

Návrh nástroje pro zpracování polymerních materiálů plněných abrazivním plnivem

Michal Kolařík

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Michal Kolařík**
Osobní číslo: **T17635**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Návrh nástroje pro zpracování polymerních materiálů plněných abrazivním plnivem**

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární studii na dané téma se zaměřením na zpracování plněných systémů.
- Proveďte konstrukci 3D modelu vstříkovaného dílu.
- Vytvořte konstrukční návrh vstříkovací formy ve 3D pro zadaný plastový díl.
- Nakreslete řez sestavy formy a příslušné pohledy včetně kusovníku

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

Seznam doporučené literatury:

XANTHOS, Marino, ed. Functional fillers for plastics. 2nd, updated and enlarged ed. Weinheim: Wiley-VCH, c2010, xxviii, 507 s. DOI: 9783527629848
GASTROW, Hans a P. UNGER. Gastrow injection molds: 130 proven designs. 4th ed. Munich: Hanser, c2006, 1 online zdroj (x, 335 p.). ISBN 9781601194855
DYM, Joseph B. Injection molds and molding: a practical manual. 2nd ed. New York: Nostrand Reinhold, c1987, xvi, 395 s. ISBN 0442217854

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Huba, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Ve Zlíně dne 20. dubna 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem 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.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem nástroje pro zpracování polymerních materiálů plněných abrazivním plnivem. Hlavním cílem je vytvořit konstrukci vstříkovací formy. V rámci teoretické části je vysvětlena problematika a jednotlivé pojmy z oblasti vstříkování, vstříkovacích strojů a vstříkovacích forem.

V praktické části se prováděla konstrukce 3D modelu výrobku, 3D model formy pro daný výrobek a nakreslení řezu sestavy včetně kusovníku. Všechny 3D návrhy a výkresy byly vytvořeny v programu Inventor Professional od společnosti Autodesk.

Klíčová slova: vstříkování, vstříkovací forma, polymer

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the design of a tool for processing of polymeric materials filled with abrasive filler. The main objective is to create an injection mold construction. The theoretical part explains the problems and individual terms of injection molding, injection molding machines and injection molds.

In the practical part, the construction of 3D product model, 3D mold model for the given product was carried out and drawing of the assembly including the parts list was made. All 3D designs and drawings were created in Inventor Professional from Autodesk.

Keywords: injection molding, injection mold, polymer

Chtěl bych poděkovat Ing. Jakubu Hubovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce, za vedení, zájem, připomínky a čas, který mi věnoval. Dále děkuji mé rodině a blízkým přátelům za pomoc a podporu během studia.

Prohlašuji, že předložená práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Veškerou literaturu a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpal, v práci řádně cituji a jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Dále prohlašuji, že odevzdaná bakalářská práce a elektronická verze nahraná do IS/STAG je totožná.

Ve Zlíně dne.....

.....

(podpis)

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ	12
1.1 DĚLICÍ ROVINA	12
1.2 TLOUŠŤKA STĚN	12
1.3 VÝZTUŽNÁ ŽEBRA	13
1.4 ZAOBLENÍ HRAN, ROHŮ A KOUTŮ	13
1.5 ÚKOSY	13
1.6 ROZMĚRY SOUČÁSTÍ.....	14
1.7 JAKOST POVRCHU	14
1.7.1 Matné plochy	14
1.7.2 Lesklé plochy	14
1.7.3 Dezénové plochy	14
1.8 SMRŠTĚNÍ.....	15
1.8.1 Výrobní smrštění	15
1.8.2 Dodatečné smrštění	15
2 VSTŘIKOVACÍ FORMY	16
2.1 NÁSOBNOST FORMY	16
2.2 VTOKOVÉ SOUSTAVY	16
2.2.1 Vtoky jednonásobných forem	17
2.2.2 Vtoky několikanásobných forem	17
2.2.3 Studené vtokové systémy	17
2.2.4 Horké vtokové systémy	18
2.3 TEMPERACE FORMY	18
2.3.1 Konstrukční požadavky	18
2.4 VYHAZOVCÍ SYSTÉMY	19
2.4.1 Vyhození vtokových zbytků	21
2.5 ODVZDUŠNĚNÍ FOREM	21
3 OPOTŘEBENÍ PLASTIKÁŘSKÝCH NÁSTROJŮ	22
3.1 ABRAZE.....	22
3.1.1 Analýza opotřebení	22
3.1.2 Účinky vnějších vlivů na opotřebení.....	24
3.1.2.1 Účinek zatížení	24
3.1.2.2 Účinek času	25
3.1.2.3 Účinek teploty	25
3.1.3 Mechanismy poškození	26
3.2 EROZE	27
3.3 KOROZE	28
4 ZVÝŠENÍ ABRAZIVNÍ ODOLNOSTI	29

4.1	KALENÍ	29
4.2	NITRIDACE A NITROKARBUNIZACE	29
II	PRAKTICKÁ ČÁST	31
5	STANOVENÍ CÍLŮ BKALAŘSKÉ PRÁCE	32
6	POUŽITÝ SOFTWARE	33
6.1	AUTODESK MOLDFLOW SYNERGY 2016	33
6.2	AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2018.....	33
7	VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK.....	34
7.1	MATERIÁL VÝROBKU	34
8	VSTŘIKOVACÍ STROJ	36
9	KONSTRUKCE FORMY	37
9.1	NÁSOBNOST FORMY	37
9.2	ZAFORMOVANÍ VÝROBKU.....	38
9.3	ODFORMOVÁNÍ.....	39
9.4	VTOKOVÝ SYSTÉM	40
9.5	ODVZDUŠNĚNÍ FORMY.....	42
9.6	TEMPERAČNÍ SYSTÉM.....	43
9.7	VYHAZOVACÍ SYSTÉM.....	44
9.8	OSTATNÍ KOMPONENTY	46
9.8.1	Středící kroužek	46
9.8.2	Vodící čepy a vložky.....	46
9.8.3	Nosné a dosedací prvky	46
9.8.4	Šrouby	46
9.9	POHYBLIVÁ STRANA FORMY.....	47
9.10	PEVNÁ STRANA FORMY	48
9.11	ZVÝŠENÍ ABRAZIVNÍ ODOLNOSTI.....	49
10	ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU	50
10.1	PROCESNÍ PODMÍNKY	50
10.2	VÝSLEDNÉ PARAMETRY CYKLU.....	50
10.3	ČAS PLNĚNÍ	52
10.4	UZAVÍRACÍ SÍLA	53
10.5	WELD LINES	53
10.6	VZDUCHOVÉ KAPSY	54
10.7	PREDIKCE KVALITY VÝROBKU.....	54
11	DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	56
	ZÁVĚR	57

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	58
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	60
SEZNAM OBRÁZKŮ	62
SEZNAM TABULEK.....	63
SEZNAM PŘÍLOH.....	64

ÚVOD

Polymery a jejich technologické zpracování se v posledních letech až desetiletích několikanásobně zvýšily a nabyly nepřehledné využití ve většině průmyslových odvětvích. Dříve byly polymerní materiály součástí jednoho odvětví chemie. Kvůli různému chemickému složení dostávají velké množství mechanických vlastností a mají širokou škálu použití. Dnes už si nikdo nedokáže představit život bez polymerů, které nás obklopují na každém kroku.

V současnosti je mnoho způsobů zpracování polymerních materiálů, avšak záleží na správné volbě výrobního a technologického postupu.

Nejrozšířenější technologií zpracování polymerů je vstřikování. Jedná se o proces, který je založený na neustálém cyklickém opakování, jehož čas může být od pár sekund až po několik minut. Vstřikování je jeden z vysoce produktivních procesů, jenž je schopen vyrábět rozmanité množství dílů přes díly s hmotností pár gramů až po díly s několika kilogramy.

Nejprve však před vyrobou dílu je nutné navrhnout a zkonstruovat vstřikovací formu. Každá navržená forma je jedinečná. Obsahuje nepřehledné množství komponentů, které vždy musí fungovat perfektně. Při návrhu a konstrukci formy nám pomáhají 3D softwary, jež mohou diagnostikovat a určit danou chybu ještě před výrobou formy. Kvůli tomu se ušetří spousta financí a vyhneme se výrobě vadných kusů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KONSTRUKCE VSTŘIKOVANÝCH VÝROBKŮ

Konstrukční návrh plastových součástí se řídí úplně jinými pravidly než návrh součástí kovových. Při návrhu musí konstruktér respektovat vše, co se při vstřikování plastového dílu může stát. K tomu potřebuje znalosti technologií vstřikování a zásady konstrukce plastových dílů. [1]

Pro výrobu plastových součástí platí určité hranice konstrukčních tvarů a jejich vlastnosti, které by neměly být porušeny, protože by mohlo dojít k problémům. Všeobecně platí: Čím máme jednodušší tvar součásti, tím lepší jsou její pevnostní podmínky, snazší dodržení rozměrů, lacinější forma a lehčí výroba plastových dílů. Avšak ve skutečnosti se musí najít ideální řešení mezi všemi požadavky. [1]

1.1 Dělicí rovina

Dělicí rovina vznikne v místě, ve kterém se při uzavření formy navzájem dotýkají nebo na sebe navazují pevné a pohyblivé části formy a zároveň se vytvoří tvářecí dutina při otevření formy. Dělicí rovina dělí dutinu formy. Musí být konstruována tak, aby na výrobku vznikala nejméně viditelná stopa. Při špatné uzavírací síle nebo chybné konstrukci formy může v dělicí rovině vzniknout přetok, nebo může nastat jev tzv. dýchání formy, který má za následek zvětšení rozměrů výstřiku ve směru otevření a uzavření formy. Dobře zvolené rozdělení dutiny formy je důležité pro vyhození a vyjmutí výstřiku. Dělicí roviny jsou ve většině případů kolmé ke směru uzavření a otevření formy. [6]

1.2 Tloušťka stěn

Při volbě tloušťky stěny výstřiku se musí kromě funkce výrobku přihlížet i k zatékavosti a délce dráhy toku polymeru. Čím delší má polymer dráhu toku, tím větší se musí zvolit tloušťka stěny výrobku. [6]

Pokud se musí z konstrukčního a funkčního hlediska zvolit tenké stěny výrobku, musí být provedeny úpravy technologických podmínek. Kupříkladu zvýšení teploty formy nebo teploty taveniny, volba polymeru s lepší dráhou toku, či použití více vtoku umístěných blíže těžišti výrobku. [6]

1.3 Výztužná žebra

Výztužná žebra mají funkci výztuže a zároveň technologickou funkci. Měla by probíhat ve směru toku taveniny a jejich rozměry musí být stanoveny předem podle přesně daných pravidel. Šířka žebor u kořene by neměla přesáhnout 4 až 6 desetin tloušťky stěny. Vstupní zaoblení by se mělo pohybovat v rozmezí 0,25 až 0,40 setin milimetru a jednostranný úkos by měl být od 0,5° do 1,5°. Příliš velká tloušťka žebor může způsobit propadnutí materiálu nebo deformaci kvůli vlivům vnitřního pnutí. Technologických žebor je využíváno hlavně u tenkostěnných výrobků s dlouhými dráhami toků. Slouží ke zlepšení toku taveniny dutinou formy, ale jejich průběh nesmí způsobit uzavření vzduchu v dutině formy nebo spálená místa na povrchu výrobku. [6]

1.4 Zaoblení hran, rohů a koutů

Zaoblení hran, rohů a koutů je využito v místech, kde se střetává několik ploch dohromady, nebo tam kde dochází ke změně toku taveniny. Kvůli tomu dochází k výraznému snížení odporů a tečení taveniny v dutině formy. V praxi z toho plyne, že je tímto nepřímo ovlivněno smrštění. Také nám usnadňují vyhazování výrobků z dutiny formy. [6]

1.5 Úkosy

Úkosy stěn jsou nejčastěji ve směru vyhazování výrobku z formy nebo také vysouvání jader a vyšroubování závitových trnů. Důležité je, že využití technologických úkosů je nejen u hlavních ploch, ale i u nálitků, žebor a v dírách. [6]

Velikost úkosu daného rozměru je dána tolerancí tohoto rozměru a je nutné ji mít vždy na paměti. [6]

Tab. 1 Doporučená velikost úkosů [1]

Úkos pro	Velikost úkosu
Vnější plochy	30' - 2° (1°)
Vnitřní plochy	30' - 3° (2°)
Otvory do hloubky 2 D	30' ÷ 1° (45')
Hluboké otvory	1° - 10°
Žebra, nálitky	1° ÷ 10° (3°)
Výstupky	2° ÷ 10°

1.6 Rozměry součástí

Rozměry součástí se určují dle potřebné funkce a dané vlastnosti plastu. Jsou jedním z důležitých ukazatelů jakosti. Neměli by být moc přesné, jelikož čím jsou přesnější, tím více rostou náklady na jejich dodržení. [1]

1.7 Jakost povrchu

Jakost povrchu patří mezi další důležité ukazatele výrobků z plastu. Pomocí vhodných úprav materiálu můžeme dosáhnout zvýšení estetického vzhledu součástí, ale také rozšíření jejich využití. Toho lze dosáhnout například dezénem či barevností. U výrobků můžeme dostat vhodný barevný odstín nebo ho můžeme nechat zcela průhledný. Můžeme také dosáhnout vyššího lesku nebo změny drsnosti povrchu. To vše závisí na povrchu dutiny formy. [1]

1.7.1 Matné plochy

Matné plochy jsou z hlediska výroby nejjednodušší, a proto jsou často voleny z důvodu snížení ekonomických nákladů. Mohou také zakrýt některé nedostatky, které vznikly při výrobě. [1]

1.7.2 Lesklé plochy

Lesklé plochy jsou velmi nákladné a náročné na výrobu. Musí se docílit velké přesnosti při výrobě dutiny formy. Na lesklém povrchu jde vidět každá chyba a všechny nedostatky vzniklé při výrobě. Avšak u mnoha plastů nelze získat lesklý povrch, ale pokud to jde, musí být předepsán daný stupeň lesku, kterého se chce docílit. [1]

1.7.3 Dezénové plochy

Dezénové plochy jsou velmi často použity k úpravě části výrobku nebo celého povrchu daného výrobku. Kvůli nim můžeme dosáhnout zvýraznění dané části výrobku, snadnější manipulaci nebo snížení průhlednosti. Podobně jako matné povrchy mohou zakrýt některé chyby ve výrobě. Problém je v jejich omezeném umístění ve formě. [1]

1.8 Smrštění

Smrštění se objevuje u všech plastů. Při vstřikování termoplastů je dáno, že původní rozměry ihned po vstříknutí jsou jiné, než rozměry naměřené po nějakém časovém intervalu a uložení ve skladu. Za tímto jevem většinou stojí právě smrštění nebo deformace.

- Smrštění – změna objemu při tuhnutí polymerních tavenin.
- Deformace – změna tvaru při zachování stejného objemu.

Smrštění může také způsobit propad a zborcení stěn. Za toto může pravděpodobně nejednotná tloušťka stěn. Mezi nejčastější faktory ovlivňující smrštění patří teplota, vlhkost a způsob odvzdušnění formy. [11]

1.8.1 Výrobní smrštění

Výrobní smrštění je rozdíl mezi rozměrem tvaru dutiny formy a rozměrem výstřiku. Tento rozdíl je udáván v procentech z rozměru formy. Hodnoty smrštění termoplastů a reaktoplastů, vyráběných vstřikováním, jsou různé a liší se průměrnou velikostí a rozptylem jednotlivých typů polymerů. V jistých případech a podle konstrukce formy mohou vzniknout vysoké hodnoty výrobního smrštění. [6]

1.8.2 Dodatečné smrštění

Ke změně rozměru pomocí dodatečného smrštění nebo také „dosmrštění“ dochází po vystavení výstřiku k zvýšené teplotě. Ovšem pod tímto pojmem může být i rozměrová změna, která proběhla v delším časovém období při konstantní pokojové teplotě. [6]

2 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Vstřikovací forma je nejdůležitější část vstřikovacího stroje, avšak není jeho pevnou součástí, lze ji měnit. Na její celkové konstrukci a přesnosti je závislá ekonomie výrobního procesu a také vlastnosti výrobku. Jejím úkolem je přivést taveninu do požadovaného tvaru, než se výsledný výrobek ochladí na teplotu k vyhození. To je stav, při kterém již nemůže dojít k porušení nebo zničení výrobku při jeho vyhození. Konstrukce formy je tvořena dle:

- a) tvaru výrobku
- b) typu stroje
- c) druhu vstřikovaného materiálu
- d) počtu kusů.

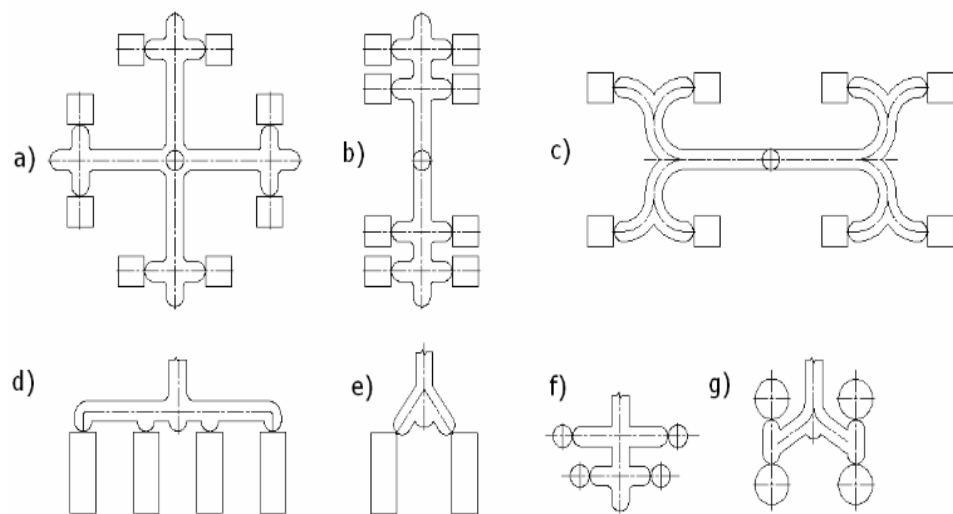
[8]

2.1 Násobnost formy

Násobnost formy udává, kolik výrobků je schopna forma vyrobit za jeden cyklus. Je důležité se zaměřit na dva parametry. Zaprvé kolik kusů je nutné vyrobit a zadruhé jaký čas na to bude potřeba. Důležité je, kolik kusů požaduje zákazník, a jak rychle je chce dodat. Jestli jde o několikanásobnou formu, budou náklady na její výrobu mnohonásobně vyšší než u formy jednonásobné. Je také třeba si dávat pozor, aby všechny dutiny formy byly shodné, aby nedošlo k nepřesnostem na výrobcích. Další parametry, které je třeba u vícenásobných forem vzít v úvahu, jsou provozní náklady, doba trvání vstřikovacího cyklu, přidržovací síla formy, poměr nákladů na výrobu jednonásobné a několikanásobné formy. [8]

2.2 Vtokové soustavy

Vtoková soustava je tvořena jedním nebo více vtokovými kanály, které vedou ze vstřikovací trysky až do dutiny formy. U několikanásobných forem je třeba počítat s tím, že se vtokové kanály musí přizpůsobit tak, že tavenina doteče do všech dutin formy najednou. Forma by měla být konstruována tak, aby byl vhodně umístěn vtok z důvodu lepšího odformování výrobku. Důležité je zmenšení objemu vtoku na nejmenší hodnotu, i když se jedná o odpad. [8]



Obr. 1. Příklad rozmístění vtokových kanálků [1]

2.2.1 Vtoky jednonásobných forem

Je to pouze jediný vtok ústící do dutiny formy. Nejpoužívanějším vtokem je vtok kuželový, kvůli své jednoduchosti. Nevýhodou těchto vtoků je jejich složitější odstranění, a proto se jako řešení tohoto problému použije přídržovač vtoku, aby oddělil vtokový zbytek od výrobku. Můžeme také využít vyhazovač vtoků či třídeskový vyhazovací systém. [8]

2.2.2 Vtoky několikanásobných forem

U několikanásobných forem nelze použít pouze jeden vtok, jelikož by si s ním daná forma nevystačila. Musíme tedy zvolit jiný vtokový systém, jehož úkolem je dostat polymer do všech dutin formy. Několikanásobné formy jsou zejména použity pro malé výrobky, u nichž se dá využít potenciál stroje při velkosériové výrobě. [7]

2.2.3 Studené vtokové systémy

Studený vtok obsahuje několik částí, které slouží k transportu taveniny do dutiny formy. Jsou to například vtokový kanál nebo vtokové ústí. Problém u těchto vtokových systémů je, že tavenina téměř okamžitě po vstřiku začne tuhnut na stěnách, a proto by měla být jejich délka co nejmenší. Kvůli tomu dojde ke zmenšení odpadu, který se dá částečně recyklovat. Polymer prochází do dutiny formy přes vtokové ústí, které může mít několik tvarů. Výhodou studených vtokových systémů je jejich ekonomická stránka oproti horké-

mu vtokovému systému, jež se musí vyhřívat. Nevýhodou je však značná spotřeba plastu, dále také nutnost přidržovačů vtoku a zajištění zbytku od výrobku. [9]

2.2.4 Horké vtokové systémy

Horký vtok je oproti studenému podstatně složitější. Je složen s vyhřívaných součástí, které mají za úkol udržet správnou teplotu taveniny až do doby jejího vstřiku do dutiny formy. Dvěma hlavními částmi jsou rozvodný blok a vyhřívané trysky. Povinností rozvodného bloku je dostat roztavený polymer do všech trysek. Vyhřívané trysky dále taveninu rozvádějí do dutin formy. Horké vtokové systémy se dělí na dva typy. S vnitřním nebo vnějším vyhříváním. Výhodou horkých vtokových systémů je velmi krátká doba cyklů. Dále nevzniká žádný odpad jako u studených vtoků. Nepotřebují vtokový kanál. Mají vlastní nastavení teploty, které se dá upravit podle použitého polymeru. Nevýhodou je celková složitost formy, z čehož plynou i vysoké výdaje za její pořízení. Na rozdíl od studených vtoků je jejich provoz ekonomicky náročnější. [9]

2.3 Temperace formy

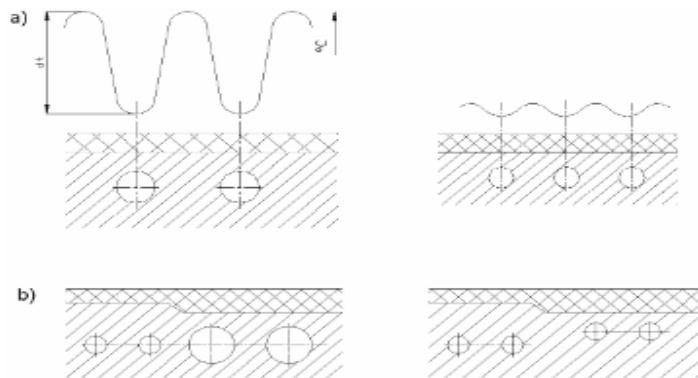
Temperace formy je jedním z hlavních parametrů ovlivňující výrobek. Má vliv na kvalitu součásti, její povrch, ekonomiku a také smrštění. Pomocí správné volby temperačního systému a proudícího média lze dosáhnout požadované kvality, přesných rozměrů, kvalitního povrchu a minimální deformace výrobku. Můžeme také zkrátit vstřikovací cyklus anebo celkové náklady na výrobu. [8]

Dle použitého typu plastu je forma nahřívána na správnou teplotu – temperována. Jako chladící médium může být použita voda, ale pouze do 120 °C, poté je nahrazena olejem. Pro správné temperování a chlazení formy kapalným médiem se musí správně vyřešit konstrukce systému temperovacích kanálků. [8]

2.3.1 Konstrukční požadavky

Ke zlepšení temperace je vhodné volit vyšší počet kanálků s menším průměrem než nižší počet s větším průměrem. Výhoda je v celkovém rozložení teploty na povrchu tvárníku a tvárnice. Temperační kanálky by měly být rozmístěny nejbližší k dutině formy, avšak ne tak blízko, aby nedošlo k narušení pevnosti její stěny. Správně musí být kanálky umístěny v celém okolí dutiny formy, aby bylo chlazení rovnoměrné na všech místech. Kanálky mu-

sí být vhodně udělány, aby neobsahovaly slepá místa a nedocházelo v nich k počátkům koroze. Poloměr kanálek je od 2,5 mm až do 3 mm. [2]



Obr. 2. Vliv rozmístění temperačních kanálek [2]

2.4 Vyhazovací systémy

Vyhazovací systémy jsou určeny k bezpečnému odformování výrobku z formy po jejím otevření. Musí být dodržena správná volba vyhazovacího systému, aby nedošlo k deformaci či zničení výrobku.

Druhy vyhození:

- a) vyhazovacími kolíky
- b) stírací deskou
- c) pneumaticky
- d) speciálním způsobem
- e) ručně.

[8]

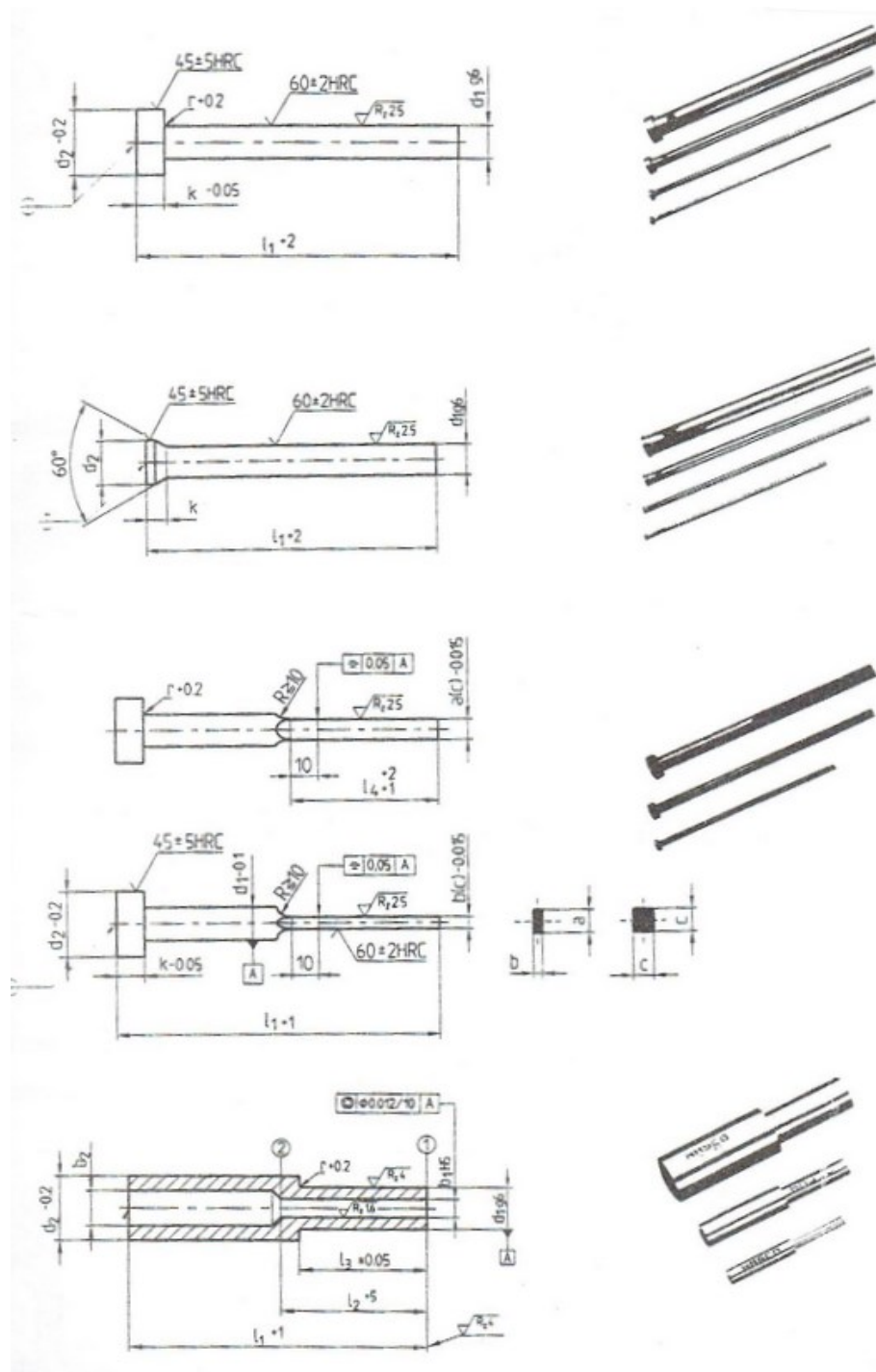
Jakmile dojde k vytlačení, výrobek pouze pomocí gravitace spadne do prostoru pod formou. Ihned po vyhození se opět forma zavře a znovu probíhá vstřikovací cyklus. K zasunutí vyhazovacího systému může dojít buď vlivem uzavírání formy nebo působením hydraulického či elektrického pohonu.

Podmínky pro správnou volbu vyhazovače:

- a) správné vyhození výrobku
- b) vyhození výrobku bez poškození nebo deformace
- c) oddělení vtokového zbytku od výrobku

d) oddělení vtokového zbytku z formy.

[8]



Obr. 3. Vyhazovací kolíky [2]

2.4.1 Vyhození vtokových zbytků

Při stále se opakujícím cyklu formy je nutné, aby byl vždy vyhozen i vtokový zbytek a nezůstal ve formě. Někdy se to může stát kvůli špatné volbě vtoku a jeho malé kuželovitosti nebo nesprávnému dosednutí vstříkovací trysky. Tato chyba je zejména u velmi viskózních polymerů (například u polyamidů). [8]

Řešení vyhození vtokového zbytku:

- a) vložky vyhazovače a vtokový zbytek s podkosem
- b) vyhazovače a vtokový zbytek se zářezem
- c) vložky tahače a vtokový zbytek s rybinou
- d) vyhazovače s kuličkou
- e) vtokové zbytky, tahače s vybráním a kuželem.

[8]

2.5 Odvzdušnění forem

Když dochází ke vstříknutí polymeru do dutiny formy, musí být odveden všechen vzduch. K tomu účelu slouží odvzdušňovací kanálky, které jsou použity v případě, že vzduch nemůže být odveden pryč skrz desky nebo vyhazovací systém. Pokud by v těchto případech nebyly tyto kanálky použity, může dojít k nedostříknutí vzduchovým bublinám či spáleným místům na výrobku. [8]

Skoro vždy jsou tyto kanálky ploché a velmi malé, aby nedošlo k zatečení polymeru. Jejich průměr je v rozmezí 0,05 mm až 0,1 mm. Poloha kanálku je volena pomocí simulace v počítačovém softwaru, a to pouze na místa, kde se mohou vyskytnout vzduchové bubliny nebo stlačený vzduch. [8]

3 OPOTŘEBENÍ PLASTIKÁŘSKÝCH NÁSTROJŮ

Vstřikování plastů je jednostupňový výrobní proces pro plastové díly, které vyžadují velmi přesné rozměry, geometrii a nízkou drsnost povrchu (R_a 0,2-0,025 μm). Vysoká cena forem (obvykle nad 100 000 EUR) a nepříjemné opotřebení jejich dutin může omezit konkurenceschopnost procesu. Výskyt jevů jako abraze, eroze a koroze zahrnuje přerušení výroby, reparaci formy, a dokonce změnu vstřikovaného materiálu a obnovení parametrů procesu vstřikování. Tento problém předpokládá nadměrnou cenu a plýtvání zdroji (např. surovinou a energií). Náklady spojené s odstavením vstřikovacího stroje mohou dosáhnout až 3000 EUR/den. [10]

3.1 Abraze

Během formování polymerů s abrazivními plnivými dochází ke značnému opotřebení většiny částí vstřikovací jednotky stroje, tak i k nezanedbatelnému poškozování dutiny formy. V boji proti tomuto jevu se používají povlaky a povrchové úpravy. V typickém vstřikovacím stroji je surovina ve formě sypkých granulí přiváděna pomocí šneku z násypky. Z počátku je tlačena do tavicí komory, kde je zahřívána a roztavena. Šnek je tedy ve styku s pevným, polotaveným a roztaveným polymerem. Abrazivní opotřebení nastává, když jsou tvrdá plniva v polymeru přitlačována a kloužou proti povrchu šneku. Vlastnosti tohoto oděru se mění v důsledku různých kontaktních situací podél hlavně šneku. Kromě toho může šnek v hlavní vibrovat, což vede ke vzájemnému kontaktu kov-kov a dojde tak k nárazovému opotřebení. Koroze šneku v blízkosti trysky je také možná, jelikož jeho teploty se mohou zvýšit až ke 250 °C, v závislosti na zpracovávaném polymeru. Nejzávažnější abrazivní opotřebení ovšem může nastat při vstřiku roztaveného polymeru do dutiny formy, jelikož může docházet k vytvoření jamek nebo znehodnocení celého povrchu dutiny formy. Z důvodu těchto opotřeбенí bylo navrženo několik speciálních abrazivních povlaků, které snižují jejich míru. Například se jedná o diamantový uhlíkový povlak nebo se používají hybridní povrchové úpravy, mezi které se kupříkladu řadí implantace nitridované oceli s ionty dusíku. [3]

3.1.1 Analýza opotřebení

Analýza opotřebení slouží k zjištění rozsahu poškození na testovacím ocelovém kole, které vzniká použitím abrazivních plniv. K hodnocení míry opotřebení každého vzorku se pou-

živá měření úbytku hmotnosti a opotřebeného objemu. Před měřením je důležité, aby se vzorky důkladně očistily ultrazvukem a v acetonu, neboť se tyto parametry musí změřit přesně. Měření ztráty hmotnosti je obvykle velmi přesné, ale není tomu tak u zkoušek při 200 °C a vyšších, protože roztavený polymer je zachycen v pórech, mikrostruktuře a prasklinách. Nelze je odstranit ultrazvukem ani v řadě rozpouštědel, a proto je nezbytné měřit opotřebený objem pro lepší hodnocení míry opotřebení. Pokud se předpokládá, že opotřebení má válcovou geometrii s maximální hloubkou, která je mnohem menší než poloměr rotujícího ocelového kola, je opotřebený objem dán vztahem:

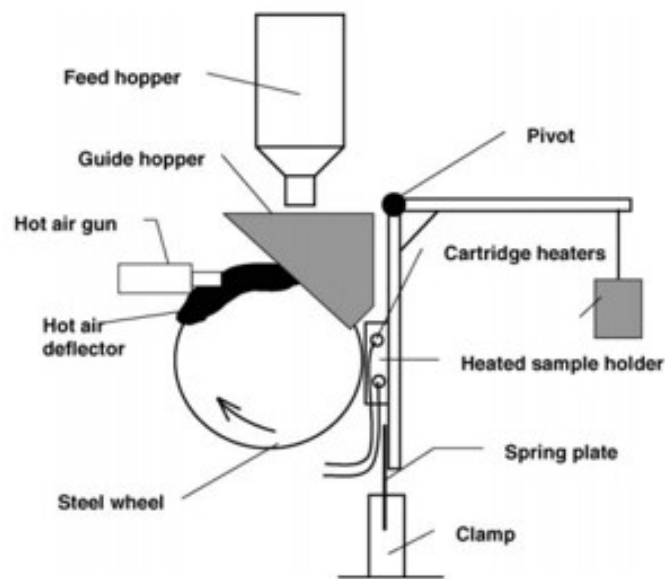
$$V = Ld(d(2R - d))^{0,5} \quad (1),$$

kde L je šířka šrámu a R je poloměr ocelového kola. Protože je drsnost většiny povlaků a povrchových úprav používaných ve vstřikovacích strojích dostatečně velká, tudíž opotřebení je velmi nerovnoměrné po celém poškození (ve většině případů mohou být také vytvořeny hluboké škrábance), zavádí se proto definice efektivního šrámu (poškození). Hloubka, která průměruje druhy poškození od poškrábání po hluboké šrámy. Profilometr se používá k měření parametrů, drsnosti R_a a R_p , podél osy šrámu (opotřebení kolmé na směr posuvu, jelikož se zde očekává největší opotřebení). Je dáno, že hloubka opotřebení D, je menší než poloměr ocelového kola. Efektivní šrám je tedy dán vztahem dvou různých rovnic v následujících případech:

- a) v případě, že není příliš mnoho opotřebení, jsou drsnosti ve šrámu vyrovnány vzhledem k profilu a parametr, drsnost R_a , má snižující tendenci. Hloubka opotřebení D je dána vztahem $d = R_{a(\text{počáteční})} - R_{a(\text{finální})}$ (2);
- b) v případě, že dojde k nadměrnému opotřebení, parametr, drsnost R_a , má tendenci se zvyšovat a předchozí metoda již není platná. Musíme tedy zavést další parametr, drsnost R_p , což je míra přemístění střední polohy profilu z nakreslené čáry pomocí nejvyšších vrcholů v profilu, na které lze použít hloubku opotřebení d. Pokud zvolíme profil, který zahrnuje oblasti mimo opotřebení, způsobí pohyb střední čára, která udává průměrnou recesi opotřebovaného povrchu během opotřebení. Máme tedy: $d = R_{p(\text{finální})} - R_{p(\text{počáteční})}$ (3).

[3]

Z toho vyplývá, že pokud je kladná hloubka opotřebení dána rovnicí (2), tak záporná hloubka opotřebení je dána rovnicí (3) a naopak. [3]

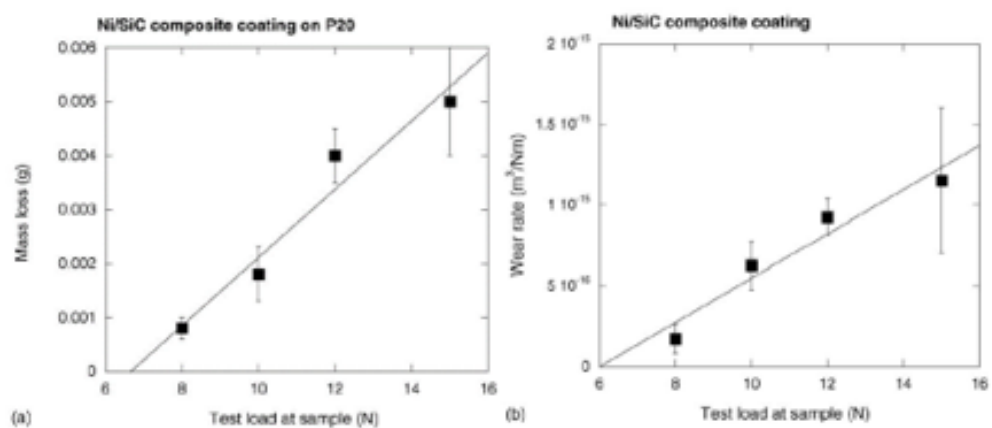


Obr. 4. Testovací ocelové kolo [3]

3.1.2 Účinky vnějších vlivů na opotřebení

3.1.2.1 Účinek zatížení

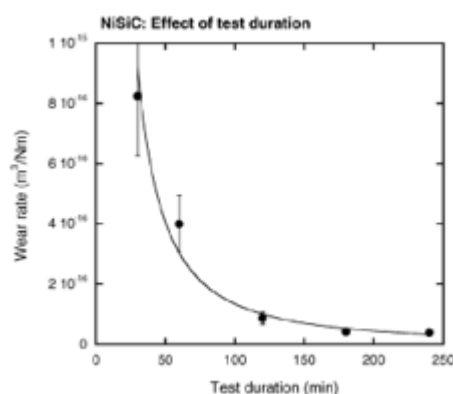
Pokud se zvýší tlak ve šneku nebo při vstříkávání do dutiny formy potažené abrazivním povlakem při pokojové teplotě, dochází poté k růstu úbytku hmotnosti a opotřebovaného objemu, nebo také ke zvýšení kontaktu kov-kov. Tento efekt je nežádoucí, a proto je ideální udržení konstantního zatížení. [3]



Obr. 5. Úbytek hmotnosti a opotřebovaný objem povlaku Ni/SiC [3]

3.1.2.2 Účinek času

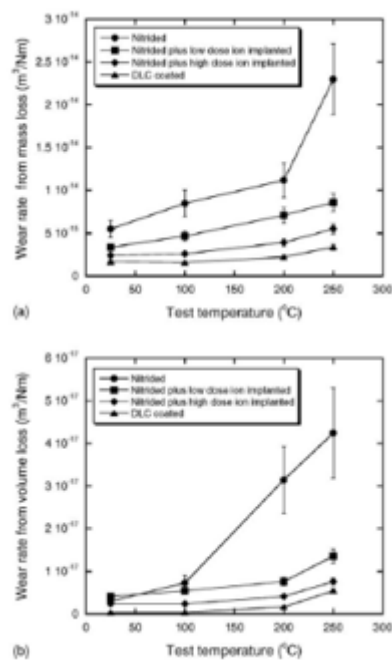
U všech abrazivních materiálů je míra opotřebení zpočátku velká, ale po určité době se usadí. Změna míry opotřebení je doprovázena dramatickými změnami povrchové topografie opotřebení šrámu. U hladkých povrchů, jako je Ni/SiC, dochází k drsnějšímu opotřebení a míra opotřebení se stabilizuje, když drsnost dosahuje ustáleného stavu. U drsnějších povrchů je často pozorován opačný trend a drsnost je snižena, protože během testu se drsnosti leští. Toto chování určuje, která ze dvou metod analýzy opotřebení se používá ke stanovení míry opotřebení. [3]



Obr. 6. Míra opotřebení povlaku Ni/SiC [3]

3.1.2.3 Účinek teploty

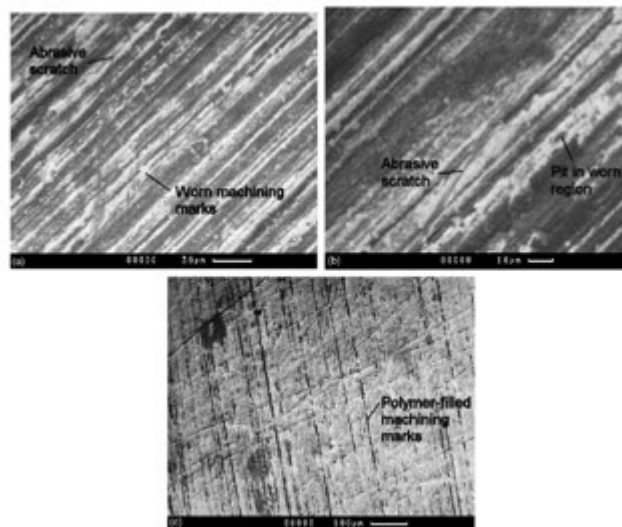
Míra opotřebení se zvyšuje s teplotou, ať už se měří ztrátou hmotnosti nebo ztrátou objemu. Ve většině případů se provádí hybridní iontové povrchové úpravy, které jsou lepší než jednoduchý abrazivní povlak. Výkon se zlepšuje tím, jak se zvyšuje dávka iontové implantace. Nejlepší celkový výkon je dosažen u povlaku dusíkových iontů s konvenční nitridací na nitridovanou ocel. Míra opotřebení je stanovená z hmotnostní ztráty a je významně vyšší, než ztráta stanovená ze ztráty objemu. Existuje několik příčin tohoto rozporu, ale největší vliv mají zbytky polymerů ulpívající na ocelovém kole, jež ovlivňují obě měření a snižují naměřenou míru opotřebení, protože úbytek hmotnosti je malý ve srovnání s hmotností ocelového kola. Při nízkých teplotách (méně než 200 ° C), málo nebo vůbec dochází k roztavení polymerních pelet a opotřebení je způsobeno neroztavenou peletou, která klouže kolem zkušební vzorku. Pouze skleněná vlákna na povrchu pelety mohou mít vliv v procesu opotřebení za těchto podmínek. Při vyšších teplotách se pelety roztaví a jsou stlačeny proti zkušebnímu povrchu. To umožňuje odkrytí vláken z celé části pelety. Zkušební povrch se více setkává s brusivem skla a za těchto podmínek je opotřebení vyšší. [3]



Obr. 7. Vliv teploty na opotřebení hybridního iontového povrchu [3]

3.1.3 Mechanismy poškození

U všech povrchů je hlavní opotřebení mikroabraze a mikrofraktury. Na povlacích jsou pozorovány drážky překračující obráběcí značky, které obsahovaly malé množství skleněných zbytků, což potvrzuje důležitost skleněné výplně způsobující abrazivní opotřebení na povrchu. Malé jamky se mohou vytvářet také mikrofrakturou povrchu v hladkých oblastech na opotřebovaném povrchu obráběcí značky. Jejich výskyt je častější, pokud je větší stupeň nárazu, což je dáno v reakci na tahové napětí generované na povrchu tahy z roztavených pelet. Tyto jamky se netvoří ve velkém počtu a vznikají až po delší době, což naznačuje, že pravděpodobně existuje únavová složka k jejich tvorbě. Hlavní rozdíl v mechanismu poškození pro povrch potažený abrazivním povlakem nebo hybridní povrchovou úpravou je skutečnost, že tvorba jamek byla téměř eliminována. Abrazivní povlak uděluje povrch s nízkým třením, který snižuje třecí trakce. Polymerní pelety sklouznou kolem zkušebního povrchu. Povrch při normálním zatížení potvrzuje nízké tření. Nicméně nízké tření nezastaví některé roztavené polymery ve značkách obrábění, což je téměř nemožné odstranit. Nějaká fragmentace potahu podél brusných drážek nastává, ale na mnohem menším měřítku ve srovnání s jamkami, které mohou vznikat. [3]



Obr. 8. Vliv skleněných vláken na povrchu bez abrazivního povlaku [3]

3.2 Eroze

Současnou výzvou materiálů pro vstřikovací formy je odolávání vysokým vstřikovacím tlakům (> 100 bar) a teplotám polymerů a přísad. To je důležité, protože polymer obsahuje skelná vlákna, která jsou velmi tvrdá a drsná, což vede ke značnému opotřebení formy. Podobné přísady, jako je oxid titaničitý (TiO_2), používané jako bílý pigment, mohou vyvolávat problém. Tento druh přísad může vést k různým druhům opotřebení. Nejdůležitějším z nich je eroze v oblastech formy, kde dochází k čelnímu nárazu plastového toku, nebo eroznímu mechanismu, když je tok rovnoběžný s povrchem formy. Z toho lze vyvodit, že jevy závisí hlavně na umístění ve formě v důsledku proměnlivého pohybu toku ve složité geometrii, podmínkách vstřikování a vlastnostech formovaného materiálu. [10]

Pro erozi byl vytvořen model pro kvantifikaci opotřebení forem. Výstupy potřebné pro tento model jsou povrchová tvrdost materiálu formy, rychlost toku taveniny a tlak. Pro výpočet cyklů do selhání formy by měl být proveden předpoklad trvání nárazového toku na povrch formy v sekundách. Kromě toho musí být definována maximální akceptovatelná hloubka opotřebení formy před její výměnou. Pro specifické použití vstřikovací formy je hloubka opotřebení pravděpodobně kritickým parametrem, protože tyto defekty budou zkopírovány do vstřikované části. Závislost rozsahu opotřebení na rychlosti, úhlu nárazu a tvrdosti může být zapsána v rovnici takto:

$$W_{Hmax} \left(\frac{\mu\text{m}}{h} \right) = (607,68 + 10,27\alpha + 12,09\vartheta + 0,1\alpha\vartheta - 0,13\alpha^2)(33,24 - 4,92 \ln H)$$

W_{Hmax} : maximální míra opotřebení ve středu erodované oblasti v $\mu\text{m/h}$, ϑ : rychlost toku v m/s (platí od 32 do 64 m/s. Hodnota rychlosti je nezbytná pro kalibraci modelu), α : úhel nárazu ve $^\circ$ (platný od 15° do 90°), H: tvrdost v HV (platí od 200 do 900 HV. Nad 900 HV se neočekává žádné opotřebení).

Regresní koeficient analýzy variace modelu je: $R^2=0,9811$. [10]

3.3 Koroze

Přehřátí plastových materiálů může vést k uvolňování plynu, což má za následek místní korozi formy. Pokud jde o chemické složení polymerů, může polyamid (PA) uvolňovat NH_3 a polyvinylchlorid (PVC) uvolňuje kyselinu chlorovodíkovou (HCl). Přísady jako retardéry hoření obvykle obsahují halogeny (F, Cl, Br), které mohou uvolňovat odpovídající kyseliny, které jsou vysoce korozivní pro ocelové formy. [10]

Bylo zjištěno, že koroze materiálů formy závisí na charakteristikách povrchu. Riziko výskytu koroze na povrchu formy je dána tabulkou. Tabulka používá jako referenční počet: počet cyklů potřebných ke korozi formy. Bezpečnostní faktor je dán takto:

$$\text{Bezpečnostní faktor} = \frac{\text{měřený } R_p \text{ povrchu (ohm)}}{\text{měřený } R_p \text{ referenčního materiálu (ohm)}}$$

Kde R_p je odolnost proti korozi získaná elektrochemickými testy koroze v ohmech. [10]

Safety factors referred to the basic BM steel for PIM solutions.

Mould material	Safety factor
BM steel	1.00
HH steel	0.69
Ni-PTFE on BM	5.48
Ni-PTFE on HH	10.47
Salt Nitriding on BM	0.75
Salt Nitriding on HH	31.05
Ionic Nitriding on BM	0.38
Ionic Nitriding on HH	0.62
TiN on BM	2.89
TiN on HH	6.20

Obr. 9. Bezpečnostní faktor vybraných materiálů [10]

4 ZVÝŠENÍ ABRAZIVNÍ ODOLNOSTI

Ocelové formy, které se používají pro vstřikování plastů, se považují za nejdůležitější průmyslové výrobky, u kterých má výběr druhu zpracování a následné zpracování materiálu důležitý vliv na výkon a životnost forem. Opotřebení je jedním z nejdůležitějších problémů životnosti plastových vstřikovacích forem nejen kvůli pohybům části formy, ale i toku polymerního materiálu. Navíc jsou polymery často vyztuženy tvrdými abrazivními vlákny, což může způsobit vážné opotřebení a selhání formy. Běžně používaná ocel se výrazně opotřebovává kvůli polymerním materiálům, proto se musí nahradit ocelí zušlechťenou kalením či nitridací. [5]

4.1 Kalení

Velikost poškození způsobeného vtačením vláken do nástrojové oceli se snižuje se zvyšující se mezi vytíženosti nebo tvrdosti nástrojové oceli, aby se minimalizovalo opotřebení. Používá se kalení nástrojové oceli i povrchové úpravy. Křehké povlaky a klasická ocel se snáze odlomí či zlomí a vytvoří tvrdé úlomky, které mohou způsobit další závažné abrazivní poškození povrchu, z tohoto důvodu bylo vyvinuto speciální integrované nastavení laserového kalení. Toto nastavení umožňuje provádět měkké obrábění, kalení a v případě potřeby tvrdé dokončování v rámci jedné sestavy stroje. Pomocí operace laserového kalení se na samotném obráběcím centru vstřikovací tryska pro vstřikování polymeru vytvrdí až nad 84 HRC. Klasická nástrojová ocel v dutině formy se obvykle kalí na 52 HRC, avšak díky mnohem vyšší rychlosti chlazení dosahované při laserovém kalení lze dosáhnout mnohem vyšších hodnot tvrdosti. Toto integrované laserové kalení umožňuje nejen kalení na míru (mohou být kaleny jen zóny náchylné k opotřebení), ale také se mu daří dosáhnout vyšších hodnot tvrdosti, což vede ke zlepšení matrice a životnosti formy. [4]

4.2 Nitridace a nitrokarbunizace

Tyto tribologické problémy mohou být řešeny vhodnou technikou úpravy povrchu, jako je nitridace nebo nitrokarbunizace, které se široce využívají ke zlepšení tribologických vlastností povrchu kovu. Dostupných je několik nitridačních systémů, kde přívod dusíku může probíhat v kapalných, kontrolovaných a plynných nebo plazmatických prostředích. Při procesu nitridace plynem se plynný dusík zavádí do ocelového povrchu ohřátého na teplotu mezi 495 °C a 565 °C. Podobný proces jako nitridace plynem využívá nitridace na fluid-

ním loži a pec s fluidním ložem, kde se jako zdroj dusíku používá plynný amoniak. Plazmová nebo iontová nitridace je prodlouženým procesem nitridace plynu, při které je využita vysokonapěťová elektrická energie k vytvoření plazmy ve vakuu. Dusík může pronikat a difundovat do povrchu oceli kvůli žhavému výboji. Nitrokarbunizace na druhé straně zahrnuje nejen difuzi dusíku, ale i difuzi uhlíku, která se obvykle provádí při teplotách mezi 560 °C a 580°C. Přestože plazmová a iontová nitridace se stává populární kvůli životnímu prostředí, každý proces má své výhody a nevýhody. Během nitridačního procesu se na oceli vytvářejí dvě odlišné struktury. Těmi jsou složená a difúzní vrstva. Složená vrstva časem, složením plynu a teplotou zhoustne a stane se velmi pevnou a křehkou. Difúzní vrstva na druhé straně obsahuje stabilní nitridy. Výsledkem této struktury je nitridační proces, který zlepšuje odolnost proti opotřebení, korozní a únavovou odolnost materiálu.

[5]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 STANOVENÍ CÍLŮ BAKALAŘSKÉ PRÁCE

V bakalářské práci byly stanoveny tyto cíle:

- Vypracování literární studie na dané téma se zaměřením na zpracování plněných systémů.
- Provedení konstrukce 3D modelu vstřikovaného dílu.
- Vytvoření konstrukčního návrhu vstřikovací formy ve 3D pro zadaný plastový díl.
- Nakreslení řezu sestavy formy a příslušné pohledy včetně kusovníku.

Teoretická část bakalářské práce se skládá ze čtyř tematických okruhů. Každý okruh je dále dělen a je v něm rozepsána daná problematika. První část se zabývá konstrukcí vstřikovaných výrobků a konstrukcí forem, poslední část rozebírá opotřebení plastikářských nástrojů a zvýšení abrazivní odolnosti.

Praktická část je zaměřena na konstrukci vstřikovaného modelu pomocí 3D softwaru. Výrobek byl vytvořen jako experimentální kryt čerpadla u automobilu. Další náplní praktické práce je samotná konstrukce vstřikovací formy v libovolném 3D CADU. Pro návrh byl vybrán Autodesk Inventor Professional 2018.

6 POUŽITÝ SOFTWARE

V praktické části bylo využito programu Autodesk Moldflow Synergy 2016 ke zhotovení vtokových analýz a k určení vhodného umístění vtoků. Pro návrh modelu výstříku a vstříkovací formy byl zvolen Autodesk Inventor Professional 2018.

6.1 Autodesk Moldflow Synergy 2016

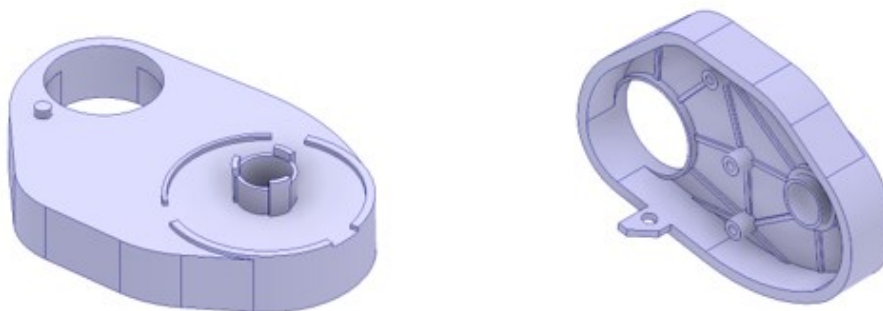
Autodesk Moldflow je simulační program poskytující možnost vyhodnotit, upravit a optimalizovat konstrukci plastových dílů, ale i konstrukci vstříkovacích forem. Pomocí predikce chování polymeru uvnitř dutiny formy slouží k předcházení potencionálních vad na výstříku. Součástí Autodesk Moldflow Synergy je také databáze s více než 8500 materiály, které lze využít pro technologie vstříkování.

6.2 Autodesk Inventor Professional 2018

Software Autodesk Inventor nabízí kompletní sadu nástrojů k produkci a dokumentaci daných výrobků. Model aplikace Inventor je 3D digitální prototyp, který pomáhá uživateli se simulacemi a analýzami a díky nim uživatel zjistí, jak bude návrh fungovat v reálných podmínkách. Autodesk Inventor obsahuje také tzv. obsahové centrum, v němž se nachází statisíce normalizovaných součástí, které můžeme využít ke konstrukci daných výrobků.

7 VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK

Navrhovaným výrobkem je experimentální kryt palivového čerpadla u automobilu. Pro analýzy byl díl upraven o malé zaoblení, aby se snížila jeho složitost a program zvládl lépe analýzy vyhodnotit.



Obr. 10. Vstřikovaný výrobek

7.1 Materiál výrobku

Pro daný díl byl vybrán materiál polyamid (PA66) s obchodním názvem Krailon M107. Výrobce je italská společnost Cobraplast S.P.A. Hlavním důvodem jeho zvolení je obsah vláken skla a carbonu, které budou zaručovat požadované vlastnosti výrobku. Mezi vlastnosti tohoto materiálu patří vysoká pevnost, je odolný pro mnoho tuků, olejů a paliv, má dobré vlastnosti proti opotřebení a teplotní stálost. Je to ideální materiál pro použití v automobilovém průmyslu a velmi dobře se hodí pro daný výrobek.

Tab. 2 Charakteristika Krailon M107

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka
Index toku taveniny 229 °C/1,064 kg	6,661	g/10min
Pevnost v tahu	5441	Mpa
Modul pružnosti	10926	Mpa
Prodloužení	0,48	%
Obsah carbonových vláken	18	%
Obsah skelných vláken	20	%
Hustota	1,31	g/cm ³
Objemová hustota	1,48	g/cm ³

Tab. 3 Doporučené zpracování

Doporučené zpracování	Teplota
Teplota povrchu formy	130 °C
Teplota taveniny	275 °C
Rozsah teploty formy	125 °C – 135 °C
Rozsah teploty taveniny	250 °C – 300 °C
Maximum teploty taveniny	310 °C
Teplota vyhození	216 °C

8 VSTŘIKOVACÍ STROJ

Pro volbu vstřikovacího stroje platí určitá pravidla. Základním pravidlem je vybírat ze strojů, které firma vlastní a používá je. Z tohoto důvodu musí být forma správně konstruována přímo na daný a zvolený typ stroje, jelikož pořizovací cena formy je mnohonásobně nižší než u vstřikovacího stroje. Parametry stroje jsou kromě velikosti formy také uzavírací síla, vstřikovací tlak a další.

Dle rozměrů a požadavků formy byl vybrán vstřikovací stroj od firmy ARBURG. Jde o stroj ALLROUNDER 470 E.



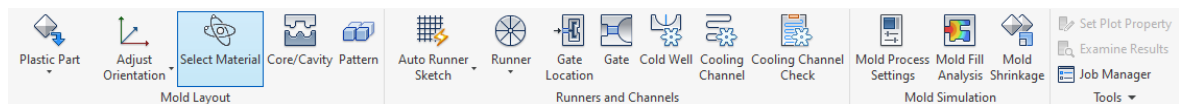
Obr. 11. Obrázek vstřikovacího stroje ALLROUNDER 470 E [12]

Tab. 4 Technické parametry stroje [12]

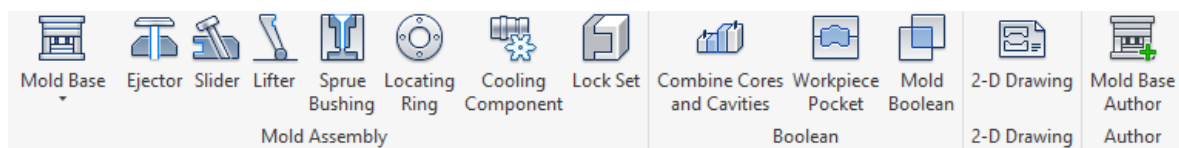
ARBURG ALLROUNDER 470 E	
Vzdálenost mezi sloupky	470 mm x 470 mm
Uzavírací síla max.	1000 kN
Otevírací zdvih	350 kN
Výška formy min. - max.	250 mm – 500 mm
Maximální hmotnost poloviny formy	760 kg
Vyhazovací síla max.	40 kN

9 KONSTRUKCE FORMY

Pro konstrukci součástí byl zvolen Autodesk Inventor Professional 2018. Při konstruování formy bylo nejdůležitějším krokem vytvoření tvárníku a tvárnice vstřikovací formy, jelikož udávají výsledný tvar výrobku, v modulu Mold Design. Zde, po vložení předem připraveného dílu, byly zvoleny základní parametry a přesné požadavky dutiny formy.

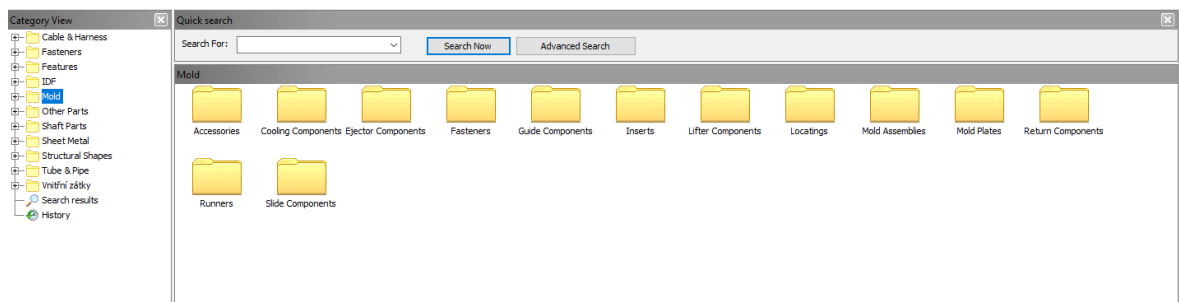


Obr. 12. Nástroje ke konstrukci dutiny formy



Obr. 13. Nástroje ke konstrukci formy

Mnoho součástí použitých ke konstrukci je vloženo z Content Centre. Tento panel obsahuje normalizované díly od různých výrobců. Zásadní výhodou volby součástí z tohoto panelu jsou předem dané jejich rozměry, které se potom nemusí vyrábět přesně na míru. To je zásadní rozdíl, jenž šetří čas a peníze při modelování.



Obr. 14. Content centre

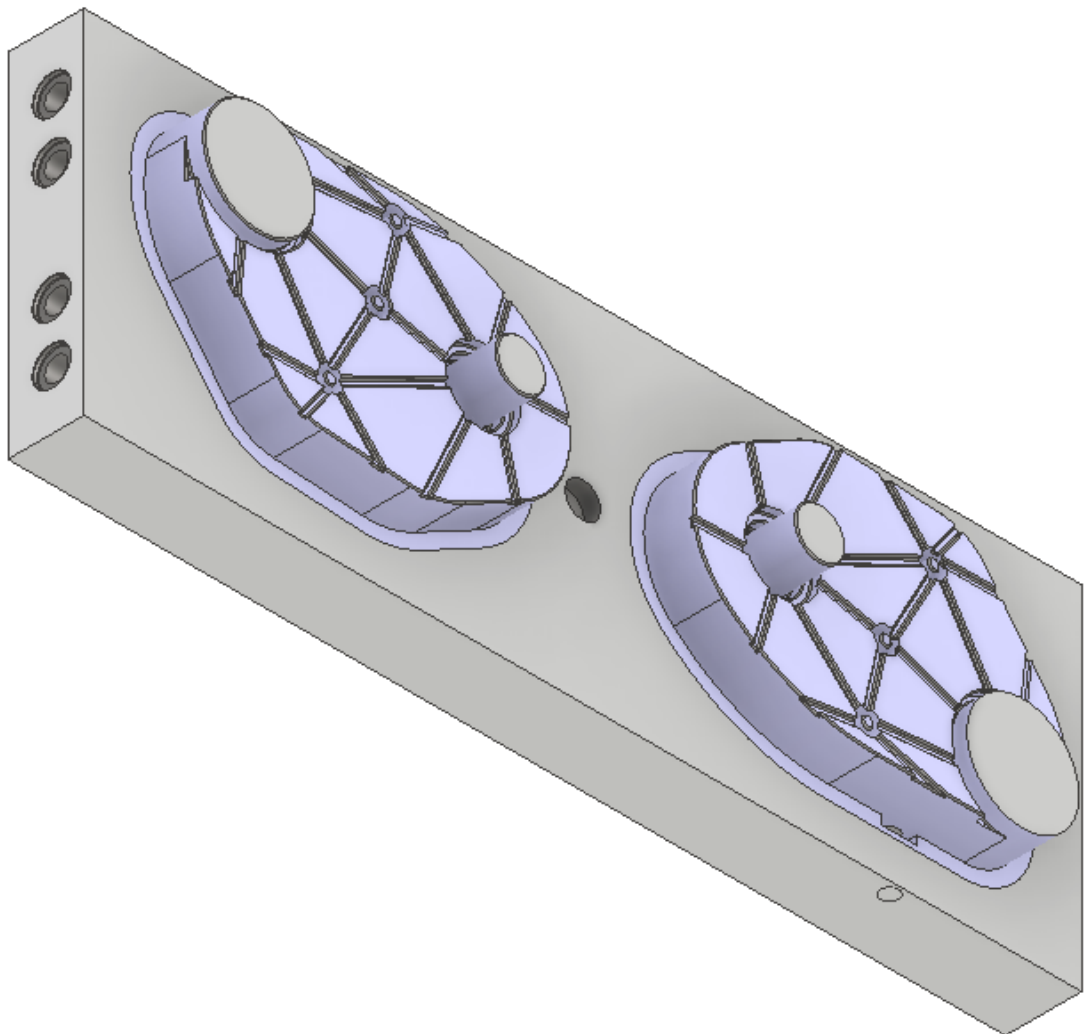
9.1 Násobnost formy

Při určování násobnosti formy se musí brát ohled na několik parametrů (viz kapitola 2.1).

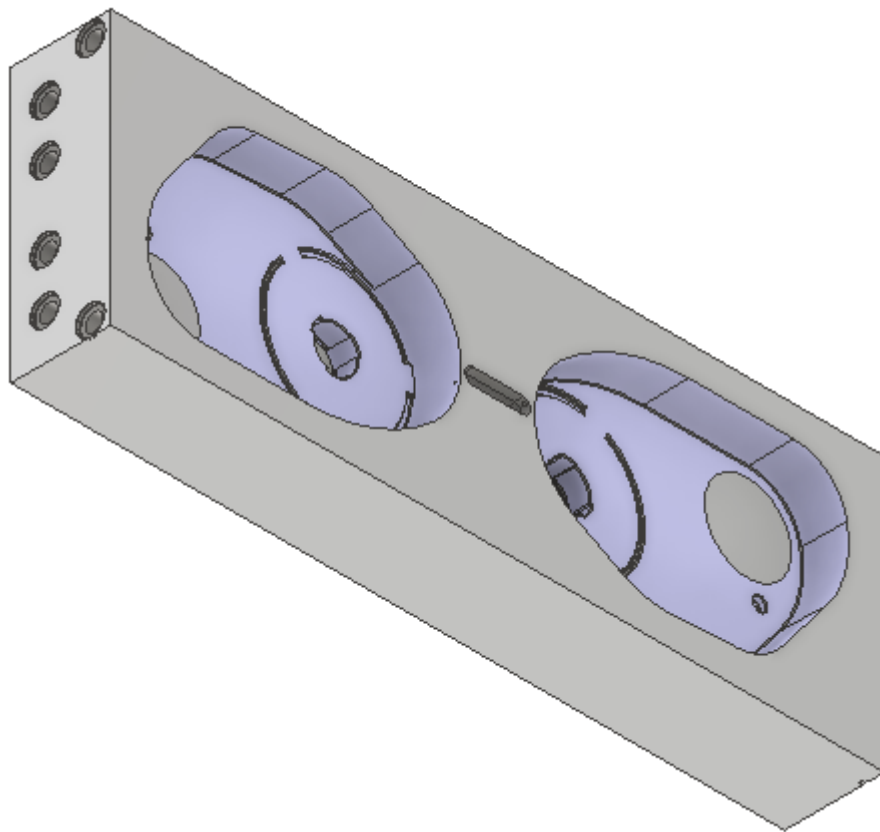
V tomto případě byla zvolena pouze dvojnásobná forma z důvodu složitější možnosti odformování boční díry.

9.2 Zaformování výrobku

Při konstrukčním návrhu formy je důležitá vhodná volba zaformování výstřiku, která vychází z konstrukčního řešení daného dílu. Pro zvolený výrobek byla určena jedna hlavní dělicí rovina, kolmá na směr otevírání formy. Výrobek byl zvětšen o 1,2 % z důvodu dodatečného smrštění materiálu. Ovšem pro tento výstřik nestačila jedna dělicí rovina, a proto musela být zvolena vedlejší dělicí rovina, rovnoběžná se směrem otevírání formy. Tato dělicí rovina slouží k vytvoření bočních otvorů na výstřiku. Zaformování bylo zvoleno tak, že výsledný výrobek zůstane v levé části formy, a zároveň dojde k odformování bočních děr.



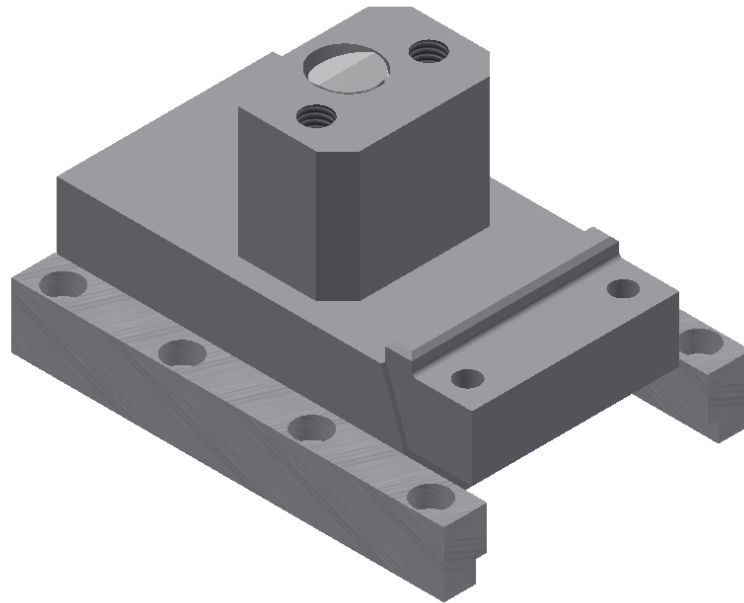
Obr. 15. Tvárník



Obr. 16. Tvárnice

9.3 Odformování

Při otevření formy, což zajišťuje vstřikovací stroj, musí být vysunuty oba kolíky formující boční díry do požadované vzdálenosti, aby mohl být výstřik v pořádku vyhozen vyhadzovacím systémem. K dosažení odjetí vložek se používá posuvný mechanismus, který funguje jen na principu otevření samotné formy. Posuvný tvárník odjíždí po šikmém kolíku až do předem stanovené vzdálenosti. Když tvárník odjíždí, tak se posuvným pohybem dostane až do maximální hodnoty. Když se forma zavírá, šikmý kolík zajede zpět do své drážky.

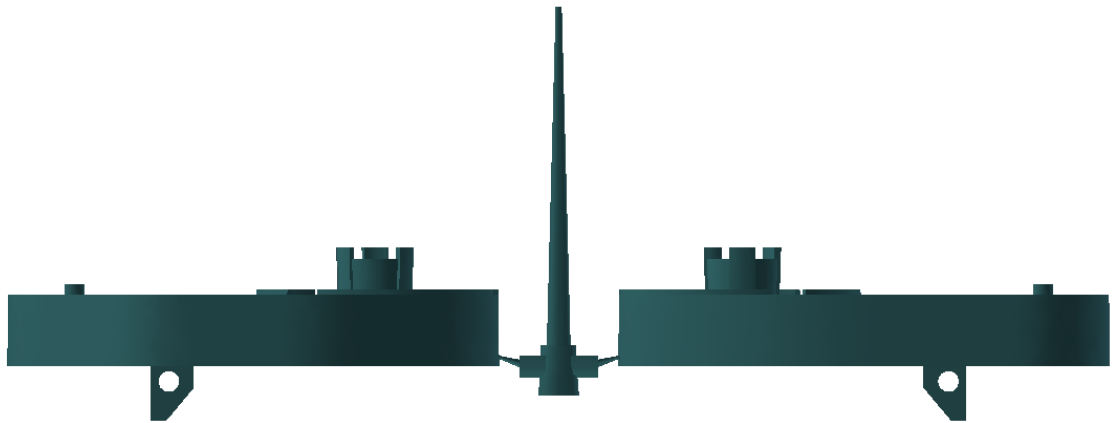


Obr. 17. Posuvný tvárník

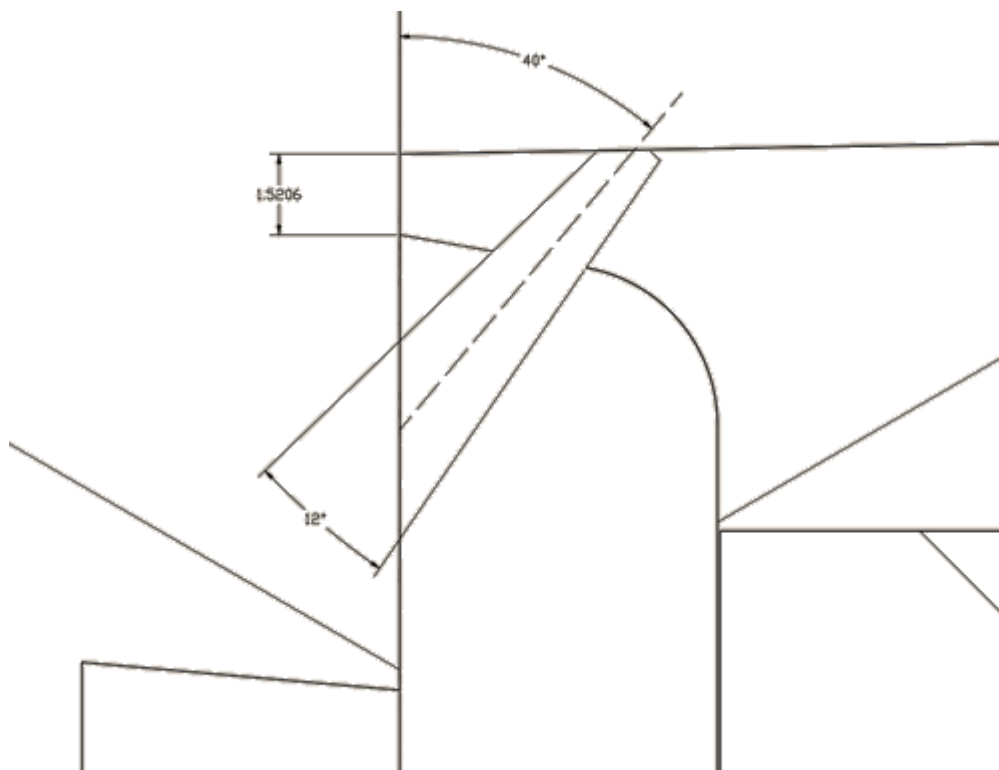
9.4 Vtokový systém

Vtokový systém slouží k dopravě polymeru do dutiny formy. Nejdůležitější je dopravení polymeru do všech míst najednou a rovnoměrně. Na výběr je horký nebo studený vtokový systém. Pro tuto formu byl zvolen studený vtokový systém. Granulát je pomocí šnekového dopravníku zahřátý a roztavený na požadovanou teplotu. Rozehřátý polymer je následně vstříknutý do vtokové vložky a tlakem putuje do dvou rozvodných kanálů a dále do tunelových vtoků, z nichž se dostane do dutiny formy. Rozvodný kanál je ve tvaru U a je umístěn v okolí dělicí roviny.

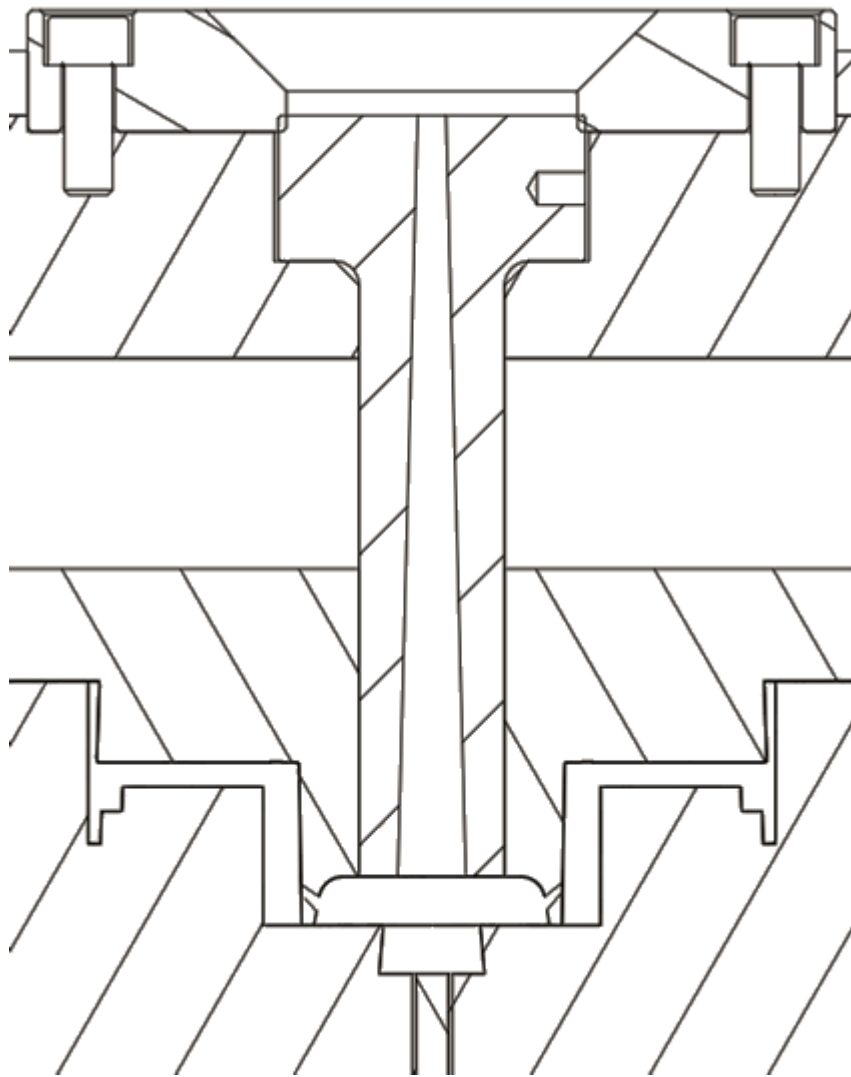
Zvolením studeného vtokového systému byly razantně sníženy nároky na velikost formy a také na energii spojenou s vyhříváním trysek. Ovšem nevýhodou je relativně velký odpad, a proto musí být zvolena nejkratší možná dráha toku taveniny formou.



Obr. 18. Vtokový systém



Obr. 19. Detail tunelového vtoku s okótovanými rozměry



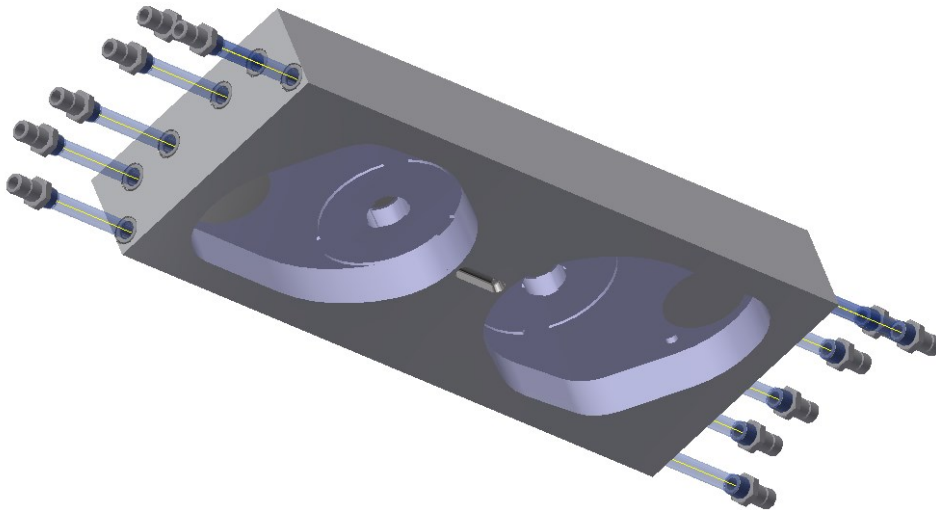
Obr. 20. Řez vtokovým systémem

9.5 Odvzdušnění formy

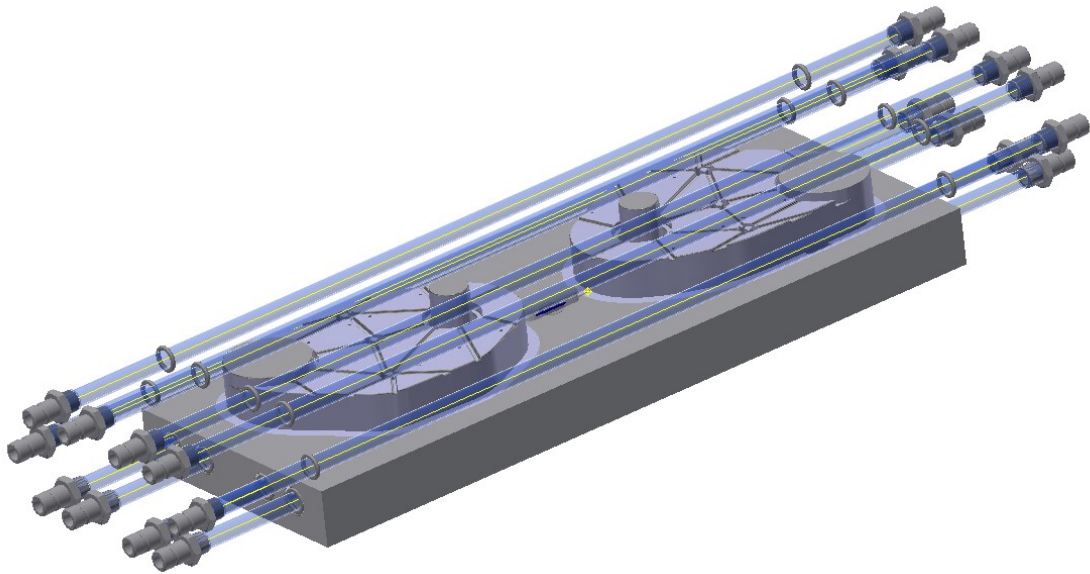
Když dojde k plnění dutiny formy polymerem, dochází přitom ke zvýšení tlaku a teploty. Tudiž může dojít ke vzniku tzv. dieslova efektu, k nedostříknutí celého výrobku nebo vzniku bublin a propadlin. Při konstrukci této formy je možnost uniknutí vzduchu pomocí vůle mezi vyhazovači a dělicí rovinou. Ovšem v některých místech dutin formy by mohlo nastat nedokonalé odvzdušnění formy a poté by musely být vytvořeny odvzdušňovací drážky, díky nimž by mohl vzduch uniknout. Pro polyamidy je šířka drážky zvolena mezi 0,02 – 0,03 mm. Odvzdušňovací drážky by měly být umístěny do míst, která jsou taveninou zaplněna úplně poslední. Jedná se o místa s největší možnou vzdáleností od ústí vtoku do dutiny formy.

9.6 Temperační systém

Hlavním cílem temperačního systému je dostatečně zajistit chlazení dutiny formy na rovnoměrnou teplotu. Temperační systém formy je tvořen sestavou vrtaných kanálků o zvoleném průměru 8 mm. Při volbě menšího průměru kanálků by mohlo docházet k jejich zanášení chladicím médiem nebo ke vzniku vodního kamene. Těsnost mezi deskami v místech, kde se na sebe kanálky napojují, je zajištěna pomocí gumových o-kroužků, jelikož by mohlo docházet k úniku chladicí kapaliny mezi deskami. V horším případě by mohl nastat únik do prostoru dutiny formy a důsledkem by bylo snížení kvality výstřiku. Temperační kanálky jsou vždy na svých koncích ukončeny koncovkou, aby mohly být pohodlněji napojeny na hadice s chladicím médiem.



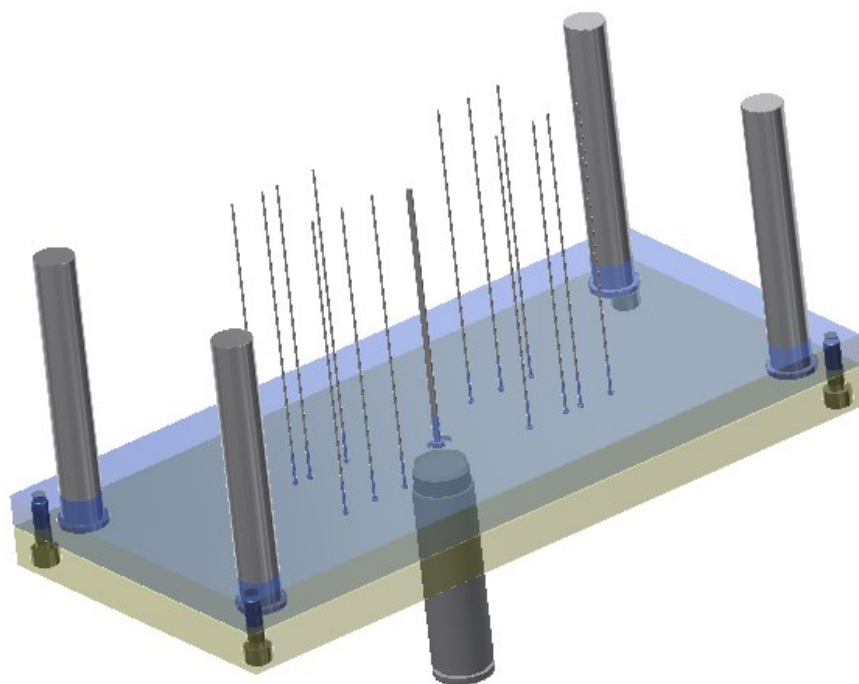
Obr. 21. Temperace tvárnice



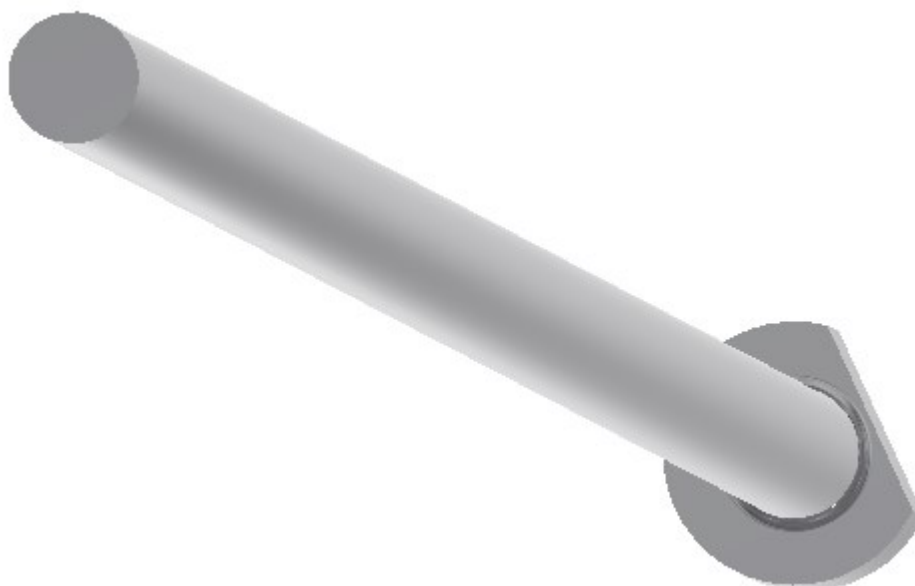
Obr. 22. Temperace tvárníku

9.7 Vyhazovací systém

Při volbě umístění vyhazovacího systému je důležitým aspektem jeho poloha. Vyhazovací systém musí být zvolen tak, aby po něm na pohledových stranách výrobku nezbyly stopy, proto byl umístěn do levé části formy. Musí se ovšem zajistit, aby po otevření dutiny formy výstřík zůstal v té části formy, kde byl navržen vyhazovací systém. Toho se dosáhne pomocí přídržovače vtoku, který byl vytvořen přímo do tvárníku. Pro vyhození výrobku byly vybrány vyhazovače o průměru 3 mm. Na vyhození vtokového zbytku byl zvolen vyhazovač o průměru 4 mm. Každý z vyhazovačů je na boční hraně zkosen, aby nedošlo k jejich pootočení při vyhození výrobku. Pohyb vyhazovacího systému je zajištěn táhlem, které je upnuto k uzavírací jednotce vstřikovacího stroje. Zajištění správného pohybu vyhazovačů je dosaženo pomocí zpětných kolíků.



Obr. 23. Vyhozovací systém



Obr. 24. Vyhozovač s bočním zkosením

9.8 Ostatní komponenty

Při konstrukci vstřikovací formy bylo ještě použito mnoho jiných menších významných dílů. Tyto komponenty zajišťují důležité funkce pro správný chod formy, např. vodící šrouby, čepy a další prvky.

9.8.1 Středící kroužek

Středící kroužek se nachází na obou stranách formy. Jeho funkce je zajištění přesné polohy vstřikovací formy ve vstřikovacím stroji. Forma je vždy upnutá ve stroji, aby se zamezilo jejímu posunu a vtoková vložka s tryskou se nacházely v jedné ose. Průměr středícího kroužku by měl být stejné velikosti, jako je průměr středícího otvoru stroje.

9.8.2 Vodící čepy a vložky

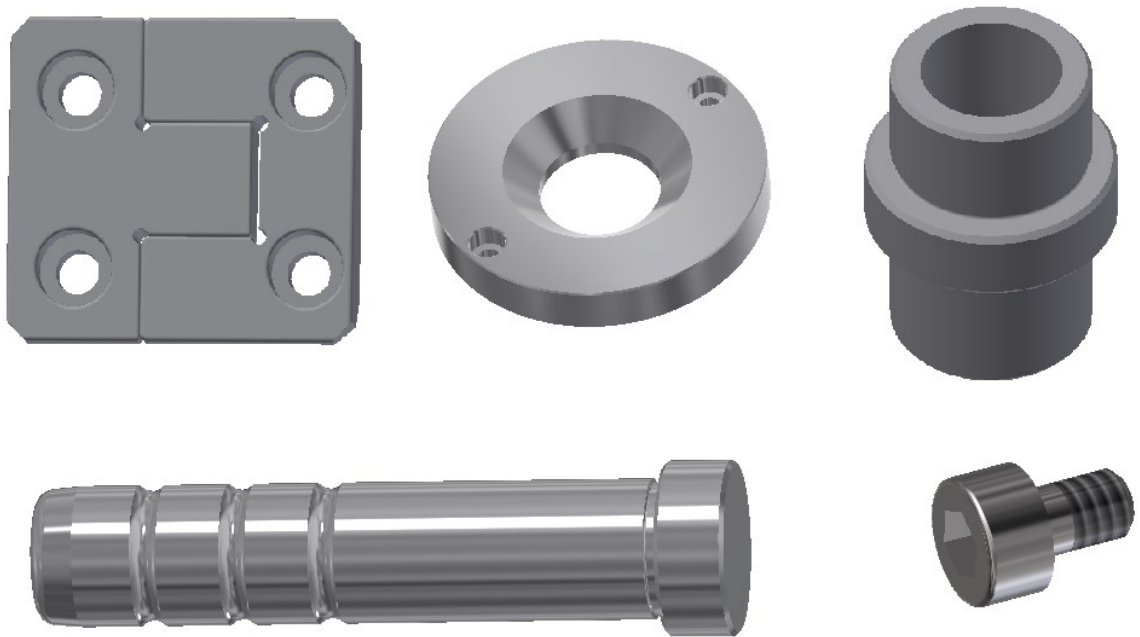
Desky formy se pohybují a jsou částečně spojeny pomocí vodících čepů, které jsou umístěny ve vodících vložkách. Tyto součásti jsou normalizované a byly automaticky přidány z modulu formy při jejím vytvoření. Nacházejí se v Content centre programu Inventor.

9.8.3 Nosné a dosedací prvky

Pro lepší manipulaci s formou bylo, na horní část zhruba doprostřed formy, přidáno oko se závitem. Vzhledem k lepší manipulaci jsou ještě přidány dva zámky po stranách formy pro lepší dosednutí při zavření a zároveň zamezení pohybu při transportu.

9.8.4 Šrouby

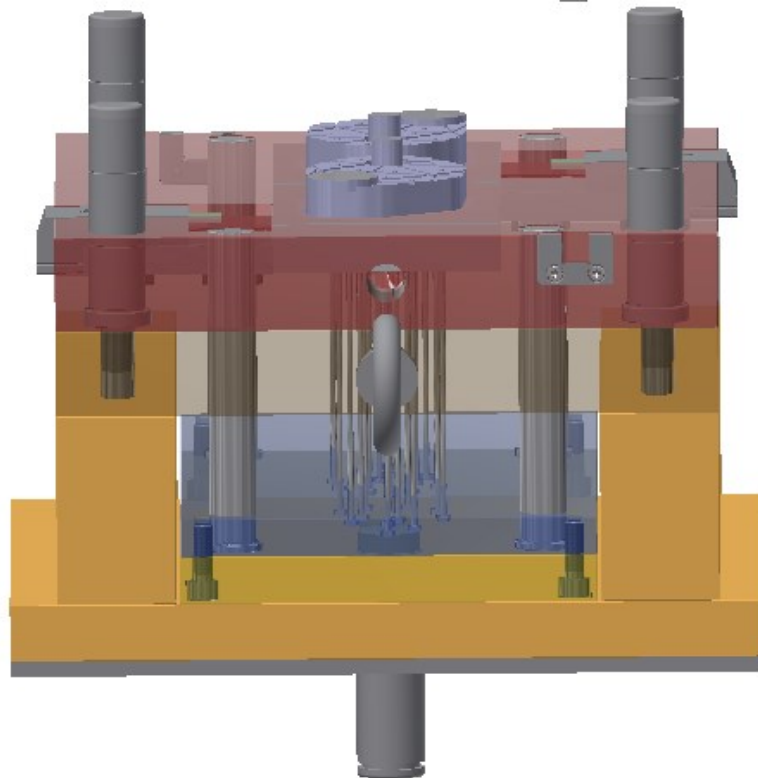
Všechny šrouby, kterými je forma smontována, byly automaticky přidány z modulu formy. Ostatní šrouby použité k přišroubování komponentů k formě jsou normalizované a byly vybrány z Content centre.



Obr. 25. Ostatní části formy

9.9 Pohyblivá strana formy

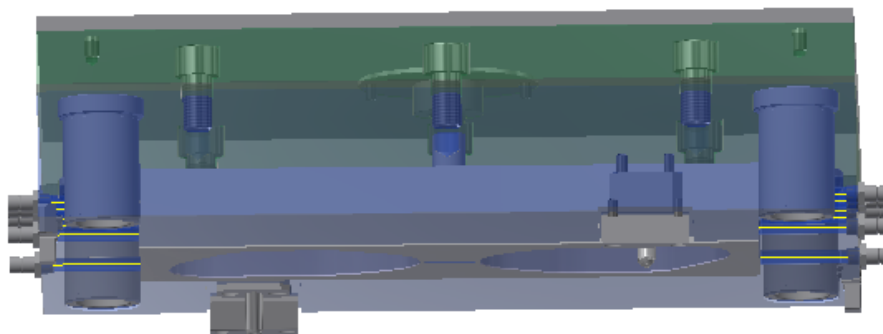
Tato polovina formy je složena z tvárníku, kotevní tvarovací desky, upínací desky, izolační desky a rozpěrných desek. Dále je zde vyhazovací systém, vodící kolíky, středící kroužek, spojovací šrouby a táhlo.



Obr. 26. Pohyblivá strana formy

9.10 Pevná strana formy

Pevná strana se skládá z tvárnice, kotevní tvarové desky, upínací a izolační desky. Dále se zde nachází středící kroužek, studený vtokový systém, spojovací šrouby, vodící pouzdra a šikmé vodící kolíky.



Obr. 27. Pevná strana formy

9.11 Zvýšení abrazivní odolnosti

Z důvodu použití materiálu plněného skelným a carbonovým vláknem je nutné vybrat správnou metodu úpravy vstřikovací trysky, tvárníku, tvárnice a posuvných tvárníků. Pro tuto formu byla zvolena metoda laserového kalení na vzduchu, ve které nabude ocel na pevnosti, až 70 HRC. Laserové kalení bylo vybráno z důvodu vyšší přesnosti a možnosti zvýšení pevnosti na místech, kde bude docházet k největšímu opotřebení např. vtokové ústí. (viz kapitola 4.1). Následovat bude popouštění. Ocel se bude postupně chladit na vzduchu. Po této operaci ještě bude dutina formy, vnitřní strana vstřikovací trysky a kolíky posuvných tvárníků potaženy lehkou vrstvou Ni/SiC, pomocí metody PVD povlakování, ke zlepšení kvality povrchu a zvýšení jeho odolnosti proti oděru a erozi (viz kapitola 3). Tloušťka povlaku bude 2-4 μm a bude dosahovat tvrdosti kolem 2500 HV.

10 ANALÝZA VSTŘIKOVACÍHO PROCESU

Analýza vstřikovacího procesu byla vyhodnocena programem Autodesk Moldflow Synergy 2016. Program automaticky pracuje s 3D sítí, což má výhodu v predikci chování polymeru po celé tloušťce výrobku. Výsledky jsou poté velmi přesné a dokonale se shodují s reálným vstřikováním.

10.1 Procesní podmínky

Jako první musela být použita analýza Cooling Channel Check ke zjištění, zda jsou temperační kanálky zvoleny dobře. Výsledky analýzy ukázaly, že průtok kanálky je v pořádku a všechny fungují správně. Dále byla provedena analýza Mold Process Settings, do které je nutné zadat vstupní parametry např. druh a možnosti zpracování vstřikovaného polymeru, parametry vstřikovacího stroje, trajektorii, umístění temperačního systému a parametry vtokové soustavy, které byly popsány v předchozích kapitolách. V této kapitole se nachází pouze parametry vstřikovacího procesu.

Material properties		
Mold temperature [125,00 : 135,00]c	130,00 c	Default
Melt temperature [250,00 : 300,00]c	275,00 c	Default
Maximum injection limit pressure		
Maximum machine injection pressure [10,00 : 500,00]MPa	180,00 MPa	
<input checked="" type="checkbox"/> Automatic velocity/pressure switch-over		
Velocity/pressure switch-over by volume %	99,00	
Machine injection time		
<input checked="" type="checkbox"/> Automatic injection time		
Time [Sec] :	0,00 s	
Machine clamp open time		
Time [Sec] :	5,00 s	

Obr. 28. Parametry vstřikovacího procesu

10.2 Výsledné parametry cyklu

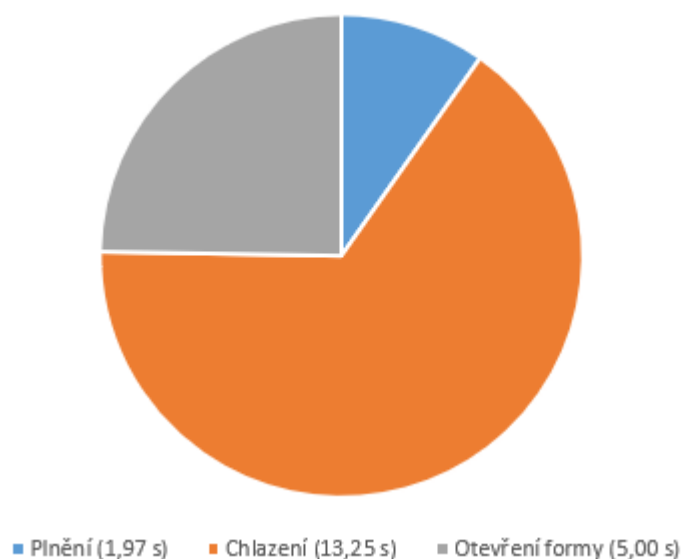
Po dokončení analýzy Mold Process Settings jsou první výstupní data výsledné parametry cyklu. Tyto data se musí schválit, aby se mohlo přejít k dalšímu vyhodnocení. Pokud je něco v nepořádku, program ukáže chybové hlášení a musí dojít ke změně vstupních para-

metrů nebo v horším případě k úpravě formy. Při analýze této formy byla data vyhodnocena jako velmi dobrá.

Tab. 5 Výstupní parametry cyklu

Skutečná doba plnění	2.00 (s)
Skutečný vstřikovací tlak	102.106 (MPa)
Plocha působení vstřikovací síly	181.3512 (cm ²)
Maximální upínací síla při plnění	18.563 (tun)
Změna rychlosti/tlaku v %	99.00 (%)
Změna rychlosti/tlaku v čase	1.97 (s)
Odhadovaná doba cyklu	20.22 (s)
Celková hmotnost dílu	161.874 (g)
Objem výstřiku	122.9245 (cm ³)
Objem dutiny	119.4746 (cm ³)
Objem studeného vtoku	3.4499 (cm ³)

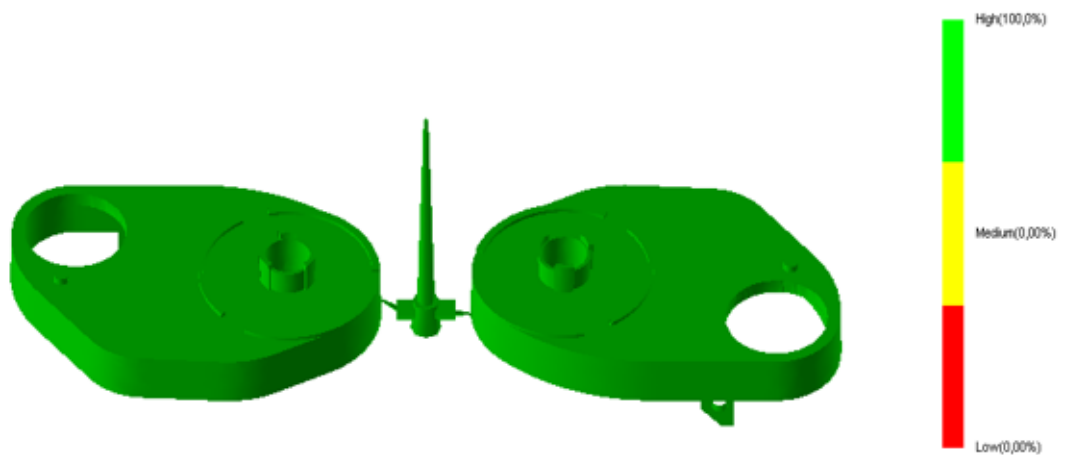
Doba cyklu 20,22 s



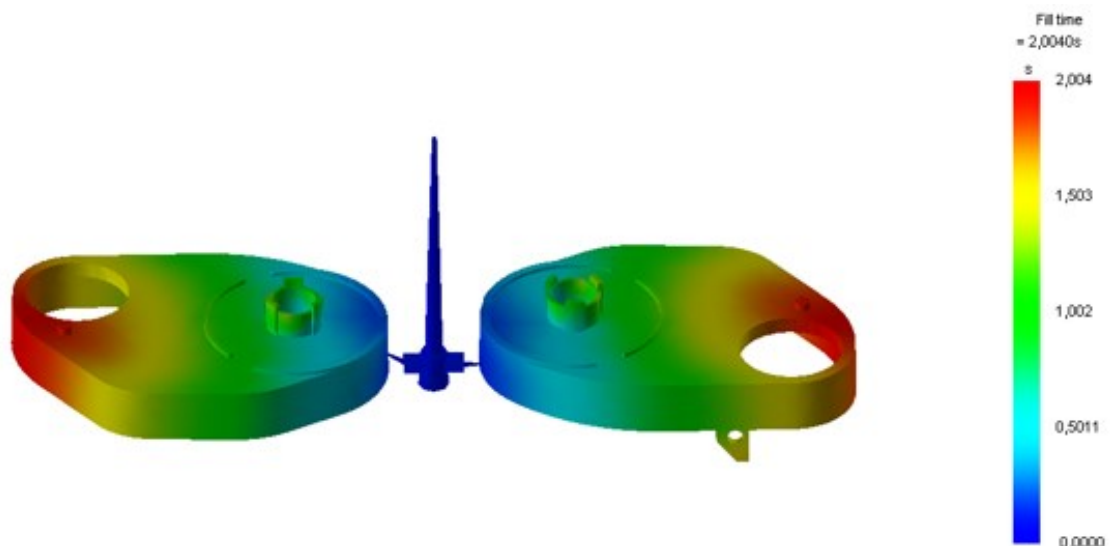
Obr. 29. Cyklus formy

10.3 Čas plnění

Analýza ukazuje, za jakou dobu dojde k naplnění dutiny formy taveninou. Čas plnění je prezentován barevnou stupnicí, ve které modrá znamená začátek cyklu a červená ukazuje poslední zaplněná místa. Dutina formy se naplnila za 2,004 s. Pokud by se na některém místě výstřiku objevila šedá místa, znamenalo by to, že v oblasti dochází k nezatečení polymeru. V případě nedotečení taveniny by muselo dojít k úpravě procesních podmínek, jako např. zvýšení teploty formy nebo zvýšení teploty taveniny, čímž by se získalo snížení odporu proti tečení.



Obr. 30. Kvalita zatečení polymeru



Obr. 31. Čas plnění

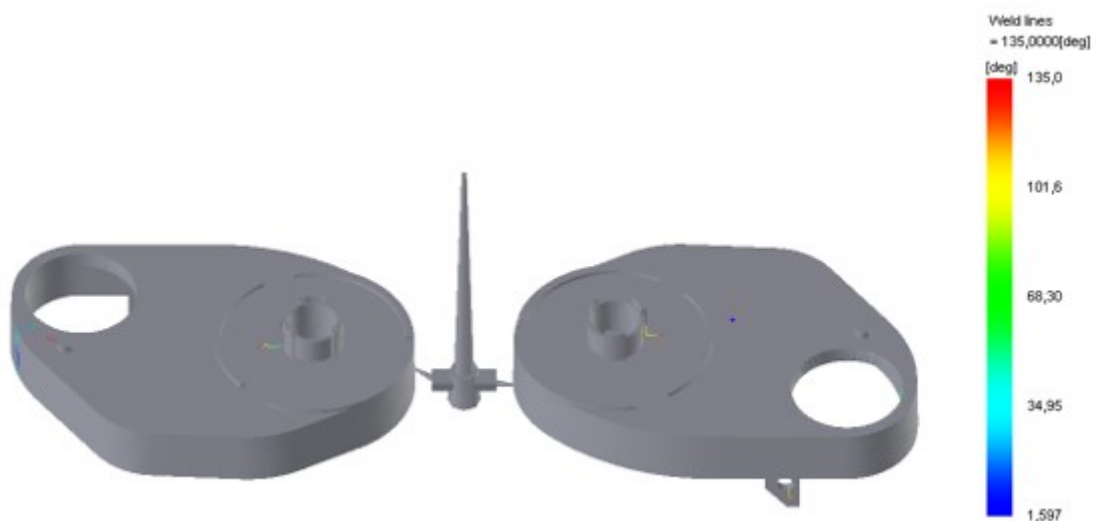
10.4 Uzavírací síla

Uzavírací síla se během cyklu mění. Na začátku vstřikovacího cyklu dojde k velkému nárůstu na hodnotu 18,5 tun, poté začne postupně klesat, až se přiblíží k nulové hodnotě. Maximální vstřikovací síla stroje je 100 tun. Po odečtení bezpečnostního koeficientu 20 % je maximální síla dostatečná a nemůže dojít k pootevření či dokonce otevření formy během cyklu.

10.5 Weld lines

Weld lines nebo také studené spoje jsou místa, kde se setkávají dvě průtoková čela. Tyto linky ukazují schopnost plastu spolu vytvořit „svar“ v průběhu tvarovacího procesu. Tento jev se většinou vyskytuje v okolí děr, otvorů nebo překážek, může způsobit slabá místa na výstřiku. Obecně jsou tyto linky považovány za vady. K tomuto jevu dojde, pokud jsou teploty materiálu nebo formy nastaveny příliš nízko, tedy materiál bude mít nízkou teplotu, když se dvě linky setkají a nemají dokonalé pouto. Ne ve všech případech se jim lze vyhnout, a proto je velmi důležité minimalizovat jejich dopad.

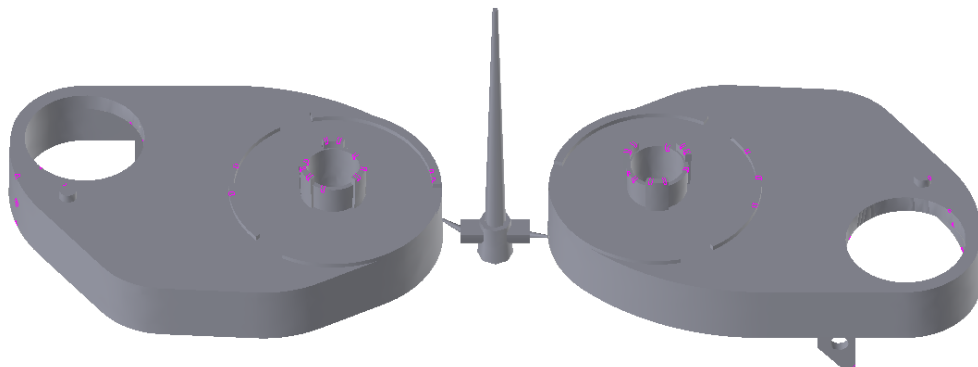
Zvolený materiál obsahuje vlákna carbonu a skla, což ovlivňuje pevnost velmi negativně. Ovšem to nevádí, protože Weld lines se nebudou vyskytovat na mechanicky zatížených místech.



Obr. 32. Weld lines

10.6 Vzduchové kapsy

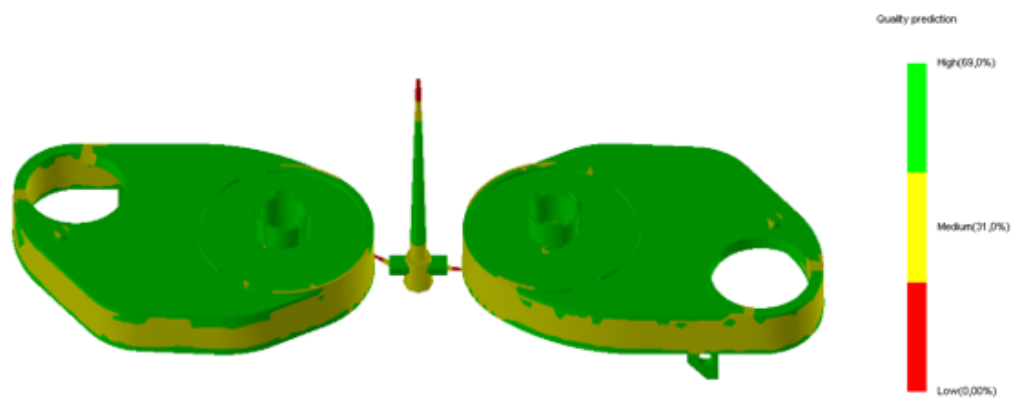
Ke vzduchovým kapsám dochází při nízkém odvzdušnění formy. Při konstrukci této formy se počítá s odvodem vzduchu a tolerancemi mezi dělicí rovinou a otvory vyhazovačů (viz kapitola 9.5). Program Autodesk Moldflow vyhodnotil, že na některých místech by se tyto kapsy mohly tvořit, ovšem jejich velikost a množství je zanedbatelné. Tudíž to nebude mít vliv na výsledný tvar nebo vlastnosti výrobku.



Obr. 33. Vzduchové kapsy

10.7 Predikce kvality výrobku

Predikce kvality výrobku je jedna z nejdůležitějších analýz programu Autodesk Moldflow, ovšem je to jedna z nejvíce chybových analýz. Je zde spousta parametrů, které mohou měření ovlivnit, a je zde největší odchylka od reálného vstřikování. Tato analýza se skládá ze tří barev podle stupně kvality zatuhnutého polymeru. Červená barva označuje nejnižší kvalitu polymeru, která je nepřijatelná. Tato kvalita se vykytuje pouze v ústí vstřikování polymeru a v přechodu mezi výstřikem a odpadem ze studeného vtokového systém, což je v tomto případě konstrukce velmi dobré, jelikož se plast při vyhození bude lépe „lámat“ a nebude nutné po vyhození výrobku manuálně odstraňovat vtokový zbytek od výsledných výstřiků. Výrobky jsou ve stupnici označeny barvou žlutou a zelenou, při čemž zelená velmi převyšuje. To znamená, že kvalita výrobku je přijatelná.



Obr. 34. Predikce kvality

11 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit konstrukční návrh vstřikovací formy pro díl s abrazivním plnivem. Konstrukce formy neměla žádná speciální specifika, protože jde o experimentální díl. Ke konstrukci této formy bylo využito programu pro 3D modelování a k urychlení konstrukce bylo využito normálíí předem definovaných v tomto programu v Content centre.

Vstřikovaným dílem byl experimentální kryt čerpadla u automobilu. Vstřikovaným materiálem byl vybrán polyamid s příměsí skelných a carbonových vláken. Jako vstřikovací stroj byl zvolen stroj firmy ARBURG ALLROUNDER 470 E.

Vstřikovací forma byla navržena tak, aby byla její univerzálnost co největší, proto byl kladen důraz na lehkou konstrukci a vyměnitelnost jednotlivých dílů, a aby byla co nejvyšší životnost zaručená díky kalení, popuštění a povlakování speciální vrstvou. Hlavním omezením pro volbu vstřikovací formy byla složitost dílu a velikost vstřikovacího stroje. Z tohoto důvodu byla vybrána dvojnásobná forma. Jelikož se nejedná o pohledový díl, mohlo být využito studeného vtokového systému. Temperační systém byl vytvořen pomocí vrtaných temperačních kanálek. Tento způsob je výrazně nejlevnější a nejjednodušší na konstrukci. Vyhazovací systém byl zvolen do levé části formy. Je tvořený dvěma deskami, mezi nimiž se nachází ukotvení vyhazovačů válcového typu.

Výsledky vtokových analýz nám daly přibližnou představu o chování vstřikovaného polymeru ve formě. Z výsledků analýzy je vidět, že plnění obou tvarových dutin je rovnoměrné. Analýzou bylo potvrzeno, že žádný z výsledných parametrů nepřesáhl zvolené vstupní hodnoty vstřikovacího stroje a formy.

Z uvedených výsledků lze určit, že forma v reálném provozu nevykazuje žádné chyby a nedostatky a její konstrukce byla úspěšná.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit návrh nástroje pro zpracování polymerních materiálů plněných abrazivním plnivem.

Bakalářská práce se skládá z teoretické a praktické části. V teoretické části byla popsána technologie konstrukce plastových výrobků, konstrukce forem, opotřebení plastikářských nástrojů a zvýšení abrazivní odolnosti. V praktické části byl vytvořen konstrukční návrh vstřikovací formy pro zvolený díl. Tento návrh byl doplněn o analýzy, které potvrdily správnost konstrukce. Dále je bakalářská práce doplněna o přílohu 2D výkresové dokumentace formy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK a kolektiv, Formy pro zpracování plastů, I. Díl – Vstříkování termoplastů, Uniplast Brno, 2. opravené vydání, 1999.
- [2] BOBČÍK a kolektiv, Formy pro zpracování plastů, II. Díl – Vstříkování termoplastů, Uniplast Brno, 1. vydání, 1999.
- [3] BOEY, P., HO, W., BULL, S.J., The effect of temperature on the abrasive wear of coatings and hybrid surface treatments for injection-moulding machines [online] Newcastle, 2004 [cit. 22. 02. 2020]. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004316480400242X>
- [4] BOUQUET, J., CAMP, D., MALEK, O., HAAF, P., VANMEENSEL, K., LAUWERS, B. Aiming for Improved Lifetime of Die and Mold Components through an Integrated Laser Hardening Operation, Combining Machining and a Selective Heat Treatment in One Setup [online] Belgium, 2016 [cit. 10. 03. 2020]. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116301548>
- [5] BOZTEPE, E., ALVES, A.C., RAMALHO, A., ARIZA, E., ROUCHA, Z.A., CANSEVER, N., TOPTAN, F., A comparative study on the dry sliding wear behaviour of nitrocarburised, gas nitrided, fluidised-bed nitrided, and plasma nitrided plastic mould steel [online] Inderscience Enterprises Ltd, 2016 [cit. 10. 03. 2020]. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/321123065_A_comparative_investigation_of_the_corrosion_and_tribocorrosion_behaviour_of_nitrocarburized_gas_nitrided_fluidized-bed_nitrided_and_plasma_nitrided_plastic_mould_steel
- [6] BRUMMEL, Michal. Rozměrově přesné výrobky z plastu. 1. vyd. Praha: VÚNM, 1997. 278 s.
- [7] HYNEK, Martin. Horké vtoky. Studené a živé vtoky [online]. Plzeň, 2013, 16 [cit. 12. 05. 2019]. Dostupné z: https://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-verfin/OPVK_PU/KA_05_publikace/KA05_Studene_a_zive_vtokove_systemy.pdf
- [8] NEUHÄUSL, Emil. Vstříkování plastických hmot. Praha: SNTL, 1973. Řada chemické literatury.

- [9] ŠKROBÁK, A., Bakalářská práce: Konstrukce vstřikovací formy. 1. vyd., Zlín: 2008
- [10] ZABALA, B., FERNANDEZ, X., RODRIGUEZ, J.C., LÓPEZ-ORTEGA, A., FUENTES, E., BAYÓN, R., IGARTUA, A., GIROT, F., Mechanism-based wear models for plastic injection moulds machines [online] Elsevier, 2019 [cit. 10. 03. 2020]. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043164818312468>
- [11] ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: Úvod do vstřikování termoplastů, Praha, BEN-technická literatura, 2009, ISBN 978-80-7300-250-3.
- [12] ARBURG [online]. [cit. 13.04.2020]. Dostupné z: <http://www.arburg.com>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	Dvojměrný prostor
3D	Trojměrný prostor
'	Minuta
°	Stupeň
°C	Stupeň Celsia
deg	Stupeň Celsia
mm	Milimetr
HRC	Rockwelova tvrdost
l	Délka
Ra	Drsnost povrchu
g	Gram
cm ³	Centimetr krychlový
%	Procento
MPa	Megapascal
min	Minuta
m	Metr
s	Sekunda
m ³	Metr krychlový
Nm	Newtonmetr
N	Newton
Ni	Nikl
SiC	Carbid uhlíku
kN	KiloNewton
kg	Kilogram

cm³ Centimetr krychlový

např. například

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1. PŘÍKLAD ROZMÍSTĚNÍ VTOKOVÝCH KANÁLKŮ [1]	17
OBR. 2. VLIV ROZMÍSTĚNÍ TEMPERAČNÍCH KANÁLKŮ [2]	19
OBR. 3. VYHAZOVACÍ KOLÍKY [2]	20
OBR. 4. TESTOVACÍ OCELOVÉ KOLO [3]	24
OBR. 5. ÚBYTEK HMOTNOSTI A OPOTŘEBENÝ OBJEM POVLAKU NI/SIC [3]	24
OBR. 6. MÍRA OPOTŘEBENÍ POVLAKU NI/SIC [3]	25
OBR. 7. VLIV TEPLoty NA OPOTŘEBENÍ HYBRIDNÍHO IONTOVÉHO POVRCHU [3]	26
OBR. 8. VLIV SKLENĚNÝCH VLÁKEN NA POVRCHU BEZ ABRAZIVNÍHO POVLAKU [3]	27
OBR. 9. BEZPEČNOSTNÍ FAKTOR VYBRANÝCH MATERIÁLŮ [10]	28
OBR. 10. VSTŘIKOVANÝ VÝROBEK	34
OBR. 11. OBRÁZEK VSTŘIKOVACÍHO STROJE ALLROUNDER 470 E [12]	36
OBR. 12. NÁSTROJE KE KONSTRUKCI DUTINY FORMY	37
OBR. 13. NÁSTROJE KE KONSTRUKCI FORMY	37
OBR. 14. CONTENT CENTRE	37
OBR. 15. TVÁRNÍK	38
OBR. 16. TVÁRNICE	39
OBR. 17. POSUVNÝ TVÁRNÍK	40
OBR. 18. VTOKOVÝ SYSTÉM	41
OBR. 19. DETAIL TUNELOVÉHO VTOKU S OKÓTOVANÝMI ROZMĚRY	41
OBR. 20. ŘEZ VTOKOVÝM SYSTÉMEM	42
OBR. 21. TEMPERACE TVÁRNICE	43
OBR. 22. TEMPERACE TVÁRNÍKU	44
OBR. 23. VYHAZOVACÍ SYSTÉM	45
OBR. 24. VYHAZOVAČ S BOČNÍM ZKOSENÍM	45
OBR. 25. OSTATNÍ ČÁSTI FORMY	47
OBR. 26. POHYBLIVÁ STRANA FORMY	48
OBR. 27. PEVNÁ STRANA FORMY	48
OBR. 28. PARAMETRY VSTŘIKOVACÍHO PROCESU	50
OBR. 29. CYKLUS FORMY	51
OBR. 30. KVALITA ZATEČENÍ POLYMERU	52
OBR. 31. ČAS PLNĚNÍ	52
OBR. 32. WELD LINES	53
OBR. 33. VZDUCHOVÉ KAPSY	54
OBR. 34. PREDIKCE KVALITY	55

SEZNAM TABULEK

<i>TAB. 1 DOPORUČENÁ VELIKOST ÚKOSŮ [1].....</i>	<i>13</i>
<i>TAB. 2 CHARAKTERISTIKA KRAILON M107.....</i>	<i>34</i>
<i>TAB. 3 DOPORUČENÉ ZPRACOVÁNÍ.....</i>	<i>35</i>
<i>TAB. 4 TECHNICKÉ PARAMETRY STROJE [12].....</i>	<i>36</i>
<i>TAB. 5 VÝSTUPNÍ PARAMETRY CYKLU.....</i>	<i>51</i>

SEZNAM PŘÍLOH

- P I. Vstřikovací forma
- P II. Výkres sestavení formy s kusovníkem
- P III. CD disk

PŘÍLOHA P I: VSTŘIKOVACÍ FORMA

