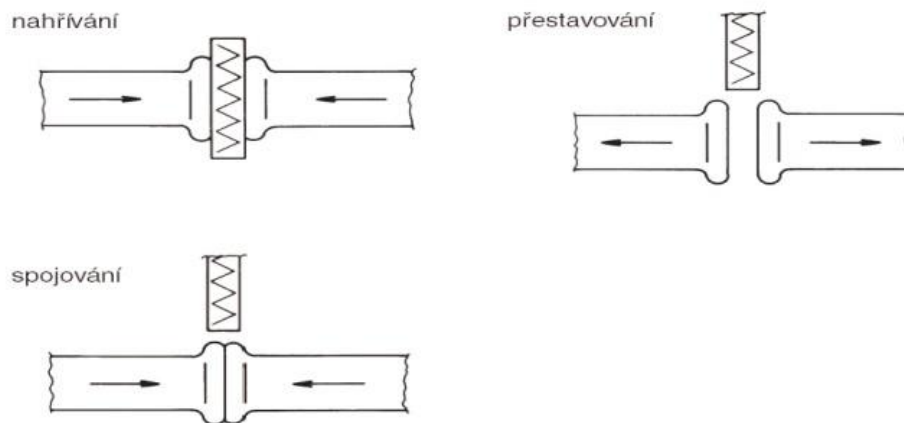
Horké těleso působí ze strany protilehlé ke svařované ploše, svařovací teplo musí projít celou tloušťkou jednoho ze svařovaných materiálů. Rozdělení teplot je nevýhodné, protože není v místě svaru dosažena největší teplota. Proto se většinou těmito metodami nedají svařovat silnostěnné materiály (tloušťka stěny u přeplátovaného spoje musí být menší než 0,5mm). [2, 18]



Obr. 17: Nepřímé svařování [2]

Svařování na tupo horkým tělesem

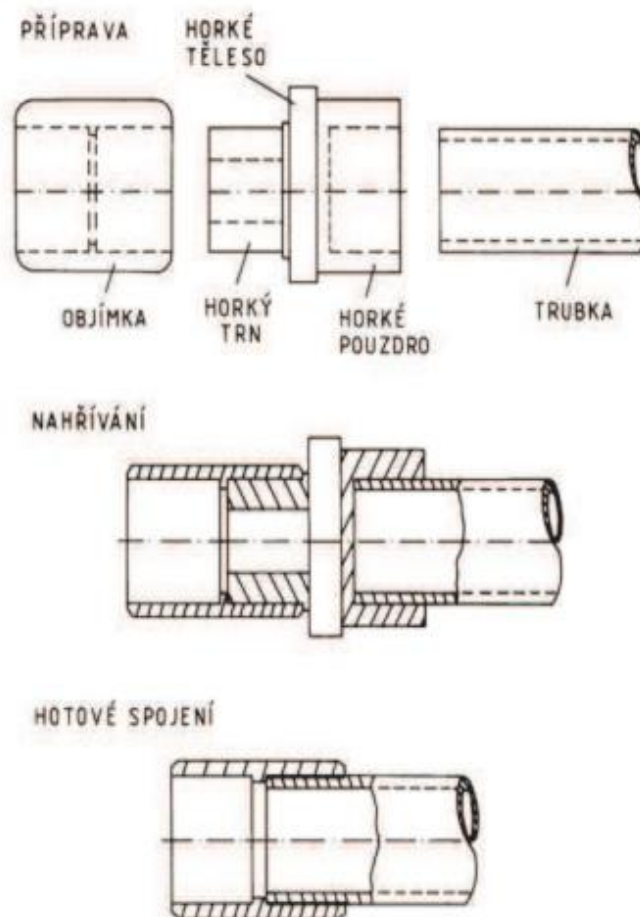
Svařování na tupo se rozumí ohřev čel trubek na topném tělese (pravítku) a jejich následné spojení použitím tlaku. Přídavný materiál se při svařování touto metodou nepoužívá. [2, 18]



Obr. 18: Princip svařování na tupo horkým tělesem [18]

2.1.4.2 Polyfúzní svařování

Princip polyfúzního svařování spočívá v souběžném ohřevu vnějšího povrchu trubky a hrdla tvarovky na tvarovém horkém tělese (polyfúzními nástavci) a následném zatlačení nahřáté trubky do stejně zahřátého kónického hrdla tvarovky. [2, 18]



Obr. 19: Princip polyfúzního svařování [18]

Podle rozměrů materiálů a rozměrů svařovacích polyfúzních topných nástavců je tato metoda rozdělena do tří typů, které se liší hlavně postupem přípravy materiálů. V principu se první dva typy A a B zásadně neliší, typ C je v principu odlišný. [2]

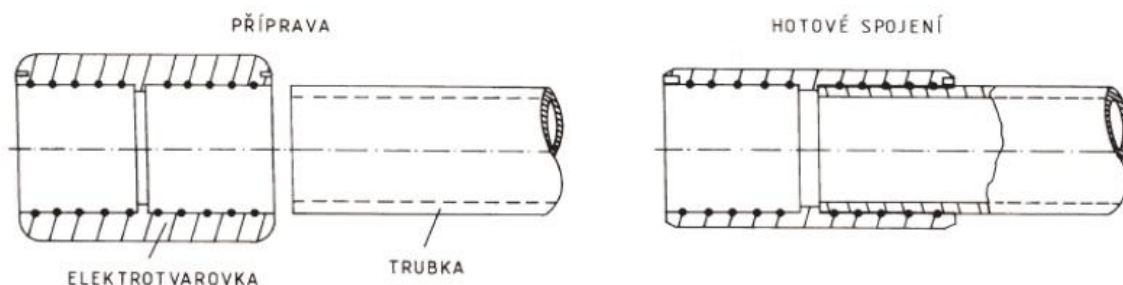
Typ A – neprovádí se kalibrace vnějšího povrchu trubky, jen sražené hrany a svařované plochy se pouze chemicky očistí. Trubky a tvarovky musí být proto vyrobeny v přesných rozměrových tolerancích umožňujících ohřev na topných nástavcích bez nadměrného vytlačování nahřátého materiálu. Tento typ je v ČR nejvíce rozšířen a výrobci dodávají prakticky výhradně plastové trubky a tvarovky pro typ A. [2]

Typ B – kalibrace vnějšího povrchu trubky se v délce ohřevu provádí kalibrovacími nástroji, které ořezávají oxidovanou vrchní vrstvu trubky a zároveň zabezpečují odstranění přebytečného materiálu a pro budoucí spoj dostatečnou kruhovitost trubky. Požívá se zejména při svařování trubek s malou kruhovou stabilitou, např. z polybutenu. [2]

Typ C – sedlové polyfúzní navařování odboček na trubky od průměru 50 mm, kdy tvarovka má tvar sedla kopírujícího povrch trubky pro sváření a krček pro polyfúzní sváření v navrtaném otvoru trubky. Horká tělesa jsou tvarově přizpůsobena pro ohřátí části povrchu trubky a sedla s krčkem navařované tvarovky. Před svařováním se v místě přivařované odbočky trubka provrtá speciálním tvarovým vrtákem. Tímto způsobem se na potrubních rozvodech montují dodatečné odbočky. [2]

2.1.4.3 Svařování elektrotvarovkou

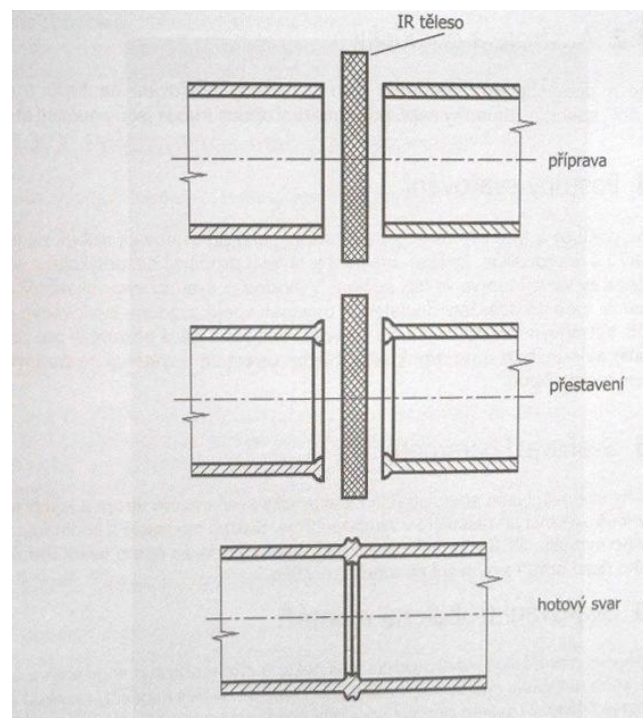
Svařování elektrotvarovkou (označované jako svařování elektrickou objímkou) je v principu svařovací postup, při kterém jsou potrubní plastové tvarovky vybaveny v hrdlech topnou šroubovicí, která je přímo vytápěným ztraceným topným tělesem. [2, 18]



Obr. 20: Princip svařování elektrotvarovkou [18]

2.1.4.4 Svařování infračerveným ohřevem (INFRARED WELDING)

Princip je podobný svařování na tupo, s tím rozdílem, že zdroj tepla se nedotýká svařovaných ploch, a tudíž nemůže vnášet nečistoty do svaru. Technologie svařování je založena na bezdotykovém ohřevu čelních ploch trubek a tvarovek infračerveným zářičem. Infračervené paprsky jsou součástí elektromagnetického spektra v rozsahu vlnových délek přibližně 0,8 až 400 μ m. Ohraničeny jsou z jedné strany viditelným spektrem a z druhé mikrovlnným rozsahem s vyzařováním tepla. [2]



Obr. 21: Princip svařování IR [2]

2.1.4.5 Svařování třením

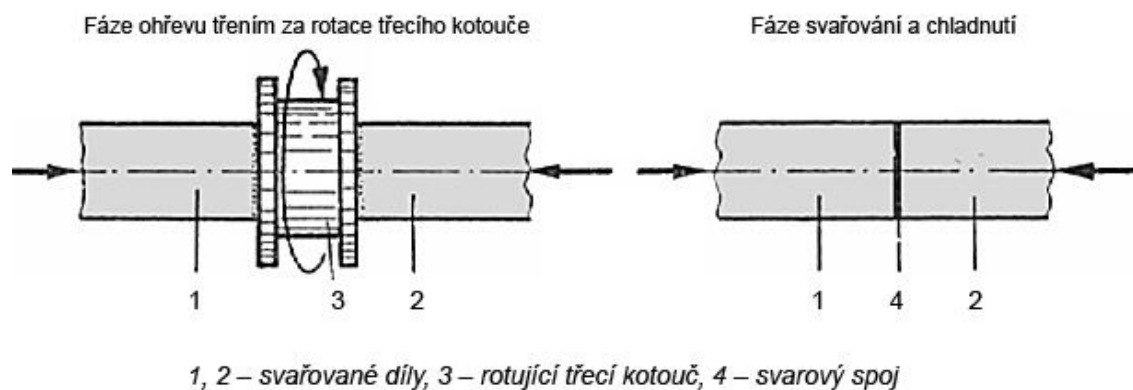
Svařování třením (FR) je založeno na přeměně mechanické energie na energii tepelnou při tření svařovaných povrchů. Velikost uvolněného tepla je závislá na třecím výkonu, který je dán koeficientem tření, přitlačnou silou a vzájemnou rychlostí třených ploch. Množství tepla v místě sváru lze regulovat dobou tření.

Pomocí FR svařování se nejčastěji spojují díly z amorfních a semikrystalických materiálů PS, ABS, PMMA, PC, PA, PP, PE a PVC. Požadavky na materiály udává DVS 2218-2 pro rotační svařování a DVS 2217-1 a 2 pro vibrační svařování. Polotovary pro svařování FR jsou především rotační součásti nebo polotovary, které se dají upnout do čelistí stroje, např.

kruhové profily, tvarové profily. Pro vibrační svařování se volí díly se souměrnou dělicí rovinou. [2, 18]

Rotační svařování

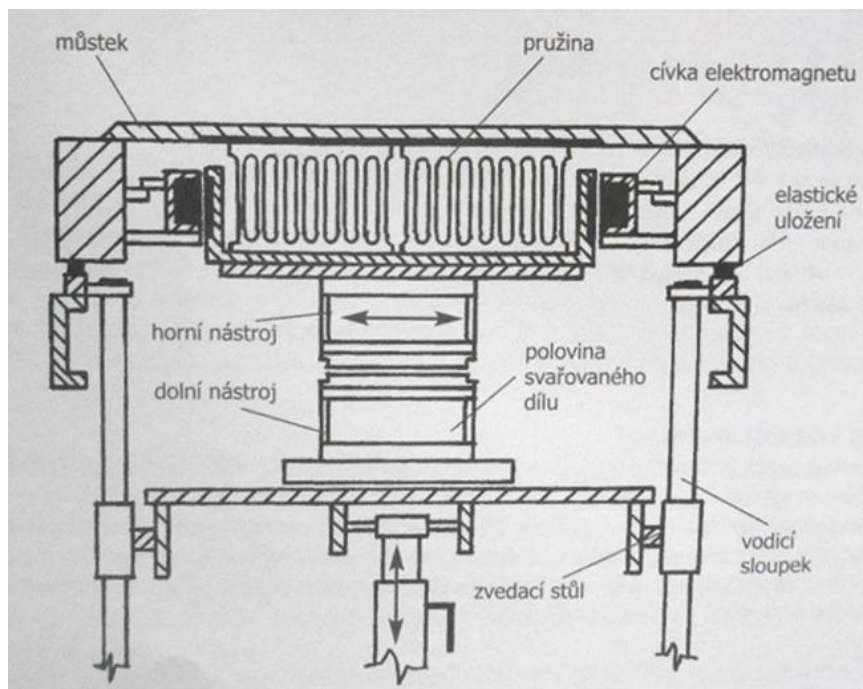
Stroje pro FR svařování jsou speciální konstrukce poháněné motorem, s otáčkami 1 800 – 3 000 min^{-1} podle použitého typu. Většími otáčkami se svařují výrobky malých průměrů a naopak větší průměry se svařují otáčkami menšími tak, aby se třecí rychlost pohybovala v rozmezí 0,5 až 1,5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Přítlačná síla při ohřevu je asi 20-60 % síly při konečném spojování bez tření, kdy se tlak ve spoji pohybuje v rozsahu 0,07-1,4 MPa. V případě, že není speciální stroj k dispozici, je někdy možné jako náhradu použít mírně upravený hrotový soustruh. [2]



Obr. 22: Rotační svařování [19]

Vibrační svařování

Stroje zajišťují tření svařovaných povrchů o frekvenci 80-300 Hz a amplitudě 0,25 – 2,5 μm vytvoří teplo potřebné ke svaření dílů při vibračním svařování. Tlak na spojované plochy při tření bývá v rozmezí 10-20 kPa. Svařovací stroje se liší principem pohonných systémů vytvářejících požadované kmitání. Nejčastěji se pohon realizuje elektromagneticky, hydraulicky nebo mechanicky. Jednotlivé konstrukce podrobně popisuje DVS 2217-1. [2, 16]

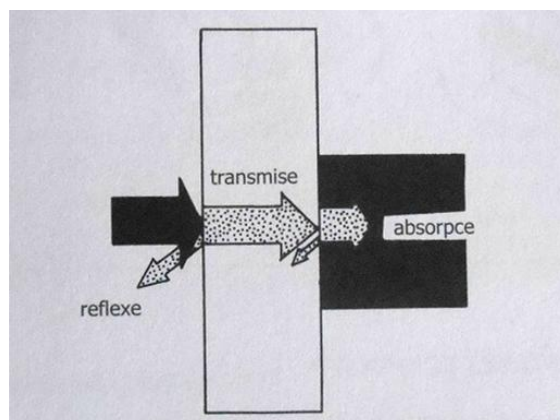


Obr. 23: Schéma FR s elektromagnetickým pohonem [2]

2.1.4.6 Svařování laserem

Svařování laserovým paprskem patří k metodám, které se v praxi velmi dynamicky vyvíjely, jejich využití je především v průmyslové výrobě, kde se opakovaně svařuje velké množství stejných polotovarů. Svařování řeší DVS 2243. [2, 16]

Při svařování laserovým paprskem se přeměňuje elektromagnetická energie laserového záření na teplo, které provede ohřev svařovaných dílů. Využívá se při tom infračervené IR laserové záření, které naráží na spojovací zónu. Část světla se od ní odrazí, část projde materiálem do určité hloubky a část se promění na teplo. Situaci rozkladu světla u vysoce absorpčního materiálu udává obr. 24. [2, 16]



Obr. 24: Rozklad záření [2]

Pro ohřev materiálu je tedy důležitá dobrá absorpce přichozícího záření vzhledem k tomu, že u všech materiálů bez plniva leží reflexe v oblasti 5 až 10 %. Optická hloubka optického průniku je dána v podstatě vlnovou délkou dopadajícího vlnového záření, typem polymeru a druhem a množstvím jeho přísad. [2, 18]

Amorfní termoplasty absorbují při určitých vlnových délkách jen malé množství energie, takže lze dosáhnout teoretických hloubek pronikání laserového paprsku až nad 100 mm. Ovšem semikrystalické termoplasty jsou na tom podstatně hůře. Krystalické nadstruktury (např. sférolity) způsobují vícenásobnou nesměrovanou reflexi laserového záření (rozptyl), čímž se optická dráha v materiálu prodlužuje, současně s tím se laserový paprsek rozšiřuje a intenzita se snižuje. Dochází tedy k pronikání do podstatně menších hloubek. Mimo typu materiálu hrají při pronikání laseru významnou roli i přísady. Především plniva a zesilující látky, retardéry hoření a barviva. Například saze jako retardér hoření absorbují IR záření velmi silně, zatímco světlé pigmenty reflexi výrazně zvyšují. Pro svařování laserem se využívají především amorfní materiály jako ABS, PMMA, PC, SAN, PBT+PET a jejich kombinace. [2, 18]

Směrné hodnoty pro polypropylen (PP) dle DVS 2207

Teplota horkého tělesa: 200 až 220°C.

Svařovací tlaky: orovnávaní a spojování: 0,1 N/mm².

Nahřívání: 0,01 N/mm²

Svařovací čas: členěný podle fází (tabulka. 3).

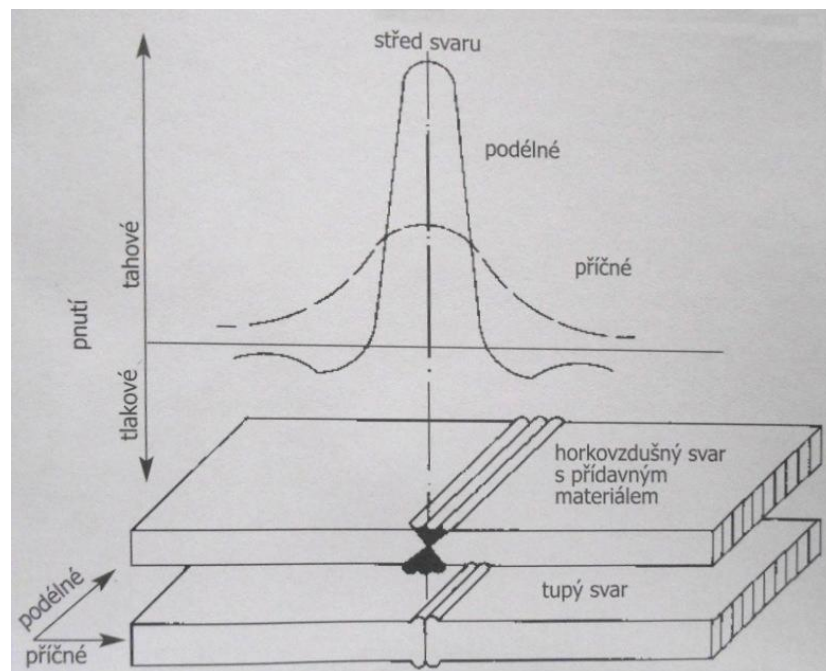
Tab. 3: Svařovací čas členěný podle fází [2]

1	2	3	4	5	
Jmenovitá tloušťka stěny	Orovnávání	Ohřev	Přestavování	Spojování	
	Teplota horkého tělesa 210±10°C		Přestavovací doba (max. doba)	Doba nárůstu spojovacího tlaku	Ochlazovací doba pod spojovacím tlakem (min. hodnota) p=0,10 N/mm ² ±0,01
	Výška výronku na horkém tělese na konci orovnávací doby (min. (orovnávaní p=0,10 N/mm ²))	(nahřívání p=≤0,01 N/mm ²)			
[mm]	[mm]	[s]			
do 4,5	0,5	do 135	5	6	6
4,5...7	0,5	135...175	5...6	6...7	6...12
7...12	1	175...245	6...7	7...11	12...20
12...19	1	245...330	7...9	11...17	20...30
19...26	1,5	330...400	9...11	17...22	30...40
26...37	2	400...485	11...14	22...32	40...55
37...50	2,5	485...560	14...17	32...43	55...70

3 PNUTÍ A DEFORMACE PŘI SVAŘOVÁNÍ

Zbytková pnutí a deformace vyvolané svařováním plastů nelze zcela vyloučit, neboť jsou následkem svařovacího procesu, ale je možné je vhodnými opatřeními technologickými a konstrukčními hodně snížit. Pnutí a deformace jsou závislé na mnoha činitelích, proto je obtížné stanovit výpočtem jejich vliv. Jejich velikost je ovlivněna konstrukčním uspořádáním, svařencem, druhem použité technologie svařování, vhodným postupem a stanovením parametrů svařování. Na pnutí a deformace má značný vliv svařovací teplota a s tím související tepelná roztažnost jen v úzkém pruhu svařovací zóny díky malé tepelné vodivosti plastů. Čím je teplota vyšší, tím dochází poté při chladnutí k většímu smršťování, což má za následek i vyšší zbytková pnutí. Proto nízké svařovací teploty při delší době ohřevu způsobují prohřátí v širší svarové zóně a tím i menší pnutí. Pozvolné ochlazování zabrání rychlému smršťování, a tím snížení pnutí a deformací. [2, 16]

Napětové stavy při svařování termoplastů mohou být uvnitř svaru příčné, podélné a u silnějších polotovarů i svislé. Termoplasty mají však tu výhodu, že již při svařování nastane částečná relaxace těchto napětí, způsobená plastickým chováním materiálu. Současně obecně platí, že po svařování probíhá při rovnoměrném ochlazování poměrně rychlá relaxace svařenců, fixovaných v přípravcích a upínacích čelistech a dále uložených nebo upevněných bez namáhání. Proto je důležité dodržovat technologické minimální časy ochlazování při upnutí svařenců a další doby ochlazování bez namáhání dle předpisu technologa svařování. Rozdílné napětové stavy vyvolávají také použité technologie svařování, přičemž zde rozhoduje, jestli je svařovaný díl zahříván rovnoměrně v celé svařované ploše konstantní teplotou a v úzkém teplotním rozpětí, nebo nerovnoměrně vícenásobně s teplotou v širším rozpětí. Výhodnější z tohoto hlediska budou postupy přímého svařování horkým tělesem, kde je rozložení teplot rovnoměrnější než u nepřímého svařování horkým tělesem. Největší pozornost je nutno věnovat svařování horkým plynem, kde rozložení teplot ve svarové zóně bude postupné a někdy i násobné (obr. 25). [2, 17]



Obr. 25: Průběh pnutí v kolmém řezu [2]

Pro různé materiály je přitom nutné brát v úvahu jejich chování podle termomechanické křivky. Současně i v polotovarech existují vlastní pnutí po výrobě, avšak větší pnutí vnášejí postupy tvarování za studena před svařováním, např. skružování desek, u některých materiálů také jejich řezání. Technolog svařování plastů by měl věnovat této problematice zvláštní pozornost u svarů, kde musí splňovat požadavky na bezpečnost provozovaných tlakových potrubí, svarů, svarů nádrží v průmyslu, fólií na skládkách aj. [2, 17]

3.1 Pnutí a deformace u jednotlivých metod svařování

3.1.1 Svary trubek – přímé svařování horkým tělesem

U trubek se jedná hlavně o svařování na tupo, polyfúzně, elektrotvarovkou a případně bezvýronkové svařování BCF. Svařování těmito metodami bude přinášet malá pnutí ve svarech, prakticky bez deformací pnutím po svařování. [2, 17]

Základními požadavky na snížení pnutí ve svarových spojích zůstává:

- temperování materiálů na stejnou rovnoměrnou teplotu před svařováním,
- dosažení rovnoměrného ohřevu v celé svarové ploše,
- správné určení svařovací teploty,
- fixace po svařování dostatečně dlouhou dobu dle metody svařování a tloušťky materiálu,

- rovnoměrné chladnutí,
- další namáhání až po dostatečné relaxaci. [8, 17]

3.1.2 Svary desek a profilů – přímé svařování horkým tělesem

U desek a profilů se jedná hlavně o svařování na tupo, profilové svařování, svařování ohraňováním. Svařování těmito metodami bude přinášet malá pnutí ve svarech s následnými malými deformacemi pnutím po svařování, i když při svařování ohraňováním vznikne další pnutí ohybem desky a protažením krajního vlákna. [8, 17]

Požadavky na snížení pnutí ve svarových spojích jsou:

- temperování materiálů na stejnou rovnoměrnou teplotu před svařováním,
- dosažení rovnoměrného ohřevu v celé svarové ploše,
- správné určení svařovací teploty,
- fixace po dostatečně dlouhou dobu dle metody svařování a tloušťky materiálu,
- rovnoměrné chladnutí,
- další namáhání svarů až po dostatečné relaxaci materiálu. [8, 17]

3.1.3 Svary desek a profilů – svařování horkým plynem a přídavným materiálem

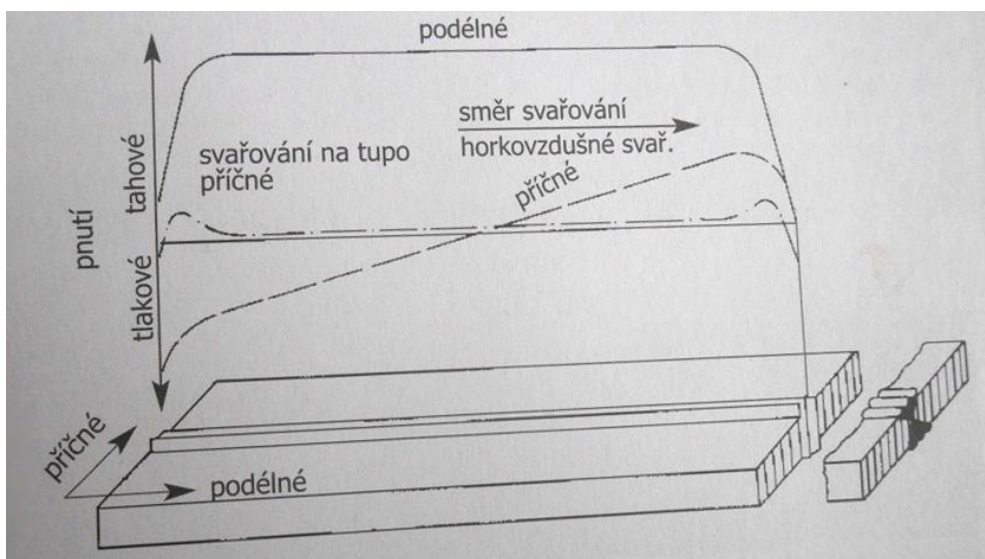
Pro svary nádrží a konstrukcí se tyto metody uplatňují zvláště při svařování montážních svarů a svarů, které z důvodu konstrukce nelze provést horkým tělesem. I zde platí, že svary horkým plynem a přídavným drátem a svary extruderem nejsou rovnocenné z hlediska pevnosti se svary horkým tělesem. Lépe se bude z tohoto hlediska uplatňovat svařování extruderem oproti svařování horkým plynem rychlotryskou. Zbytková pnutí ve svarech budou zesilována pnutím konstrukce, např. v rozích nádrží nebo na styku stěny nádrží zhotovené z více dílců, přičemž křížení svarů je nepřípustné. [8, 2]

Pnutí lze snížit:

- temperováním materiálů na stejnou teplotu,
- správnou volbou velikosti svarového spoje,
- volbou technologie svařování (začínat svařovat min. 100 mm od kraje nebo od rohu, u oboustranných svarů postupovat střídavě protilehlé, u vícevrstvého svaru volit začátky housenek s odstupem cca po 100 mm),
- volbou metody svařování,
- dodržením tvaru a velikosti svarové plochy dle výpočtu konstruktéra,

- volbou správné svařovací teploty v daném rozsahu,
- rovnoměrným pomalým chladnutím při fixaci materiálů a dostatečnou relaxací před zatěžováním. [2, 8]

Průběh pnutí je zřejmý z níže uvedeného obrázku, kdy se při zahřátí v podélné zóně svaru vytvoří tlaková napětí, která se zmírní částečnou relaxací, a při ochlazování vznikají tepelná tahová napětí. Při svařování horkým plynem svarů vrstvených na několik housenek se tahová napětí znovu vytvářejí, což znamená, že v podélném směru se vytvářejí větší tahová napětí, která způsobí zvlnění desek při nedostatečné fixaci. [2, 8]



Obr. 26: Průběh pnutí po délce [2]

V příčném řezu jsou podélná napětí nezávislá na metodě svařování, avšak u příčných napětí je rozhodující volba metody svařování a svařovacího tlaku. Rovnoměrný svařovací tlak a řízení jeho velikosti je příznivější z hlediska pnutí (svařování na tupo), také svařování rychlotryskou je příznivější než ruční svařování horkým plynem a přidávaným materiálem. [2, 17]

3.2 Tvorba napět'ových trhlinek

Termoplastické materiály mají sklon k vytváření napět'ových trhlinek nejen v oblasti svarů. Tento jev je známý i u kovů, kde se mluví o korozi za napětí zaviněné mechanickým namáháním se společným působením chemických případně elektrochemických pochodů. U plastů je tento jev založen primárně na fyzikálních pochodech, proto tento jev lépe vystihuje označení jako tvorba napět'ových trhlinek. [2, 17]

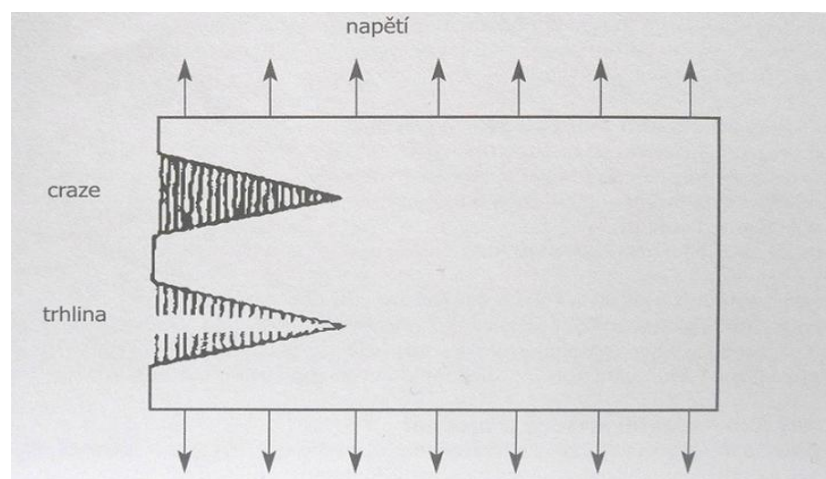
K jejich výskytu je třeba dvou vyvolávacích faktorů, které musí působit současně:

- Tahové, tlakové nebo ohybové namáhání
- Medium, vyvolávající tvorbu trhlinek

Tvorbu napět'ových trhlinek způsobují tři fyzikální efekty:

- Smáčení
- Bobtnání
- Difúze

Tahová napětí na povrchu plastu nebo svaru podporují výskyt tzv. crazes – vlasových trhlinek (obr. 27), zvaných také jako tokové zóny, pseudotrhlínky či mikrotrhlínky. Výskyt tokových zón ještě neznamena poškozování materiálu, když působením tepla zcela zmizí, avšak jsou slabým místem ve struktuře materiálu. Zde musíme rozlišit mezi skutečnou trhlínou v materiálu a crazes – tokovou zónou. [2, 17]



Obr. 27: Craze a trhlina[2]

Agresivní médium smáčením a difuzí proniká v tokových zónách až k základu vrubu, kde vzniká bobtnací napětí. Jehož efekt zesilují i vysoké teploty média. Toto se sčítá s vnějšími napětími a zvyšuje se rychlost tvorby vrubu. Náchylné k tvorbě napět'ových trhlinek jsou především PE, poněkud méně PP, nejméně PVC a fluorované materiály jako PVDF, PFA, samozřejmě podle prostředí a působení média. Svary na tupo a ohraňování jsou výhodnější z tohoto pohledu oproti metodám svařování horkým plynem, které zanechávají vyšší vlastní napětí. Kromě výše uvedených zásad na snížení pnutí je pro snížení nebezpečí tvorby crazes možné další tepelné zpracování (temperance), jehož teplota leží u semikrystalických termoplastů asi o 20 °C pod bodem tání krystalitů, u amorfních plastů těsně pod teplotou zesklenní. [2]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

4.1 Miele technika s.r.o.

Společnost Miele je od svého založení v roce 1899 nezávislým rodinným podnikem, který cítí stejný závazek vůči svým vlastníkům, spolupracovníkům, zákazníkům, dodavatelům, životnímu prostředí a společnosti. [20]

Společnost se soustředí na výrobu domácích spotřebičů do kuchyně, k péči o prádlo a podlahové krytiny, a také přístrojů k použití v profesionálních provozovnách nebo lékařských zařízeních („Miele Professional“). Strategická vize říká, že se chceme stát na všech relevantních trzích nejvíce ceněnou značkou v oboru. [20]

Svým zákazníkům nabízí Miele výrobky, které jsou měřítkem v oblasti dlouhé životnosti, výkonu, komfortu obsluhy, energetické účinnosti, designu a služeb. To odpovídá našemu heslu „vždy lepší“, které vytiskli na své první produkty již zakladatelé, pánové Carl Miele a Reinhard Zinkann, a které dodnes charakterizuje společnost Miele. [20]

Společnost se soustředí na vlastní značku Miele a její průběžné umístění v prémiovém segmentu trhu. Miele je synonymem myšlení a jednání s výhledem na budoucnost, kontinuity hodnot a cílů, partnerského chování vůči zákazníkům a dodavatelům a firemní kultury orientované na spolupracovníky. [20]

4.2 Cíle experimentální části práce

Praktická část diplomové práce probíhala ve firmě Miele technika s.r.o. v Uničově. Po konzultaci s firmou byly firmou stanoveny tyto požadavky a cíle:

- Porovnání vhodnosti svařování dvou metod,
- příprava zkušebních těles,
- měření těchto vzorků a vytvoření rozměrového protokolu,
- mechanické zkoušky svařených míst,
- zkoušky vnitřního napětí pomocí tepelné zkoušky.

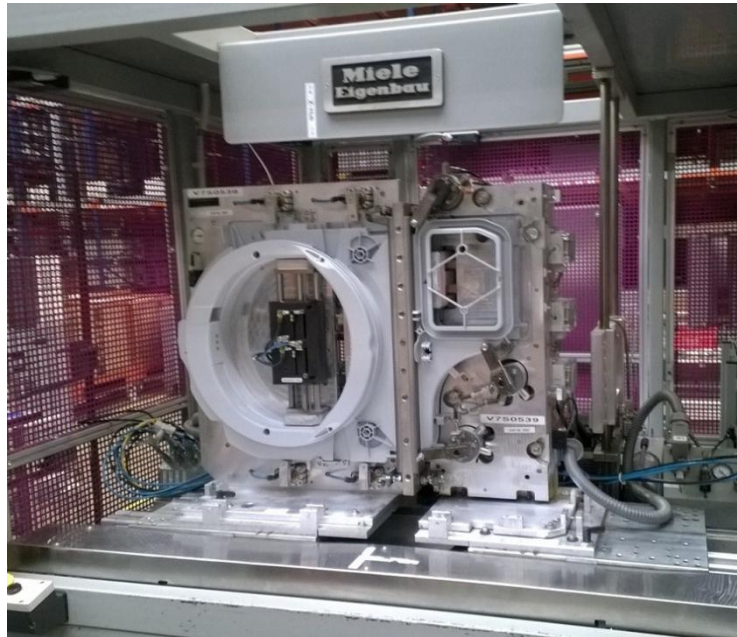
4.3 Příprava a požadavky

Cílem praktické části diplomové práce je stanovit optimální metodu, kterou použijeme na vystříknutí a následné svaření dvou komponentů tak, aby bylo jejich vnitřní napětí co nejmenší.

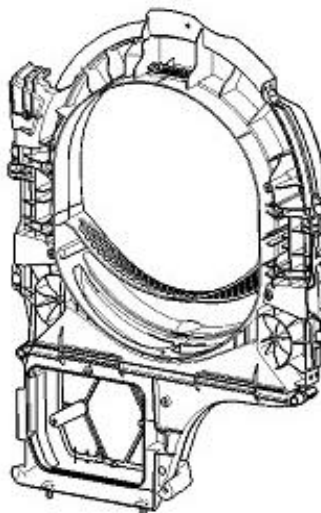
Po domluvě s firmou Miele technika s.r.o. a vedoucím diplomové práce jsme stanovili zjišťování optimální metody svaření pomocí mechanických a tepelných zkoušek.

5 ZKUŠEBNÍ VZORKY

Zkušební vzorky byly vyrobeny z plněného polypropylenu - PPT40. Bylo vyrobeno 24 vzorků OPF (one piece flow, neboli vystříknutí a okamžité svaření) a 24 vzorků, které se nechaly 30 minut vyrelaxovat na vzduchu a poté byly svařeny. Svaření se provádělo pomocí tepelného zrcadla (desky), kdy se obě části svařovaných komponentů nahřály a poté k sobě byly příslušným tlakem svařeny (obr. 28).



Obr. 28: Tepelné zrcadlo (deska) [21]



Obr. 29: Svařený modul [21]

Parametry při svařování tepelným zrcadlem:

- Teplota svařovací desky: 260°C
- Doba zahřívání: 13 sekund
- Doba svařování: 18 sekund

5.1 Modul

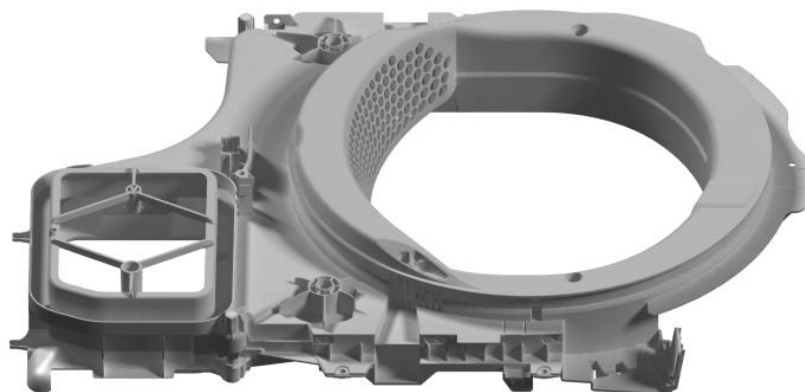
Modul se skládá ze dvou částí. Část, zvýrazněná v červeném obdélníku je vyráběna v Německu a část v zeleném obdélníku se vyrábí ve firmě Miele technika s.r.o. v Uničově.



Obr. 30: Rozdělení modulu [21]

5.2 Celkový 3D model

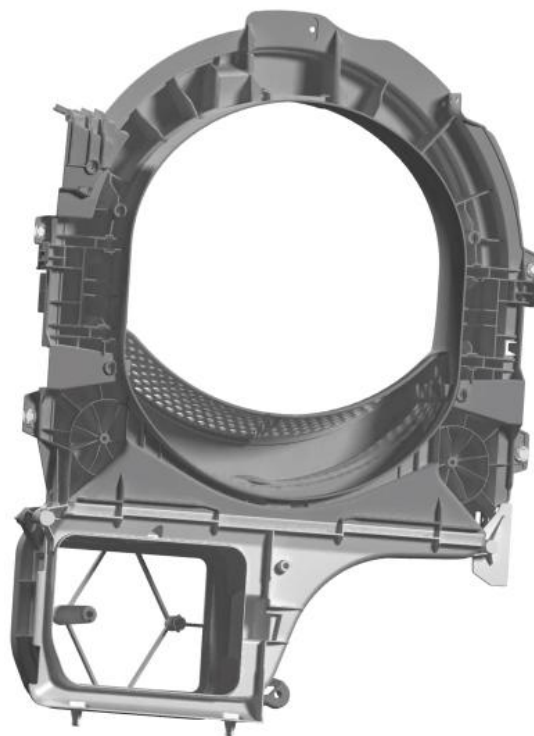
Modely jsou vytvořeny v programu Catia.



Obr. 31: Celkový model [21]

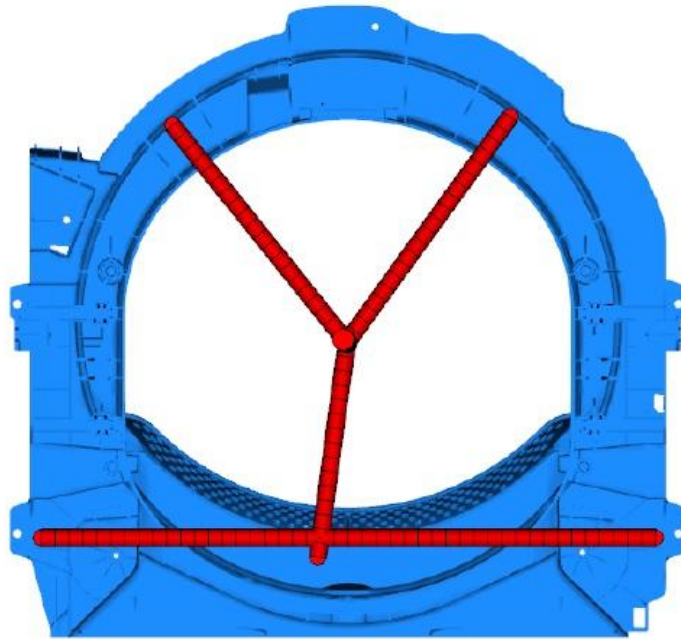


Obr. 32: Celkový model 2 [21]

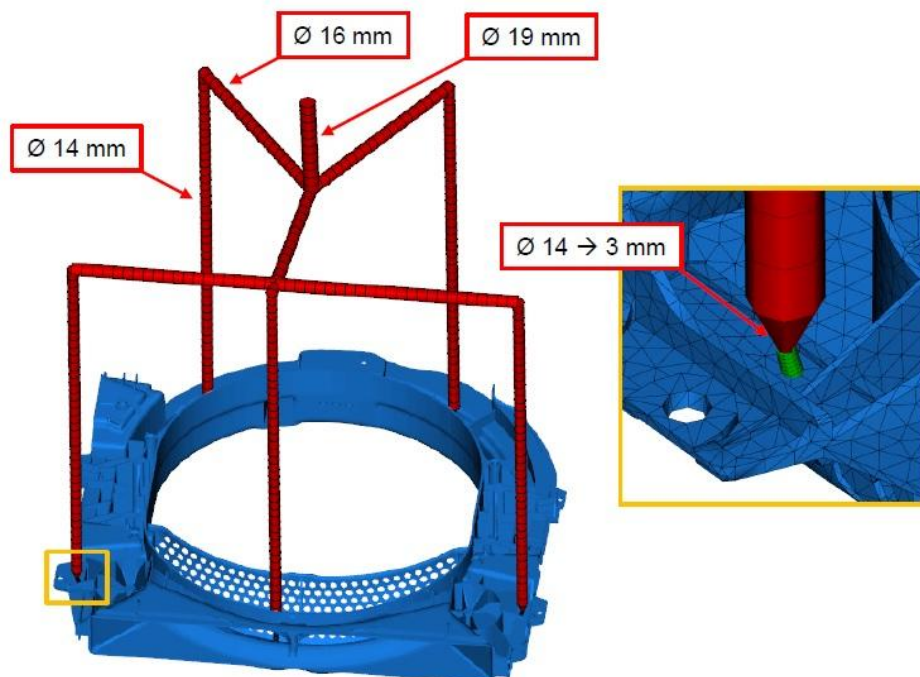


Obr. 33: Celkový model ze zadní strany [21]

5.3 Vstřikovací kanály

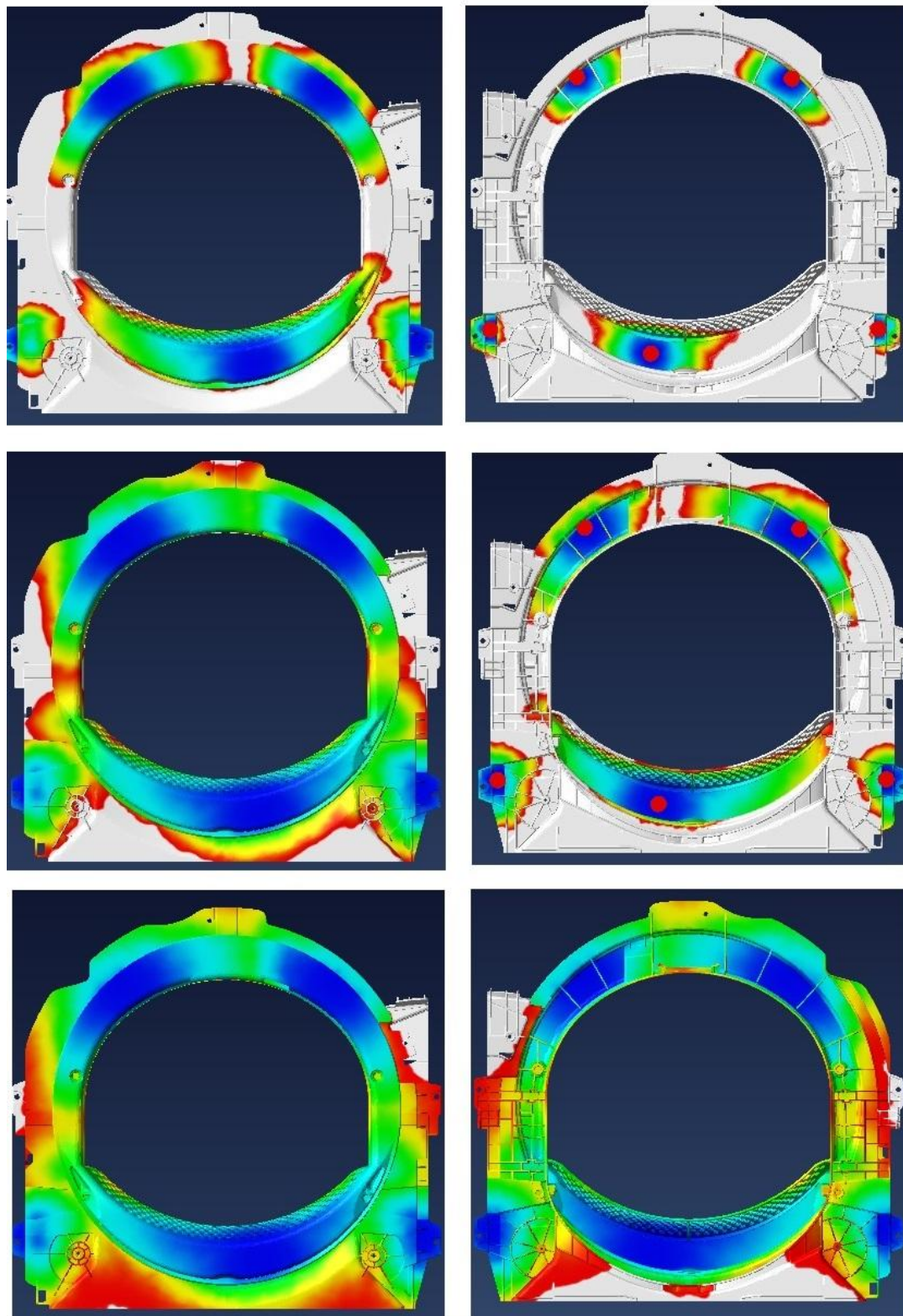


Obr. 34: Rozmístění vstřikovacích kanálů [21]



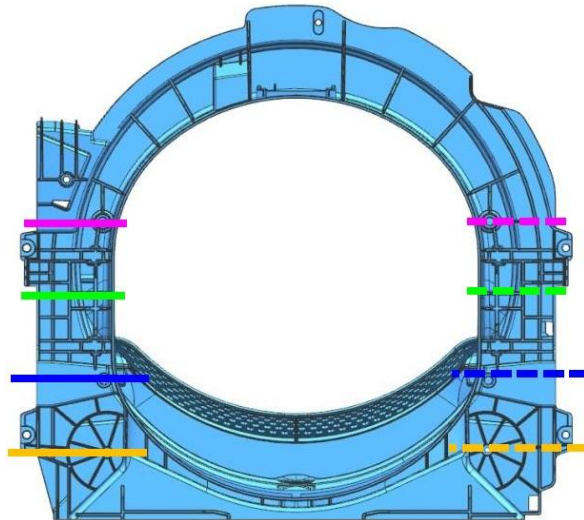
Obr. 35: Velikost vstřikovacích kanálů [21]

5.4 Analýza průběhu vstřikování

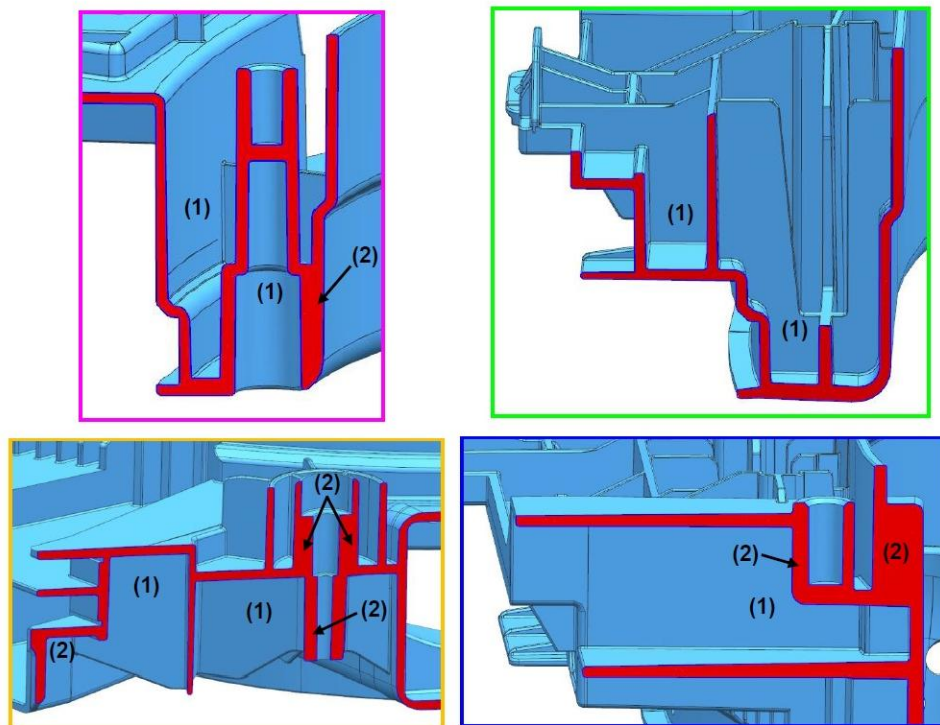


Obr. 36: Průběh plnění modelu: levý sloupec přední část, pravý sloupec zadní část [21]

5.5 Konstrukční abnormality



Obr. 37: Konstrukční abnormality [21]



Obr. 38: Řezy v modelu [21]

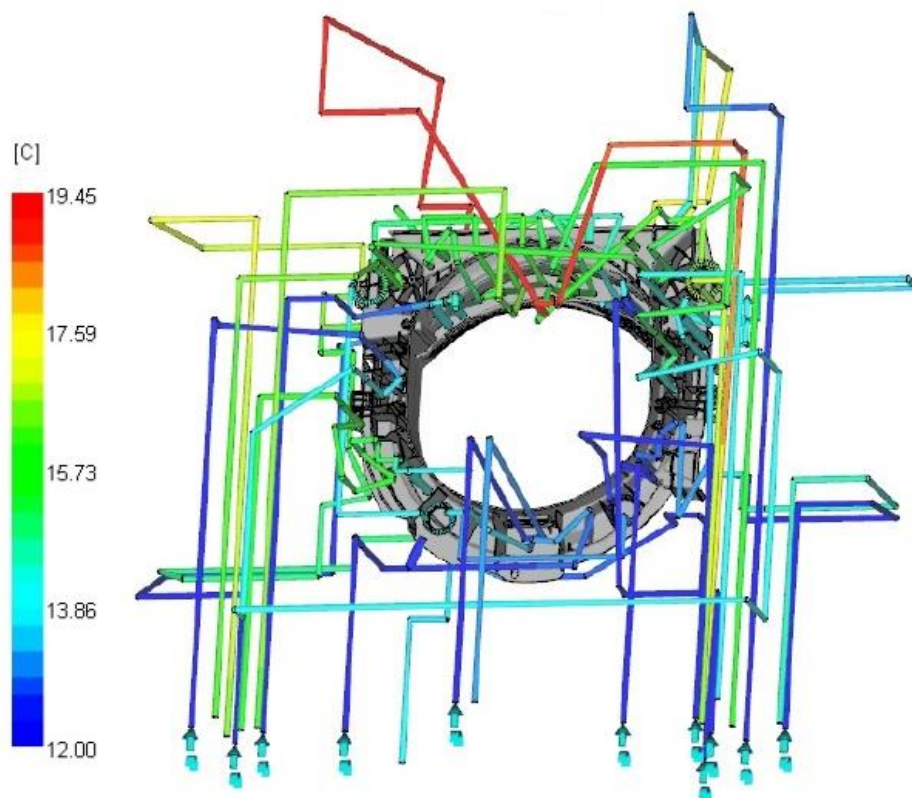
(1) Těžko chladitelná místa

- zvýšení povrchové teploty má za následek delší doby chlazení

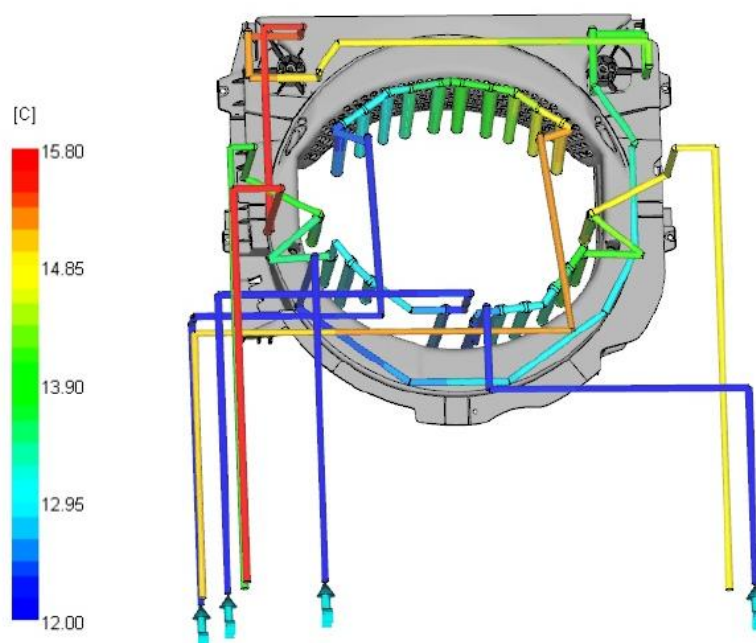
(2) Zvýšené riziko smršťování

- dlouhá doba chlazení má za následek prodlouženou dobu cyklu

5.6 Teplota v obvodech

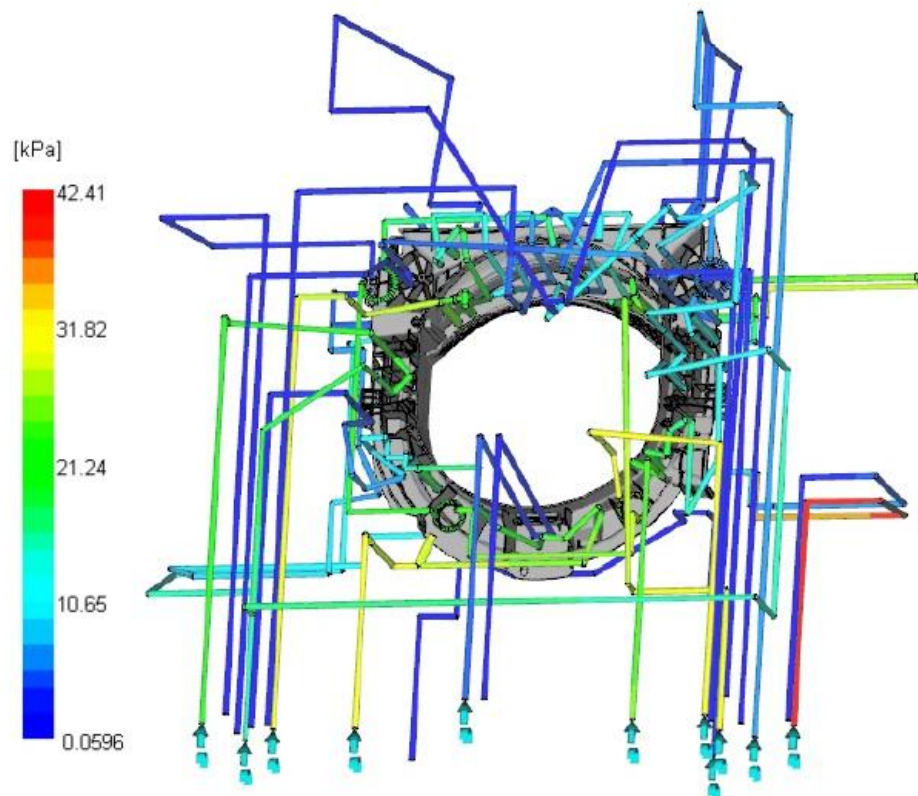


Obr. 39: Teplota v horním okruhu [21]

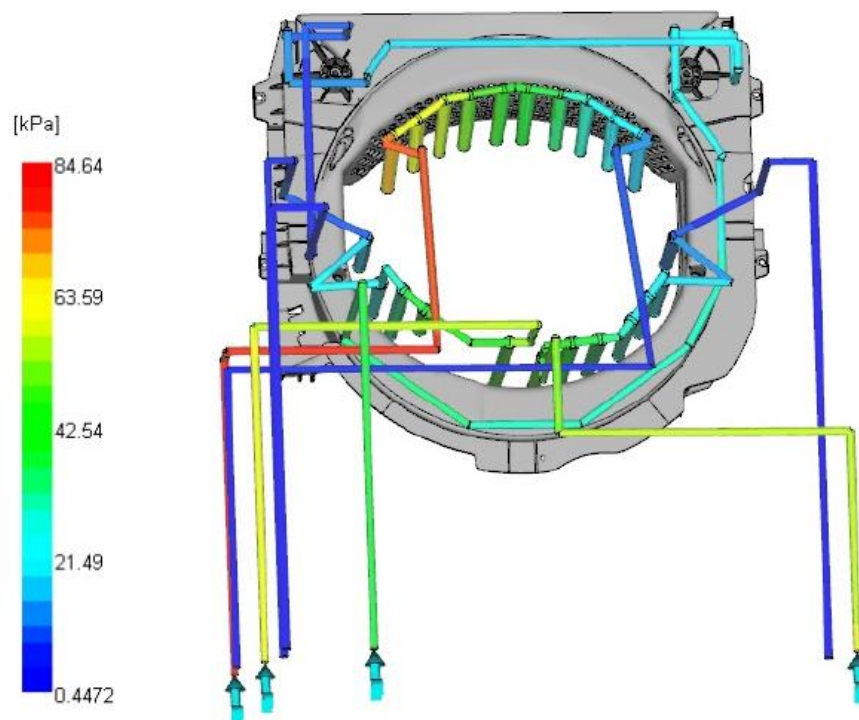


Obr. 40: Teplota ve spodním okruhu [21]

5.7 Tlak v chladícím okruhu

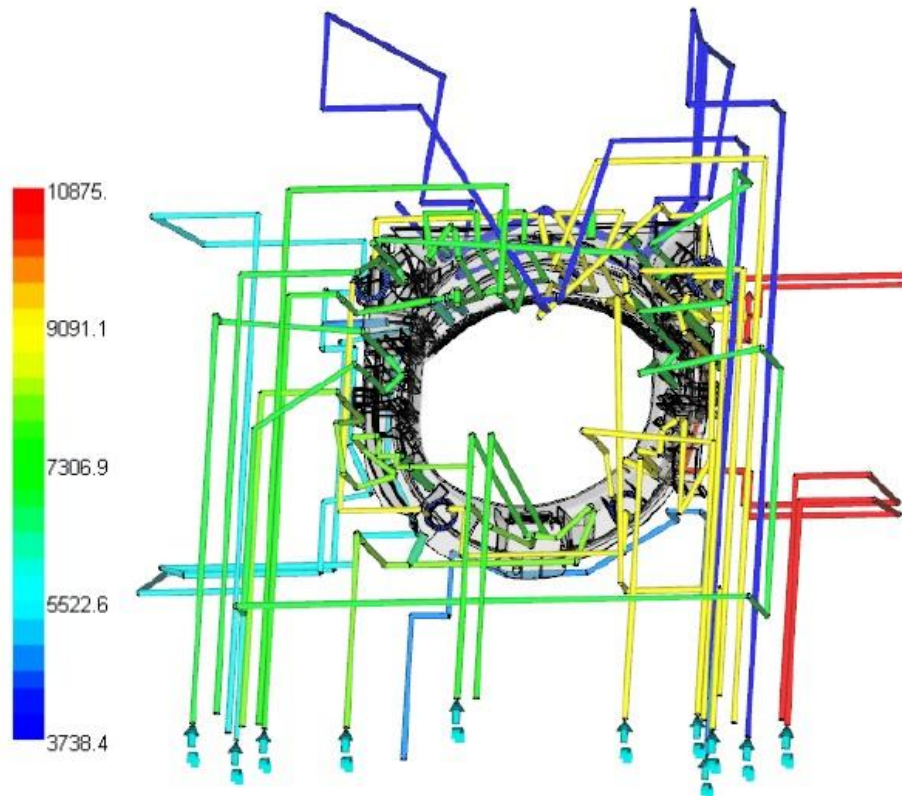


Obr. 41: Tlak v horním okruhu [21]

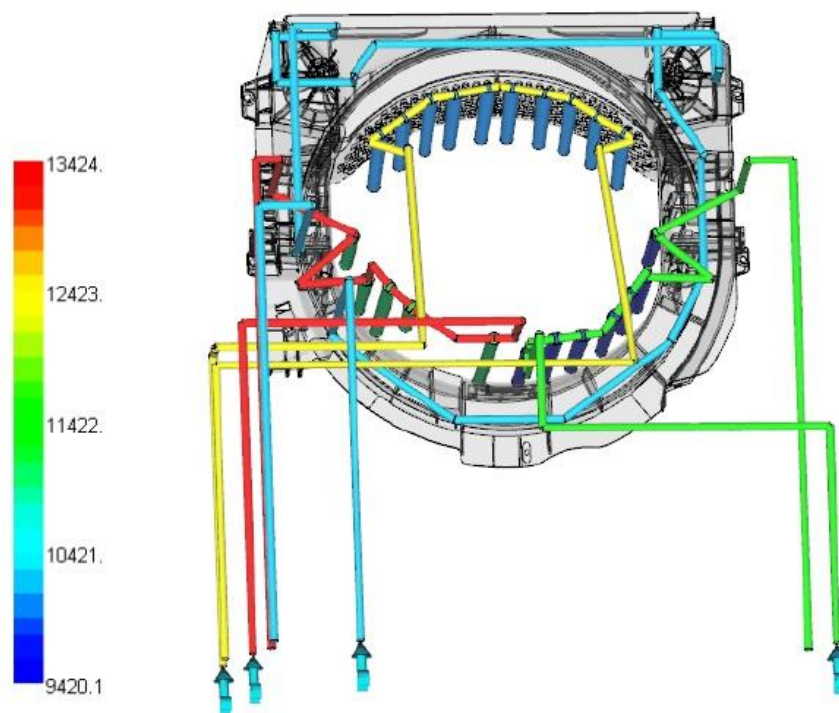


Obr. 42: Tlak ve spodním okruhu [21]

5.8 Reynoldsovo číslo

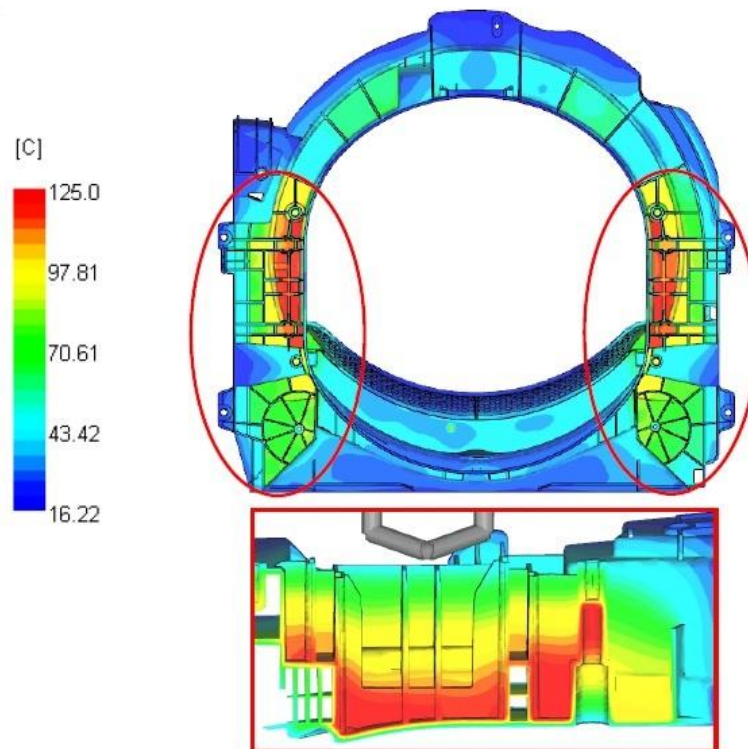


Obr. 43: Reynoldsovo číslo v horním okruhu [21]

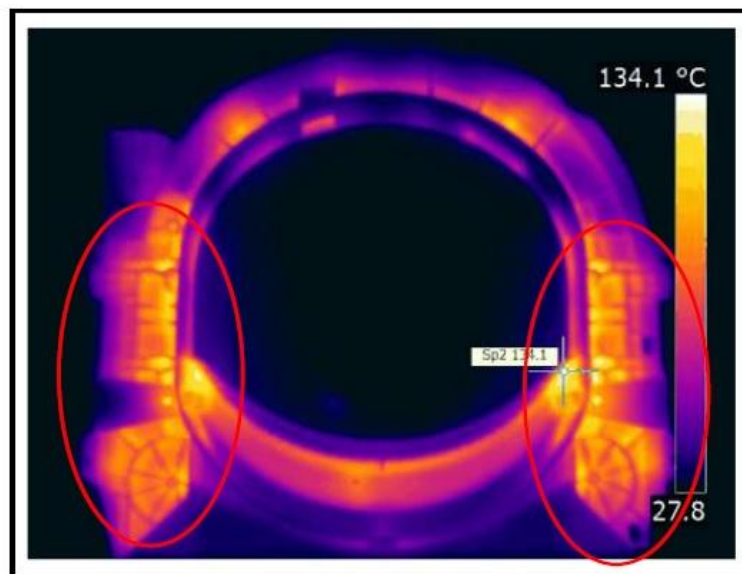


Obr. 44: Reynoldsovo číslo ve spodním okruhu [21]

5.9 Teplotní záznam



Obr. 45: Průměrná teplota na konci cyklu Moldflow [21]



Obr. 46: Teplota zaznamaná z termo kamery [21]

6 ROZMĚROVÝ PROTOKOL

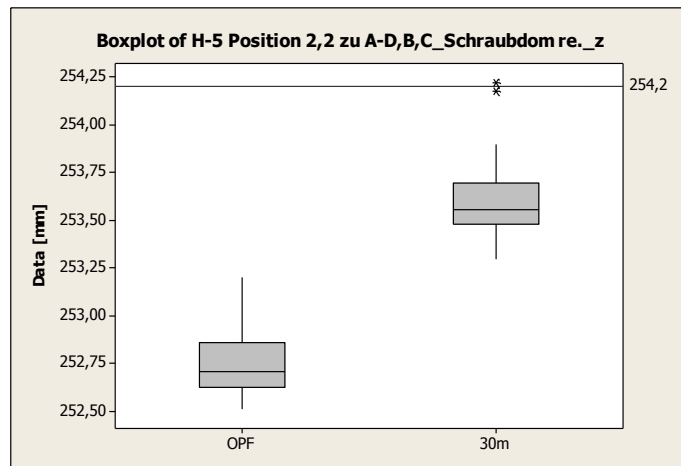
V rozměrovém protokolu se nachází 101 měřených pozic na výrobku. Prvních 24 měření jsou výrobky OPF (one piece flow) neboli čerstvě vystříknuté a svařené, a zbylých 24 měření jsou výrobky vystříknuté a svařené po vyrelaxování doby 30 minut.

Z těchto 101 pozic jsem vybral 11 různých. Ke každé z 11 pozic byl v programu Minitab vytvořen boxplot a histogramy.

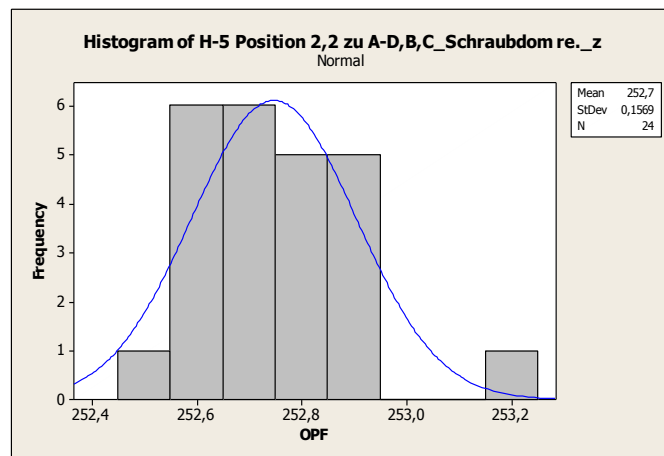
Boxplot neboli krabicový diagram je způsob grafické vizualice numerických dat pomocí jejich kvartilů. Boxploty vyjadřují rozdíly mezi datovými soubory bez jakýchkoliv předpokladů normálního rozdělení dat. U každého boxplotu je v grafu zakreslený přesný rozměr, popřípadě jeho tolerance, abychom mohli vidět odchylky od tohoto rozměru. Histogram je grafické znázornění dat, pomocí sloupcového grafu, se sloupci stejné šířky a výška sloupců znázorňuje jejich četnost.

Z grafů můžeme vyčíst, že výrobky svařené metodou OPF mají stálejší rozměry než výrobky svařené po 30 minutách. Naopak výrobky svařené po 30 minutách mají většinou přesnější rozměry než výrobky OPF. Tyto rozměry jsou ale pouze o malou hodnotu přesnější, a proto se dají až zanedbat. Z rozměrového protokolu tedy vyplývá, že výrobky vyrobené metodou OPF budou rozměrově stejné, jako výrobky vyrobené po 30 minutách.

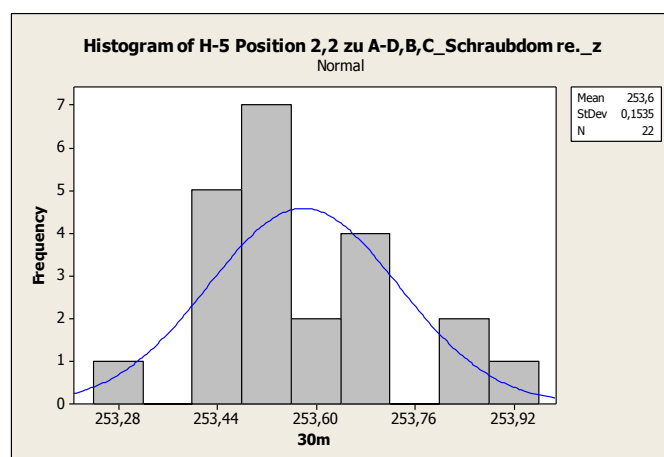
Pozice číslo 4.



Obr. 47: Boxplot pozice č. 4 [21]

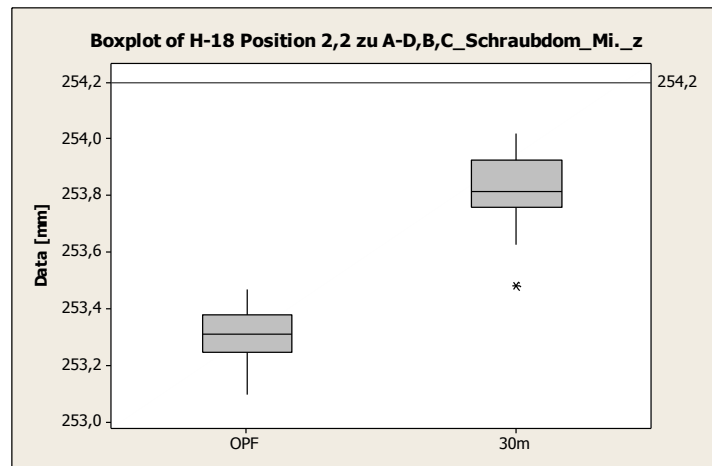


Obr. 48: Histogram pozice č. 4_OPF [21]

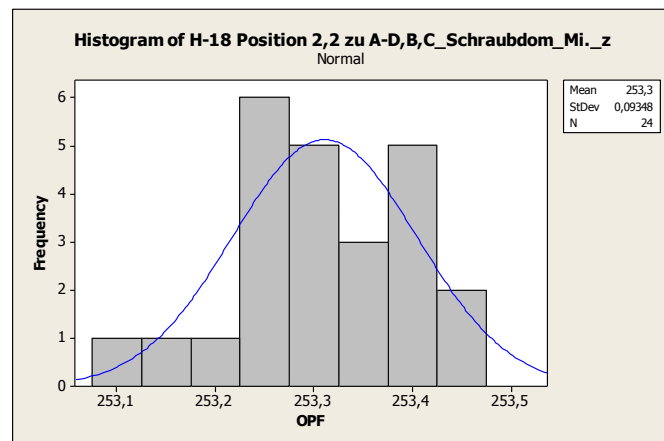


Obr. 49: Histogram pozice č. 4_30m [21]

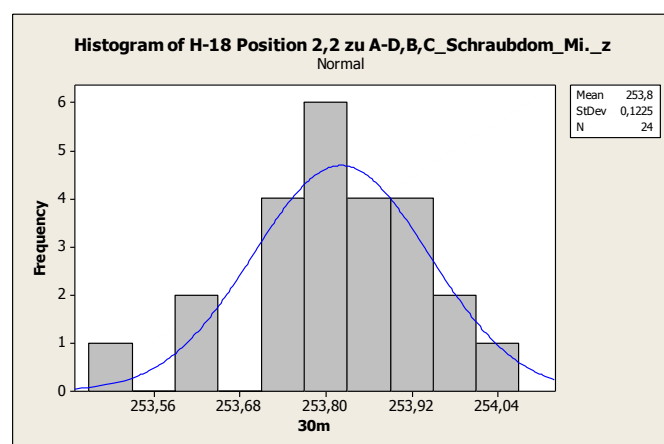
Pozice číslo 8.



Obr. 50: Boxplot pozice č. 8 [21]

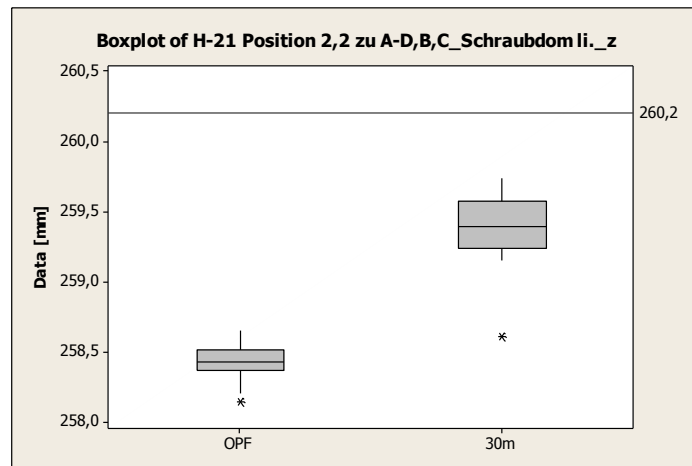


Obr. 51: Histogram pozice č. 8_OPF [21]

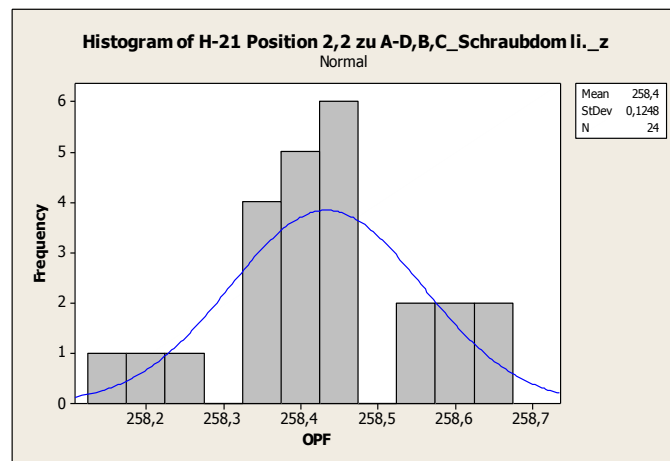


Obr. 52: Histogram pozice č. 8_30m [21]

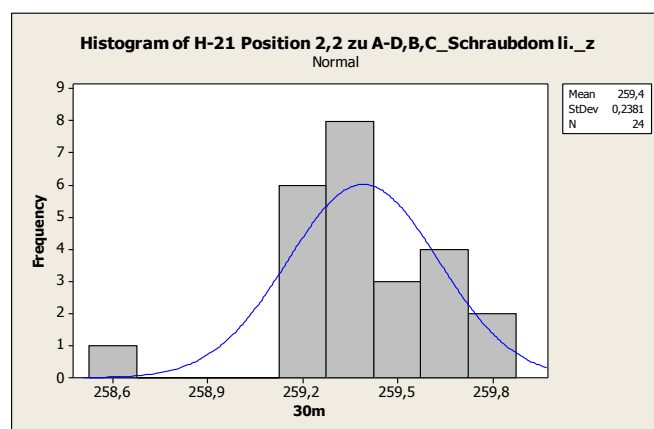
Pozice číslo 12.



Obr. 53: Boxplot pozice č. 12 [21]

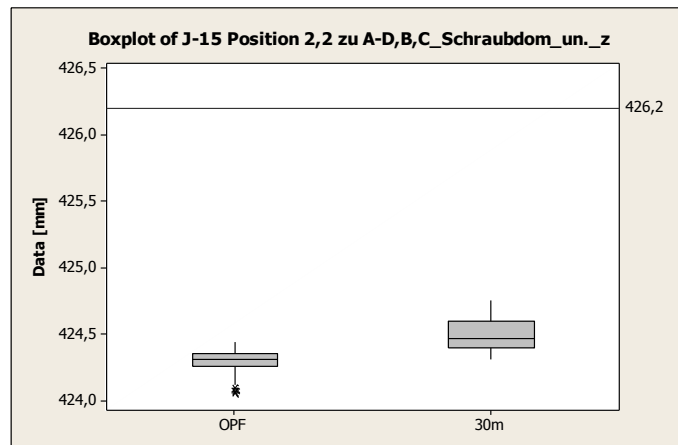


Obr. 54: Histogram pozice č. 12_OPF [21]

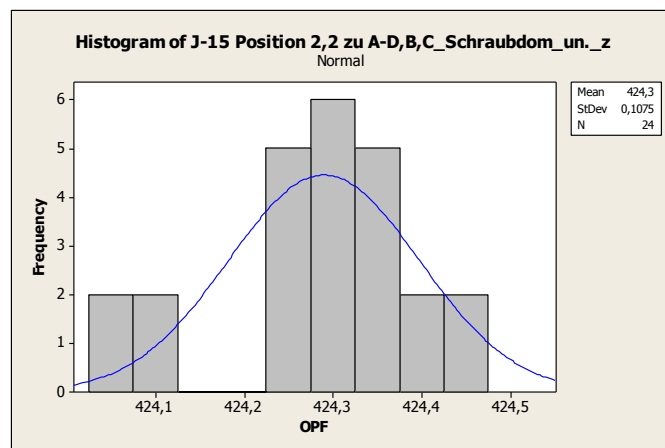


Obr. 55: Histogram pozice č. 12_30m [21]

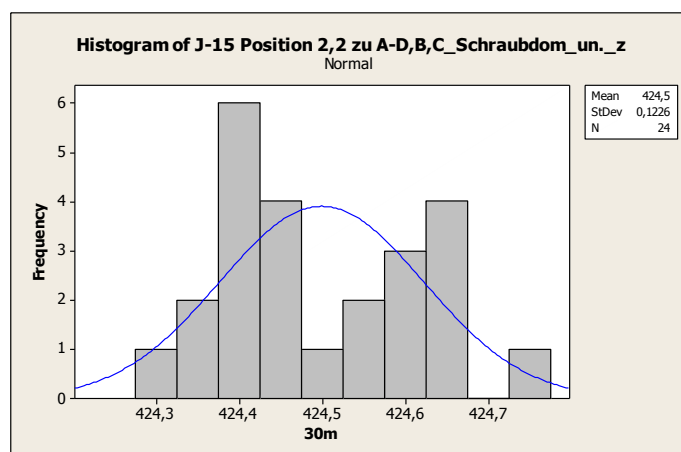
Pozice číslo 16.



Obr. 56: Boxplot pozice č. 16 [21]

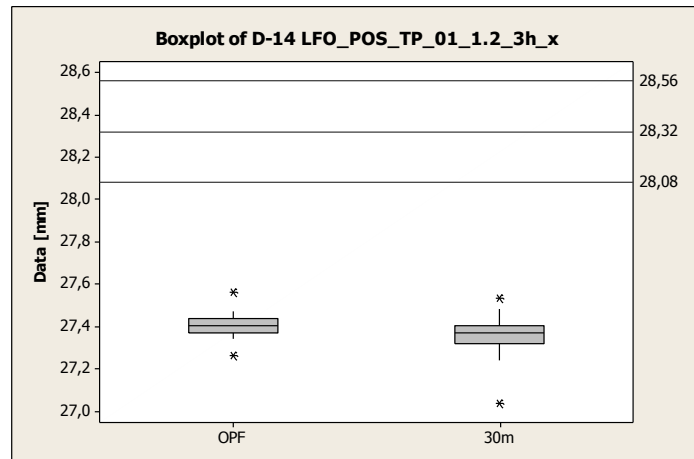


Obr. 57: Histogram pozice č. 16_OPF [21]

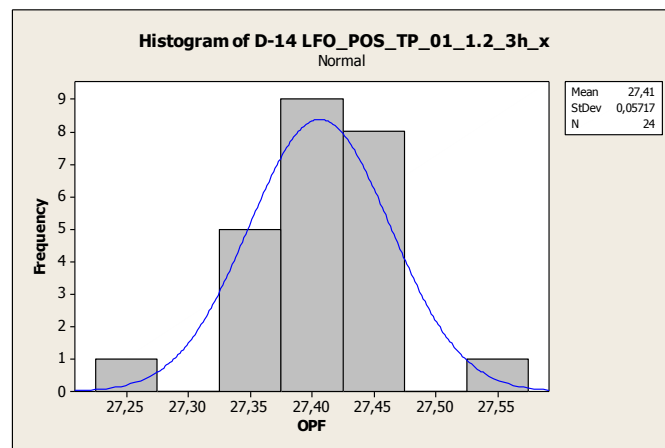


Obr. 58: Histogram pozice č. 16_30m [21]

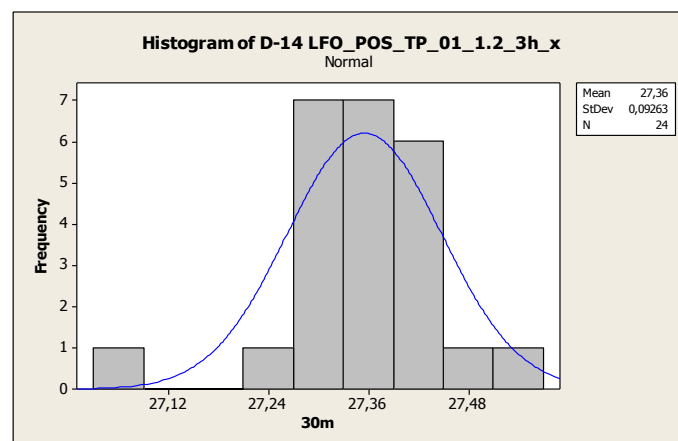
Pozice číslo 26.



Obr. 59: Boxplot pozice č. 26 [21]

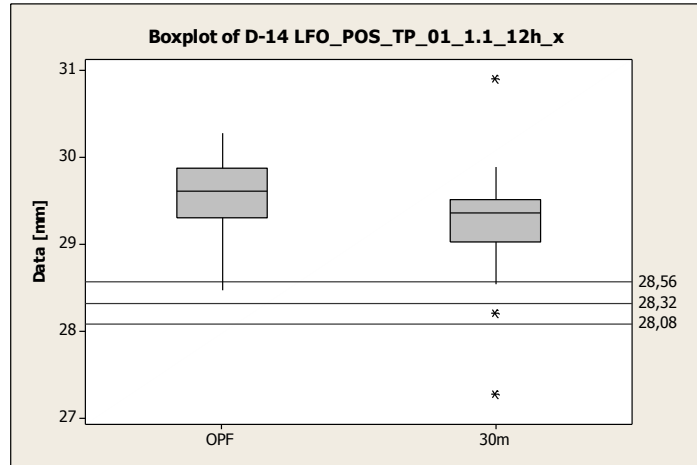


Obr. 60: Histogram pozice č.26_OPF [21]

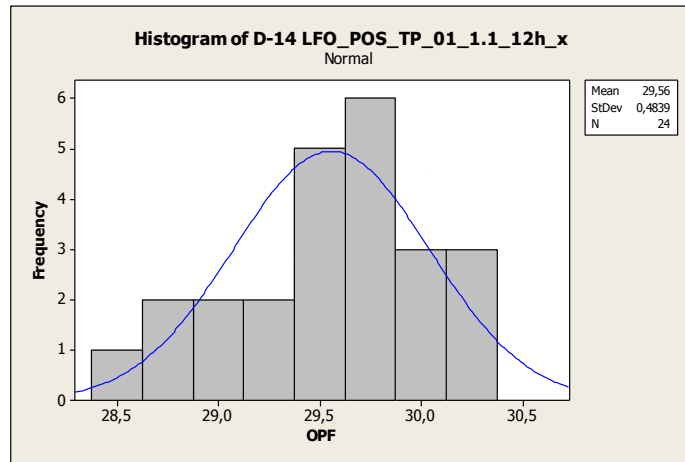


Obr. 61: Histogram pozice č.26_30m [21]

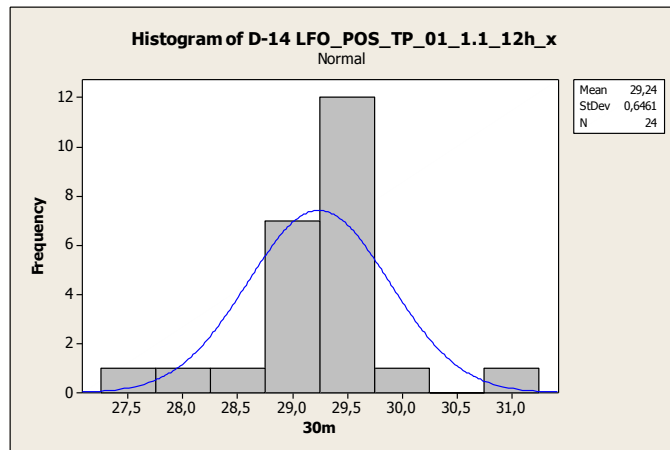
Pozice číslo 27.



Obr. 62: Boxplot pozice č. 27 [21]

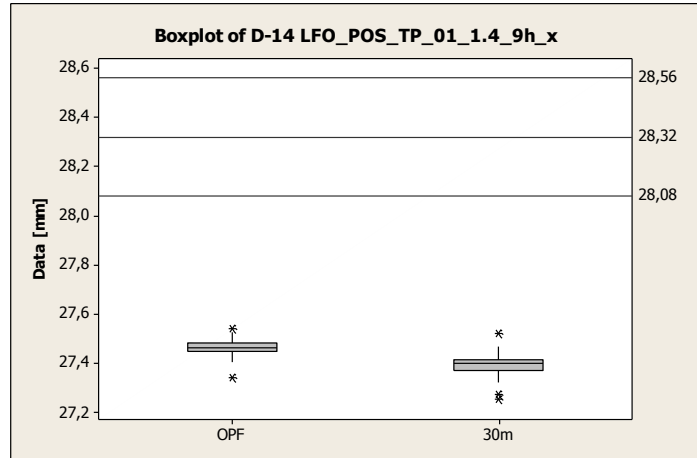


Obr. 63: Histogram pozice č. 27_OPF [21]

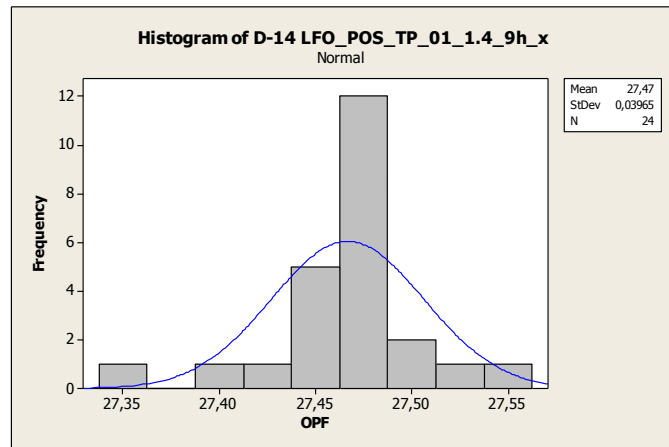


Obr. 64: Histogram pozice č. 27_30m [21]

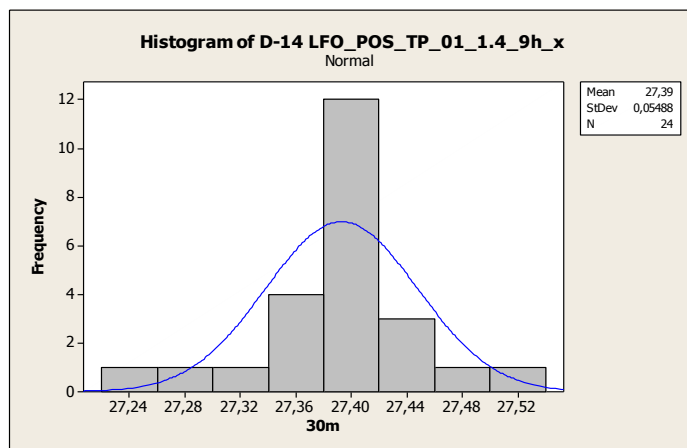
Pozice číslo 28.



Obr. 65: Boxplot pozice č. 28 [21]

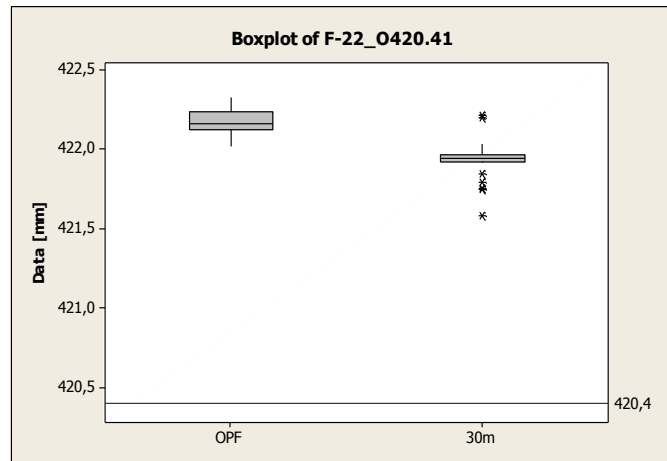


Obr. 66: Histogram pozice č. 28_OPF [21]

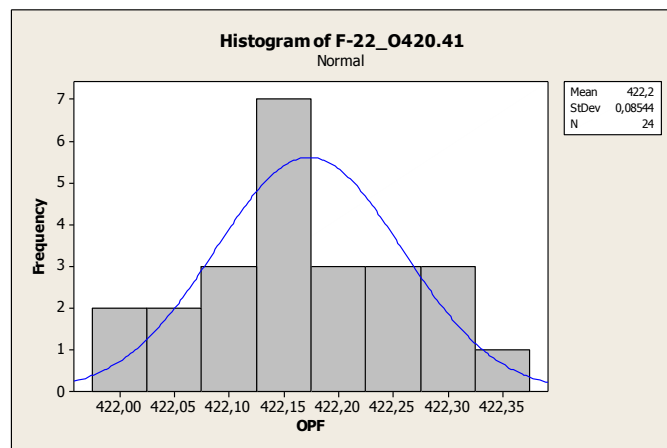


Obr. 67: Histogram pozice č. 28_30m [21]

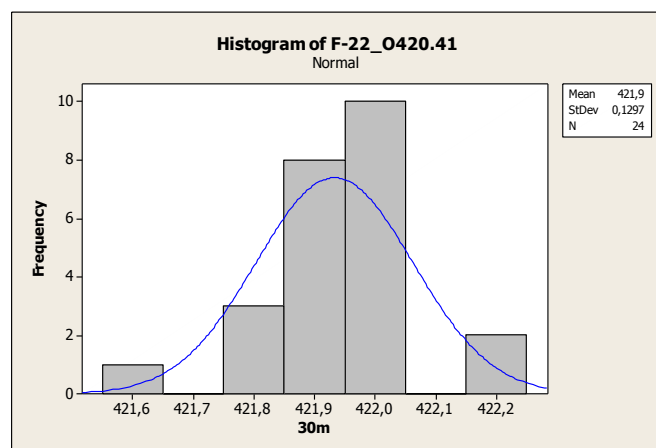
Pozice číslo 60.



Obr. 68: Boxplot pozice č. 60 [21]

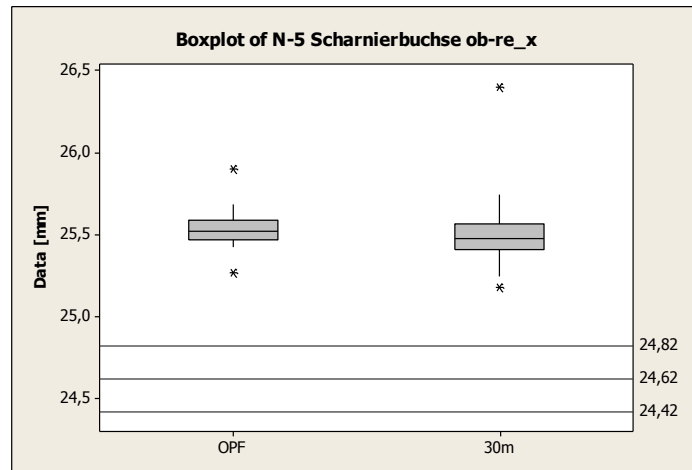


Obr. 69: Histogram pozice č. 60_OPF [21]

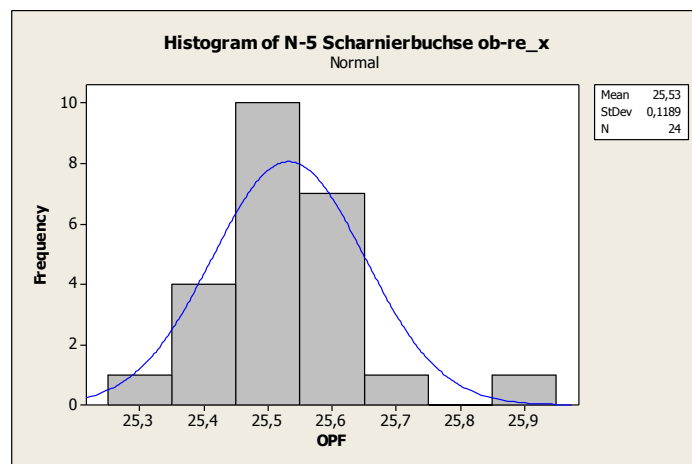


Obr. 70: Histogram pozice č. 60_30m [21]

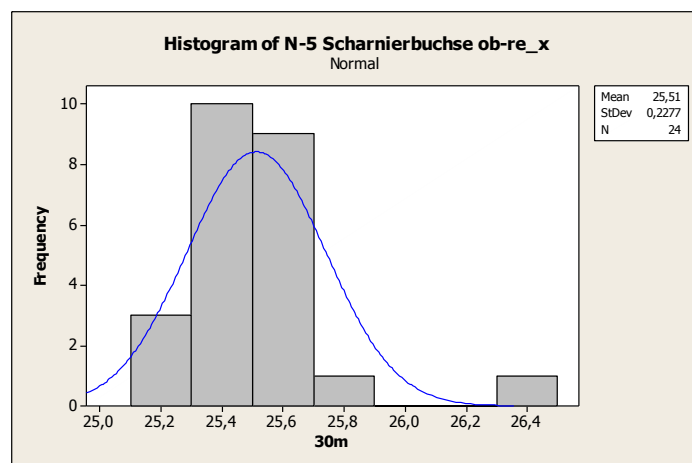
Pozice číslo 62.



Obr. 71: Boxplot pozice č. 62 [21]

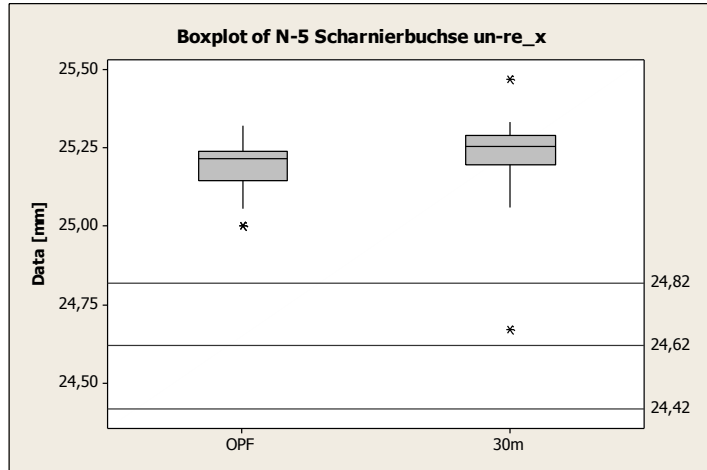


Obr. 72: Histogram pozice č. 62_OPF [21]

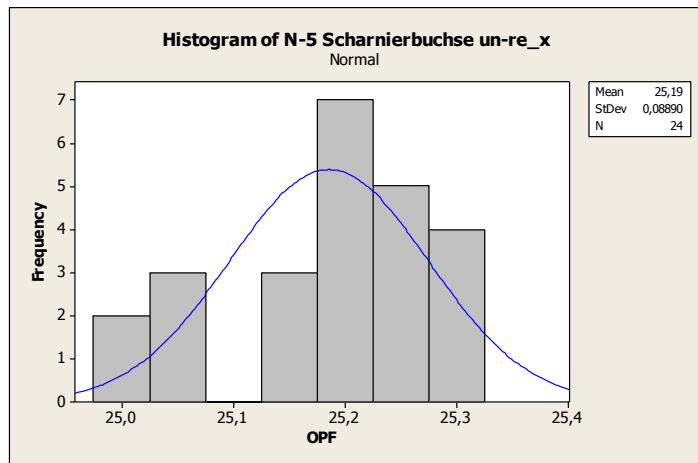


Obr. 73: Histogram pozice č. 62_30m [21]

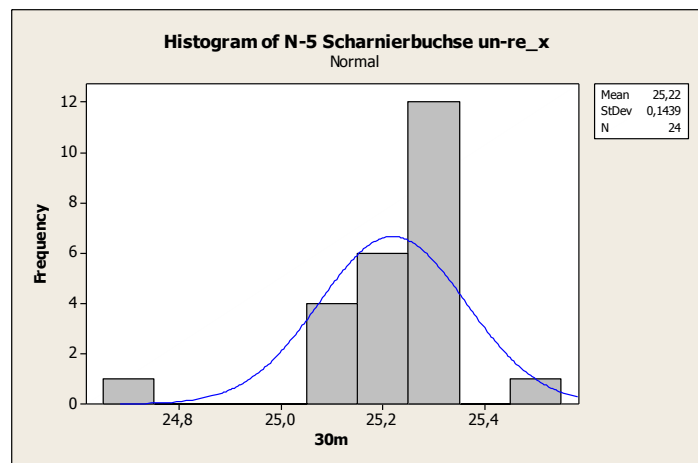
Pozice číslo 66.



Obr. 74: Boxplot pozice č. 66 [21]

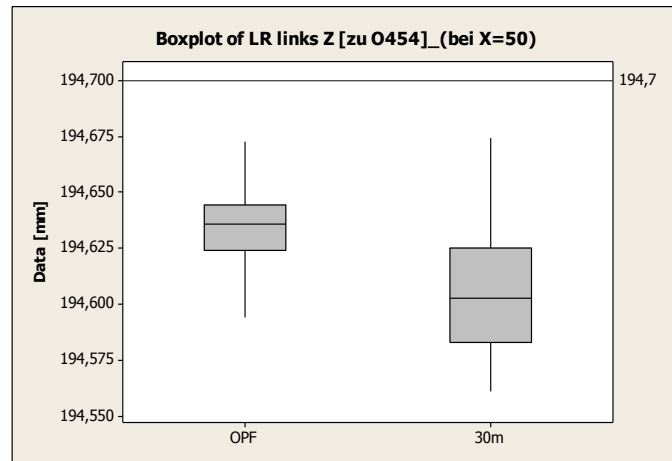


Obr. 75: Histogram pozice č. 66_OPF [21]

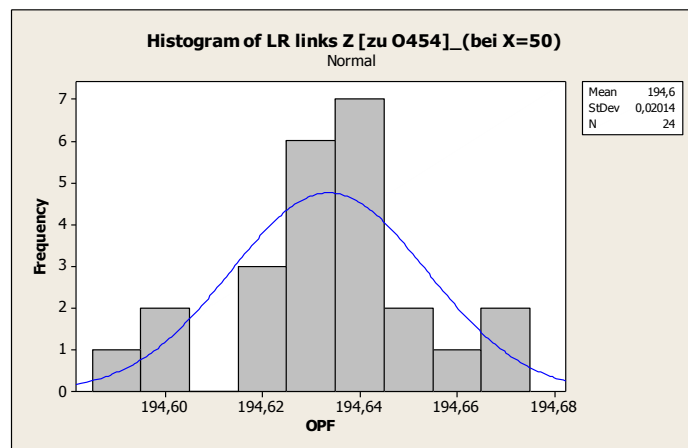


Obr. 76: Histogram pozice č. 66_30m [21]

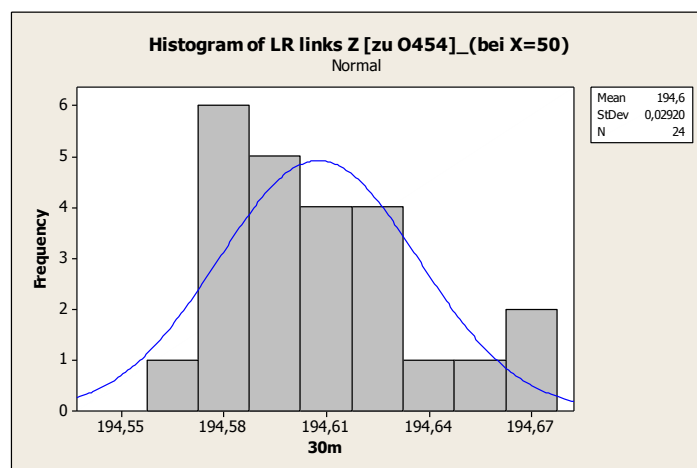
Pozice číslo 98.



Obr. 77: Boxplot pozice č. 98 [21]



Obr. 78: Histogram pozice č. 98_OPF [21]



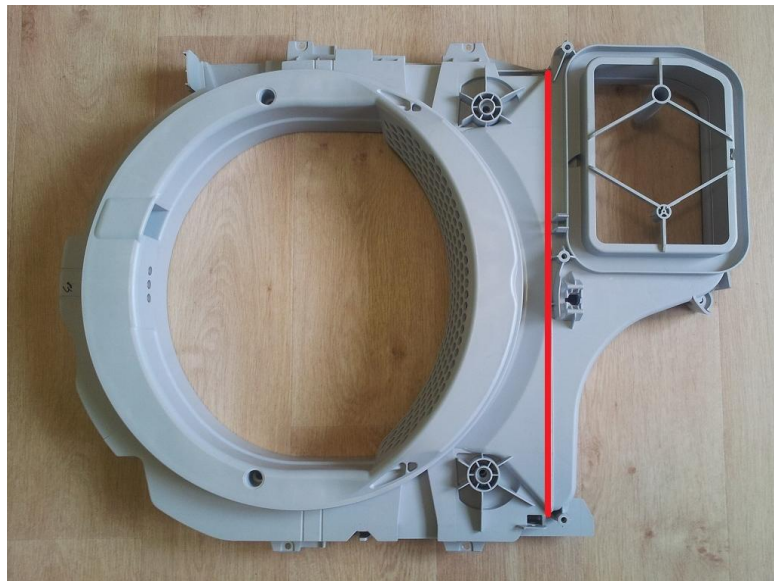
Obr. 79: Histogram pozice č. 98_30m [21]

7 VLASTNÍ ZKOUŠKY

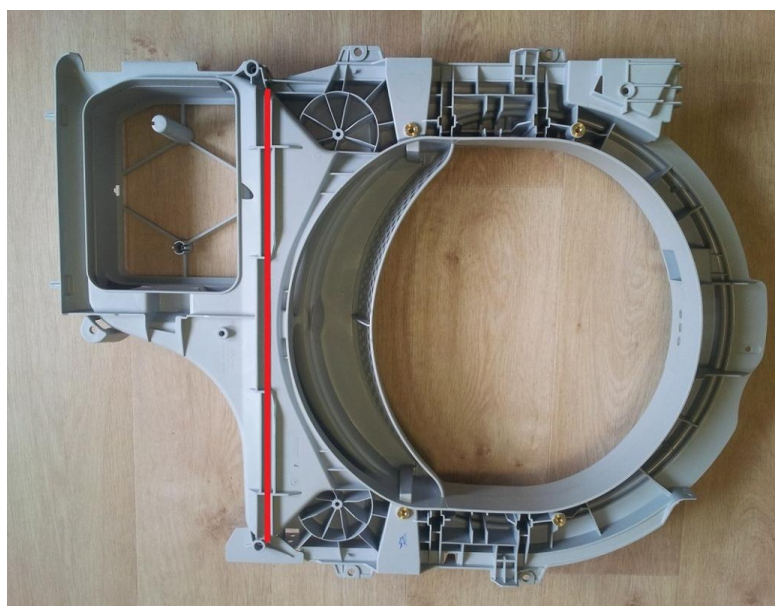
7.1 Mechanické zkoušky

7.1.1 Zkouška celého svaru

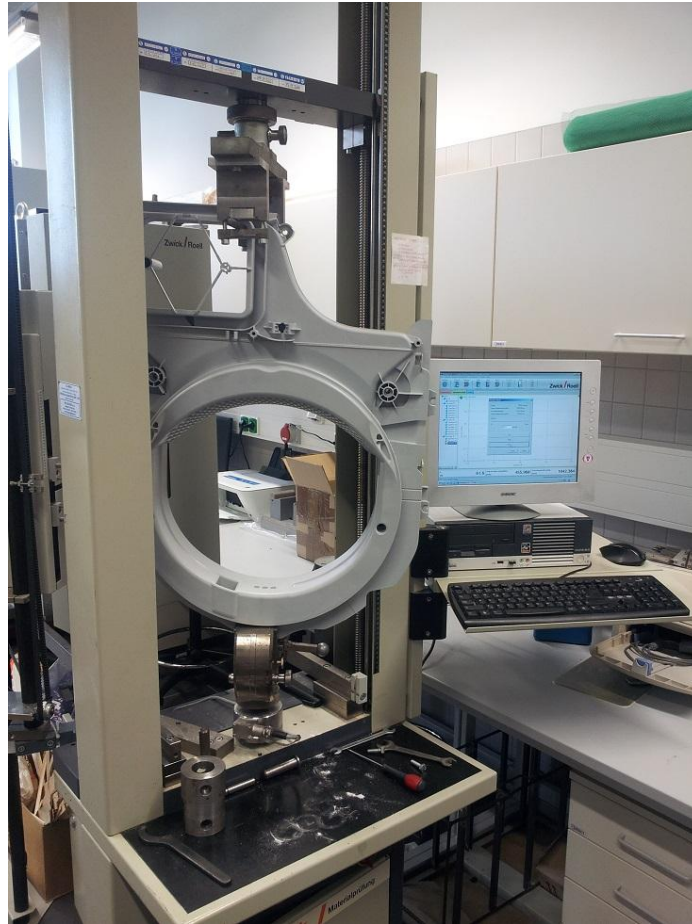
Zkouška byla prováděna na univerzálním testovacím stroji Zwick 145 665 v laboratoři UTB Zlín. Na následujících snímcích je vyznačena oblast svaru červenou barvou. Zkouška byla realizována na 5 kusech ze série OPF a 5 kusech svařených po 30 minutách. Tahová zkouška byla prováděna podle normy ČSN EN ISO 527-1-3.



Obr. 80: Přední část modelu [21]



Obr. 81: Zadní část modelu [21]



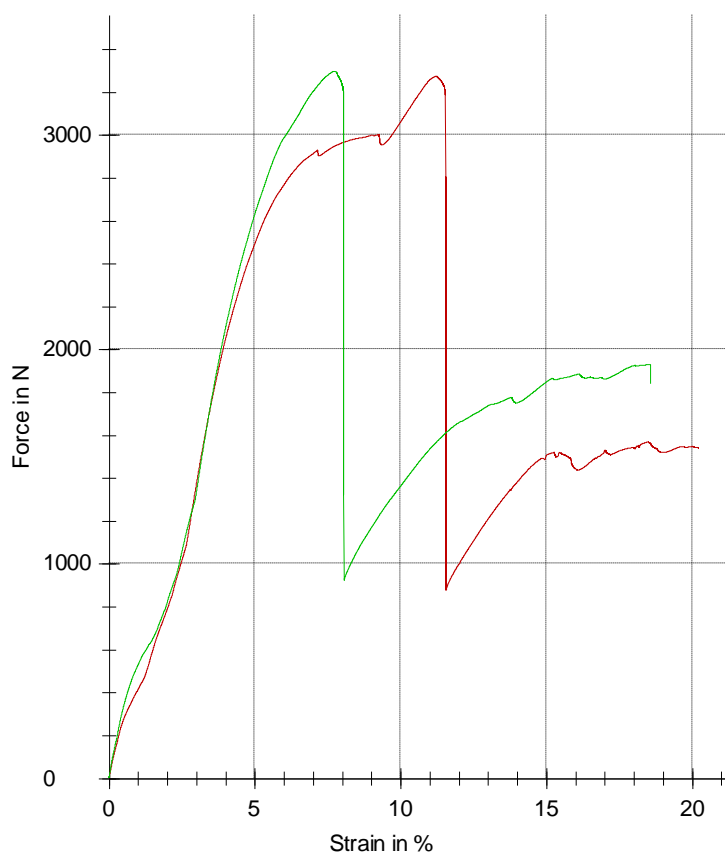
Obr. 82: Upnutí vzorku na test celého svaru [21]



Obr. 83: Test vzorků OPF [21]



Obr. 84: Test vzorků po 30m [21]



Obr. 85: Graf z trhací zkoušky [21]

Graf (obr. 83) porovnává trhací zkoušku u prvního vzorku OPF (zelený) a prvního vzorku 30m (červený). Síla, potřebná na porušení je prakticky stejná.

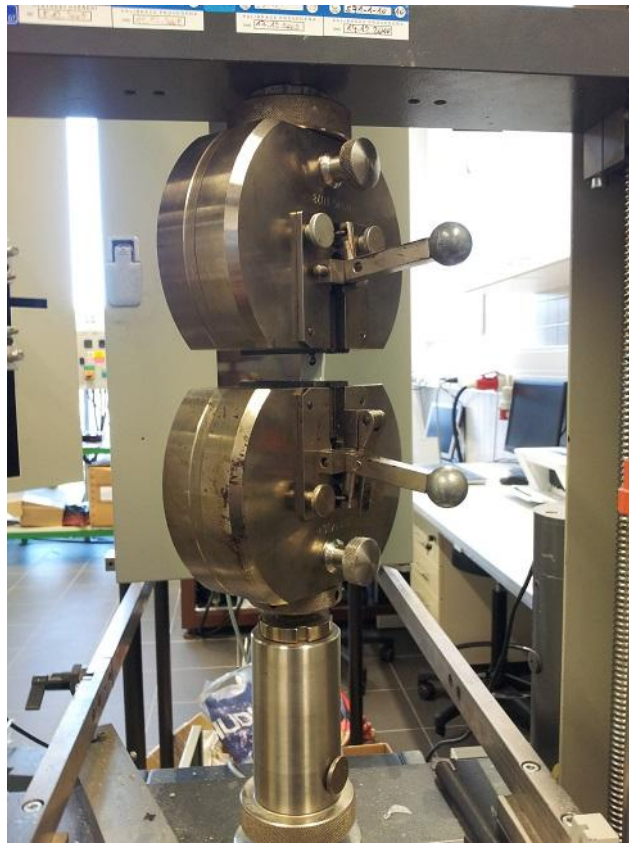
Tab. 4: Trhací zkouška celého sváru [21]

OPF	F _{max} [N]	ε při F _{max} [%]	W při F _{max} [Nmm]	W při přelomení [Nmm]
1.	3300	7,7	65327,9	148652,9
2.	3350	8,3	63358,5	150235,3
3.	3275	7,1	66521,3	149546,2
4.	3310	7,8	62578,1	148563,4
5.	3402	8,0	65248,3	147547,3
Průměr	3327,4	7,8	64606,8	148909,0
směr. od.	44,4	0,4	1433,2	917,0
u	19,9	0,2	641,0	410,1
30min.	F _{max} [N]	ε při F _{max} [%]	W při F _{max} [Nmm]	W při přelomení [Nmm]
1.	3280	11,2	110478,9	170876,7
2.	3240	10,5	105568,5	170254,2
3.	3286	11,3	107325,3	171658,3
4.	3235	10,3	111547,1	169654,7
5.	3185	10,8	109654,4	168985,2
Průměr	3245,2	10,8	108914,8	170285,8
směr. od.	36,4	0,4	2174,7	929,9
u	16,3	0,2	972,6	415,9

Z prováděných zkoušek bylo zjištěno, že celkový svár je dostatečně pevný a při trhací zkoušce se materiál porušil na zcela jiném místě zkoušeného vzorku. Podle tokové analýzy porušení nastává v místě studeného spoje. Při všech testech byl vzorek porušen na stejném místě a síla potřebná k porušení materiálu byla stejná u obou vzorků.

7.2 Tahová zkouška vyřezaných vzorků

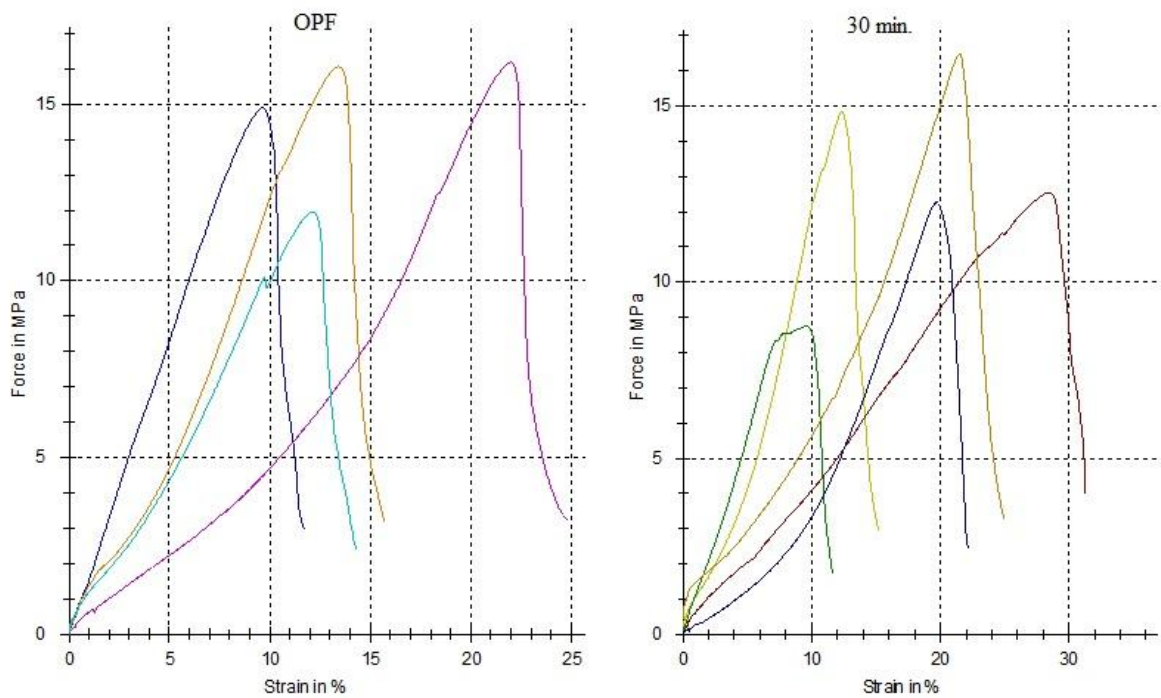
Zkouška byla prováděna na univerzálním testovacím stroji Zwick 145 665 v laboratoři UTB Zlín. Zkouška byla realizována na 5 kusech ze série OPF a 5 kusech svařených po 30 minutách. Tahová zkouška byla prováděna podle normy ČSN EN ISO 527-1-3.



Obr. 86: Tahová zkouška [21]

Tab. 5: Naměřené data při tahové zkoušce [21]

OPF	σ_M [MPa]	ϵ při σ_M [%]	W při σ_M [Nmm]
1.	14,3	9,6	487,6
2.	13,4	13,4	739,3
3.	14,9	21,9	895,9
4.	16,0	12,1	449,5
5.	15,4	14,4	659,2
Průměr	14,8	14,3	646,3
směr. od.	0,9	4,1	164,3
u	0,4	1,8	73,5
30 min.	σ_M [MPa]	ϵ při σ_M [%]	W při σ_M [Nmm]
1.	14,8	12,4	519,0
2.	12,5	28,5	1310,1
3.	8,8	9,6	310,7
4.	12,3	19,7	669,0
5.	16,5	21,5	1001,8
Průměr	13,0	18,3	762,1
směr. od.	2,6	6,7	354,7
u	1,2	3,0	158,6



Obr. 87: Grafy tahové zkoušky [21]

Z tahové zkoušky bylo zjištěno, že výrobky vyrobené metodou OPF snesou napětí průměrně 14,8 MPa. Výrobky vyrobené metodou 30 minut snesou napětí průměrně 13 MPa.

Závěrem tahové zkoušky u vyřezaných vzorků se dospělo k výsledku, že naměřená data i grafy se příliš neliší, tudíž jsou obě metody obdobné a proto je výhodnější použít metodu OPF která je úspornější s časového i finančního hlediska.

7.3 Ohybová zkouška vyřezaných vzorků

Zkouška byla prováděna na univerzálním testovacím stroji Zwick 145 665 v laboratoři UTB Zlín. Zkouška byla realizována na 5 kusech ze série OPF a 5 kusech svařených po 30 minutách. Ohybová zkouška byla prováděna podle normy ČSN EN ISO 178.



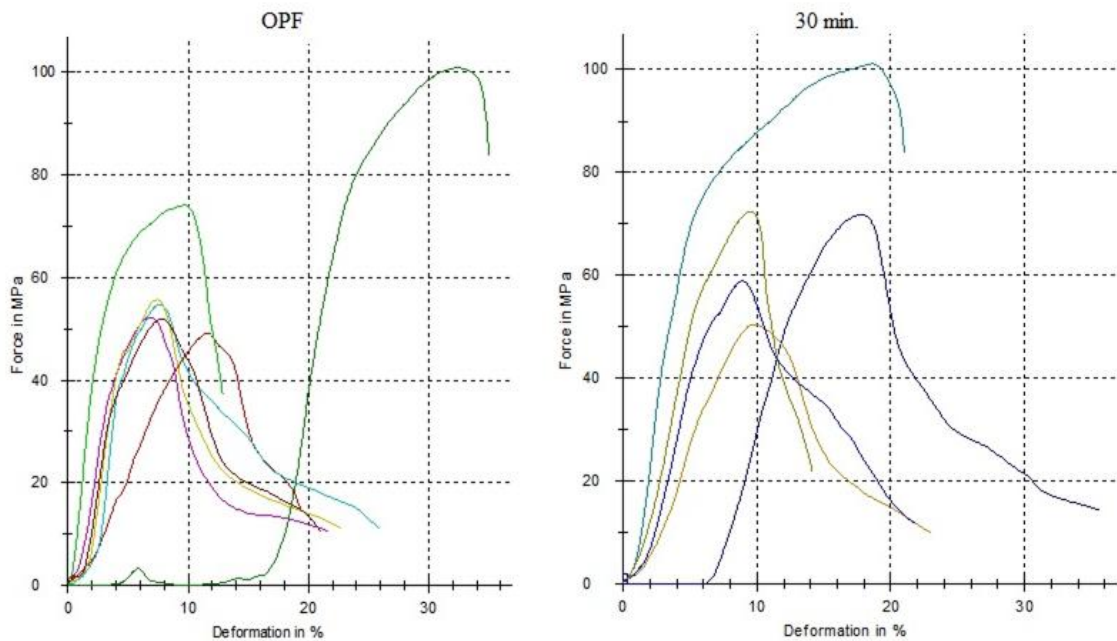
Obr. 88: Ohybová zkouška [21]



Obr. 89: Vzorek po ohybové zkoušce [21]

Tab. 6: Naměřené hodnoty k ohybové zkoušce [21]

OPF	$\sigma_f M$ [MPa]	ϵ při $\sigma_f M$ [%]	W při $\sigma_f M$ [Nmm]
1.	49,1	11,6	159,7
2.	52,3	9,7	299,9
3.	74,1	6,8	134,3
4.	52,3	7,6	116,7
5.	55,7	7,4	119,8
Průměr	56,7	8,6	166,1
směr. od.	8,9	1,8	68,6
u	4,0	0,8	30,7
30min.	$\sigma_f M$ [MPa]	ϵ při $\sigma_f M$ [%]	W při $\sigma_f M$ [Nmm]
1.	71,8	17,7	293,2
2.	50,5	9,9	156,3
3.	72,3	9,5	227,7
4.	58,9	8,9	165,4
5.	60,3	12,3	157,2
Průměr	62,8	11,7	200,0
směr. od.	8,3	3,2	53,6
u	3,7	1,4	24,0



Obr. 90: Grafy ohybové zkoušky [21]

Z ohybové zkoušky bylo zjištěno, že výrobky vyrobené metodou OPF vydrží napětí ve svaru průměrně 56,7 MPa. Výrobky vyrobené metodou 30 minut vydrží ve svaru napětí průměrně 62,8 MPa.

Z ohybové zkoušky vyplývá, že metoda 30 minut je výhodnější, vydrží větší zatížení o 6,1 Mpa než metoda OPF.

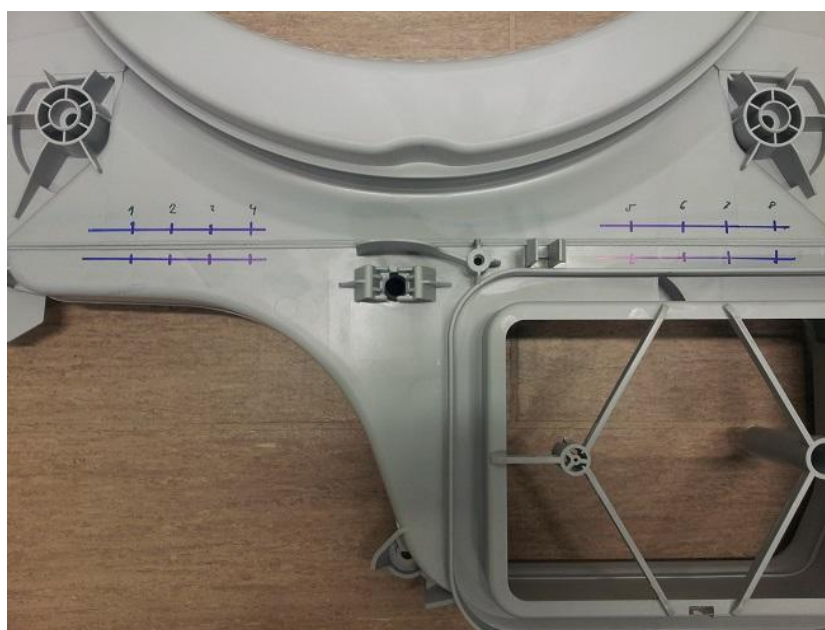
7.4 Tepelná zkouška

Tepelná zkouška bude prováděna tak, že vzorky budou vystavené teplotě 130 °C po dobu 2 hodin v peci. Nejprve si změříme výšku určitých bodů na vzorku před vložením do pece a poté proběhne druhé měření, po vytažení z pece a vychladnutí. Tyto hodnoty budou poté porovnány. Teplo působící na vzorky uvolní vnitřní napětí, které je zdeformuje. Z této deformace určíme, který ze vzorků měl menší vnitřní napětí.

Měření bodů bylo prováděno na výškoměru LH 600 Mitutoyo v laboratoři UTB Zlín.



Obr. 91: Měření před vystavením tepla [21]



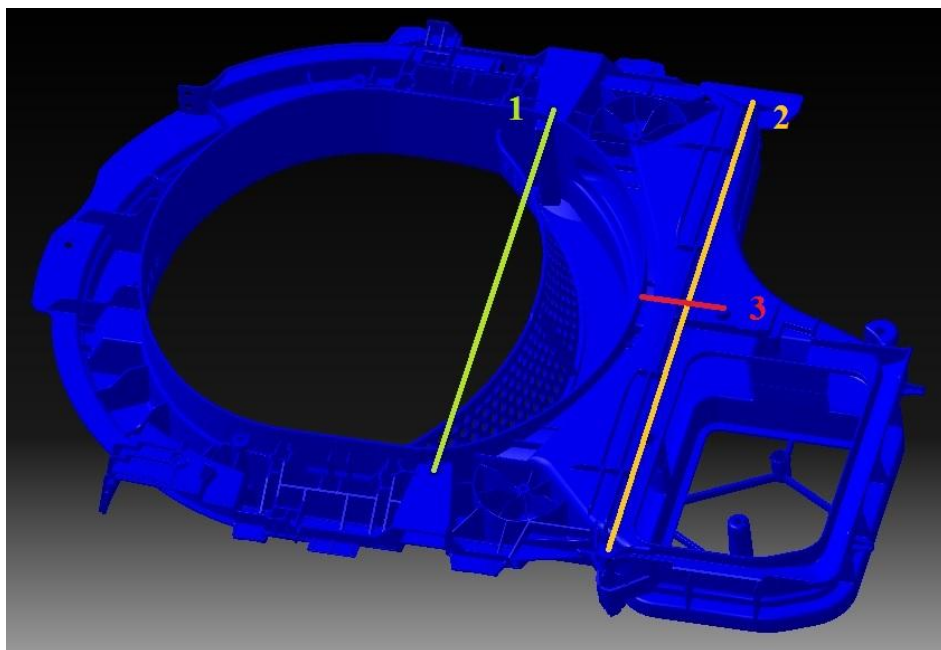
Obr. 92: Měřené body [21]

Tab. 7: Výsledky tepelné zkoušky [21]

	Bod 1 [mm]	Bod 2 [mm]	Bod 3 [mm]	Bod 4 [mm]	Bod 6 [mm]	Bod 7 [mm]	Bod 8 [mm]
OPF před	68,711	68,459	68,124	67,868	68,390	68,704	68,779
	68,019	67,951	67,789	67,706	69,607	69,585	69,536
OPF po	1	2	3	4	6	7	8
	68,640	68,283	67,976	67,672	67,768	68,044	68,073
30 min. před	1	2	3	4	6	7	8
	69,169	68,851	68,390	68,016	69,170	69,672	69,845
30 min. po	1	2	3	4	6	7	8
	68,293	68,007	67,702	67,421	69,438	70,060	70,356
	67,364	67,387	67,367	67,432	70,206	70,241	70,320

Z výsledků je patrné, že vzorky se po vystavení tepelnému působení příliš nezdeformovaly. Stálejší rozměry si uchoval vzorek OPF.

Dále jsou na vzorku měřeny rozteče děr, které bylo prováděno za pomoci dlouhého posuvného měřidla.



Obr. 93: Měřené rozteče děr [21]

Tab. 8: Naměřená data k roztečím [21]

OPF před	Rozteč 1 [mm]	Rozteč 2 [mm]	Rozteč 3 [mm]
	410,1	520,0	60,3
OPF po	1	2	3
	410,2	517,0	64,0
30 min. před	1	2	3
	410,5	520,0	61,0
30 min. po	1	2	3
	410,0	517,4	64,3

Byly měřeny tři rozteče. U první rozteče, označené jako 1 se rozměr příliš nezměnil a u zbývajících dvou, označených jako 2 a 3 už došlo ke změnám vlivem deformace po tepelném zatížení. Tato deformace je stejná u obou metod svařovaných vzorků.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku svařování plastů, konkrétně se jedná o svařování plastových dílů, které mají různou dobu na vyrelaxování.

V teoretické části jsou obecně rozebrány plasty. Je zde uvedeno jejich rozdělení, příprava, přísady, zkoušení a použití. V popisech o chemickém složení jsou objasněny pojmy polymerace, polykondenzace a polyadice. V kapitole o druzích plastů jsou popsány vlastnosti termoplastů, reaktoplastů a elastomerů. Další kapitola se zabývá svařováním plastů. Je zde vysvětlena podstata svařování termoplastů a základní parametry při svařování. Dále je tato práce zaměřena na metody svařování termoplastů, jako je například polyfúzní svařování, svařování elektrotvarovkou, svařování třením, svařování laserem a horkým tělesem, na což je zaměřena také praktická část této diplomové práce. Poslední kapitolou teoretické části je pnutí a deformace, které vznikají při svařování.

V první kapitole praktické části je stručný popis společnosti Miele technika s.r.o., dále jsou zde sestaveny cíle praktické experimentální části, které firma sama navrhla. Další bod práce obsahuje popis a 3D model výrobku. V následující části se nachází rozbor vstřikovaného dílu, např. velikost a tvar vstřikovacích kanálů, konstrukční abnormality a tepelná analýza. Součástí praktické části je také rozměrový protokol, podle kterého lze určit stálost a přesnost rozměrů vstřikovaných výrobků. Na vybraných jedenácti různých pozicích bylo provedeno statistické vyhodnocení výsledků prostřednictvím grafické vizualizace numerických dat boxplot a histogramu. Mechanické měření probíhalo v laboratořích Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně na univerzálním trhacím stroji. Nejprve byla zkoušena pevnost celého obvodového svaru a poté tahovou a ohybovou zkouškou prošly vyříznuté zkušební vzorky. Posledním měřením bylo tepelné zatížení vzorků, které umožnila firma Form, s.r.o.

Cílem této práce bylo zjištění, jaký je rozdíl mezi metodou svařováním OPF a metodou svařování po 30 minutách. Prováděnými zkouškami bylo zjištěno, že výsledky vlastností vzorků jsou u obou metod obdobné a rozdíly jsou zanedbatelné. Tudíž bych doporučil metodu OPF, díky které dojde k úspoře času i finančních prostředků, protože by se vzorky nemusely skladovat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Vyd. 1. Praha: Europa-Sobotáles, 2007, 608 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [2] LOYDA, Miloslav. *Svařování termoplastů. 2.*, dopl. a rozš. vyd. Praha: UNO Praha, 2011, 530 s. ISBN 978-80-904949-0-9.
- [3] FISCHER, Ulrich. *Základy strojírenství*. Vyd. 1. Praha: Europa-Sobotáles, 2004, 290 s. ISBN 80-86706-09-5.
- [4] ČAUČÍK, Pavol. *Prísady do plastov*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1985, 480 s.
- [5] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 247 s. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [6] HUGO, Jiří. *Konstrukční plastické hmoty, jejich vlastnosti a využití ve strojírenství*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965, 525 s.
- [7] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II. 2.*, opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
- [8] LAPČÍK, Lubomír a Miroslav RAAB. *Nauka o materiálech II*. Vyd. 2. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2004, 133 s. ISBN 80-7318-229-7.
- [9] IPL. SVORČÍK. *Polymery* [online]. 2012 [cit. 2014-12-01]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>
- [10] KOVAŘÍK, Rudolf a František ČERNÝ. *Technologie svařování. 2.* vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta, 2000, 186 s. ISBN 80-7082-697-5.
- [11] NOVOTNÝ, Jiří. *Technologie I: (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001, 227 s. ISBN 80-01-02351-6.
- [12] MLEŽIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití. 2. přeprac. vyd.* Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 8085920727.
- [13] HOLZMÜLLER, Werner a Kurt ALTENBURG. *Fyzika polymerů*. Vyd. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 625 s.
- [14] BLABOLIL, František. *Přehled výroby, zpracování a použití plastických hmot: příručka pro techniky a zlepšovatele*. 1. vyd. Praha: Práce, 1956, 661 s.
- [15] *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 395 s. ISBN 80-85771-81-0.

- [16] Svařování. 2015. *Techstroj.g6.cz* [online]. [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T08.pdf>
- [17] Nekomové materiály. 2015. *Umi.fs.cvut.cz* [online]. [cit. 2015-01-09]. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/files/5_nekovove-metrialy.pdf
- [18] Materiály v technice - plasty. 2015. *Gykas.cz* [online]. [cit. 2015-04-14].
Dostupné z:
http://www.gykas.cz/projekt/nove/pracovni_sesity/Technologie_plastu.pdf
- [19] Technologie II, 2015. *Ksp.tul.cz* [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm
- [20] Miele technika. 2015. *Http://www.miele.cz/* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.miele.cz/domacnost/o-nas-23.htm>
- [21] *Vlastní zpracování*

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

OPF	[-]	Metoda one piece flow (čerstvě vystříknuté a svařené)
30m	[-]	Metoda 30 minut
PVC	[-]	Polyvinylchlorid
PS	[-]	Polystyren
PMMA	[-]	Polymethylmethakrylát
PP	[-]	Polypropylen
PE	[-]	Polyetylen
PE-LD	[-]	Vysokotlaký polyetylen
PE-LD	[-]	Vysokohustotní polyetylen
PTFE	[-]	Polytetrafluorethylen
F	[N]	Zátěžná síla
ε	[%]	Poměrné prodloužení
E	[MPa]	Modul pružnosti v tahu
F_{\max}	[N]	Maximální zatěžující síla
ε_t	[%]	Poměrné zkrácení
σ_{Dt}	[MPa]	Dovolené napětí v tahu
W	[Nmm]	Práce
σ_M	[MPa]	Maximální napětí při tahu
σ_{iM}	[MPa]	Maximální napětí při ohybu
σ_{Dt}	[MPa]	Dovolené napětí v tahu
σ_o	[MPa]	Pevnost v ohybu
σ_{Dt}	[MPa]	Dovolené napětí v tahu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Rozdělení materiálů do skupin [1]	12
Obr. 2: Typické vlastnosti a použití plastů [3].....	14
Obr. 3: Molekulární model výroby plastů [1].....	15
Obr. 4: Příklad polymerace [1]	16
Obr. 5: Příklad polykondenzace [1].....	16
Obr. 6: Příklad polyadice [1]	16
Obr. 7: Základní rozdělení polymerů z hlediska jejich chování za běžné a zvýšené teploty [9]	17
Obr. 8: Termoplast [1]	17
Obr. 9: Reaktoplast [1].....	20
Obr. 10: Elastomer [1]	21
Obr. 11: Schematický čtyřstěn faktorů, které ovlivňují pevnost polymerů [8]	26
Obr. 12: Diagram zkoušky tahem různých typů plastů [1].....	27
Obr. 13: Diagramy zkoušky tahem různých plastů [1].....	28
Obr. 14: Teplotní závislost modulu pružnosti E (tuhosti) různých plastů [1]	29
Obr. 15: Teplotní stálost plastů.....	30
Obr. 16: Přímé svařování [2]	36
Obr. 17: Nepřímé svařování [2].....	36
Obr. 18: Princip svařování na tupo horkým tělesem [18].....	37
Obr. 19: Princip polyfúzního svařování [18].....	37
Obr. 20: Princip svařování elektrotvarovkou [18]	38
Obr. 21: Princip svařování IR [2]	39
Obr. 22: Rotační svařování [19]	40
Obr. 23: Schéma FR s elektromagnetickým pohonem [2].....	41
Obr. 24: Rozklad záření [2]	41
Obr. 25: Průběh pnutí v kolmém řezu [2].....	45
Obr. 26: Průběh pnutí po délce [2]	47
Obr. 27: Craze a trhliny[2].....	48
Obr. 28: Tepelné zrcadlo (deska) [21]	52
Obr. 29: Svařený modul [21]	52
Obr. 30: Rozdělení modulu [21]	53
Obr. 31: Celkový model [21].....	53

Obr. 32: Celkový model 2 [21]	54
Obr. 33: Celkový model ze zadní strany [21]	54
Obr. 34: Rozmístění vstřikovacích kanálů [21]	55
Obr. 35: Velikost vstřikovacích kanálů [21]	55
Obr. 36: Průběh plnění modelu: levý sloupec přední část, pravý sloupec zadní část [21]	56
Obr. 37: Konstrukční abnormality [21]	57
Obr. 38: Řezy v modelu [21]	57
Obr. 39: Teplota v horním okruhu [21]	58
Obr. 40: Teplota ve spodním okruhu [21]	58
Obr. 41: Tlak v horním okruhu [21]	59
Obr. 42: Tlak ve spodním okruhu [21]	59
Obr. 43: Reynoldsovo číslo v horním okruhu [21]	60
Obr. 44: Reynoldsovo číslo ve spodním okruhu [21]	60
Obr. 45: Průměrná teplota na konci cyklu Moldflow [21]	61
Obr. 46: Teplota zaznamenaná z termo kamery [21]	61
Obr. 47: Boxplot pozice č. 4 [21]	63
Obr. 48: Histogram pozice č. 4_OPF [21]	63
Obr. 49: Histogram pozice č. 4_30m [21]	63
Obr. 50: Boxplot pozice č. 8 [21]	64
Obr. 51: Histogram pozice č. 8_OPF [21]	64
Obr. 52: Histogram pozice č. 8_30m [21]	64
Obr. 53: Boxplot pozice č. 12 [21]	65
Obr. 54: Histogram pozice č. 12_OPF [21]	65
Obr. 55: Histogram pozice č. 12_30m [21]	65
Obr. 56: Boxplot pozice č. 16 [21]	66
Obr. 57: Histogram pozice č. 16_OPF [21]	66
Obr. 58: Histogram pozice č. 16_30m [21]	66
Obr. 59: Boxplot pozice č. 26 [21]	67
Obr. 60: Histogram pozice č.26_OPF [21]	67
Obr. 61: Histogram pozice č.26_30m [21]	67
Obr. 62: Boxplot pozice č. 27 [21]	68
Obr. 63: Histogram pozice č. 27_OPF [21]	68

Obr. 64: Histogram pozice č. 27_30m [21]	68
Obr. 65: Boxplot pozice č. 28 [21]	69
Obr. 66: Histogram pozice č. 28_OPF [21]	69
Obr. 67: Histogram pozice č. 28_30m [21]	69
Obr. 68: Boxplot pozice č. 60 [21]	70
Obr. 69: Histogram pozice č. 60_OPF [21]	70
Obr. 70: Histogram pozice č. 60_30m [21]	70
Obr. 71: Boxplot pozice č. 62 [21]	71
Obr. 72: Histogram pozice č. 62_OPF [21]	71
Obr. 73: Histogram pozice č. 62_30m [21]	71
Obr. 74: Boxplot pozice č. 66 [21]	72
Obr. 75: Histogram pozice č. 66_OPF [21]	72
Obr. 76: Histogram pozice č. 66_30m [21]	72
Obr. 77: Boxplot pozice č. 98 [21]	73
Obr. 78: Histogram pozice č. 98_OPF [21]	73
Obr. 79: Histogram pozice č. 98_30m [21]	73
Obr. 80: Pření část modelu [21]	74
Obr. 81: Zadní část modelu [21]	74
Obr. 82: Upnutí vzorku na test celého svaru [21]	75
Obr. 83: Test vzorků OPF [21]	75
Obr. 84: Test vzorků po 30m [21]	76
Obr. 85: Graf z trhací zkoušky [21]	76
Obr. 86: Tahová zkouška [21]	78
Obr. 87: Grafy tahové zkoušky [21]	79
Obr. 88: Ohybová zkouška [21]	80
Obr. 89: Vzorek po ohybové zkoušce [21]	81
Obr. 90: Grafy ohybové zkoušky [21]	82
Obr. 91: Měření před vystavením tepla [21]	83
Obr. 92: Měřené body [21]	83
Obr. 93: Měřené rozteče děr [21]	84

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Základní vlastnosti nejdůležitějších termoplastů [7]	19
Tab. 2: Přehled metod svařování plastů dle nosiče tepla [2]	35
Tab. 3: Svařovací čas členěný podle fází [2]	43
Tab. 4: Trhací zkouška celého sváru [21]	77
Tab. 5: Naměřené data při tahové zkoušce [21]	78
Tab. 6: Naměřené hodnoty k ohybové zkoušce [21]	81
Tab. 7: Výsledky tepelné zkoušky [21]	84
Tab. 8: Naměřená data k roztečím [21]	85

SEZNAM PŘÍLOH

Přílohou je CD s diplomovou prací.