

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STROJNÍ



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2018

Vladimír Chmelík



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Chmelík** Jméno: **Vladimír** Osobní číslo: **458482**
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
 Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
 Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
 Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Analýza teplotních polí forem pro vstřikování kompozitů

Název bakalářské práce anglicky:

The composite injection mould thermal fields analysis

Pokyny pro vypracování:

1. Popis technologie vstřikování kompozitů - stroje, materiály
2. Popis vstřikovacího cyklu
3. Popis analyzovaného dílu světlometu
4. Analýza teplotních polí - srovnání termokamera vs. simulace
5. Zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

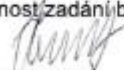
Ing. Aleš Herman, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


Datum zadání bakalářské práce: **23.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2018**


 Ing. Aleš Herman, Ph.D.
 podpis vedoucí(ho) práce



 doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
 podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


 prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
 podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
 Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.


 Datum převzetí zadání


 Podpis studenta

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na vstřikování kompozitních dílů s termoplastickou maticí. V teoretické části jsou popsány různé kompozitní materiály, popis vstřikovacího stroje a popis vstřikovacího cyklu.

Praktická část se zabývá analýzou zadaného vstřikovaného dílu s využitím termokamery, simulace a 3D skenování.

Klíčová slova

Kompozitní materiály, termoplasty, vstřikování plastů, skelná vlákna, teplotní pole, 3D skenování, termokamera

Abstract

Bachelor thesis is focused on injection molding composite parts with a thermoplastic matrix. In the theoretical part there are described various composite materials, a description of the injection molding machine and a description of the injection molding cycle.

The practical part deals with the analysis of the specified injection part with the use of a thermocamera, simulation and 3D scanning.

Key words

Composite materials, thermoplastics, injection molding, glass fibers, temperature array, 3D scanning, thermocamera

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Praze dne 29.7.2018

Vladimír Chmelík

Poděkování

Ráb bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Aleši Hermanovi, Ph.D. za pomoc, rady a vedení v průběhu bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval firmě Plast Form Service i.m. za možnost provést praktickou část práce s jejich podporou a technickým vybavením. Na závěr bych rád poděkoval svým rodičům a své manželce za podporu během studia.

Obsah

OBSAH	7
1 ÚVOD	9
2 POPIS TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ KOMPOZITŮ	10
2.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	10
2.1.1 Termoplasty	10
2.1.2 Reaktoplasty	10
2.1.3 Kaučuky	10
2.1.4 Termoplastické elastomery	11
2.2 VLÁKNA V KOMPOZITECH	11
2.2.1 Skelná vlákna	11
2.2.2 Uhlíková vlákna	12
2.2.3 Aramidová vlákna	13
2.2.4 Whiskery	13
2.2.5 Rostlinná vlákna	13
2.3 POROVNÁNÍ KOMPOZITŮ S ARAMIDOVÝMI, UHLÍKOVÝMI A SKLENĚNÝMI VLÁKNY	13
2.4 VSTŘIKOVACÍ STROJE	15
2.4.1 Základní rozdělení vstřikovacích strojů	15
2.4.2 Pístové vstřikovací stroje	16
2.4.3 Šnekové vstřikovací stroje	16
2.4.4 Popis vstřikovacího stroje	16
2.4.5 Vstřikovací jednotka	16
2.4.6 Uzavírací jednotka	19
2.5 ROZDÍLY KONSTRUKCE STROJE PRO VSTŘIKOVÁNÍ KOMPOZITNÍCH DÍLŮ S TERMOPLASTICKOU MATRICÍ A SKELNÝM VLÁKNEM	20
2.6 VLASTNOSTI VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ	21
3 FÁZE VSTŘIKOVACÍHO CYKLU	23
3.1.1 A+B – Fáze plnění a komprese	24
3.1.2 Způsob přepnutí z fáze plnění a komprese na fázi dotlaku	24
3.1.3 C – Dotlaková fáze	24
3.1.4 D – Fáze chlazení výstřiku v tvarové dutině	25
3.2 ZPRACOVATELSKÉ OKNO	25
4 ANALÝZA VSTŘIKOVANÉHO DÍLU	26
4.1 MATERIÁL DÍLU SVĚTLOMETU AUTA	26
4.2 VÝROBNÍ STROJ A TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY	27
4.3 3D SKENOVÁNÍ	27
4.4 SIMULACE	28
4.5 TERMOKAMERA	28
4.6 PRVNÍ MĚŘENÍ POMOCÍ 3D SKENERU	29

5	ANALÝZA TEPLOTNÍCH POLÍ	30
5.1	POROVNÁNÍ MĚŘENÍ TERMOKAMEROU SE SIMULAČNÍMI VÝPOČTY	36
5.2	ÚPRAVA TECHNOLOGIE	38
6	ZHODNOCENÍ A ZÁVĚR.....	39
7	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	40
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	41
9	SEZNAM TABULEK.....	41
10	SEZNAM GRAFŮ.....	41
11	PŘÍLOHY	42
11.1	TECHNOLOGICKÝ PŘEDPIS	42
11.2	MATERIÁLOVÝ LIST	43
11.3	TECHNICKÝ LIST VSTŘIKOVACÍHO STROJE	46

1 Úvod

Bakalářská práce má za cíl analyzovat vstřikovaný díl z kompozitního materiálu. V teoretické části budou popsány jednotlivé kompozitní materiály, které se pro vstřikování používají. Dále budou popsány jednotlivé části vstřikovacího stroje a jejich vlastnosti na výrobu. Poté bude popsán výrobní cyklus vstřikování pro termoplastické materiály. Budou popsány jednotlivé fáze cyklu, jeho charakteristické parametry a vliv na konečný výsledek vstřikovaného dílu.

V praktické části se bakalářská práce zabývá analýzou konkrétního vstřikovaného dílu. Tento díl se vyrábí ve firmě Plast Form Service s.r.o. v Lysé nad Labem a zákazník požaduje zlepšení jeho rozměrových vlastností. Na základě analýzy budou provedeny úpravy technologických parametrů výroby a pokusím se vybrat nejlepší možnou variantu pro sériovou výrobu.

Cíle bakalářské práce jsou

- Zjistit pomocí 3D skeneru aktuální podobu dílu a nalézt problematická místa
- Změřit termokamerou teplotní pole vstřikovací formy
- Zaznamenat průběh chladnutí dílu
- Na základě získaných poznatků upravit výrobní parametry a vybrat nejvhodnější parametry pro výrobu

2 Popis technologie vstřikování kompozitů

Kompozitní materiály mají velké využití v celé řadě odvětví. Materiál můžeme nazývat kompozitem, jestliže obsahují alespoň dvě heterogenně spojené fáze. Obvykle se jedná o fázi spojitou a nespojitou. Spojitá fáze se nazývá matrice. Nejčastěji se využívají matrice polymerní, kovové a keramické. Nespojitá fáze se označuje jako výztuž. Může být v matrici rozložena pravidelně, například v podobě utkaného plátna, nebo nepravidelně. Jako výztuž lze využít polymery, uhlíková vlákna, skelná vlákna, přírodní vlákna a mnoho dalších. Výsledkem je, že dochází k synergickému spojení vlastností jednotlivých materiálů. Můžeme tak dosáhnout lepších vlastností fyzikálních i chemických, kterých bychom s běžnými materiály nemohli dosáhnout. [1]

V této bakalářské práci se budu zabývat kompozitními materiály s polymerní matricí a výztužemi, které je vhodné do této matrice použít.

2.1 Základní rozdělení polymerů

Polymery jsou makromolekulární látky přírodního nebo syntetického původu. Jejich vlastnosti jsou dány jejich strukturou. Základní rozdělení polymerů tvoří plasty, které se dále dělí na termoplasty a reaktoplasty, a elastomery, dále dělané na kaučuky a termoplastické elastomery. Plasty se vyznačují tím, že při větším zatížení dochází k trvalé deformaci. Elastomery jsou oproti plastům výrazně pružnější. [1]

2.1.1 Termoplasty

Termoplasty jsou materiály, které po zahřátí měknou a dají se jednoduše tvářet. Při chladnutí nedochází k žádným chemickým reakcím. Změny jsou pouze fyzikální. To znamená, že je lze opětovně zahřát a znovu zpracovávat (recyklovat). Mezi hlavní zástupce patří polyethylen (PE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchlorid (PVC), polyamid (PA), polymethyl-methakrylát (PMMA), polyoxymethylen (POM) apod. [1]

2.1.2 Reaktoplasty

Reaktoplasty se dají tvářet a zpracovávat jen krátce po jejich zahřátí. Materiál po zahřátí (nebo při využití iniciátoru) začíná měnit svoje chemické vlastnosti a svou strukturu. Po zatumnutí je nelze znovu roztavit a použít. Reaktoplasty se vyznačují dobrou chemickou a teplotní odolností. Velké procento tvoří polyesterové a epoxidové pryskyřice. [1]

2.1.3 Kaučuky

Kaučuky mohou být přírodní a syntetické. Kaučuk se dále pomocí vulkanizace zpracovává na pryž. Během procesu se do kaučuku přidává síra. Množství přidané síry pak ovlivňuje jeho vlastnosti, především tvrdost. Kaučuky mají vysokou míru elasticity. Dokáží se deformovat již při malých silách. Mezi hlavní zástupce kaučuků patří přírodní kaučuk, butadienový kaučuk, ethylen-propylenový kaučuk a mnoho dalších. [1]

2.1.4 Termoplastické elastomery

Tento materiál se snaží kombinovat technologické vlastnosti elastomerů (pružnost, ohebnost) a zpracovatelské vlastnosti termoplastů (recyklovatelnost). Jejich vlastnosti leží někde mezi pryžemi a termoplasty. V praxi se dají vyrobit ve velké škále tvrdostí. Tento materiál postupně nahrazuje běžné kaučuky. [1]

2.2 Vlákna v kompozitech

Jelikož se má bakalářská práce zabírá dílem, který je vyroben z kompozitu s příměsí vlákna, nebudou zde popisovány všechny varianty uspořádání vlákna (tkaniny, rohože), pouze jednotlivé typy vláken.

Vlákna se jako konstrukční materiál běžně nevyužívají. Svůj význam získávají až jejich kombinací s matricí. Vlákno v kompozitu má zpravidla větší pevnost než matrice. Kompozity díky tomu získávají větší pevnost při zachování vysoké houževnatosti. Dále může zvyšovat teplotní a chemickou odolnost. Vlákna dělíme podle materiálu, geometrie a struktury zaujímající v matrici. Mohou být buď dlouhá nebo krátká. Jako krátká vlákna se označují ty, jejich poměr délky ku průměru je menší než 100. [1]

2.2.1 Skelná vlákna

Textilní skleněná vlákna se vyrábějí v podobě válců o průměrech od 3,5 do 24 mikrometrů. Vlákna se vyrábějí tažením roztavené skloviny při teplotě okolo 1400 °C ve sklářských pecích. Sklovina se skládá z oxidů Si, Mg, Al, Ca, Mg, Pb a B s malou příměsí alkalických kovů. Rztavený materiál se několik dní čirí. Poté se materiál přivede do spřádacích trysek vyrobených z platinové slitiny. Sklovina pomalu vytéká z trysky a rychle tuhne ve tvaru vlákna. Tato vlákna mají průměr okolo 2 mm. Následuje proces dlužení prováděné na rychle rotujícím navíjecím zařízení, kde se vlákna kalibrují na požadovaný průměr. [1] [2]

Skleněná vlákna vyráběná z bezalkalické skloviny se označují jako E-skloviny. Mají výborné elektroizolační vlastnosti. Podíl E-skloviny na trhu je téměř 90 %. [1] [2]

S-sklovina (v Evropě označovaná jako R-sklovina a v Japonsku jako T-sklovina) má o 40 až 70 % vyšší pevnost. Má větší podíl SiO₂, MgO a Al₂O₃. [1] [2]

Dalšími skupinami jsou C-skloviny s vysokou chemickou odolností, ECR-sklovina s vysokou pevností a chemickou odolností a bezalkalická AR-sklovina využívaná pro vyztužení betonu. [1] [2]

Pro kompozity s krátkými vlákny se nejčastěji využívá sklovina typu E. Může tvořit až 70 % objemu materiálu. Nejčastěji se používají v objemu 30 %. Vyztužující vlákna přenáší většinu napětí v kompozitu díky jejich adhezi. Pro zvýšení adheze se povrch vlákna upravuje organosilanovými vazebnými činidly typu R-Si-X₃, která vytvářejí pevné vazby mezi oxidy na povrchu vláken a molekulami polymeru matrice. Tato úprava vytváří v materiálu adhezní mezifázi. [1]

U kompozitů s krátkými vlákny má na přenos zatížení vliv délka vlákna (většinou 3-12 mm) a počet jejich zakončení. Při zatěžování krátkovláknových kompozitů nepůsobí zatížení přímo na vlákna, ale přenáší se do vláken smykovým napětím, působícím na povrchu vlákna. Konce vláken napětí nepřenášejí. Při recyklaci materiálu dochází ke zkracování vláken a k zhoršení mechanických vlastností. Vlákna, jejichž poměr délky ku průměru je menší než 10 napětí nepřenáší díky vlivu obou konců vlákna. [3]

Velkou nevýhodou kompozitů s krátkými vlákny je anizotropie jejich mechanických vlastností, která se projevuje především u vstřikovaných dílů. [3]

Kompozity s dlouhými skelnými vlákny označovaný jako LGF- Long Glass Fiber mají vlákna dlouhá od 7 do 50 mm. Musíme počítat s tím, že délka vlákna se během procesu vstřikování zkracuje a dochází tak ke snížení pevnosti materiálu. [3]

Stejně jako u krátkých vláken mají díly s dlouhými skelnými vlákny velkou míru anizotropie, kterou můžeme pozorovat v řezu stěny dílu. Zatímco u stěny formy jsou vlákna ve směru toku, uprostřed jsou kolmo. To je způsobeno rozdílnou rychlostí toku a velikostí vazkých sil v materiálu. Dlouhá vlákna mají lepší rozměrovou stabilitu díky menšímu creepu. [1]

Skelné vlákno v kompozitech zvyšuje modul pružnosti, zlepšuje teplotní odolnost a teplotní vodivost materiálu. Při působení napětí nebo tepla dochází pouze k malým rozměrovým změnám. [1]

2.2.2 Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna jsou technická vlákna s velkou pevností a tuhostí při malé měrné hmotnosti (od $1,8 \text{ g/cm}^3$ do $2,0 \text{ g/cm}^3$). Jako výchozí suroviny se používá tři materiálů: celulóza, polyakrylonitril (PAN), smola. [4] [5] [6]

Vlákna jsou složena z uhlíku (více jak 90 %), dusíku, kyslíku a vodíku. Průměr se pohybuje mezi 5 a 10 μm . Vyrábějí se v širokém pásmu pevnosti. Závisí na stupni orientace uhlíkových vrstev a na množství výskytu vadných míst, vznikajících během výroby. Modul pružnosti E je závislý na směru namáhání. Zatímco v podélném směru dosahuje hodnot až $1\,000\,000 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$, v příčném směru dosahuje hodnot kolem $4\,000 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. [1]

V průmyslu se používají hlavně dva výrobní postupy. První využívá polyakrylonitril jako prekurzor (výchozí látka, částice, z níž vzniká chemickou přeměnou výsledný produkt). Druhá metoda vychází ze surovin bohatých na uhlík, jako jsou smoly na bázi kamenouhelného dehtu nebo dehtů vznikajících při destilaci ropy. [5]

Sama o sobě jsou uhlíková vlákna poměrně křehká, proto se při zpracování povrchově upravují apretací na bázi epoxidové pryskyřice. Dalšími dobrými vlastnostmi je korozivzdornost, dobrý průchod pro záření a vysokou odolnost proti dynamickému namáhání. Vlákna jsou sice hořlavá, ale rychlost hoření je díky velkému procentu uhlíku velmi malá. Uhlíková vlákna mají využití nejen v průmyslu, ale i v medicíně díky dobré snášenlivosti s tělesnou tkání. [1]

2.2.3 Aramidová vlákna

Aramidová vlákna (známé pod obchodním názvem Kevlar) jsou vlákna na bázi lineárních organických polymerů. Jelikož teplota roztavení leží nad teplotou tepelného rozkladu, není možné vyrábět vlákna klasickým spřádáním z taveniny. Vyrábí se spřádáním z vysokoviskozního 20 % roztoku v koncentrované kyselině sírové. Díky své struktuře mají aramidová vlákna vysokou tuhost a pevnost. Nejlepší pevnosti dosahují vlákna na bázi aromatických polyamidů, kde vlákna dosahují pevnosti v tahu kolem $3 \cdot 600 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Aramidová vlákna se dají kombinovat ve formě kompozitu se všemi běžnými reaktivními pryskyřicemi a termoplasty. [1]

Vlákna mají malou měrnou hmotnost ($1,45 \text{ g/cm}^3$). Jsou vysoce anizotropní. Jejich vlastnosti velmi závisí na směru vláken. Teplotní součinitel roztažnosti je záporný. Vlákna se dají spřádat do hustých tkanin a jsou hydrofilní. [1]

2.2.4 Whiskery

Whiskery jsou vlákna s největším poměrem délky a tloušťky (až 200). Jejich průměr se pohybuje od 0,1 do 30 μm a délka od 0,25 do 25 mm. Oproti ostatním vláknům nemají kruhový průřez. Jejich tvar závisí na jejich krystalické struktuře. [7]

Nejčastěji se tyto vlákna vyrábějí na bázi SiC. Jejich největší využití je v keramických kompozitech a kompozitech s Al matricí. Svoje využití mají i v kompozitech s matricí polymerní. [8]

Jejich největší předností je vysoký modul pružnosti a pevnosti v tahu. Díky těmto vlastnostem se během procesu výroby lámou méně než ostatní vlákna a mají velkou výztužní vlastnost. Vlákna jsou elektricky vodivá. [8]

2.2.5 Rostlinná vlákna

Z rostlinných vláken se do kompozitů s polymerní matricí používají především len, konopí, sisal, juta, ramie a bavlna. Díky celulózové bázi mají vlákna nízkou hustotu. Mají vysokou odolnost proti stárnutí, dobrou pevnost v tahu a jsou ekologicky odbouratelná. Oproti jiným vláknům umožňují zkrácení výroby konečného dílu, jelikož působí jako izolanty a neabsorbují proto tolik tepla. [3]

Hlavními nevýhodami rostlinných vláken jsou hořlavost, lámavost a navlhavost. Celulózový řetězec obsahuje hydroxylové skupiny, které přitahují molekuly vody. Následně pak vlákno vlhne a nabobtnává. Další velkou nevýhodou je velká rozdílnost vláken v závislosti na místě pěstování rostlin, stáří rostliny a různých výrobních procesů. [3]

2.3 Porovnání kompozitů s aramidovými, uhlíkovými a skleněnými vlákny

Tato vlákna se v praxi používají nejčastěji. Při výběru vhodného typu vlákna je nejdůležitější si zvážit, co od výsledného produktu očekáváme a jaké na něj budou kladeny nároky.

Mezi základní vlastnosti vláken patří pevnost a chování vlákna při namáhání v tahu. Tato hodnota se zjišťuje pomocí tahových zkoušek prováděných ve směru orientace vláken. Nejlepších výsledků dosahují uhlíková vlákna. [1]

Jak už bylo zmíněno, vlákna nemají ve všech směrech stejné vlastnosti (anizotropie). V praxi se porovnávají vlastnosti podél a kolmo na vlákno. Pevnost vláken se ve směru vlákna měří obtížně a kolmo na vlákno je prakticky neměřitelná. Proto se anizotropie vyjadřuje pomocí poměru modulu pružnosti ve směru ku modulu pružnosti kolmo na vlákno. Čím větší poměr je, tím je větší hodnota anizotropie. Nejmenších hodnot dosahují skleněná vlákna. [1]

Vlákno	$E_{ }$ (kN . mm ⁻²)	E_{\perp} (kN . mm ⁻²)	$G_{ \perp}$ (kN . mm ⁻²)	$\nu_{ \perp}$	$E_{ } : E_{\perp}$
E-sklo	73	73	30	0,25	1
Aramidové	133	5,4	12	0,38	24,6
Uhlíkové (standartní typ)	240	15	10	0,28	16
Uhlíkové (vysokomodulové)	500	5,7	8	0,36	88

Tabulka 2.1 Porovnání pevnostních modulů a anizotropie u vybraných vláken [1]

Tepelné vlastnosti se odvíjí především od materiálu matrice. Při zvyšující se teplotě mají vlákna tendenci ztrácet své mechanické vlastnosti. Tento jev je nejvíce viditelný u aramidových vláken. Uhlíková vlákna jsou stabilní až do 300 °C. [1]

Nejlepší tlumení dynamických rázů mají aramidová vlákna. Udává se, že tlumení rázů u aramidových vláken je 6x vyšší než u skelných a 9x vyšší než u uhlíkových vláken. Ovšem nejlepší dynamické vlastnosti má uhlík. Tato hodnota se zjišťuje porovnáním mechanických vlastností po 10⁸ a po 10⁴ zatěžovacích cyklech. [1]

Ceny materiálů se pohybují od 2 do 300 €/kg. Nejlevnější jsou skleněná vlákna, kde je snadno dostupný a jejich výroba je poměrně jednoduchá a rychlá. Aramidová vlákna bývají dražší. Výrobní materiál je sice levný, ale postup výroby je náročný a dlouhý. Nejdražší jsou obecně vlákna uhlíková. Je zapotřebí drahého a kvalitního materiálu. Následná výroba je náročná a dlouhá. [1]

Veškeré vlastnosti se dále odvíjejí od poměru množství matrice a kompozitu. Mohou se měřit jako poměr hmotností, nebo poměr objemu matrice k vláknům a udávají se v procentech.

Obecné porovnání všech v praxi důležitých vlastností je uvedeno v tabulce 2.2

Vlastnosti	Kompozity		
	Vyztužené sklem	Aramidové	Uhlíkové
Hustota	+ -	++	+
Mez pevnosti v tahu	+	+	+
E-modul	-	+	++
Mez pevnosti v tlaku	+	-	+
Rázová houževnatost	+	+	-
Tlumení	-	+	-
Chování při statickém a dynamickém namáhání	+	+	++
Dieletrické vlastnosti	++	++	-
Adheze, Přilnavost	++	-	+
Nasákavost	+	-	+
Cena	+	+ -	-

Tabulka 2.2 Celkové srovnání vlastností jednotlivých vláken [1]

2.4 Vstřikovací stroje

Vstřikovací stroje (viz. obr. 2.1), jsou výrobní stroje sloužící pro výrobu polymerních dílů. První vstřikovací stroj postavili bratři Hyattové roku 1870 v USA. Jako první vstřikované díly byly vyráběny držáky štětek na holení pro potřeby armády USA. K nám se první vstřikovací stroje dostali za dob první republiky. V roce 1923 zahájila jejich výrobu firma Vltavský v Rakovníku. Vstřikovací stroje nejvíce využívala firma Baťa Zlín a Matador Bratislava. Od té doby se začaly vstřikovací stroje používat po celém světě a ve všech různých odvětvích. [9]



Obrázek 2.1 Vstřikovací stroj Engel [16]

2.4.1 Základní rozdělení vstřikovacích strojů

Vstřikovací stroje můžeme rozdělit podle několika kritérií:

- Podle typu pohonu – Stroje hydraulické, elektrické a kombinované
- Podle pracovního členu v tavicí komoře vstřikovací jednotky – Stroje pístové a šnekové

- Podle směru posuvu pohyblivé části formy – Stroje vertikální a horizontální
- Podle typu vstřikovaného materiálu – Termoplasty, reaktoplasty, kaučuky a kompozity
- Podle uzavírací síly – přibližně od 50 do 6000 tun
- A další [10]

2.4.2 Pístové vstřikovací stroje

Jedná se o nejstarší typ vstřikovacích strojů. Ve vstřikovací jednotce se nachází píst, který koná pohyb dopředu a dozadu. V zadní pozici se před píst nasype z násypky plast v podobě granulátu. Při pohybu pístu vpřed se pomocí topných těles plast roztaví a změní se ve viskózní kapalinu, která je tlakem pístu vstřikována do formy. Pro alespoň částečné promíchání taveniny je před tryskou umístěno takzvané torpédo. Tento typ strojů se v dnešní době již moc nepoužívá (pouze ve speciálních aplikacích). Důvodem je špatné promíchání roztaveného materiálu. Tento nedostatek je odstraněn pomocí plastikačního šneku. [10]

2.4.3 Šnekové vstřikovací stroje

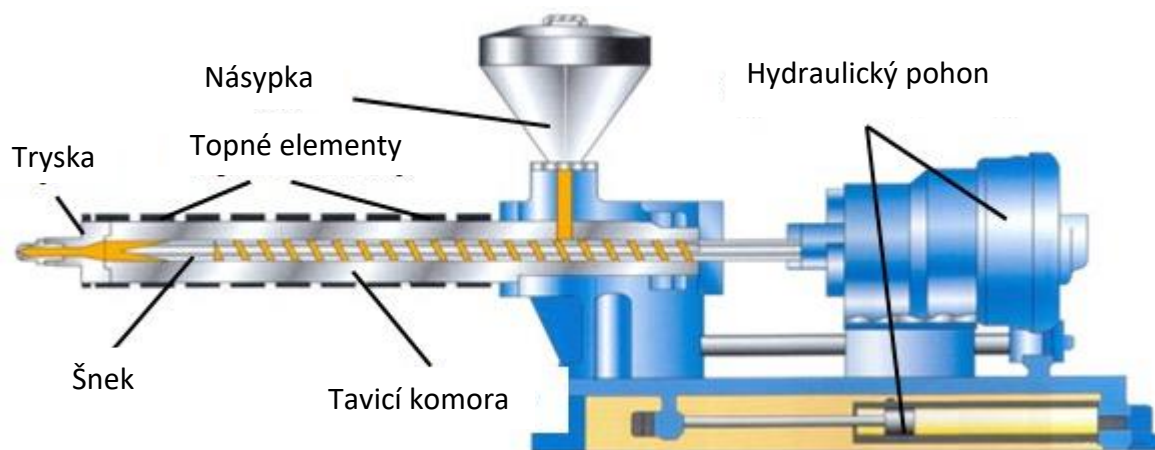
Jedná se o nejrozšířenější typ vstřikovacího stroje. Krom pohybu dopředu a dozadu koná šnek ještě pohyb rotační. Díky tomu je roztavený materiál lépe promíchán. Mezi další výhody šnekového vstřikovacího stroje patří: zabránění lokálnímu přehřátí taveniny, vysoký plastikační výkon, velký zdvihový objem, dobré čištění tavicí komory při výměně materiálu, přesné dávkování hmoty a lepší řízení tlaku a dotlaku. Nejčastěji se používá v podobě horizontálního vstřikovacího stroje. [10] [11]

2.4.4 Popis vstřikovacího stroje

Tento popis se zaměřuje na popis šnekového horizontálního stroje. Každý stroj můžeme rozdělit na tři základní části, které se pak dále dělí. Vstřikovací jednotka má za úkol připravit materiál ke vstříknutí. To znamená nadávkovat, roztavit, promíchat a pod tlakem vstříknout do dutiny formy. Uzavírací jednotka má za úkol uzavřít formu pod dostatečným tlakem tak, aby se forma během procesu neotevřela a nedošlo k úniku materiálu mimo dutinu formy. Řídící jednotka řídí veškeré pohyby a procesy stroje a sbírá veškeré informace o probíhajícím výrobním procesu. Moderní řídicí jednotky dokáží na základě získaných informací upravovat jednotlivé technologické parametry pro udržení stability procesu. [10]

2.4.5 Vstřikovací jednotka

Vstřikovací jednotka je složena z několika částí (viz. obr. 2.2). Základní charakteristická vlastnost vstřikovací jednotky je vstřikovací kapacita. Jedná se o maximální objem taveniny, které je možné vstříknout z tavicí komory do volného prostoru během jednoho zdvihu formy. Nejčastěji je udáván v cm^3 . Druhým udávaným parametrem je plastikační kapacita, která udává maximální množství granulátu, které je možné roztavit do stavu vhodného ke vstříknutí do formy. Nejčastěji je plastikační kapacita udávána v kilogramech za hodinu ($\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1}$). Dalším důležitým parametrem je vstřikovací tlak. [10] [12]



Obrázek 2.2 Vstřikovací jednotka [17]

2.4.5.1 Šneky vstřikovacích strojů

Šnek má v procesu vstřikování mnoho funkcí. Má za úkol dopravit granulát do tavicí komory a následně materiál rozmíchat a pod tlakem vstříknout do trysky. Šnek má tvar šroubovice. Hloubka a stoupání není všude stejná. Obecně se šnek dělí na tři jednotlivé části. Dopravní část, která je umístěna pod násypkou, má největší hloubku drážky. Hlavním účelem je odebrat materiál z násypky a dopravit ho do tavicí komory. Druhá část se nazývá kompresní. Zde se hloubka drážky postupně zmenšuje. Postupně tak dochází ke stlačení materiálu a vytlačování vzduchu. Poslední část šneku se nazývá homogenizační. Zde je materiál intenzivně promíchán, aby bylo dosaženo rovnoměrného rozložení teploty roztaveného materiálu. Délka jednotlivých částí a jejich geometrie se odvíjí od typu vstřikovaného materiálu. Přibližně se pohybují v poměru 3:1:1. [10]

Mezi nejdůležitější parametry šneku patří poměr délky ku průměru šneku. Tento poměr je závislý na typu materiálu. U termoplastů se pohybuje okolo 19 až 22 L/d. Delších šneků (22-26:1) se využívají v případě, že je potřeba většího promíchání materiálu a větší vstřikovací kapacity. Během procesu ovšem dochází vlivem dlouhého působení tepla k degradaci materiálu. Kratších šneků (přibližně 14:1) se využívá ke vstřikování termoplastů a reaktoplastů. Materiál se nezahřívá tak dlouho, a proto nedojde k úplnému zesítnění nebo degradaci materiálu. [10]

Dalším parametrem je kompresní poměr šneku. Jedná se o poměr hloubky závitů šneku dopravní a kompresní části. Kompresní poměr se pohybuje kolem 2 až 3:1 [10]

Největší tlak působí před špičkou šneku. Šnek je zakončen špičkou a zpětným uzávěrem šneku, který zabraňuje při vstřikování toku polymerní taveniny zpět do šroubovice šneku. [10]

2.4.5.2 Tryska

Tryska spojuje vstřikovací jednotku s formou. Po najetí na vstřikovací vložky formy je vyvozena přítlačná síla, aby při vstřikování neunikal materiál. Pro lepší těsnost se trysky vyrábí s dotykovým

rádiusem na čele. Nejčastěji se používají rádiusy zaoblení čela 10,15,20 a 35 mm. Někteří výrobci používají trysky s rovným čelem. Délka trysky by měla být co nejmenší. Zajišťuje pouze odolnost proti přítlačné síle. [10] [3]

Tryska je samostatná součást, která je upevněna pomocí závitů. Obvykle má vlastní topení a čidlo sledující teplotu taveniny. Uvnitř trysky se dále může nacházet filtr. Ten zachytí nečistoty dřív, než se dostanou do formy a poškodí ji. Při zanášení filtru dochází v trysce k tlakové ztrátě. Proto se pomocí čidla snímá i tlak, aby bylo možné zjistit stav zanesení filtru. [10]

Trysky se dále dělí na otevřené a uzavíratelné. Otevřené trysky jsou jednodušší a menší. Nevýhodou je, že z trysky může kontinuálně vytékat materiál, i když není zrovna fáze vstřikování. Tomu lze zamezit pomocí uzavíratelné trysky. Ty se pomocí pružinového nebo hydraulického mechanismu uzavrou, jakmile přestane působit přítlačná síla. [10]

2.4.5.3 Tavicí komora

Tavicí komora je válec, ve kterém se nachází šnek a je zakončený tryskou. Kolem tavicí komory se nacházejí topné pásy překryté izolací. Jelikož mezera mezi šnekem a tavicí komorou se pohybuje okolo 0,1 až 0,2 mm, je kladen velký důraz na kvalitu vnitřní stěny tavicí komory. Jeho povrch musí být velmi hladký, aby nikde nedocházelo k ulpívání materiálu a jeho teplotní degradaci. [10]

Topné pásy obsahují odporové elementy, které procházející elektrickou energii mění na teplo. Každý topný pás je samostatně měřen a regulován. To rozděluje tavicí komoru na jednotlivé tepelné zóny a může vytvářet různé teplotní profily. U reaktoplastů a elastomerů se nepoužívá sálavé teplo, ale teplota je regulována kapalným teplotním médiem. [10]

2.4.5.4 Násypka

Násypka slouží jako zásobárna materiálu. Je umístěna na vstupu šneku a díky své konstrukci umožňuje samovolný přesun materiálu do šneku. Ve své nejjednodušší podobě se jedná o trychtýř. Ten musí být dostatečně tepelně odizolován od tavicí komory, aby nedošlo k natavení a přilepení materiálu v násypce. Lepší násypky mohou mít různá vylepšení. Může obsahovat síto, aby se nečistoty nedostávaly do tavicí komory a nepoškozovaly ji. Dále zde může být zaveden horký vzduch pro lepší vysušení materiálu. U materiálů, do kterých se přidávají různé příměsi, nebo recyklovaný materiál, se pro lepší promísení může násypka osadit rotačními nebo šnekovými konvojery nebo střešovacími systémy. [10]

Při výrobě z reaktoplastů, které se obvykle dodávají v podobě pasty, se využívá místo násypky hydraulického pístu. Píst tlačí materiál konstantní silou a pěchuje ho směrem do šneku. [3]

2.4.5.5 Posuvné konzoly

Celá vstřikovací jednotka je umístěna na posuvné konzole, která se posouvá po vodících tyčích, nebo kolejnicích. Pohyb zajišťuje buď hydraulický, nebo elektrický pohon. U posuvné konzole je kladen důraz na plynulost a přesné centrování trysky vůči formě. Rychlost pohybu závisí na hmotnosti

vstřikovací jednotky a pohybuje se od 20 do 400 mm/s. Posuvná konzole slouží k přísunu a odsunu vstřikovací jednotky k formě a od formy a k vyvolání přitlačné síly mezi tryskou a formou. Tato síla se pohybuje mezi 50 až 350 kN. Čím je stroj větší, tím je přitlačná síla větší. [10]

2.4.6 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka slouží k pohybu a upnutí formy a vyvození tlakové síly, aby se forma během vstřikování neotevřela. Uzavírací jednotka se skládá z několika základních částí. Uzavírací systém, upínací desky (pohyblivá a pevná část) a vyhazovací systém. [10]

2.4.6.1 Uzavírací systém

Uzavírací systém vyvozuje uzavírací sílu označovanou F_u . Tato síla je vyvozena mechanicky, hydraulicky nebo kombinací obou systémů. Mezi nejefektivnější patří hydraulicko-mechanické systémy, nazývané též kloubové mechanismy. Kloubový mechanismus se ovládá elektrickým, nebo hydraulickým pohonem a pohybuje s pohyblivou částí formy po vodících tyčích. Nejjednodušší hydraulicky poháněné mechanismy se používají u malých strojů s uzavírací silou do 50 tun. Tyto systémy mají relativně malou konstrukci. Pro stroje s vyšší uzavírací silou (100 - 5 000 tun) se využívají více-bodové kloubové mechanismy s vyšší tuhostí. [10]

U hydraulického uzavíracího systému je nejdůležitější hydraulický válec nejčastěji umístěný v ose systému. Tyto systémy jsou pomalejší než kloubové, ale mohou dosahovat výrazně větší uzavírací síly. U větších strojů můžeme použít místo jednoho centrálního válce několik menších symetricky rozestavených válců. Výhodou hydraulických systémů oproti hydraulicko-mechanickým je lepší regulovatelnost tlaku a pohybů. Nevýhodou je potřeba velkého množství hydraulické kapaliny. [10]

2.4.6.2 Upínací desky

Upínací desky mají za úkol držet formu na výrobním stroji. Desky jsou rozděleny na pevnou a pohyblivou část. Pevná část je součástí rámu stroje a zezadu k ní přiléhá tryska. Pohyblivá část vykonává posuvný pohyb pomocí uzavíracího systému. Je zde kladen důraz na tuhost konstrukce a co nejjednodušší a nejrychlejší výměnu formy. Možností upnutí formy je celá řada. U malých a středních vstřikovacích strojů se používají upínky. Kovová součástka, která pomocí šroubů přitlačí formu k upínací desce, ve které se nachází díry se závity. Rychlejší způsobem mechanického upínání je pomocí bajonetového mechanismu. Jde o desku s dírou uprostřed. Na formě se nachází vystouplý element, který zapadne do díry. Pomocí mechanické páky, která ovládá upínací element, se forma zajistí. Pro vyvození větší upínací síly se používají hydraulické písty. Ty jsou obvykle přichyceny k upínací desce pomocí šroubů. Písty jsou z bezpečnostních důvodů konstruovány tak, aby při výpadku proudu a ztrátě tlaku v pístech nedošlo k uvolnění formy. Nejmodernější způsob upínání je pomocí magnetických desek. Forma se umístí na své místo a magnetická deska se zmagnetizuje. Deska se chová jako permanentní magnet, a tudíž nedojde při výpadku proudu ke ztrátě přitlačné síly. U magnetických desek je kladen velký důraz na drsnost kovového povrchu formy, který přiléhá k magnetické desce. Čím je větší drsnost, tím menší je přídržná síla. [10]

2.4.6.3 Vyhazovací systém

Po vstříknutí a otevření formy je většinou potřeba dostat díl z formy. To je realizováno pomocí vyhazovačů. Jedná se o výsuvnou část formy, která vystupuje z tvarové dutiny formy. Její ovládání zajišťuje vyhazovací systém. Nejjednodušším způsobem je ovládání pohybu pomocí dorazu. Při otevření formy dojde ke kontaktu s dorazem a vyhazovacím systémem. Návrat do původní pozice nastává při uzavírání formy pomocí vraccích kolíků a pružin. Zde je rychlost řízena pouze pomocí rychlosti otevírání formy. Dnes se ovšem častěji využívá hydraulického systému, který je řízen nezávisle na pohybu a poloze formy. Zároveň je možné pohyb vyhazovačů opakovat víckrát během jednoho cyklu. [10]

Odebírat výstřiky může obsluha stroje, robot nebo manipulátor s příslušným uchopovače, případně výstřiky padají pod formu do připraveného obalu nebo na dopravní pás. [10]

Při výrobě z houževnatých materiálů (pryž, silikon...), nebo u pohledových dílů, nevyužíváme k vyjmutí dílu vyhazovače. Materiál se buď příliš přichytí k povrchu formy, nebo nám záleží na vzhledu plochy dílu. V těchto případech se využívá buď odformování pomocí stlačeného vzduchu, nebo pomocí manipulátorů. Tyto systémy se dají kombinovat s klasickými vyhazovači pro zvýšení kvality výrobků a zrychlení výroby. [10]

2.4.6.4 Kontrolní a řídicí jednotka

Kontrolní a řídicí jednotka zajišťuje chod všech systémů, ovládá pohyby a sbírá data o probíhající výrobě. Komunikace s obsluhou probíhá přes LCD monitory. Obsluha může pomocí vizualizace sledovat průběh výroby a upravovat jednotlivé hodnoty. Moderní stroje dokáží své hodnoty opravit automaticky podle aktuální situace. Jednotka dále ukládá data, která lze stáhnout (př.: počet zdvihů formy), nebo informuje o poruše stroje. [10]

Samotné programování výrobního procesu většinou probíhá na počítači. U stroje pak již dochází pouze k ladění výrobních parametrů. Program se nahrává buď přes přenosné zařízení, nebo je stroj připojen k síti a program stahuje ze serveru. [10]

Každý stroj obsahuje tři základní režimy. Manuální režim se využívá při výměně forem nebo údržbě stroje. Veškeré pohyby se ovládají pomocí ovládacího panelu. Poloautomatický režim vykoná jeden cyklus a čeká na další spuštění. Tento režim se používá u dílů, které je potřeba vyjmout ručně, nebo je potřeba do formy něco vložit. Plně automatický režim se používá nejvíce. Proces je kontinuální a nejrychlejší. Díly buď samy vypadnou, nebo jsou odebrány manipulátorem. [10]

2.5 Rozdíly konstrukce stroje pro vstřikování kompozitních dílů s termoplastickou maticí a skelným vláknem

Hlavní rozdíly se nacházejí ve vstřikovací jednotce. V praxi je možné vyrábět tyto díly na klasických vstřikovacích jednotkách. Je ovšem nutno počítat s větší degradací materiálu – zkrácení vláken, hlavně u dlouhých vláken. Upravení vstřikovací jednotky využívají především specializovaní výrobci kompozitních dílů. [3]

Pro vstřikování kompozitních dílu s termoplastickou matricí a skelným vláknem se používají standartní tří-zónové šneky v poměru 3:1:1. Poměr délky ku průměru se pohybuje kolem 18-22:1. Je ovšem zapotřebí mít větší mezeru mezi stěnou tavicí komory a šnekem (alespoň 3 mm). Kompresní poměr by se měl pohybovat okolo 2 až 2,5:1. Zpětný uzávěr šneku by měl mít dostatečný průřez, aby nedocházelo k přílišnému smykovému namáhání. Je potřeba počítat s tím, že vlivem skelného vlákna dochází k rychlejšímu opotřebení šneku a tavicí komory (hlavně u krátkých vláken). [3]

Násypka by měla mít optimálně úhel 60°. vhodnější je použití kruhové násypky než hranaté. Uvnitř by se nemělo nacházet žádné síto, ani míchací zařízení. [3]

U ohřívání materiálu v tavicí komoře je důležité, aby byl materiál dostatečně plastický, než se dostane do kompresní části šneku, aby docházelo k co nejmenší degradaci materiálu. Množství dodaného tepla třením by mělo být co nejmenší, proto se doporučují nižší otáčky šneku než u standartních materiálů. [3]

U trysek je doporučeno používat především otevřené trysky. Ty mají hladší povrch a méně zakřivení (dochází k menšímu povrchovému tření). Je zapotřebí, aby tryska měla pro lepší regulaci samostatné vytápění, aby nedocházelo k zamrznutí trysky a zvýšení povrchového tření. Výstupní průměr trysky by měl být cca 1,4násobek tloušťky stěny výstřiku. [3]

U volby velikosti stroje platí zásady jako u jiných materiálů. Musíme si dát ovšem pozor na rychlejší opotřebení vnitřních částí. Dále se doporučuje volit větší tlak než u standardních materiálů, jelikož kompozity s příměsí skla mají větší vnitřní tření. Uzavírací síla se stanoví jako 7,5 x celková plocha dutiny formy na dělicí rovině (nejen dílu, ale i všech vtokových částí). [3]

2.6 Vlastnosti vstřikovaných dílů

Všechny vstřikované díly mají své základní společné vlastnosti. Nejdůležitější vlastností, se kterou je potřeba během výroby počítat, je smrštění. [13]

Smrštění je jev, který vzniká u všech vstřikovaných dílu. Smrštění nastává během chladnutí dílu a je potřeba ho co nejvíce minimalizovat. Zde je potřeba si uvědomit rozdíl mezi smrštěním a deformací. Smrštění je objemová změna při tuhnutí taveniny. Její příčinou je stlačitelnost, tepelná rozpínavost a kontrakce plastů. U krystalických plastů smrštění ještě ovlivňují krystalizační změny. Deformace je pouze změna tvaru při zachování objemu výstřiku a zejména ji vyvolává smrštění. [13]

U dílu dochází ke smrštění především v místech, kde je rozdílný teplotní gradient. Čím rovnoměrnější chladnutí dílu je, tím menší je vliv smrštění na rozměry dílu. [13]

Smrštění můžeme ovlivnit několika faktory. Nejvíce je potřeba dávat pozor u navrhování dílu. Stěny výstřiku by měly být všude stejné a pokud možno mít co nejméně rohů. V místech, kde je nebezpečí hromadění tepla (jako jsou například rohy a oblast vtoku) je zapotřebí upravit formu tak, aby bylo docíleno rychlejšího odvodu tepla. Toho lze dosáhnout buď pomocí materiálu formy s

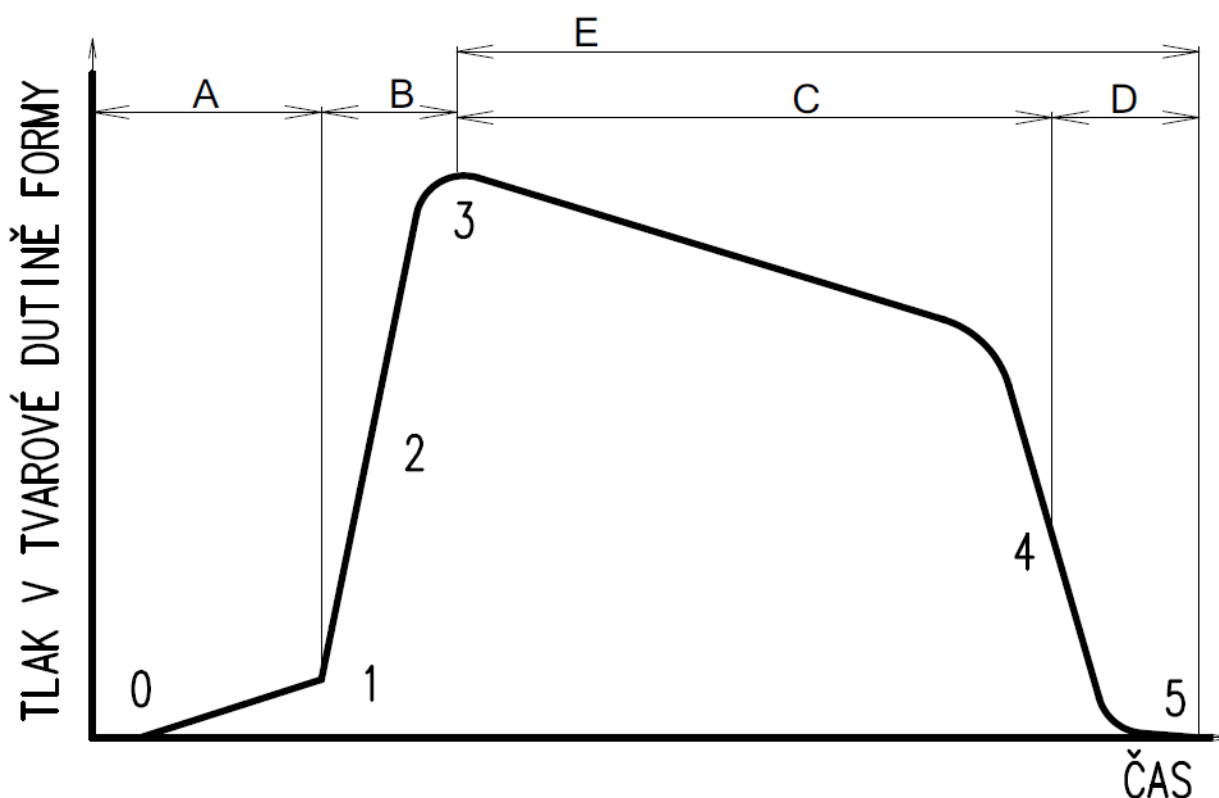
rychlým odvodem tepla, anebo vytvořením chladícího okruhu v místě hromadění tepla. V konečné fázi ovlivní smrštění i jednotlivé technologické parametry. [3]

Následkem smrštění a dalších vlastností můžou na díle vzniknout vady. Ty byly definovány normou ČSN 640052:1976 Plasty. Viditelné vady ve výrobcích z tvářených plastů a jejich klasifikace. Ta však byla zrušena bez náhrady. [3]

3 Fáze vstřikovacího cyklu

Vstřikovací cyklus lze rozdělit do několika fází. V průběhu cyklu pozorujeme a nastavujeme tři základní parametry. Tlak, teplotu a čas. Změnou parametru v různém okamžiku můžeme ovlivnit různé vlastnosti dílu nebo opravit různé vady. [3]

Průběh tlaků v jednotlivých fázích vstřikovacího cyklu je znázorněn v grafu 3.1



Graf 3.1 Tlak v tvarové dutině formy [3]

- 0-1: plnění vtokového rozvodu polymerní taveninou
- 1-2: plnění tvarové dutiny polymerní taveninou
- Bod 2 = přepnutí z regulace plnicí fáze na regulaci dotlakové fáze
- 2-3: komprese, stlačování polymerní taveniny v dutině formy a plynulý přechod do dotlakové fáze
- 3-4: průběh dotlaku
- Bod 4 = zamrznutí vtokového ústí
- 4-5: chlazení výstřiku v tvarové dutině formy
- Bod 5 = vyhození výstřiku z tvarové formy

3.1.1 A+B – Fáze plnění a komprese

Během této fáze dochází k orientaci makromolekul, tvorbě vzhledových vlastností a jakosti povrchu. Zde je důležitá rychlost plnění tvarové dutiny taveninou. Ta se určuje podle reologických vlastností taveniny. Rychlost taveniny má vliv především na jakost povrchu a povrchové vady. Je potřeba optimalizovat vstřikovací rychlost a teplotu taveniny tak, aby bylo dosaženo co nejmenšího povrchového tření. Obecně platí, že rychlost plnění dutiny formy by měla být v každém místě konstantní. Při příliš vysoké rychlosti taveniny může dojít k tvorbě přetoků, nebo poškození formy. [3]

Teplota taveniny má vliv především na reologické vlastnosti. Dále ovlivňuje orientaci makromolekul, a to hlavně v povrchové vrstvě. To dále ovlivňuje anizotropii vlastností dílu po jeho průřezu. [3]

Vstřikovací tlak v kombinaci s rychlostí taveniny má vliv na dolití dílu. Pokud jsou tyto parametry špatně nastavené, může dojít k nedolití výstřiku, nebo naopak k tvorbě přetoků. Tvarová dutina by měla být zcela naplněná materiálem dřív, než nastane dotlaková fáze. [3]

3.1.2 Způsob přepnutí z fáze plnění a komprese na fázi dotlaku

Přepnutím mezi fázemi je myšleno přepnutí regulace rychlosti na regulaci tlaku. Přepnutí má vliv na jakost povrchu a mělo by být co nejplynulejší. Změnu regulace lze provést třemi způsoby. První způsob přepnutí je řízen pomocí času. Když uběhne nastavený čas, regulace se přepne. Tato metoda je nejjednodušší z hlediska nároků na vybavení stroje. Ovšem bývá i nejhorsí. Přepnutí pomocí měření pohybu šneku. Ke změně dojde ve chvíli, kdy urazí nastavenou vzdálenost a vstříkne dané množství materiálu. Nejpřesnější metodou je přepnutí po dosažení nastaveného tlaku. Tlak lze měřit v několika místech. Druhé dvě metody jsou většinou doplněny časovou podmínkou, kdyby došlo k poruše stroje. [3]

Správné přepnutí se pozná tak, že tlaková křivka bude hladká a bez špiček, nebo propadů. [3]

3.1.3 C – Dotlaková fáze

Dotlaková fáze má největší vliv na rozměrové a hmotnostní vlastnosti výstřiku. Profil dotlakové fáze má vliv na velikost vnitřního pnutí. Během dotlaku díl chladne a smršťuje se. Je tudíž potřeba mu stále dodávat materiál, aby nedocházelo k vzniku propadlin. Správná úroveň dotlakové fáze lze zjistit pomocí vážení výrobku. Začneme na nízké úrovni a díly postupně vážíme. Správná úroveň dotlaku se pozná tak, že výrobek již nezvyšuje svoji hmotnost. [3]

Tlakový profil se nastavuje tak, že na začátku fáze je tlak vysoký a postupně se snižuje. Čím je tento profil jemnější, tím menší vzniká vnitřní pnutí. [3]

Pro dotlakovou fázi je velmi důležité správné umístění a vyrobení vtoku. Pokud vtoková soustava zamrzne, nebude možné dodávat další materiál. Pro menší zamrznání se využívá takzvaného horkého vtoku, kdy se vtoková soustava ohřívá, aby došlo k jeho zamrznutí později. [3]

Dalším důležitým parametrem, který se nastavuje, je teplota formy. Ta se reguluje pomocí temperačních zařízení. Pokud je teplota formy příliš nízká může dojít k zamrznutí dřív, než je dodáno potřebné množství materiálu. Při příliš vysoké teplotě je potřeba déle chladit a proces se prodlužuje. [3]

Optimalizace doby dotlakové fáze má největší vliv na velikost výrobního smrštění, a tím na rozměrovou a tvarovou přesnost. [3]

3.1.4 D – Fáze chlazení výstřiku v tvarové dutině

Zde je potřeba rozlišit dva pojmy. Chlazení a ochlazování. Ochlazování (vyznačená kótou E) nastává od dokončení plnění tvarové dutiny formy až do vyhození dílu z formy. Fáze chlazení začíná v okamžiku, kdy přestává působit dotlaková fáze až po vyhození dílu z formy. [3]

V této fázi jsou důležité technologické parametry hlavně doba chlazení a teplota formy. Čím nižší je teplota formy, tím je gradient chladnutí větší a čas chladnutí kratší. Teplota formy se ovšem odvíjí i od předchozích fází. U chlazení je důležitý čas a rychlost chlazení nad a pod teplotou tání. Čím je gradient rychlosti chlazení nad teplotou tání menší, tím se lépe mohou zformovat makromolekuly v materiálu. Po vyhození je pak díl blíže k rovnovážnému stavu. [3]

Čím je menší gradient ochlazování po ztuhnutí materiálu ve formě, tím je vyšší obsah krystalického podílu (u částečně krystalických materiálů) a obecně i tepelné prnutí ve výstřiku. Čím je obsah krystalického podílu vyšší, tím menší je následné smrštění po vyhození dílu z formy. [3]

3.2 Zpracovatelské okno

U nastavování technologických parametrů je potřeba vzít v úvahu, že se jednotlivé fáze navzájem ovlivňují a některé parametry nelze v různých fázích měnit. Proto je nutné na začátku návrhu technologických parametrů stanovit rozsahy (okna) jednotlivých hodnot. [13]

Jako příklad lze uvést teplotu tavení. Čím je teplota taveniny vyšší, tím je rychlejší doba plnění, a tudíž časově méně náročná. Ovšem díky vysoké počáteční teplotě se prodlužuje doba chlazení. Zvýšení teploty formy má obdobný vliv. [13]

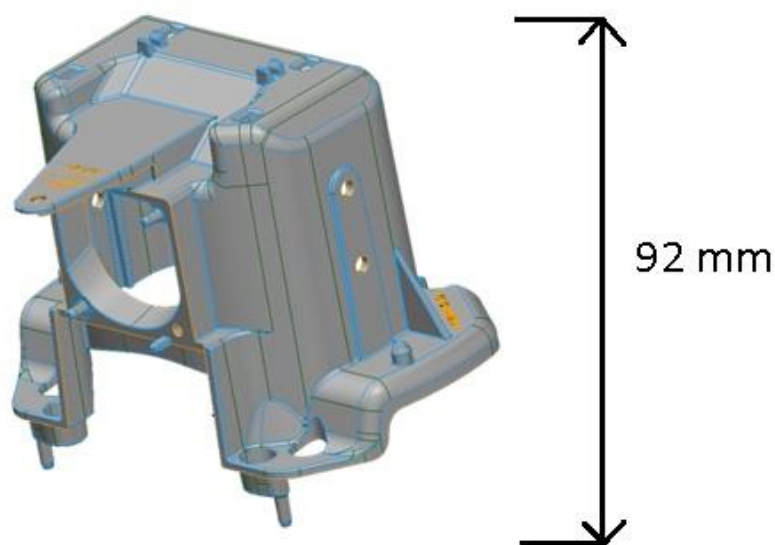
Na rozsah nemá vliv pouze samotný materiál. Je potřeba brát zřetel i na konstrukční vlastnosti formy a stroje. Při stanovování teplotního rozsahu se obvykle postupuje tak, že se nejdříve stanoví maximální teplota, při které je možné výstřik vstřikovat bez degradace materiálu. Následně se pak stanoví minimální teplota, která ještě umožní naplnit formu. Dále se vytvoří graf pro jednotlivé teplotní hladiny v rozmezí minimální a maximální teploty. Minimální tlak je pro danou teplotu takový, při kterém ještě dojde k naplnění formy. Maximální tlak se odvíjí od konstrukce a tuhosti formy a stroje. [13]

V dnešní době je nejvýhodnější používat simulačních výpočtů. Ty nám dají první hodnoty, které pak dále upravujeme podle používaného stroje. [3]

4 Analýza vstřikovaného dílu

Praktická část bakalářské práce byla uskutečněna ve firmě Plast Form Service i.m. v Lysé nad Labem. Odběratel poslal reklamaci na vstřikovaný díl z důvodů nedodržení rozměrových tolerancí a požadoval návrh na řešení problému. Úkolem bylo nalézt a popsat problém. K provedení analýzy byla použita termokamera, simulační výpočty a 3D skener.

Díl se jmenuje Bracket Projector Multifunctional. Díl je jednou ze součástí světlometu auta. Jeho funkcí je držet další součásti světlometu. Zákazník požaduje měření 44 různých rozměrových a geometrických kót. Forma, ve které se díl vyrábí, má dvě stejné tvarové dutiny, to znamená, že během jednoho cyklu se vyrobí vždy dva stejné kusy najednou. Díl je ve světlometu vystavován poměrně vysokým teplotám, které by běžný vstřikovaný plast nevydržel. Proto se zákazník rozhodl díl vyrobít z kompozitního materiálu s příměsí krátkých skelných vláken.



Obrázek 4.1 Bracket Projector Multifunctional

Na úvod praktické části bude popsán materiál, ze kterého je díl vyráběn a stroj, na kterém se díl vyrábí. Na začátku byly pomocí 3D skenovacího zařízení naměřeny první rozměrové hodnoty. Dále bylo provedeno měření pomocí termokamery. Měřily se jak teploty ve formě, tak postupné chladnutí vstřikovaného dílu. Tyto výsledky byly porovnány se simulačními výpočty. Na základě analýzy se navrhly a otestovaly různé technologické úpravy.

4.1 Materiál dílu světlometu auta

Díl se vyrábí z materiálu PA 66 s 30 % příměsí skelných vláken. Tento materiál se prodává pod obchodním názvem Zytel HTN 51G35. Jedná se o semikristalický termoplast, který ve svých řetězcích atomů obsahuje uhlík a dusík. Krystalický podíl je závislý zejména na technologických parametrech

výroby a konstrukce výstřiku. PA 66 má velmi dobrou pevnost. Jeho nevýhodou je ovšem velká míra navlhavosti. Teplota tání se u PA 66 pohybuje okolo 262 °C (viz. příloha 11.2.) [14] [15]

S přidáním skelných vláken se jeho vlastnosti zlepšují. Sníží se nasákavost a zlepší se mechanické vlastnosti, ale zvyšuje se anizotropie výrobního smrštění. Tento materiál se standardně používá v místech, kde je potřeba i při vyšších teplotách zajistit rozměrovou a mechanickou stabilitu. Díky skelným vláknům se tento materiál nedoporučuje do míst, kde by mohlo docházet k velkému mechanickému tření, jelikož má vysoký stupeň abrazivity a mohl by poškodit ostatní materiály.

4.2 Výrobní stroj a technologické parametry

Díl se vyrábí na stroji od firmy Battenfield. Jedná se o stroj BA 2100/1330 TM. Tento stroj má uzavírací sílu 2100 kN. Jako uzavírací systém používá stroj vícebodového kloubového mechanismu, který je ovládaný hydraulickým pístem. Vyhazovače jsou ovládány hydraulicky. Vstřikovací jednotka je upravena pro vstřikování kompozitních materiálů s obsahem skleněných vláken do 30 %. Parametry šneku jsou L/d 22:1 (1100/50 mm) a kompresní poměr 1:2,1. Tavicí komora s odporovými pásy má tři ovládaná pásma teplot a samostatně ovládanou teplotu na trysce.

Všechny původní technologické parametry nastavené na stroji jsou uvedeny v příloze 11.1. Teplota formy byla nastavena na 100 °C. Teplotní profil tavicí komory byl lehce stoupající. První a druhé topné pásmo mělo nastavenou teplotu 300 °C. Třetí pásmo teplotu 310 °C. Na trysce byla nastavena teplota na 320 °C. Stroj pracoval v poloautomatickém režimu a čas cyklu byl nastaven na 49 sekund.

4.3 3D skenování

První analýza byla provedena na 3D skenovacím ramenu Romer absolute arm od firmy Hexagon s použitím programu PolyWorks. Skenér promítá pomocí laseru čáru a tečku. Promítaný laser snímá rameno pomocí kamery a vyhodnocuje. Čára laseru slouží k samotnému snímání jednotlivých bodů a zaznamenává je do počítače. Každý bod má změřenou svoji polohu v prostoru a jednotkový vektor orientace bodu. Vektor je kolmý na plochu měřeného dílu. Promítaná tečka má za úkol zjišťovat vzdálenost měřicího ramene od objektu. Když se s kamerou přibližuje nebo oddaluje od objektu, vzdálenost tečky od čáry se mění. Správná vzdálenost se pozná tak, že tečka překrývá promítanou čáru.

Přesnost měřicího zařízení udává výrobce jako odchylku +/- 20 µm. Tato chyba ovšem narůstá při dalším zpracování měřeného objektu. Aby díl byl naskenován celý, je zapotřebí změřit nejméně dva skeny z různých stran. Tyto skeny se následně v programu propojí. Zde se vnáší do měření první chyba. Skeny se nedají spojit úplně přesně a dochází ke zkreslení. Aby se s naskenovanými body dalo dále pracovat, je potřeba sít bodů převést na polygonální model. Mezi body se vytvoří malé plošky tvořené z trojúhelníků a ty dají celkovou podobu naskenovaného dílu. Aby bylo možné převést díly na polygonální model, je program nucen použít různé filtry pro vyhlazení výsledného modelu. To vnáší do měření další chyby.

U měření laserovým skenovacím zařízením bývá problém s odleskem dílu. Tento jev byl omezen použitím speciálních nástřiků, které odlesk dílu zmenšují. Celková chyba se pohybovala okolo 50 μm . Zde nastal jistý problém. U některých lineárních rozměrů požadoval zákazník dodržení tolerance $\pm 50 \mu\text{m}$. Jestliže by byla i stejná chyba, není možné příslušné rozměry s danou přesností korektně změřit. Proto se využilo dotykového měření kuličkou, které rameno také umožňuje. U potřebných rozměrů bylo opět možno dosáhnout tolerance 20 μm . Ani to ovšem u tak malých požadovaných odchylek měření nestačí.



Obrázek 4.2 Romer Absolute Arm [18]

Na druhou stranu u vstřikovaných dílů není možné dosáhnout takové rozměrové stability, aby se mohly splnit tyto rozměrové požadavky. Proto naši jednatelé ve firmě začali projednávat se zákazníkem úpravu tolerancí. Úkolem zatím bylo dosáhnout rozměrů, které by se co nejvíce blížili k požadovaným tolerancím.

Ze skenování dílu byly získány dva hlavní výstupy. Prvním byly hodnoty jednotlivých kót. Druhým výstupem byla takzvaná barevná mapa. Barevná mapa ukazuje, o kolik se v každém místě odchyluje naměřený díl od nominálního rozměru. To poskytlo celkový obraz křivosti dílu.

4.4 Simulace

Jako simulační software využívá naše firma program Cadmould® 3D-F. S pomocí simulačních výpočtů byly stanoveny první výrobní parametry. Ze simulace můžeme získat několik výstupů. Nejdůležitější v tomto případě byla simulace chladnutí dílu nejen na povrchu, ale i uvnitř dílu a zejména hodnoty smrštění a deformací. Dalšími výstupy simulace byly simulace rychlostního profilu taveniny v dutině, čas, za který se dostane tavenina do jednotlivých míst v dutině a velikost smykového tření.

4.5 Termokamera

Pro měření teplotních polí byla použita termokamera FLIR T640. Jedná se o bezkontaktní měřící zařízení teploty. Termokamera umí pořizovat snímky a natáčet videa, která lze v počítači dále analyzovat. Z každého snímku se dají zjistit maximální a minimální teploty v mnou vymezených oblastech. V případě videa lze vygenerovat průběh teplot v označeném místě a zanést je do grafu. Tato kamera má rozlišení 640 x 480 pixelů. Rozsah teplot je -40 až +2000 °C. Přesnost měření

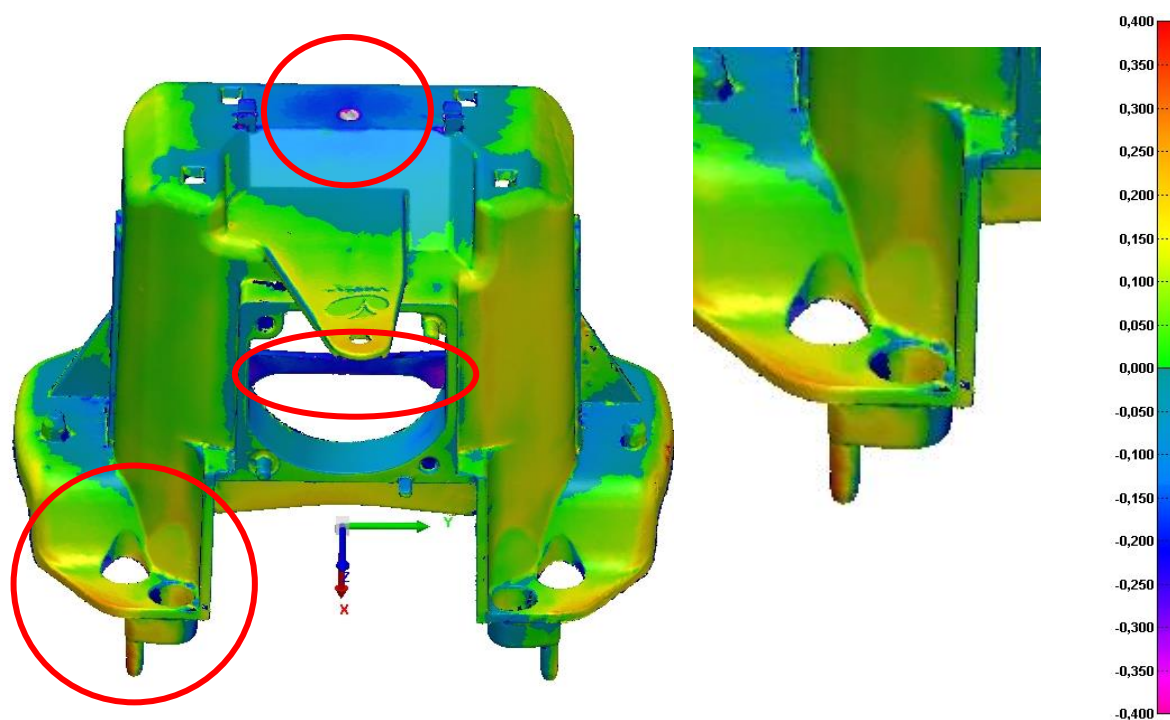
výrobce udává 2 %. U termokamery je potřeba nastavit emisivitu materiálu. Ta se nastavovala pomocí porovnání bodové teploty naměřené kontaktním teploměrem a teplotou měřenou na termokameře.



Obrázek 4.3 FLIR T640 [19]

4.6 První měření pomocí 3D skeneru

Jako první byla provedena rozměrová analýza. Ta ukázala problematická místa dílu. Z barevné mapy je vidět (viz. Obr.4.4), že největší deformace je na levé nožičce dílu. Průměry nožiček se u většiny požadovaných geometrických kót používají jako základny, tudíž jsou pro měření velmi důležité. Jejich ohnutí je s největší pravděpodobností zapříčiněné lokální změnou smrštění. Usuzuji tak z konstrukce dílu. Nad nožičkami se nachází část dílu, která má velké rozdíly v tloušťce stěn. Na toto místo se budu zaměřovat při měření termokamerou. Dále mě bude zajímat, proč je v ohnutí nožiček tak velký rozdíl. Další dvě problematická místa jsou oblast vtoku (nahore) a zadní příčka.



Obrázek 4.4 Barevná mapa prvního měřeného dílu

5 Analýza teplotních polí

Analýza teplotních polí byla provedena pomocí termokamery. Postup měření byl sestaven s vedoucím technologem naší firmy. Cílem bylo změřit teploty ve formě a dílu. Dále pak natočit chladnutí dílu po vyhození z formy.

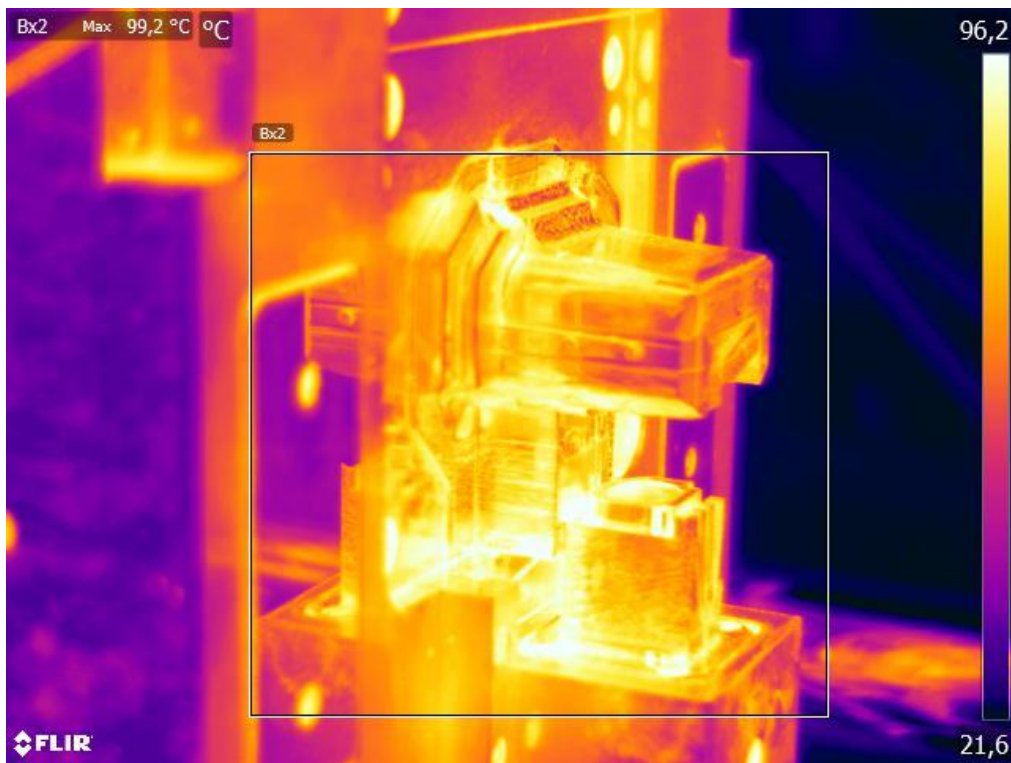
Před začátkem měření teplot formy byla forma vytemperována na pracovní teplotu. První měření bylo provedeno ještě před zahájením výroby. Poté se stroj spustil a nechal se vyrábět díly. Prvních 10 cyklů bylo měřeno kontinuálně. Dále se pak měřil každý 10. cyklus. Stroj běžně pracuje na poloautomatický režim, jelikož díl nesmí samovolně padat z důvodů nebezpečí poškození jednotlivých částí. To umožnilo vždy díl a formu změřit, aniž by se výrazně ovlivnil výrobní cyklus. Poslední měření bylo provedeno po 150 cyklech. Cílem bylo zjistit, jestli je výrazný rozdíl na začátku a po zaběhnutí výroby. Stroj má určitou časovou prodlevu, než se jeho teploty ustálí. Doba do úplného ustálení byla odhadnuta přibližně na jednu hodinu.

U každého měřeného cyklu byly zaznamenány 3 snímky teplot: pohyblivá část formy před a po odebrání dílu a pevná část formy. Po dokončení měření se hledaly jednotlivé odchylky teplot.

Parametry pro měření termokamerou

- Emisivita 0,98
- Zdánlivá odražená teplota 50 °C
- Vzdálenost přibližně 2 metry od měřeného objektu
- Teplota 24 °C
- Relativní vlhkost 36 %.

Před začátkem výroby je vidět, že forma má požadovanou teplotu 100 °C (viz. Obr.5.1)



Obrázek 5.1 Pohyblivá část formy před začátkem výroby

Po 5 cyklech bylo v horní dutině pevné části formy zjištěno přehřívání jedné stěny. V daném místě se teplota dostala až na teplotu 160,2 °C (viz. Obr.5.2)



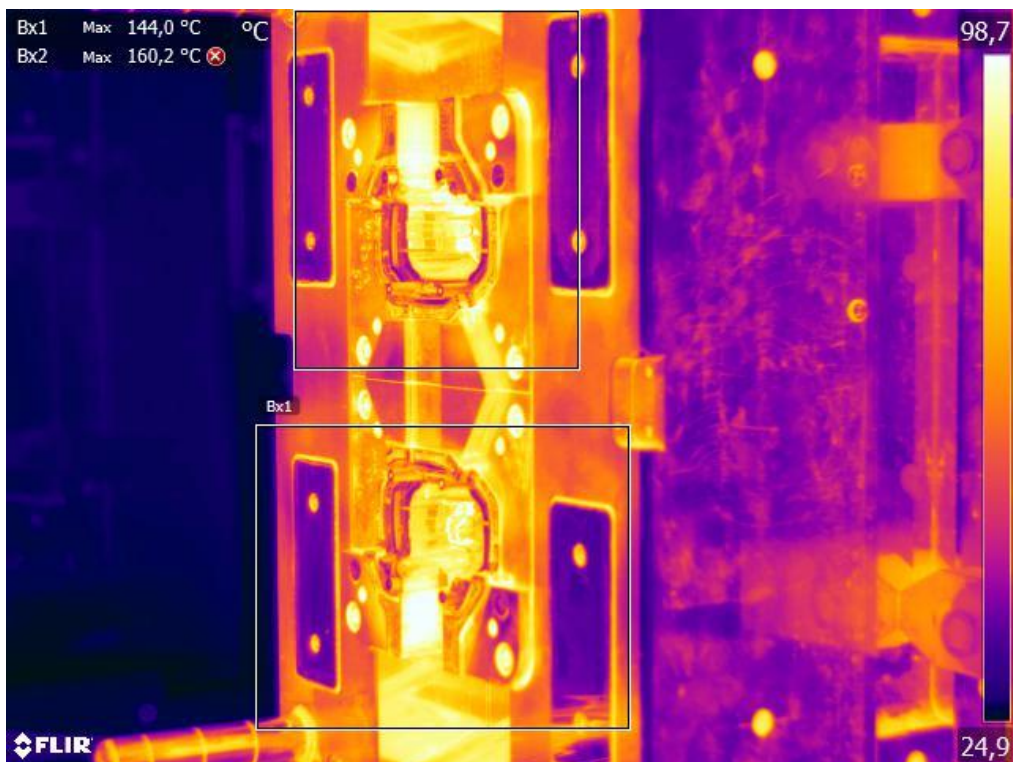
Obrázek 5.2 Pevná část formy po 5 cyklech

Na dalším obrázku je vidět teplota dílů na pohyblivé části formy po 20 cyklech. Ta je lehce vyšší než teplota formy.



Obrázek 5.3 Pohyblivá část formy po 20 cyklech

Po 150 cyklech bylo zjištěno zvýšení teploty v obou dutinách formy. Z obrázku je vidět, že přehřátí v obou dutinách je téměř na stejném místě.

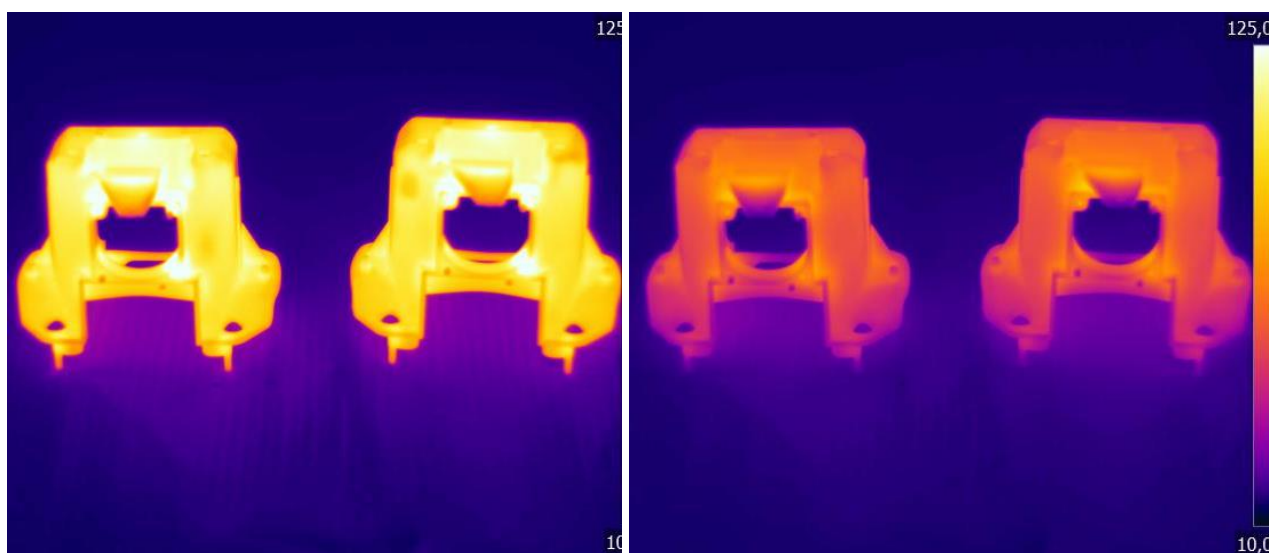


Obrázek 5.4 Pevná část formy po 150 cyklech

Pohyblivá část formy se během celého měření jevila v pořádku. Z tohoto měření byly vyvozeny tyto závěry.

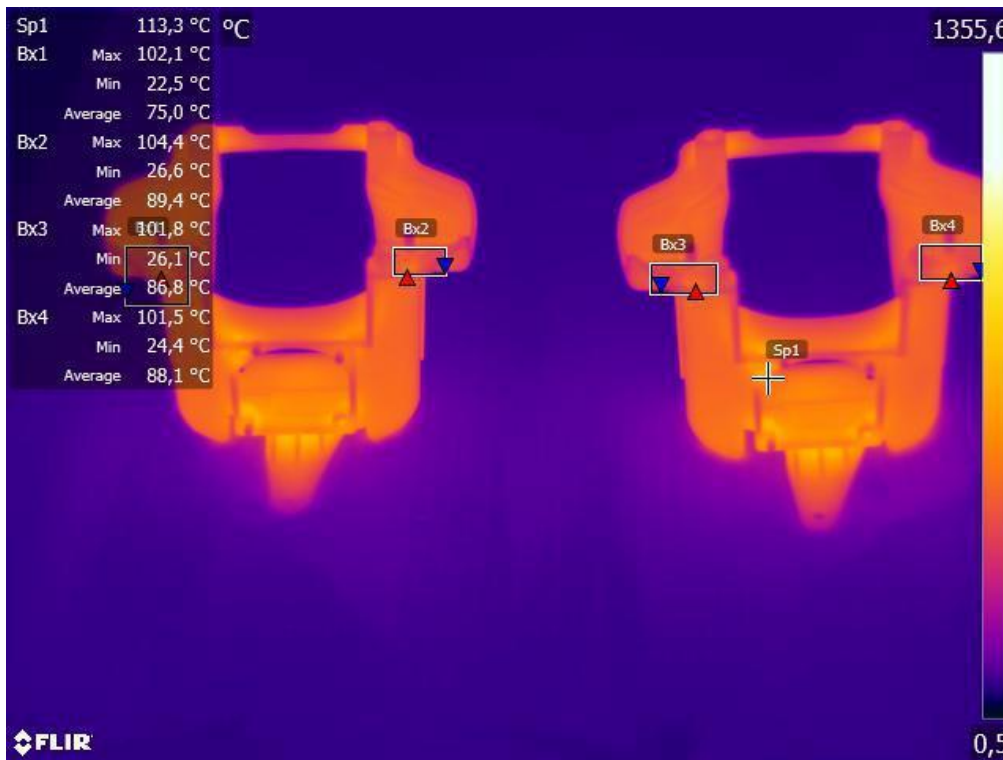
1. Měření formy ukázalo problém uvnitř dutiny pevné části formy
2. Zvýšení teploty poukazuje na problém s temperací formy
3. Další postup bude sundat formu ze stroje a prověřit, není-li forma není v daném místě poškozená. Zároveň je potřeba zjistit, zda nejsou ucpány chladící rozvody formy

Dalším měřením termokamerou se zjišťoval průběh chladnutí dílu mimo dutinu formy. Toto měření bylo provedeno v okamžiku, kdy již byl ustálený výrobní cyklus. Měření bylo provedeno dvakrát. Vždy se měřily obě tvarové dutiny současně. Každé měření bylo provedeno z jiného úhlu, aby bylo možné analyzovat všechna důležitá místa. Měření trvalo 15 minut. Během této doby se snížila povrchová teplota dílu na teplotu okolí. Vyhodnocovalo se, jestli chladnutí obou kavit probíhá stejně a jestli nedochází k nerovnoměrnému chladnutí dílu. Z naměřeného videa bylo vytvořeno několik výstupů. Jedním výstupem bylo termografické samotné video, na kterém se hledaly největší rozdíly teplot.

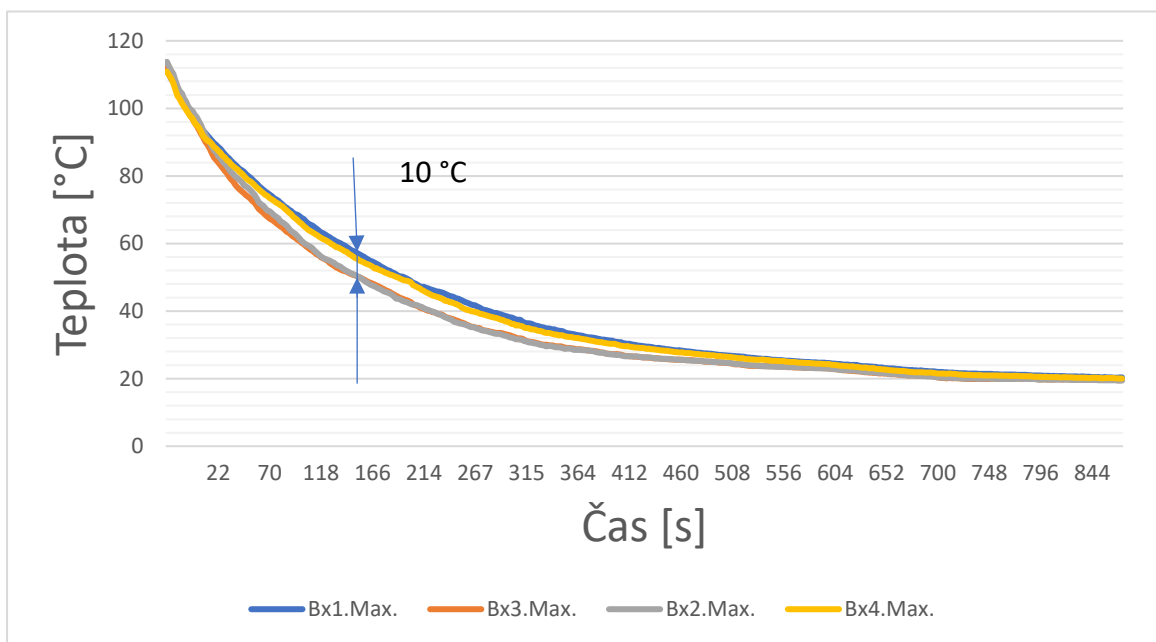


Obrázek 5.5 Změna teploty dílu po 5 minutách

Z dat, které kamera zaznamenávala během měření, byly vytvořeny grafy průběhu chladnutí. Na prvním grafu je vidět chladnutí spodní části dílu. V grafu jsou znázorněny maximální teploty na levé a pravé nožičce (levá a pravá nožička jsou zde zrcadlově otočeny). Z grafu je vidět, že obě kavity mají prakticky totožný průběh chladnutí, což je pozitivní informace. Z grafu je vidět rozdílný průběh chladnutí mezi levou a pravou nožičkou. Ovšem je tak malý, že by neměl způsobit rozdílné smrštění.

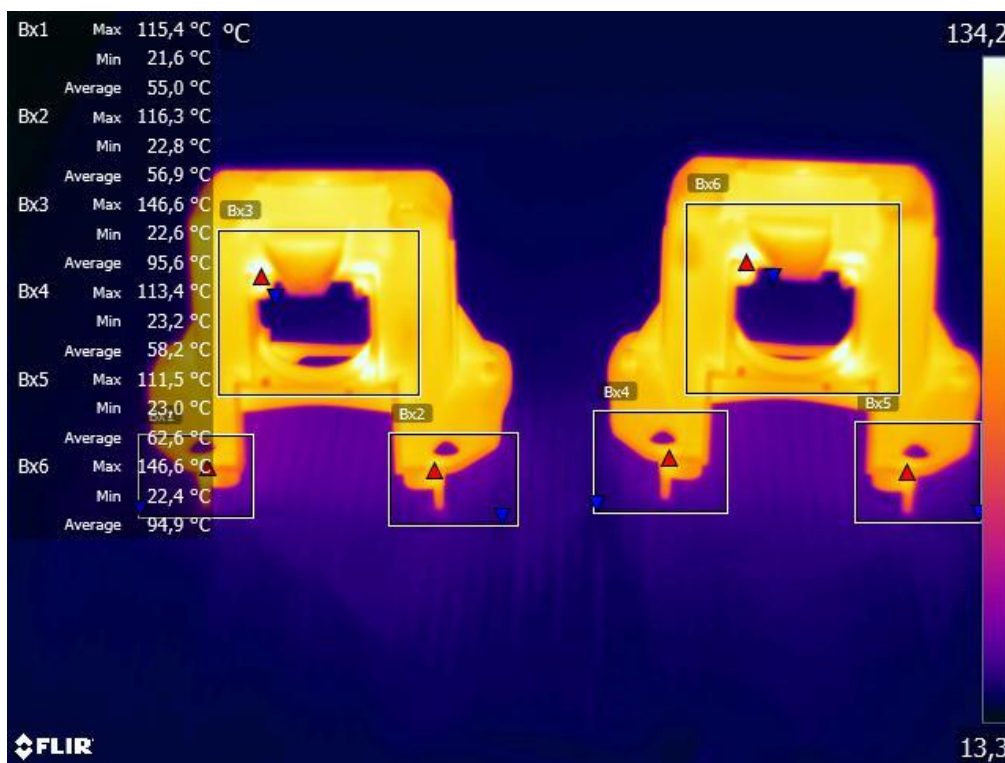


Obrázek 5.6 Měřené oblasti prvního záznamu

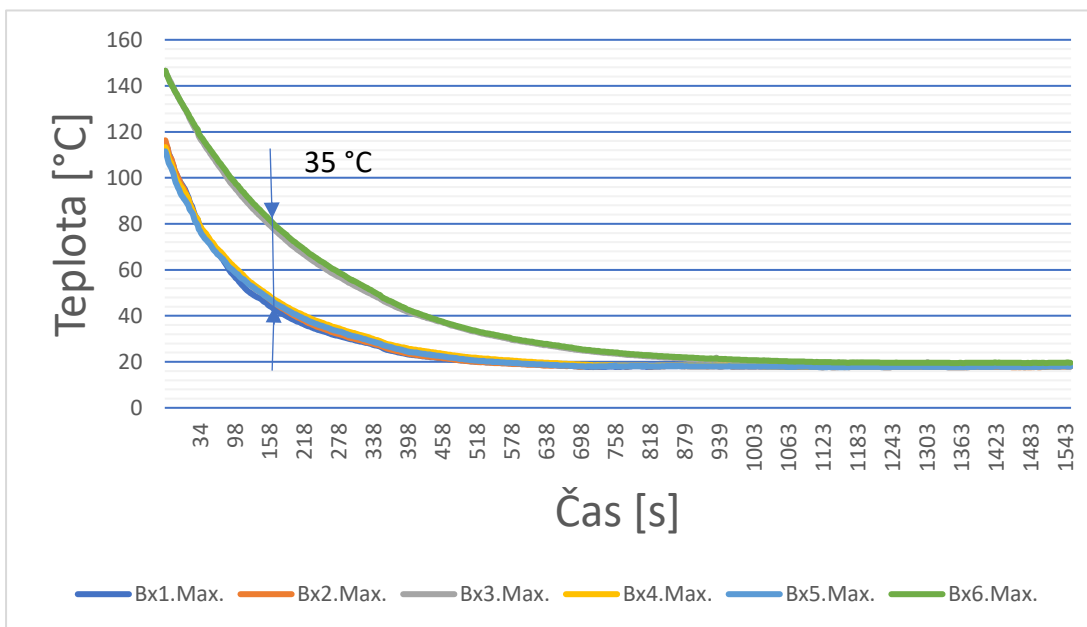


Graf 5.1 Průběh maximálních teplot z jednotlivých oblastí z prvního záznamu

Z druhého měření chladnutí dílu můžeme vidět rozdílné průběhy chladnutí na různých místech dílu. Zde je opět vidět, že nožičky chladnou stejnou rychlostí. Problém je ovšem vidět na čtvercové části dílu. Jsou zde patrná tři místa, ve kterých se díl přehřívá. Nejvíce se díl přehřívá v levém horním rohu. Jedná se o místa s větším objemem materiálu.



Obrázek 5.7 Měřené oblasti druhého záznamu



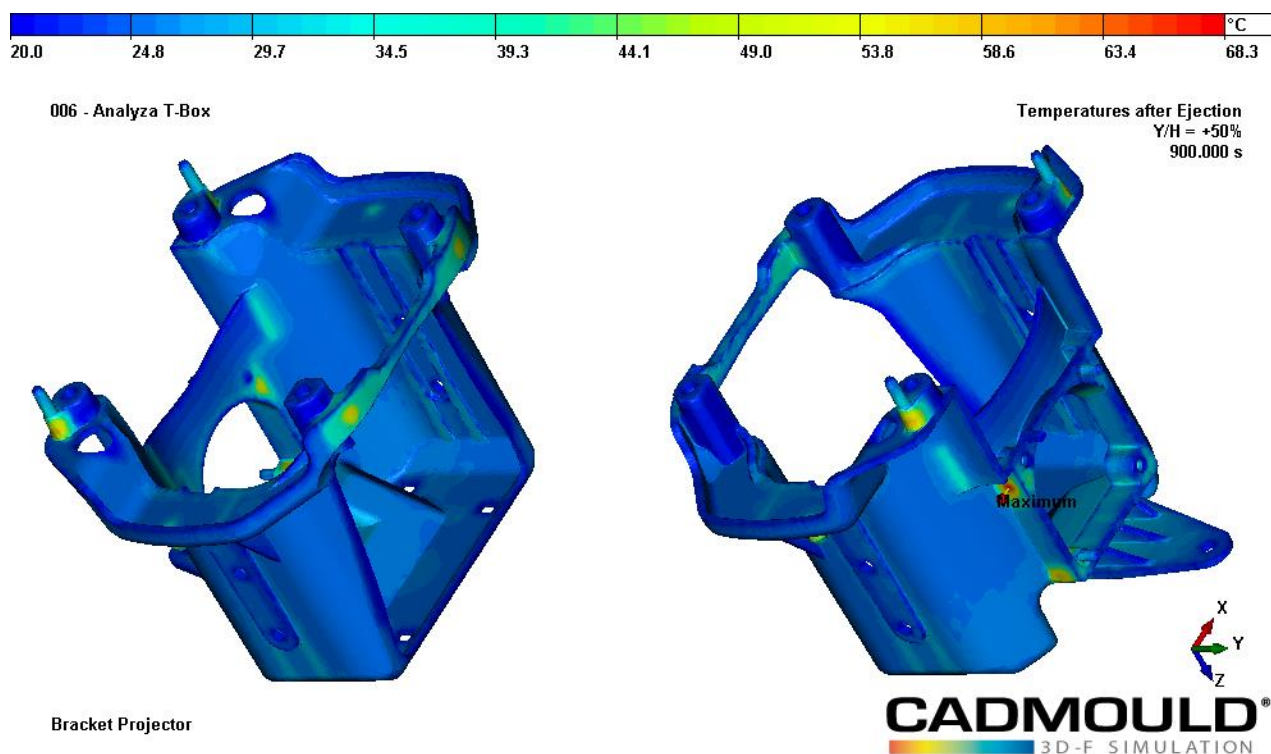
Graf 5.2 Průběh maximálních teplot jednotlivých oblastí z druhého záznamu

Z naměřených hodnot (viz. graf 5.2) je vidět, že díl chladne značně nerovnoměrně, což vytváří rozdíly ve smrštění dílu.

5.1 Porovnání měření termokamerou se simulačními výpočty

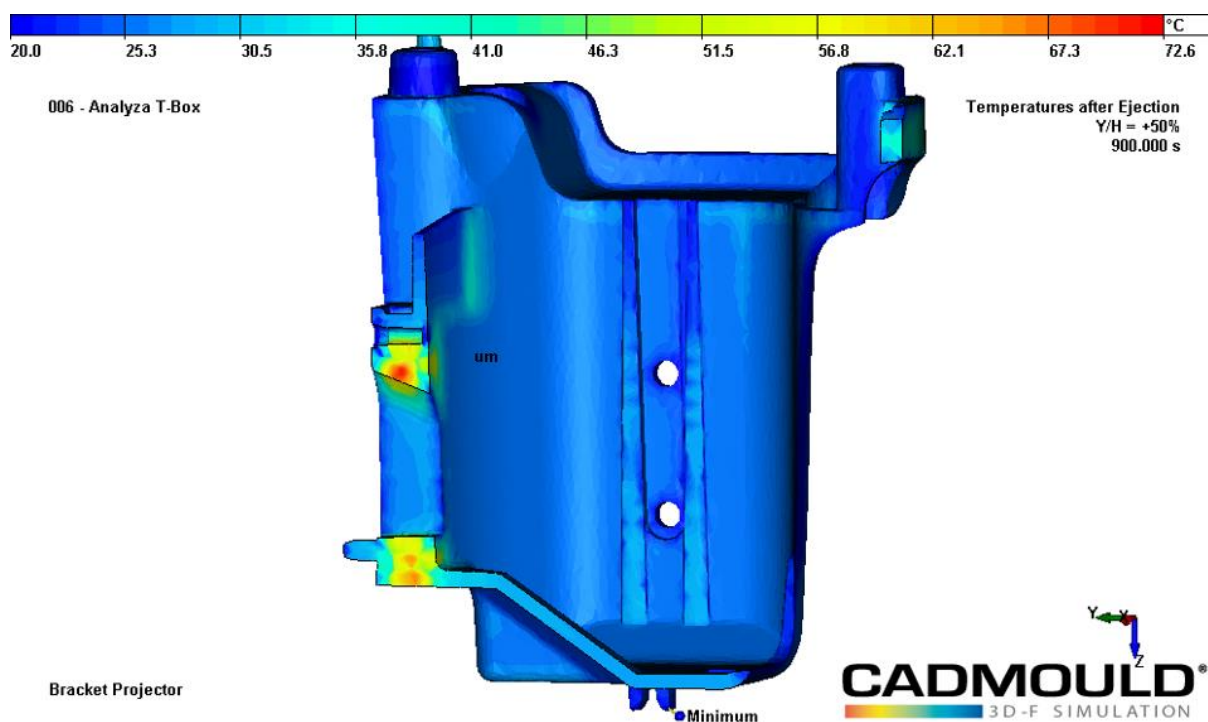
Pro porovnání bylo použito video s průběhem chladnutí dílu. Cílem bylo zjistit, zdali se naměřené hodnoty shodují se simulačními výpočty.

Simulace spočítala, že místo s nejvyšší teplotou se nachází v jiném místě a má po 15 minutách vyšší teplotu, než jakou jsme zjistili u naměřených dat.



Obrázek 5.8 Simulace teplot po 15 minutách

Ze simulace můžeme vidět, že uvnitř dílu je vyšší teplota než na povrchu.



Obrázek 5.9 Simulace vnitřních teplot na řezu dílu po 15 minutách

Důvod rozdílu mezi naměřenými a simulačními výpočty může být několik. Prvním je vliv prostředí, ve kterém se díl nachází. Simulace nepočítá s žádným prouděním vzduchu a s konstantní teplotou okolí. Dále simulace bere v potaz i vliv vnitřní teploty. Termokamera měří pouze teplotu na povrchu dílu.

Simulace se v teplotách sice lišila, ale odhalila problematická místa dílu, která se shodují s měření termokamerou. To znamená, že simulace nám může poskytnout orientační informace o chování daného dílu.

Na závěr měření termokamerou byla snaha zhodnotit vliv nerovnoměrného chladnutí na rozměry dílu. Je vidět, že plocha nad nožičkami chladne uprostřed pomaleji než na okrajích dílu. To ovšem nevysvětluje rozdílné ohnutí, jelikož obě strany chladnou stejně. Při měření zadní části dílu se zjistilo, že nejteplejší místo se nachází nad méně ohnutou nožičkou. Ze znalostí chování smrštění byl předpoklad, že pokud dochází k ohnutí nožičky vlivem rozdílného smršťování dílu, měl by být rozdíl v ohnutí nožiček obrácený. To znamená, že pravá by měla být zdeformována více než levá. Pro vysvětlení, proč tomu tak není je zapotřebí se lépe podívat na konstrukci formy. V zadní části dílu se nachází část, která má diagonálně proti sobě dvě díry a dva výstupky. Nad pravou nožičkou se v pravém dolním rohu nachází díra. Díra je vyrobená tak, že v dutině formy je tvarové jádro. Toto tvarové jádro způsobí, že v daném místě dojde k takzvanému zamrznutému smrštění. To znamená, že tvarové jádro zadrží největší část smrštění dřív, než zdeformuje díl. Na levé straně se tvarové jádro nachází výrazně výše, a proto má i menší účinek na levou nožičku.

5.2 Úprava technologie

Na základě analýzy se zkoušely upravit technologické parametry. Bylo navrženo několik úprav, které odpovídají technologickému oknu pro daný typ materiálu a formu. Upravované technologické parametry byly dva. Teplota formy a čas chlazení. U každé technologie bylo nejprve uděláno devět cyklů a odebral se až desátý pár, když se již stabilizoval výrobní cyklus. Všechny díly byly popsány a ponechány 48 hodin relaxovat v měřící místnosti při standardní teplotě a relativní vlhkosti vzduchu. Důvodem bylo dát dílu čas pro proběhnutí relaxačních a dokrystalizačních pochodů. Každý díl byl nastříkán speciálním práškem pro zmenšení odlesků a změřen na 3D skeneru. Bylo provedeno měření při pěti různých technologických parametrech:

1. Sériové parametry – Pro získání co nejlepšího srovnání, byl vyroben první díl se standardními parametry bez jakékoliv změny.
2. Díl při standardní teplotě a prodlouženou dobou chlazení – Tato technologie měla ukázat, nakolik má vliv čas chlazení ve formě. Cyklus byl prodloužen z 49 sekund na 195 sekund.
3. Díl při standardní teplotě a prodlouženou dobou chlazení + vyčkání po otevření formy a vyndání ručně bez vyhazovačů – Tato technologie umožnila dílu chladnout při otevřené formě. To mělo umožnit další zchladnutí dílu při nasazení na pohyblivou část, která díl podrží. V okamžiku, kdy je díl ještě teplý by ho mohl vyhazovač zdeformovat
4. Díl s upravenou teplotou formy a standardní dobou chlazení – Při této technologii bylo testováno zmenšení podílu zkrystalizování materiálu, který má vliv na následné smrštění
5. Díl s upravenou teplotou formy a prodlouženou dobou chlazení – Tato technologie měla ukázat vliv obou parametrů

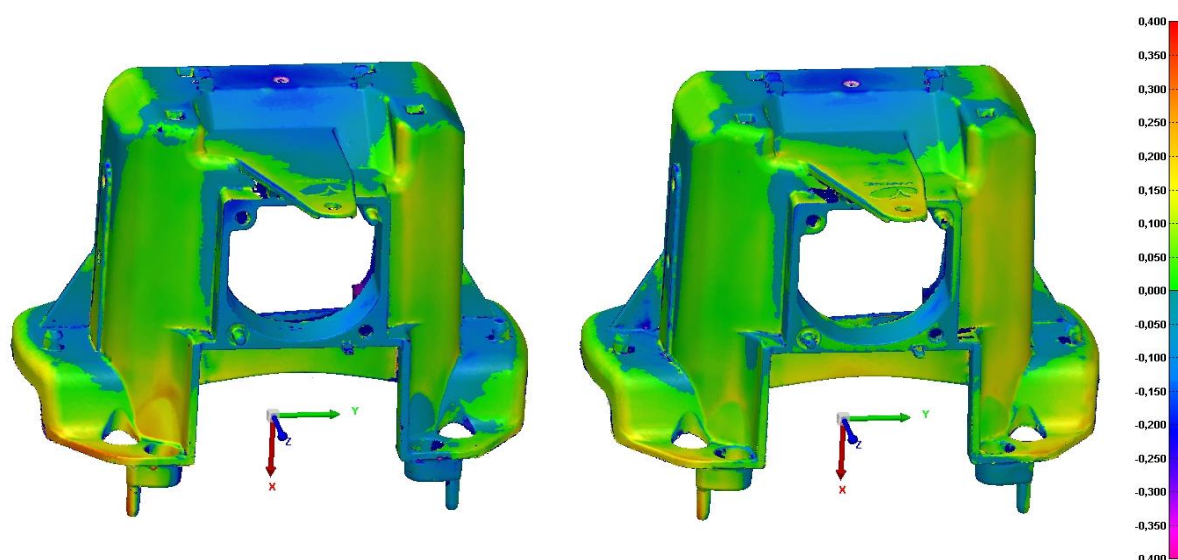
6 Zhodnocení a závěr

Bakalářská práce byla zaměřena na analýzu vstřikovaného dílu Bracket projektor multifunctional, který je součástí předního světlometu auta. Měření bylo provedeno pomocí termokamery FLIR T640 a 3D skeneru Romer absolute arm. Byl analyzován vliv teplot ve formě a chladnutí dílu na jeho konečné rozměrové vlastnosti. Všechny naměřené výsledky byly porovnány se simulací.

Během měření teplotních polí formy byly zjištěny problémy s přehříváním pevné části formy. Po bližším prozkoumání formy nebyly odhaleny žádné defekty. Ani při čištění formy se neodhalil žádný viditelný problém. S největší pravděpodobností se jedná o konstrukční problém s chlazením formy, který se bude dále řešit.

Při měření chladnutí bylo zjištěno nerovnoměrné chladnutí dílu, které má vliv na rozměry dílu. Následně pak bylo navrženo několik různých úprav technologických parametrů. Tyto technologie byly změřeny, vytvořili se barevné mapy a zjistili se hodnoty jednotlivých kót. Z tohoto měření lze odvodit, že velký vliv na rozměry dílu má teplota formy a čas chladnutí při otevřené dutině formy. Nejlepších výsledků dosáhla technologická úprava č. 3. Díl se díky ponechání v otevřené formě tolik nezdeformoval, jako u ostatních technologií. Ovšem z důvodu prodloužení výrobního cyklu by tato technologie nebyla vhodná pro sériovou výrobu. Proto byla zvolena technologie č. 4. Ta měla druhé nejlepší výsledky. Rozdíl ve výrobních parametrech byla teplota formy. Teplota formy byla snížena ze 100 °C na 80 °C. Tím se snížil krystalický podíl v materiálu a zmenšilo se následné smrštění.

Na obrázku 6.1 (levý díl původní technologické parametry, pravý nové) je vidět výrazné zlepšení v oblasti druhé nožičky. Tato technologie sice nesplňuje všechny tolerance, ovšem došlo k zmenšení odchylek u jednotlivých tolerancí v průměru přibližně o 20 % oproti původní výrobě. Tyto výsledky předložila naše firma zákazníkovi, se kterým se bude jednat o dalším postupu. Ostatní technologie byly buďto horší, nebo neodpovídaly požadavkům na dodržení času výrobního cyklu, proto zde nejsou uvedeny jejich barevné mapy



Obrázek 6.1 Porovnání barevných map 1. a 4. technologie

7 Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
- [2] KAW, Autar K. *Mechanics of composite materials*. 2nd ed. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group, 2006. Mechanical engineering series (Boca Raton, Fla.), v. 29. ISBN 08-493-1343-0.
- [3] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018. ISBN 978-80-271-0614-1.
- [4] MIKULA, Martin. *KOMPOZITNÍ MATERIÁLY NA BÁZI UHLÍKOVÝCH VLÁKEN*. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Karel NĚMEC, Ph.D.
- [5] TICHÝ, Bc. Petr. *Výzkum termomechanického zatížení uhlíkových kompozitů*. Zlín, 2017. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [6] MOTÁŇ, Filip. *Lisování uhlíkových kompozitů*. Zlín, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [7] VNOUČEK, PH.D., Ing. Milan. *Kompozitní materiály. Oddělení povrchového inženýrství* [online]. Plzeň: ATeam 2005, 2006 [cit. 2018-07-24]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/download/kompozity09_10.pdf
- [8] KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH. *Úvod do studia materiálů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN 80-708-0568-4.
- [9] NEUHÄUSL, Emil. *Historie a rozvoj vstřikování plastů v ČR. MM Průmyslové spektrum*. 2010, **2010**(1), 17.
- [10] SEIDL, Martin. *Stroje pro zpracování polymerních materiálů* [online]. Poslední aktualizace: 13.10.2017. Střední odborné učiliště Svitavy: Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz, 2016 [cit. 2018-07-24]. ISBN 978-80-88058-71-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/181/Cover.html>
- [11] *Stroje pro zpracování polymerních materiálů*. Verze 19. Nové sady 988/2 Brno, 602 00: Code Creator, 2015. ISBN 978-80-88058-71-7.
- [12] *Vstřikování plastů*. [Http://www.ksp.tul.cz](http://www.ksp.tul.cz) [online]. Liberec: Doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld, 2018 [cit. 2018-06-29]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm#043
- [13] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [14] *Školení CADENCE. FS ČVUT* [online]. Praha: ČVUT FS, 2014, 2016 [cit. 2018-07-24]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/polymvsauto/PLASTY_presentace_uvodni%20s eznamení.pdf
- [15] LEDERER, Doc.ing. Jaromír, CSc. POLYAMIDY: nylon. *Katedra chemie, Přírodovědecká fakulta* [online]. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem: Ondřej Kolafa, 2005, 7.2.2013 [cit. 2018-07-24]. Dostupné z: <http://chemistry.ujep.cz/userfiles/files/POLYAMIDY07022013.pdf>
- [16] *Obrázek 2.1: Vstřikovací stroj Engel*. [online]. [cit. 24.7.2018]. Přejato a upraveno z <http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/59/5971.jpg>
- [17] *Obrázek 2.2: Vstřikovací jednotka*. [online]. [cit. 24.7.2018]. Přejato a upraveno z <https://publi.cz/books/181/images/pics/4.jpg>
- [18] *Obrázek 4.2: Romer Absolute Arm*. [online]. [cit. 24.7.2018]. Přejato a upraveno z <https://www.qualitymag.com/ext/resources/Issues/June2015/Products/QM0615-DEPT-prods-p1.jpg?1434119523>
- [19] *Obrázek 4.3: FLIR T640*. [online]. [cit. 24.7.2018]. Přejato a upraveno z <https://www.flir.com/globalassets/imported-assets/image/t6xx.png>

8 Seznam obrázků

OBRÁZEK 2.1 VSTŘIKOVACÍ STROJ ENGEL [16]	15
OBRÁZEK 2.2 VSTŘIKOVACÍ JEDNOTKA [17]	17
OBRÁZEK 4.1 BRACKET PROJECTOR MULTIFUNCTIONAL	26
OBRÁZEK 4.2 ROMER ABSOLUTE ARM [18].....	28
OBRÁZEK 4.3 FLIR T640 [19].....	29
OBRÁZEK 4.4 BAREVNÁ MAPA PRVNÍHO MĚŘENÉHO DÍLU	29
OBRÁZEK 5.1 POHYBLIVÁ ČÁST FORMY PŘED ZAČÁTKEM VÝROBY	31
OBRÁZEK 5.2 PEVNÁ ČÁST FORMY PO 5 CYKLECH	31
OBRÁZEK 5.3 POHYBLIVÁ ČÁST FORMY PO 20 CYKLECH	32
OBRÁZEK 5.4 PEVNÁ ČÁST FORMY PO 150 CYKLECH	32
OBRÁZEK 5.5 ZMĚNA TEPLoty DÍLU PO 5 MINUTÁCH	33
OBRÁZEK 5.6 MĚŘENÉ OBLASTI PRVNÍHO ZÁZNAMU	34
OBRÁZEK 5.7 MĚŘENÉ OBLASTI DRUHÉHO ZÁZNAMU	35
OBRÁZEK 5.8 SIMULACE TEPLoty PO 15 MINUTÁCH.....	36
OBRÁZEK 5.9 SIMULACE VNITŘNÍCH TEPLoty NA ŘEZU DÍLU PO 15 MINUTÁCH.....	37
OBRÁZEK 6.1 POROVNÁNÍ BAREVNÝCH MAP 1. A 4. TECHNOLOGIE	39

9 Seznam tabulek

TABULKA 2.1 POROVNÁNÍ PEVNOSTNÍCH MODULŮ A ANIZOTROPIE U VYBRANÝCH VLÁKEN [1].....	14
TABULKA 2.2 CELKOVÉ SROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ JEDNOTLIVÝCH VLÁKEN [1]	15

10 Seznam grafů

GRAF 3.1 TLAK V TVAROVÉ DUTINĚ FORMY [3]	23
GRAF 5.1 PRŮBĚH MAXIMÁLNÍCH TEPLoty Z JEDNOTLIVÝCH OBLASTÍ Z PRVNÍHO ZÁZNAMU	34
GRAF 5.2 PRŮBĚH MAXIMÁLNÍCH TEPLoty JEDNOTLIVÝCH OBLASTÍ Z DRUHÉHO ZÁZNAMU	35

11 Přílohy

11.1 Technologický předpis

Technologický předpis - Výrobní parametry			
STROJ: TM2100/1330		Řídicí systém: Unilog B 2	
Číslo stroje: 4			
Výstřik: Bracket projector multifunctional C519 00205272 - 01 - 0000			
Technologické parametry			
Teploty (°C) :			
Tryska: 320		Regulátor horkých vtoků:	
1.pásmo: 310		Rozvaděč:	
2.pásmo: 300		Trysky: 5 x 380	
3.pásmo: 300		Trysky:	
Forma-pohyblivá: 100		Forma-pevná: 100	
Vstřikování-tlaky p (bar), dráhy s (mm), časy t (s), rychlosti v (%)			
p1 210			
v1 95		s1 140	
v2 95		s2 80	
v3 95		s3 60	
v4 40			
N2(0-čas, 1-dráha, 2-tlak):			
t1	Tv =1,1	s4 40	p4
Dotlak- tlaky p (bar), časy t (s)			
p1 70		t1 0,5	
p2 70		t2 2	
p3 70		t3 3	
t4 2,5			
Dávkování- tlaky p (bar), dráhy s (mm), časy t (s), rychlosti v (%), otáčky n (1/m/n)			
N1 Dekomprese před dávkováním (0-vypnuta, 1- zapnuta)			
v1			
N2 Zpětný odpor (0-bez, 1- v automatickém režimu, 2- v ručním i aut. režimu):			
n2 180		p2 10	
N3 Dekomprese po dávkování (0-vypnuta, 1- zapnuta)			
V3 50		s3 30	
s2 90			
poloautomat 49 s, váha 83 g		Materiál: PA 66, ZYTEL - HTN 51G35	

11.2 Materiálový list

Zytel® HTN 51G35HSL BK083 HIGH PERFORMANCE POLYAMIDE RESIN DuPont Performance Polymers

PROSPECTOR®
www.ulprospector.com

Technical Data

Product Description				
35% Glass Reinforced, PPA, High Performance Polyamide				
General				
Material Status	• Commercial: Active			
Literature ¹	• Processing - Injection Molding (English)			
UL Yellow Card ²	• E41938-234558			
Search for UL Yellow Card	• DuPont Performance Polymers			
Availability	• Africa & Middle East	• Europe	• North America	
	• Asia Pacific	• Latin America		
Filler / Reinforcement	• Glass Fiber, 35% Filler by Weight			
Additive	• Heat Stabilizer			
Features	• Heat Stabilized			
RoHS Compliance	• Contact Manufacturer			
Processing Method	• Injection Molding			
Multi-Point Data	• Isothermal Stress vs. Strain (ISO 11403-1)	• Secant Modulus vs. Strain (ISO 11403-1)		
Part Marking Code (ISO 11469)	• PA6T/XT-GF35			
Part Marking Code (SAE J1344)	• >PPA-GF35<			
Resin ID (ISO 1043)	• PA6T/XT-GF35			
Physical	Dry	Conditioned	Unit	Test Method
Density	1.47	–	g/cm ³	ISO 1183
Molding Shrinkage				ISO 294-4
Across Flow	0.60	–	%	
Flow	0.20	–	%	
Mechanical	Dry	Conditioned	Unit	Test Method
Tensile Modulus	12000	11500	MPa	ISO 527-2
Tensile Stress (Break)	210	210	MPa	ISO 527-2
Tensile Strain (Break)	2.4	2.3	%	ISO 527-2
Flexural Modulus	10300	10300	MPa	ISO 178
Poisson's Ratio	0.33	0.33		ISO 527
Impact	Dry	Conditioned	Unit	Test Method
Charpy Notched Impact Strength				ISO 179/1eA
-40°C	9.0	–	kJ/m ²	
-30°C	10	9.0	kJ/m ²	
23°C	10	–	kJ/m ²	
Charpy Unnotched Impact Strength				ISO 179/1eU
-30°C	70	40	kJ/m ²	
23°C	70	–	kJ/m ²	
Notched Izod Impact Strength				ISO 180/1A
-30°C	8.0	–	kJ/m ²	
23°C	10	–	kJ/m ²	
Unnotched Izod Impact Strength				ISO 180/1U
-30°C	67	–	kJ/m ²	
23°C	65	–	kJ/m ²	

1 of 3

Form No. TDS-85333-en



UL and the UL logo are trademarks of UL LLC © 2018. All Rights Reserved.
UL Prospector | 800-798-4688 or 307-742-9227 | www.ulprospector.com

Document Created: Wednesday, March 21, 2018

The information presented here was acquired by UL from the producer of the product or material or original information provider. However, UL assumes no responsibility or liability for the accuracy of the information contained on this website and strongly encourages that upon final product or material selection information is validated with the manufacturer. This website provides links to other websites owned by third parties. The content of such third party sites is not within our control, and we cannot and will not take responsibility for the information or content.

Zytel® HTN 51G35HSL BK083
 HIGH PERFORMANCE POLYAMIDE RESIN
 DuPont Performance Polymers



Thermal	Dry	Conditioned	Unit	Test Method
Heat Deflection Temperature				
0.45 MPa, Unannealed	284	–	°C	ISO 75-2/B
1.8 MPa, Unannealed	264	–	°C	ISO 75-2/A
Melting Temperature ⁴	300	–	°C	ISO 11357-3
CLTE				ISO 11359-2
Flow	1.8E-5	–	cm/cm/°C	
Flow : -40 to 23°C	2.0E-5	–	cm/cm/°C	
Transverse	6.0E-5	–	cm/cm/°C	
Transverse : -40 to 23°C	5.7E-5	–	cm/cm/°C	
Transverse : 55 to 160°C	7.2E-5	–	cm/cm/°C	
Electrical	Dry	Conditioned	Unit	Test Method
Volume Resistivity	> 1.0E+15	–	ohms-cm	IEC 60093
Relative Permittivity				IEC 60250
100 Hz	4.00	–		
1 MHz	3.80	–		
Dissipation Factor				IEC 60250
100 Hz	9.0E-3	–		
1 MHz	0.017	–		
Comparative Tracking Index	600	–	V	IEC 60112
Flammability	Dry	Conditioned	Unit	Test Method
Burning Rate ⁵ (1.00 mm)	21	–	mm/min	ISO 3795
Flame Rating				UL 94
0.9 mm	HB	–		IEC 60695-11-10, -20
1.5 mm	HB	–		
Oxygen Index	26	–	%	ISO 4589-2
FMVSS Flammability	B	–		FMVSS 302
Additional Information	Dry	Conditioned	Unit	Test Method
Odor	4.00	–		VDA 270
Injection	Dry Unit			
Drying Temperature	100 °C			
Drying Time - Desiccant Dryer	6.0 to 8.0 hr			
Suggested Max Moisture	0.10 %			
Processing (Melt) Temp	320 to 330 °C			
Melt Temperature, Optimum	325 °C			
Mold Temperature	140 to 180 °C			
Mold Temperature, Optimum	150 °C			
Drying Recommended	yes			

Notes

- ¹ These links provide you with access to supplier literature. We work hard to keep them up to date; however you may find the most current literature from the supplier.
- ² A UL Yellow Card contains UL-verified flammability and electrical characteristics. UL Prospector continually works to link Yellow Cards to individual plastic materials in Prospector, however this list may not include all of the appropriate links. It is important that you verify the association between these Yellow Cards and the plastic material found in Prospector. For a complete listing of Yellow Cards, visit the UL Yellow Card Search.
- ³ Typical properties: these are not to be construed as specifications.
- ⁴ First Heat
- ⁵ FMVSS 302



Zytel® HTN 51G35HSL BK083
 HIGH PERFORMANCE POLYAMIDE RESIN
 DuPont Performance Polymers

PROSPECTOR®
 www.ulprospector.com

Where to Buy

Supplier

DuPont Performance Polymers
 Wilmington, DE USA
 Telephone: 302-999-4592
 Web: <http://plastics.dupont.com/>

Distributor

Biesterfeld Plastic GmbH

Biesterfeld Plastic GmbH is a Pan European distribution company. Contact Biesterfeld Plastic GmbH for availability of individual products by country.

Telephone: +49-40-32008-0

Web: <http://www.biesterfeld-plastic.com/>

Availability: Algeria, Austria, Belgium, Bosnia and Herzegovina, Brazil, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Egypt, France, Germany, Greece, Hungary, Italy, Libyan Arab Jamahiriya, Luxembourg, Mauritania, Morocco, Netherlands, Poland, Portugal, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Switzerland, Tunisia, Turkey

CCC Plastics

Telephone: 800-465-8917

Web: <http://www.cccplastics.com/>

Availability: Canada

Distrupol Ltd

Distrupol Ltd is a Pan European distribution company. Contact Distrupol Ltd for availability of individual products by country.

Telephone: 08452003040

Web: <http://www.distrupol.com/>

Availability: Denmark, Finland, Ireland, Norway, Sweden, United Kingdom

PolyOne Distribution

PolyOne Distribution is a global distribution company. Contact PolyOne Distribution for availability of individual products by country.

Telephone: 800-894-4266

Web: <http://polyonedistribution.com/>

Availability: Global



11.3 Technický list vstřikovacího stroje

Jelikož stroj, který byl k výrobě použit je již starý, uvádím zde technický list novějšího typu. Ten se liší pouze přítlačnou silou (použitý stroj 2100 kN, zde uvedený 2400 kN).

Schließeinheit		TM 240/...								
Schließkraft / Zuhaltkraft	kN	2400								
Lichter Holmabstand	mm x mm	570 x 570								
Min. Werkzeugeinbauhöhe	mm	250 600								
Öffnungsweg	mm	530								
Max. Plattenabstand	mm	1130								
Auswerferhub/Auswerferkraft	mm/kN	180/41,2								
Trockenlaufzeit ¹⁾	s-mm	2,1 - 399								
Spritzeinheit		.../750			.../1000			.../1330		
Schneckendurchmesser	mm	40	45	50	45	50	55	50	55	65
Schneckenweg	mm	225			250			275		
Schnecken L/D Verhältnis		22			22			22		
Rechnerisches Hubvolumen	cm ³	283	358	442	398	491	594	540	653	913
Spezifischer Spritzdruck	bar	2678	2116	1714	2490	2016	1666	2470	2041	1461
Max. Schneckendrehzahl	min ⁻¹	398			260			207		
Max. Plastifizierstrom (PS) ²⁾	g/s	38,1	49,6	60	32,4	39,2	48,5	31,2	38,7	46,2
Schneckenrehmoment	Nm	998			1540			1940		
Düsenweg/Düsenkraft	mm/kN	350/86			400/100			400/100		
Einspritzstrom ins Freie	cm ³ /s	170	215	265	183	226	273	184	223	311
Einspritzstrom ins Freie mit Doppelpumpe (Option)	cm ³ /s	222	281	347	239	296	357	241	292	407
Einspritzstrom ins Freie mit Speicher (Option)	cm ³ /s	376	476	588	478	590	714	567	686	958
Antrieb										
Pumpenantriebsleistung	kW	30			30			30		
Öltankinhalt	l	400			400			400		
Elektr. Anschlußleistung ohne/mit Europaket	kVA	55/84			57/86			60/89		
Gewicht, Abmessungen										
Nettogewicht (ohne Öl)	kg	8100			8800			9000		
Länge x Breite x Höhe ³⁾	m	5,2 x 1,6 x 2,4			5,5 x 1,6 x 2,4			5,6 x 1,6 x 2,4		
Max. Werkzeuggewicht/min. Werkzeuggewicht ⁴⁾	kg/mm	1800/500			1800/500			1800/500		

1) nach Euromap 6 2) nach Battenfeld Norm, mit Doppelpumpe (Option) höhere Plastifizierleistung möglich
 3) Länge mit mittlerem Schneckendurchmesser in hinterster Betriebsposition und minimaler Einbauhöhe 4) max. 2/3 auf Schließplatte

