



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Pedagogická fakulta

Katedra aplikované fyziky a techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukce vstřikovacích nástrojů se zaměřením na jejich životnost

Vypracoval: Zbyněk Kolář

Vedoucí práce: PaedDr. Bedřich Veselý, Ph.D.

České Budějovice 2016

Anotace

V bakalářské práci je řešena životnost nástrojů pro vstřikování termoplastů. V teoretické části je definován nástroj pro vstřikování z hlediska konstrukce, jsou zde shrnuty všechny vlivy a požadavky na jeho životnost. Vyhodnocení podmínek namáhání nástrojů je uvedeno v praktické části a v návaznosti na to jsou posouzeny materiály používané zadavatelem pro výrobu a opravy nástrojů.

Klíčová slova

Vstřikovací nástroj, konstrukce, životnost vstřikovacího nástroje.

Abstrakt

This thesis deals with lifespan of tools for molding injection of the thermoplastic. Theoretical part is focused on injection tool in terms of design. It summarizes all conditions and requirements which regard to the tools lifespan. Evaluation of the loading conditions for the injections tools is described in practical part of the thesis. Subsequently are in this part evaluated materials used by contracting authority for manufacturing and repairing of the molding tools.

Key words

Injection tool, construction, life time of the injection tool.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury citované v seznamu literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 24. 4. 2016

podpis studenta

Poděkování

Především bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce PaedDr. Bedřichu Veselému, Ph.D. za jeho cenné rady a připomínky týkající se řešení bakalářské práce. Dále děkuji všem kolegům z oddělení RBCB/TEF21, kteří svými zkušenostmi, praktickými informacemi a ochotou přispěli ke vzniku této práce.

OBSAH

1	Úvod	7
2	Cíl bakalářské práce.....	8
I.	TEORETICKÁ ČÁST.....	9
3	TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ.....	10
3.1.	Podstata a princip.....	10
3.2.	Vstřikovací cyklus	11
3.3.	Strojní čas I.	11
3.4.	Doba plnění	11
3.5.	Doba dotlaku	12
3.6.	Doba plastikace	12
3.7.	Strojní čas II.	13
4	POLYMERY	14
4.1.	Pojmy [4]	14
4.2.	Vznik a dělení polymerů	14
4.3.	Vlastnosti zpracovávaných polymerů	17
4.3.1	Grivory HTV-4X1 Natural.....	17
4.3.2.	Hostaform C13021	18
4.4.	Popis výrobku	19
4.4.1.	Charakteristika výrobku	19
4.4.2.	Vady vzniklé během výroby	20
5	KONSTRUKCE FOREM	23
5.1.	Zásady konstrukce forem [9].....	23
5.2.	Požadavky na vlastnosti forem [10]	27
5.3.	Opotřebení a jeho vliv na životnost nástrojů [11]	28
5.4.	Analýza problematiky konstrukce forem	31
5.5.	Ověřování konstrukce forem v současnosti	34
5.6.	Workflow výroby jader	35
5.7.	Technologie oprav nástrojů využívané zadavatelem [11].....	35
5.7.1.	Laserové navařování	35
5.7.2.	Nitridace.....	36
5.7.3.	PVD vrstvy	37
5.7.4.	Lapování konvenčním způsobem.....	37
5.8.	Potenciální technologie k výrobě a opravám nástrojů [11]	38
5.8.1.	Galvanické chromování.....	38

5.8.2.	Autokatalitické niklování.....	38
5.8.3.	Boridování	39
5.8.4.	HVOF nástřik	39
5.8.5.	CVD vrstvy	40
5.8.6.	Kryogenní zpracování ocelí	40
5.8.7.	Jádra Mecobond	41
5.8.8.	Aero Lap nekonvenční způsob lapování [17]	42
II.	PRATICKÁ ČÁST	45
6	ANALÝZA OPOTŘEBENÍ A PODMÍNEK NAMÁHÁNÍ.....	46
6.1.	Analýza oprav nástrojů.....	46
6.2.	Analýza namáhání jader [11].....	48
6.3.	Měření mikrotvrdosti	48
6.4.	Konturografie (studium deformací profilu).....	49
6.5.	Kruhovitost	52
6.6.	Rádus zámku jádra	54
6.7.	Simulace průběhu napětí ve formě.....	55
7	OVĚŘOVÁNÍ TECHNICKÝCH PARAMETRŮ	55
7.1.	Technické parametry nástrojů a výrobku	55
7.2.	Postup při ověřování technických parametrů.....	56
8	VYHODNOCENÍ TECHNOLOGIÍ POVRCHOVÝCH ÚPRAV MATERIÁLU	60
8.1.	Návrh na doplnění metody pro ověření konstrukce	61
8.2.	Návrh na doplnění metody pro evidenci oprav P@SN	61
8.3.	Návrh na doplnění metody pro opravy	62
8.4.	Ekonomika technologických procesů	63
9	ZÁVĚR	64
10	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
11	SEZNAM TABULEK	66
12	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY.....	67
13	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	68
14	SEZNAM PŘÍLOH	69

1 Úvod

Firma Robert Bosch České Budějovice, oddělení TEF21 (dále jen zadavatel) vypsaló téma bakalářské práce – Životnost vstřikovacích nástrojů, které jsem si vybral proto, že se zajímám o technické materiály a jejich vlastnosti pro praktické využití. Vycházím přitom z problematiky na pracovišti, kde se nástroje pro vstřikování polymerů provozují a opravují. Předpokládám konkrétní praktický výstup v podobě opatření, a to jak systémového (např. zlepšení sledování oprav nástroje), tak konstrukčního (např. větší využití simulačních programů a aplikace povrchových vrstev materiálů). Pro mě osobně má práce význam v tom smyslu, že jsem si mohl rozšířit stávající vědomosti a navázat tak na znalosti získané v průběhu studia.

Od svého vzniku na počátku minulého století, prošly polymery složitým vývojem, který jim umožnil proniknout do takových oblastí jako je biomedicína, elektronika, strojírenství, letectví, automobilový průmysl aj. Polymery se staly součástí multifunkčních kompozitů, nanotechnologií atd. Všechna tato odvětví ovšem kladou na polymery značné nároky ohledně jejich chemicko-fyzikálních vlastností. Z toho důvodu byly vyvinuty mimo jiné tzv. inženýrské polymery, jako např. PA 66 nebo POM pro náročné konstrukční aplikace. Zcela na vrcholu této pomyslné pyramidy stojí speciální, tzv. high-tech polymery, jejichž vlastnosti je předurčují pro náročné špičkové aplikace, jako např. polymer PBI (polybenzimidazol), který je využíván na výrobu skafandrů pro astronauty.

Ovšem náročné nejsou jen aplikace polymerů, ale i způsoby jejich zpracování na konečný výrobek. Převážná většina polymerů se zpracovává vstřikováním do formy. Mnohdy právě tvarová složitost výrobku, vysoká teplota vstřikování polymeru a přítomnost abraziv kladou značné nároky na odolnost vstřikovacích nástrojů pro zpracování polymerů. Konstrukce a výroba nového nástroje představuje značné finanční investice. Z toho důvodu jsou pro jejich výrobu a opravy vyvíjeny nové materiály a metody jejich povrchových úprav za účelem zvýšení odolnosti proti opotřebení, což vede k prodloužení životnosti nástrojů. Opotřebenění nástrojů pro vstřikování polymerů spolu s problematikou jejich oprav patří mezi faktory, které ve výrobním procesu negativně ovlivňují plynulost chodu výroby. Případné zastavení výrobní linky, spojené s opravou nebo výměnou opotřebeného dílu se promítne do ekonomických ukazatelů výroby. Čas nutný na výměnu nebo opravu nástroje tak samozřejmě navyšuje náklady na výrobní jednotku. Výrobce a provozovatel vstřikovacích nástrojů tudíž musí reagovat na zvyšující se nároky kladené na nástroje z hlediska ekonomického, výrobního a ekologického. Z toho důvodu je snaha o standardizaci konstrukčních a výrobních procesů nástroje, vč. oprav jednotlivých částí.

Při řešení konstrukce, výroby a provozu nástroje, vč. způsobu zpracování polymerních směsí, se mimo jiné uplatňují poznatky z fyzikálních oblastí, např. termodynamiky, mechaniky, dále pak technických materiálů, ale i elektrotechniky, programování aj. Řeší se např. přestupy tepla během výrobního procesu, ale i roztažnost materiálů, tření, tvrdost povrchů atd. Na základě uvedených příkladů může tato práce být využita pro výuku a zvýšení zájmu o studium fyziky a technických materiálů, právě na základě propojení teorie s praxí.

Vzhledem k složitosti a rozsáhlé problematice přesahující značně rámec této práce, bude o popisu funkce a vlastnostech forem pojednáno obecně. Práce bude zaměřena především na výrobní oblast formy, tj. vstřikovací dutinu a s ní spojené funkční prvky, které zásadně ovlivňují životnost formy.

2 Cíl bakalářské práce

Teoretické cíle:

Rešerše dostupné literatury, analýza výrobního procesu – podrobný rozbor všech funkcí systému vstřikování a rozřídění poznatků z praxe zadavatele, ale i zkušenosti z ostatních firem a poznatky z dosavadních výzkumných prací na toto téma.

Praktické cíle:

Pokusit se analyzovat všechny faktory ovlivňující opotřebení vstřikovacích nástrojů, nalézt mechanismus jejich opotřebení. Definovat všechny vlivy, které významně ovlivňují životnost nástroje. Pokusit se o návrh opatření pro zvýšení životnosti nástroje.

I. TEORETICKÁ ČÁST

3 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ

3.1. Podstata a princip

Podstatou zpracování plastů je tepelná plastikace nebo až roztavení hmoty a její následné tvarování v nástroji, přičemž v případě vstřikování dochází k výraznému přemísťování částic hmoty.

Technologicky se dělí na tvářen:

Tlakové:

vytlačování

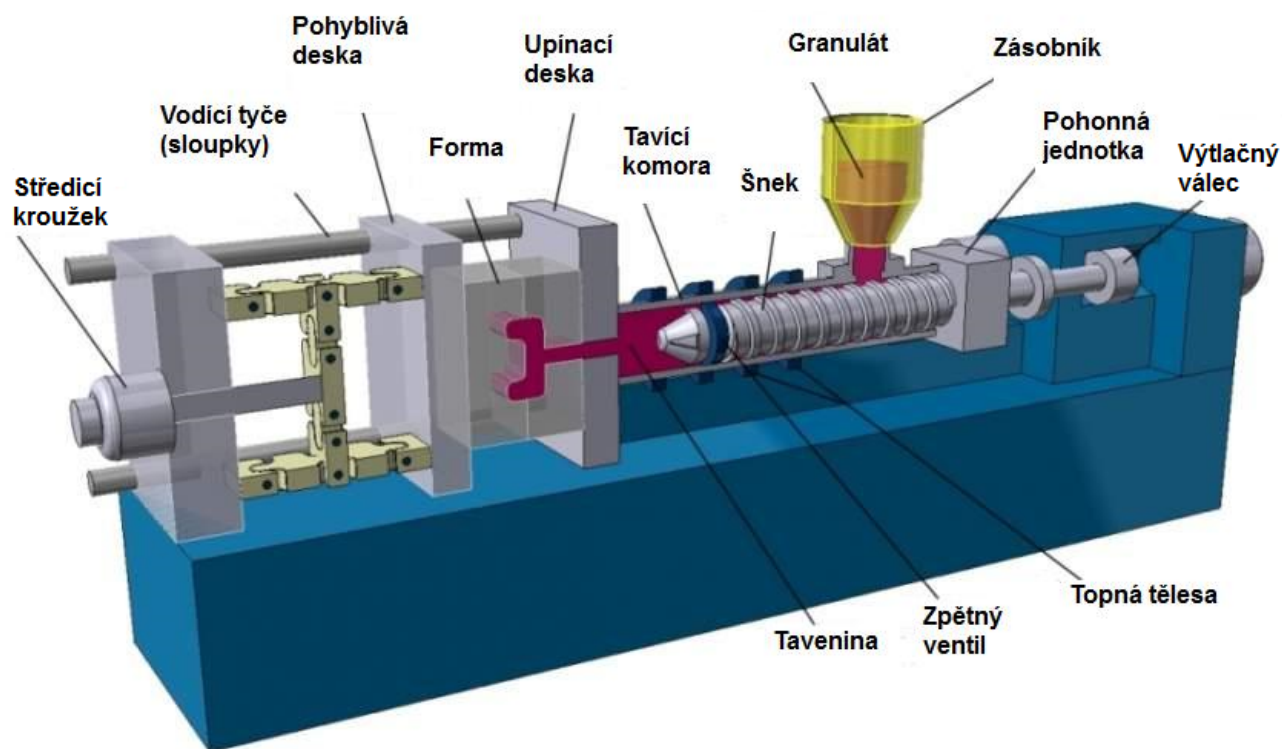
lisování: přímé
 nepřímé
 vstřikováním
 za studena
 nízkotlaké
 válcování

Beztlakové:

odlévání

máčení

V této práci je uvedeno s ohledem na zadání pouze lisování vstřikováním. Jedná se o nejrozšířenější druh tvářen termoplastů, jehož podstatou je nepřímé lisování. Proti sobě působí pohyblivá část formy (upevněná na pohyblivé desce) a píst plastikátoru (šnek), viz obr. 1.



Obr. 1 Forma a plastikační část lisu, převzato a upraveno z [1]

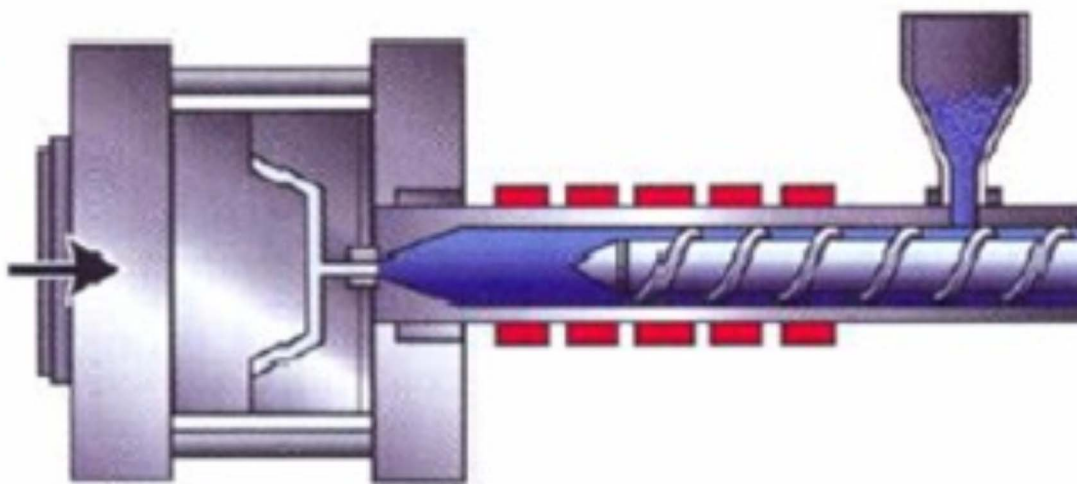
3.2. Vstřikovací cyklus

jednotlivé části cyklu jsou uvedeny následovně:

- | | |
|--------------------------------------|-------------------|
| - uzavření formy | (strojní čas I.) |
| - přisunutí vstřikovací jednotky | (strojní čas I.) |
| - vstřikování | (doba plnění) |
| - dotlačení | (doba dotlaku) |
| - plastikace (teplotní) | (doba plastikace) |
| - odsunutí vstřikovací jednotky | (strojní čas II.) |
| - otevření formy a vyhození výstřiku | (strojní čas II.) |

3.3. Strojní čas I.

Výrobní cyklus začne zavřením formy a případným přisunutím vstřikovací jednotky, viz obr. 2. Délka strojního času závisí na konstrukci formy, geometrii výrobku, typu stroje a zvolené technologii vstřikování. Trvá pouze několik málo sekund. Zásadním faktorem je zde dráha, kterou musí jednotlivé konstrukční části formy překonávat, s tím souvisí i vytvoření dostatku manipulačního prostoru pro bezproblémové vyjmutí výstřiku. V současnosti je trend snižovat strojní časy na minimum, ovšem rychlost zavírání nesmí být nepřiměřená, aby nedošlo k poškození formy. Zpravidla se pohyblivá část formy přiblíží rychle a před dosednutím ploch zpomalí. Pevná i pohyblivá část formy na sebe musí působit dostatečnou silou, aby nedocházelo během vstřikování a dotlaku k přetokům a zástřikům v oblasti dělicí roviny. [2]

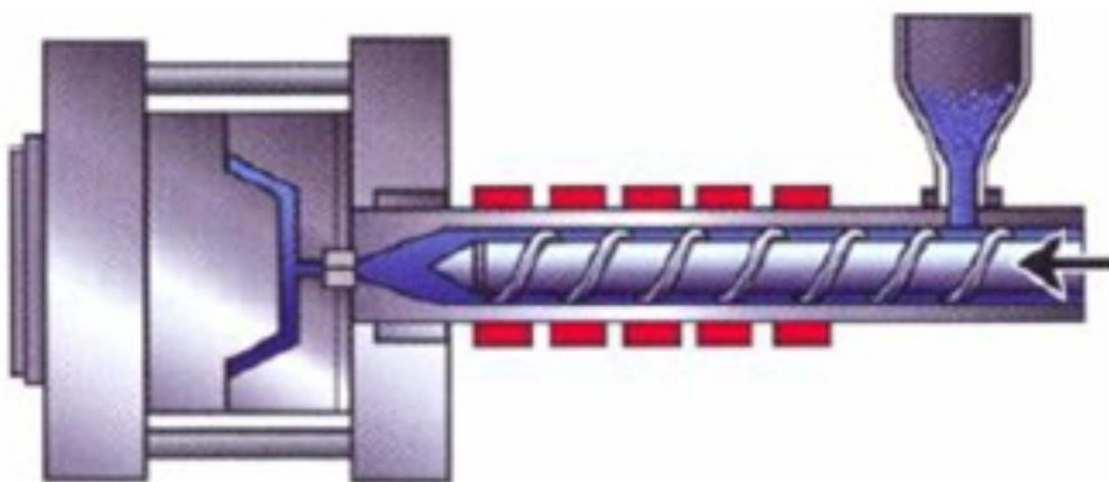


Obr. 2 Uzavření vstřikovací formy, převzato a upraveno z [3]

3.4. Doba plnění

Doba plnění je první a nejdůležitější fází vstřikovacího cyklu, která začíná uzavřením formy, viz obr. 3. Proudící tavenina předává své teplo stěnám formy, a její čelo tak chladne rychleji, proto

musí být tato fáze co nejkratší, neboť zcela zásadně ovlivňuje plnění dutiny formy a vlastnosti budoucího výrobku. Trvá od zlomku sekundy až po několik sekund, v závislosti na hmotnosti výrobku. Vstřikování je řízený proces, tavenina teče postupně laminárním tokem, volný vtok je nepřípustný. Během laminárního toku taveniny dochází při styku se stěnou formy k jejímu rychlému tunutí, to vede k vytvoření statické vrstvy hmoty a zároveň slouží i jako izolant oddělující tekuté jádro taveniny od chladných stěn formy, a umožňuje tak dopravu taveniny dál. Tyto rozdíly viskozit taveniny v průřezu toku zapříčiňují, že střed taveniny teče rychleji než tuhnoucí okraje, a tím nabývá čelo taveniny konvexní tvar. Závěrečnou fázi vstřikování doprovází prudký nárůst vnitřního tlaku v dutině formy, současně s tím klesá teplota taveniny. Dutina formy se plní na cca. 95 ... 97 % objemu. [2]



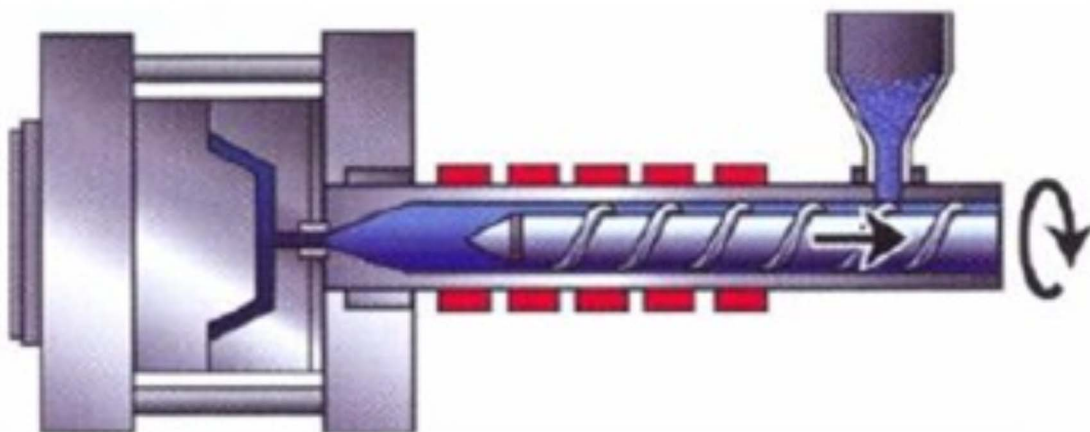
Obr. 3 Plnění dutiny formy a dotlak, převzato a upraveno z [3]

3.5. Doba dotlaku

Během chladnutí, které začíná ihned po vstřiku, se hmota smršťuje a mění svůj objem, to má za následek výskyt staženin, případně jiných defektů výrobku. Tato skutečnost se kompenzuje dotlakem taveniny. Dotlak je v první fázi konstantní. V druhé fázi dojde k jeho poklesu, přičemž se již nemění objem výrobku. To vede z hlediska termodynamiky k rozdělení dotlaku na izobarický a izochorický. Teploty pohyblivé i pevné části formy v průběhu provozu se děje průtočnou vodou. Rozdíl teploty vody na vstupu a výstupu formy by neměl přesáhnout 3°C. [2]

3.6. Doba plastikace

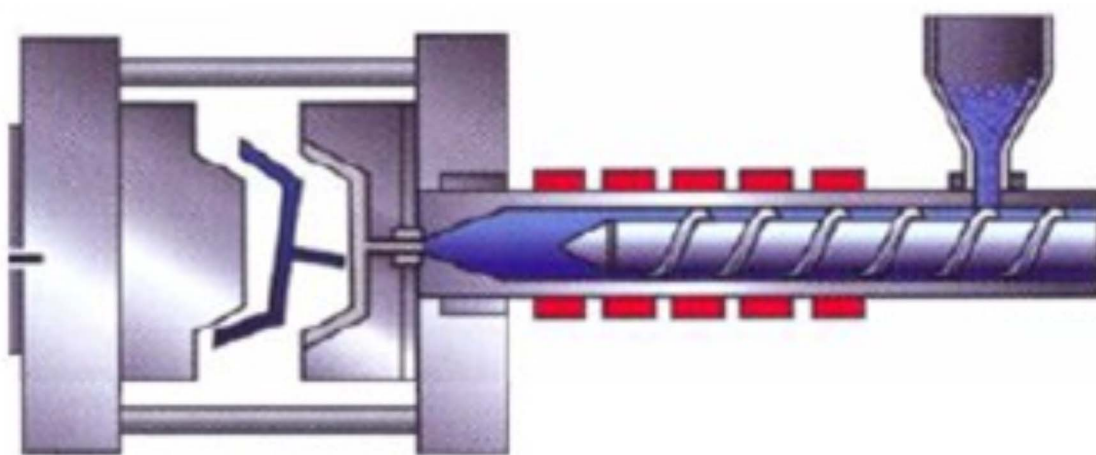
Teplotní plastikace začíná hned po dotlaku. V plastikačním válci začne šnek otáčením nabírat ze zásobníku nový granulat, současně s tím šnek ustupuje dozadu, a vytváří tak prostor, do kterého se vtačuje plastikovaná hmota, viz obr. 4. Plastikace probíhá hlavně působením tepla, které se šíří ze stěn plastikačního válce. Další zdroj tepla pochází z tření plastu o stěny válce a povrch šneku a z hnětací práce šneku. [2]



Obr. 4 Chlazení a plastikace, převzato a upraveno z [3]

3.7. Strojní čas II.

V této fázi se případně odsune vstřikovací jednotka, následně dojde k otevření formy a vyhození výstřiku z dutiny ven, případně odebrání manipulátorem, viz obr. 5. Zde je nutno uvést, že jak doba plastikace, tak případné odsunutí vstřikovací jednotky nemají vliv na celkový čas cyklu, protože chladnutí výstřiku probíhá nezávisle na nich. Během otevření lze provést očištění dutiny před dalším cyklem a případně vložit kovové či jiné základy do formy. [2]



Obr. 5 Otevření nástroje a odformování dílu, převzato a upraveno z [3]

4 POLYMERY

4.1. Pojmy [4]

Makromolekulární látka – synonymum pro polymer. Vysoce molekulární látka $M > 10 \text{ kg/mol}$.

Makromolekula – stavební částice polymeru (makromolekulární látky).

Monomer – látka, jejíž molekuly mají schopnost spojovat se za vhodných podmínek v makromolekuly.

Mer – opakující se jednotka v makromolekule polymeru, jejíž chemické složení odpovídá složení molekuly příslušného monomeru.

Makromolekulární (polymerní) řetězec – synonymum pro makromolekulu zdůrazňující její řetězovou strukturu.

Homopolymer – polymer, jehož makromolekuly se skládají z merů jednoho druhu.

Kopolymer – polymer, jehož makromolekuly se skládají z dvou, nebo více druhů merů.

Statistický kopolymer – kopolymer, v jehož makromolekulárních řetězcích jsou mery statisticky nahodile uspořádány.

Blokový kopolymer – kopolymer, jehož makromolekulární řetězce jsou tvořeny dvěma, nebo více bloky merů různého druhu.

Roubovaný kopolymer – kopolymer, který má na základním řetězci z merů jednoho druhu připojeny postranní řetězce z merů jiného druhu.

Stereoizomerie (takticita) – prostorové uspořádání merů v makromolekule (syndiotaktické, izotaktické, ataktické).

Ataktické polymery – polymery, v jejichž makromolekulách jsou mezery uspořádány s určitou prostorovou pravidelností. Dělí se na izotaktické a syndiotaktické.

Konfigurace – prostorové uspořádání atomů v molekule (makromolekule).

Izomery – látky (polymery) s různým prostorovým uspořádáním atomů v molekule (makromolekule).

Stereoizomery – polymery, jejichž řetězce se liší prostorovým uspořádáním merů.

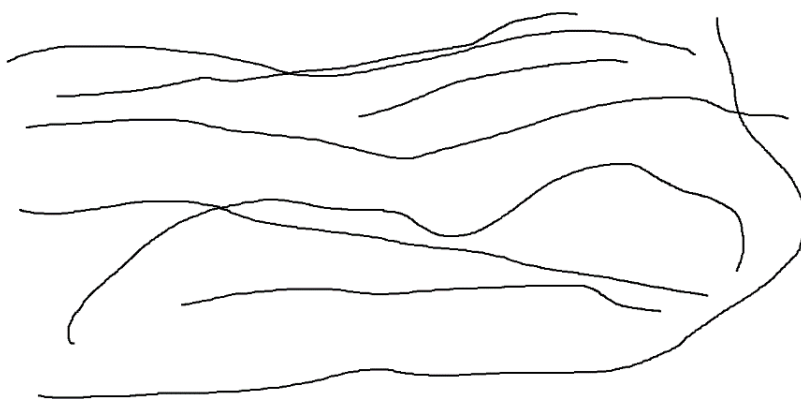
4.2. Vznik a dělení polymerů

Pro pochopení vzniku polymerů nám postačí obecný popis, protože popis reakční kinetiky by přesáhl rámec této práce.

V porovnání s kovy mají polymery odlišnou morfologii. Struktura kovů je tvořena krystalovou mřížkou, kdežto u plastu je tvořena makromolekulárními řetězci, které vznikají spojením molekul výchozích látek, monomerů, v průběhu polyreakce. Nejvíce zastoupeným chemickým prvkem v polymerech je uhlík C, neboť je schopen tvořit dlouhé řetězovité, nebo zesíťované molekuly. Z tohoto hlediska má uhlík dominantní postavení jak v přírodě, tak v syntetických makromolekulárních látkách. Dále jsou v makromolekulách obsaženy atomy chemických prvků jako je: H, N, Cl, O aj.

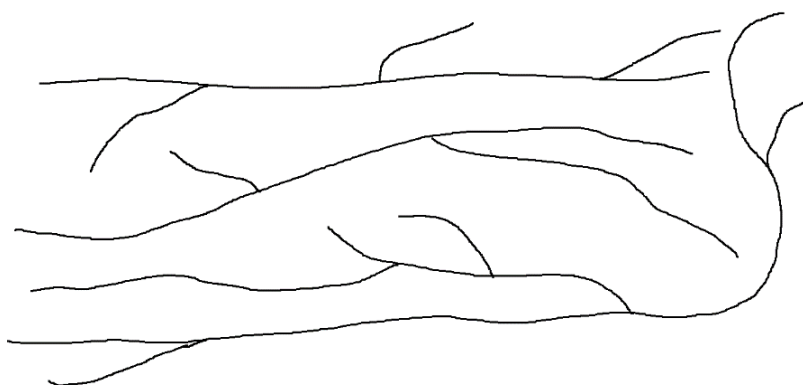
Řetězce makromolekul se dělí na lineární, rozvětvené a prostorově zesíťované.

Lineární – typické pro termoplasty, viz obr. 6



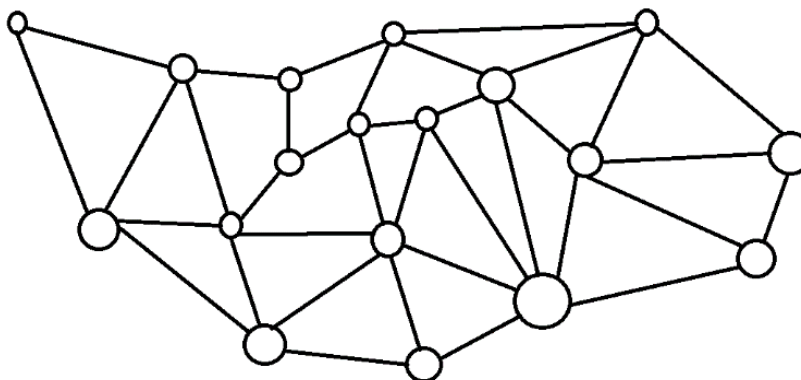
Obr. 6 Příklad lineárního řetězce

Rozvětvené – též obsažené v termoplastech viz obr. 7



Obr. 7 Příklad rozvětveného řetězce

Prostorově zesíťované – typické pro reaktoplasty (trojrozměrná struktura), viz obr. 8



Obr. 8 Příklad prostorově zesíťovaného řetězce

Jednoduchým příkladem polymeru je polystyren, který sestává z jednoho monomeru, nazýváme ho též homopolymer. Pro názornost si můžeme mer tohoto polymeru označit A, jeho řetězec by vypadal následovně [4].

AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA

Dalším případem může být kopolymer, jehož makromolekula vznikla z více monomerů, jako je tomu např. u polyamidu. Označíme-li jeden mer A a druhý B, můžeme je následně rozdělit na:

Statistické – mery se nahodile střídají AABABBBAAABAAAB

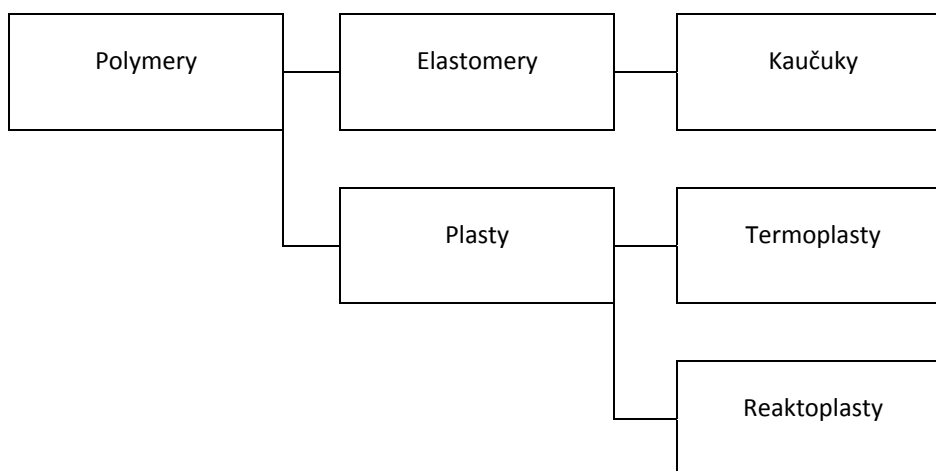
Blokové – mery se vyskytují v blocích AAABBBAAABBB

Roubované – na hlavní větvi meru jsou bočně připojeny „naroubované“ řetězce jiného meru [4]

```

      B
      B
      B
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA
      B      B
      B      B
      B      B
  
```

Polymery obecně dělíme na elastomery a plasty, jak názorně ukazuje obr. 9,:



Obr. 9 Rozdělení polymerů, převzato upraveno z [4]

Elastomery – jsou elastické polymery, u kterých můžeme za běžných podmínek měnit tvar působením vnějších sil, bez toho aniž by došlo k trvalému poškození, nebo destrukci materiálu. Nejvíce jsou v této skupině zastoupeny **kaučuky**, ze kterých se vyrábí pryž.

Plasty – jedná se o polymery za běžných podmínek tvrdé a převážně křehké. Působíme-li na ně zvyšující se teplotou, měknou až tají, a lze je tvarovat. Tyto polymery dalším ochlazením opět tuhnou. Lze je recyklovat. Tuto skupinu plastů nazýváme **termoplasty**.

Naopak plasty, které se pomocí tepla vytvrzují chemickou reakcí, přičemž vznikne netavitelná a nerozpustná látka, se nazývají **reaktoplasty**. Plasty z této skupiny nelze recyklovat.

Mezi oběma skupinami existují mnohé další s různými stupni rozvětvení, nebo zesíťování.

Dále se z hlediska morfologie dělí struktura polymerů na **semikrystalickou** a **amorfní**. V amorfní (nahodilé) či nepravidelné struktuře se polymer nachází v průběhu tavení, kdy makromolekuly zaujímají tvar globulu (klubka). U některých polymerů může po ochlazení amorfní struktura z větší části přetrvat. Jinak mají při chladnutí makromolekuly tendenci se uspořádat, a vzniká tak semikrystalická struktura, kterou obklopuje amorfní část hmoty. Za určitých podmínek vznikají u semikrystalických polymerů polokrystalické útvary, tzv. sférolity. Může tak vzniknout skin – core efekt, kdy povrchová vrstva obsahuje krystalickou strukturu, přičemž v jádře se vytváří struktura sférolitická. Úplné krystalizace polymeru lze dosáhnout pouze v laboratorních podmínkách.

Zadavatel definoval dva konkrétní typy termoplastu, který je v jeho závodě zpracováván, proto bude nadále pojednáváno pouze o těchto dvou materiálech.

4.3. Vlastnosti zpracovávaných polymerů

Všechny chemickofyzikální vlastnosti polymerů jsou dány jejich chemickým složením, molekulární a nadmolekulární strukturou. Amorfní polymery jsou průhledné, mají vyšší tažnost a vrubovou houževnatost. Pevnost polymeru narůstá se zvyšující se krystalinitou, která zvyšuje i jeho hustotu, modul pružnosti a tvrdost [2]. V praxi se čisté polymery vyskytují v omezeném množství. Ve většině případů jsou dotovány přísadami zlepšující jejich užité vlastnosti, jako např. antioxidanty, světelné stabilizátory, barviva, maziva, změkčovadla, retardéry hoření aj. Dále se ve velké míře uplatňují plniva organického a anorganického původu. Mají tvar vláken (skleněná, uhlíková, kovová, minerální, aramidová, konopná aj.), nebo částic v podobě kuliček, prášku atp. (mikroskopické částice kovů, skleněné kuličky, skleněný prášek, dřevitá moučka, oxidy křemíku, mleté minerály aj.). Vlákna v polyamidech plní převážně funkci vyztužující, zvyšují mez pevnosti a modul pružnosti. Plniva, jako např. grafit, snižují součinitel tření, a tím zlepšují kluzné vlastnosti, kovový prášek zvyšuje tepelnou vodivost a obě tyto plniva mohou zlepšit i odvádění el. náboje z povrchu výrobku. Negativní stránkou plniv je, v případě skelných vláken a částic, vyšší opotřebení nástrojů pro vstřikování polymerů [2].

4.3.1 Grivory HTV-4X1 Natural

Zadavatel ve svém závodě zpracovává materiál Grivory HTV-4X1 Natural. Ten patří do skupiny polyamidů alifatického typu [5]. Jedná se o částečně aromatický lineární kopolymer se semikrystalickou strukturou.

Označení podle ISO: PA 6T/6I, podle ASTM: PPA Polyphthalamid.

Vlastnosti:

- o Obsahuje 40 hm. % skelných vláken,
- o dobrá svařitelnost třením, ostatní způsoby svařování omezené,
- o dobře odolává nepolárním rozpouštědlům,
- o silné kyseliny ho rozpouští,
- o vysoká pevnost,
- o vysoká teplota tání,
- o nasákavý - vlhkost snižuje modul pružnosti a teplotu zeskenění pod 0 °C, dále pak pevnost, tvrdost, modul pružnosti, tuhost. Naopak zvyšuje houževnatost a tažnost.
- o index toku se neuvádí, jedná se o polární plast a navlhavost tuto zkoušku zkresluje. Index toku lze v případě potřeby zjistit speciální zkouškou dle normy ISO 307.
- o obecně je polyamid náchylný na krip,
- o dobré kluzné vlastnosti.

4.3.1.1. Zpracování a použití

Jedná se o teplotně stabilizovaný materiál určený ke stříkání. Jeho tvárnost za tepla HDT/A je od 270 °C, což ho spolu s teplotou tavení 325 °C řadí mezi polymery s vyšší teplotou zpracování. Za běžných zpracovatelských podmínek není přílnavý, použití separátorů není zadavatelem povoleno. Smrštění v podélném směru 0,1%, v příčném směru 0,55%, celkově je ovlivněno tvarem plniva. Příznivá viskozita umožňuje dobrou zabíhavost do forem za tepla [6], je tedy vhodný i pro konstrukčně náročné aplikace. Má vysokou teplotní odolnost, což mu dodává i tvarovou stálost a vynikající mechanické vlastnosti. Tento druh polymeru neobsahuje změkčovadla. Je chemicky odolný a zdravotně nezávadný, může přijít do styku s potravinami i pitnou vodou.

Tento polymer se řadí mezi vrcholné konstrukční materiály určené pro náročné aplikace. Je vhodný zejména pro výrobu pedálů, krytů motorů, krytů ručních vrtaček, brusek, nádržek atp.

Z hlediska opotřebení nástroje je negativním faktorem zvýšená teplota zpracování polymeru v kombinaci s výskytem skelných vláken (plnivem), jejichž tvar má přímý vliv na abrazivní opotřebení.

Materiál vyrábí a dodává fa. EMS Grivory, viz materiálový list v příloze č. 1.

4.3.2. Hostaform C13021

Dalším materiálem určeným zadavatelem je polyoxymetylen (polyacetát, polyformaldehyd) Hostaform C13021. Vyrábí se polymerací formaldehydu, jedná se o vysoce krystalický kopolymer. Vzhledem k tomu, že tento polymer není v uvedeném nástroji zpracováván, nebude o něm dále pojednáváno. Mimo to má nižší teplotu zpracování a neobsahuje abrazivní částice, proto nebude na nástroj působit tak agresivně jako polymer uvedený v bodě 4.3.1.

Vlastnosti:

- o snadno tekoucí, vhodný pro výrobu přesných dílů,

- o vysoká tuhost, tvrdost a houževnatost,
- o dobrá chemická odolnost vůči rozpouštědlům, pohonným hmotám a silným zásadám,
- o dobrá odolnost vůči hydrolýze,
- o vysoká odolnost vůči tepelné a oxidační degradaci,
- o dobrá svařitelnost třením, horkým plynem, horkým tělesem, ultrazvukem, žádná vysokofrekvenční [7],
- o mírně navlhavý,
- o index toku 12 cm³/10 min.,
- o odolný na krip,
- o dobré kluzné vlastnosti. [8]
- o hořlavý, odolnost nelze zvýšit přísadami [8]

4.3.2.1. Zpracování a použití

Jde o snadno tekoucí kopolymer vhodný pro přesné stříkané a lisované díly. Jedná se o teplotně stabilizovaný materiál určený ke stříkání. Teplota tavení je v rozmezí 190 - 230 °C, v porovnání s předchozím polymerem má nižší teplotou zpracování. Za běžných zpracovatelských podmínek není přílnavý, použití separátorů pro usnadnění odformování není zadavatelem povoleno. Smrštění v podélném směru 2%, v příčném směru 1,8%. Příznivá viskozita umožňuje dobrou zabíhavost do forem za tepla.

Jeho vlastnosti ho předurčují k výrobě ozubených kol, uzávěrů palivových nádrží osobních automobilů, těles palivových čerpadel, ložisek, šroubů, krytů strojů atd. [8]

Materiál vyrábí a dodává fa. Ticona, viz materiálový list v příloze č. 2.

4.4. Popis výrobku

4.4.1. Charakteristika výrobku

Na obr. 10 je uvedený 3D-model výrobku, který se vyrábí z polyamidu Grivory HTV-4X1 Natural na vstřikovací nástroji SZ 11111 CB00 s dvěma výrobními dutinami. Jedná se o držák čerpadla sloužící k přepravě AdBlue, který se skládá z převážně tenkostěnných válcových tvarů propojených navzájem na sebe kolmými kanálky. Do jednotlivých průměrů držáku jsou následně lisovány další komponenty, vč. čerpadla, které je náustkem spojeno s příslušným hydraulickým systémem vozidla. Držák musí během své životnosti, kdy je vystaven různým provozním podmínkám (vibrace, tlak, teplota, vlhkost aj.), zajistit požadovanou těsnost a zároveň splňovat podmínky pro bezpečný provoz. Rozměry držáku čerpadla cca. 80x60x50 mm, hmotnost cca. 56 g.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 10 3D-model držáku čerpadla

4.4.2. Vady vzniklé během výroby

Během výrobního procesu mohou na výrobku nastat závady, které vedou k jeho vyřazení (zmetkovitosti). Jedná se o konkrétní druhy závad, které zadavatel eviduje v katalogu vad a které lze přímo spojit s opotřebením nástroje. Nástroj se indikuje k opravě na základě vizuálního posouzení velikosti hrotů a plen namátkově vybraného výrobku (min. jednou za směnu) se vzorovým kusem. Zjištění významnější závady, než je na vzorovém kuse, vede k okamžitému ukončení výroby a předání nástroje do opravy, viz obrázky č. 11, 12, 13, 14, 15.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 11 Pozice kanálků v držáku čerpadla

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 12 Hroty v kanálcích

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 13 Hroty v kanálcích

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 14 Pleny v kanálcích

V případě nedostatečného odvzdušnění dutiny formy, nebo silným znečištěním výfukových kanálků, může během plnění na výrobku dojít k „diesel efektu“, který se projevuje spáleným povrchem polymeru (bílá místa), viz kapitola 5.1.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 15 Spálené čelo náustku „diesel efekt“

5 KONSTRUKCE FOREM

Jak je již v úvodu a cíli předesláno, je tato práce reakcí na konkrétní potřeby zadavatele, proto se následující text zaměří hlavně na tvarovou dutinu a její části. Z toho důvodu se pojednání o konstrukci forem bude pohybovat v obecné rovině a nebudou zde zmiňovány konstrukční části, které se této problematiky netýkají.

5.1. Zásady konstrukce forem [9]

Formy pro vstřikování polymerů jsou výměnné nástroje, které se upevňují na vstřikolisy. Ty mohou být s pístovou nebo šnekovou vstřikovací jednotkou. V RBCB jsou v provozu lisy se šnekovou vstřikovací jednotkou. Ve vstřikovací jednotce dochází k teplotní plastifikaci polymeru dodávaného ve formě granulátu. Princip výroby výstřiku spočívá v naplnění dutiny formy taveninou tlakem cca. 300 – 1 200 bar. Po vstřiku trvá dotlačování taveniny do dutiny až do zatuhnutí vzorku, přičemž následným ochlazením dojde k fixaci tvaru požadovaného výrobku, který mimo to získává i požadované vlastnosti. Tvarová dutina se skládá z tvárnic, tvárníků, tvarových vložek a jader, viz obr. č. 16. Forma musí být odolná tlakovým a tepelným dynamickým zátěžím, rozměrově a geometricky stabilní, automatizovaná se snadnou obsluhou, snadným vyjmutím výstřiku, s adekvátní pořizovací cenou. Snadná a rychlá výroba, vč. údržby a oprav, jsou faktory zohledňované při konstrukci nástroje. Vysoká produktivita práce znamená krátký čas cyklu, což je podmíněno rovnoměrným a účinným odvodem tepla z dutiny.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 16 Popis částí formy:

a) dělicí rovina, b) pohyblivá část, c) pevná část (strana trysky), g) šoupátko (šíbr), i) středící kroužky.

Životnost v zásadě ovlivňuje volba materiálu formy a konstrukční řešení podmíněné tvarem vylisku, vč. jeho tepelných úprav za účelem zlepšení fyzikálně mechanických vlastností. Je tedy nutné zohlednit při konstrukci druh zpracovávaného polymeru, technologii vstřikování, rozměry a složitost výrobku, počet výrobků v sérii, odolnost opotřebení, převládající namáhání jednotlivých součástí a konstrukčních uzlů aj. Forma se skládá z jednotlivých **konstrukčních** prvků, které zajišťují její funkci a těch, které jsou v kontaktu s taveninou. Které nazýváme **funkčními prvky**. Konstrukčně se formy typově rozdělují podle:

Počtu dutin: jednonásobné a vícenásobné,

Pozice vstřikovací jednotky: se vstřikováním do dělicí roviny a kolmo na dělicí rovinu,

Způsobu zaformování vtoku a speciální konstrukce: dvou-, třideskové, etážové aj.

Jednotlivé části forem dělíme do skupin tvořících tvarovou rovinu, temperovací systém, vtokový systém, vyhazovací systém, upínací a vodící prvky. Podle vstřikovaného polymeru rozlišujeme formy pro termoplasty, reaktoplasty a elastomery. S ohledem na teplotní a tlakovou zátěž, dále na cyklické zatěžování a stále rostoucí požadavky na přesnost vylisků, je nutné, aby forma

a její exponované části měly dostatečnou tuhost a pevnost. S tím souvisí i přesnost a jakost styčných a funkčních ploch.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 17 Pevná část formy:

d) horký vtokový kanál, e) jádro, h) temperační kanály, f) tvarová vložka, k) tvářecí dutina.

Při konstrukci formy se nejprve zhodnotí model a výkres výrobku, jeho složitost, rozměry, požadované tolerance atd. Dále se posoudí vyrobitelnost a navrhne se umístění dělicí roviny, rozvrhne se uspořádání tvarových dutin ve formě, navrhne se vtokový systém, posoudí se a navrhne

vyhazovací a temperační systém formy, navrhne se rám formy, její uspořádání, středění a upínací systém, následně se provede kontrola funkčních parametrů formy.

Jako jeden z možných častých příkladů potíží vznikajících v průběhu lisování lze uvést nedovření hran nástroje v oblasti dělicí roviny z důvodu opotřebení zavíracích hran nástroje. To má za následek vznik otřepů, příp. větší rozměr výrobku v uzavíracím směru formy. Stejně tak chybně zvolené rozměry nebudou splňovat rozměry stanovené pro výrobek ve výkresové dokumentaci. Kvalita povrchu a rozměry výrobku závisí na přesných rozměrech tvarové dutiny a kvalitě jejího povrchu. Přesnost rozměrů dutiny je podmíněna správným konstrukčním návrhem se zohledněním smrštění a deformací polymeru a jejím opotřebením. Pro predikci smrštění s deformací výlisku se využívá simulace plnění v programech MoldFlow a CadMold.

K zaplnění tvarové dutiny je třeba co nejkratší čas, resp. kvalita výlisku je determinována vstřikovací rychlostí. Při vstřikování může za příliš vysoké rychlosti taveniny docházet na ostrých hranách k degradaci materiálu, proto je nutné eliminovat odpor vznikající při kontaktu taveniny s vtokovým systémem a dalšími funkčními prvky. K snížení odporu vede mimo jiné volba vhodných drah a průřezů pro vtok taveniny (pro semikrystalické polymery větší průřezy) a zaoblení ostrých hran vtoků atp. V praxi bylo zjištěno, že leštění povrchů vtokového systému nevede k lepšímu plnění dutiny, protože dochází k lamelizaci plastu a posouvání již ztuhlých lamel ve směru plnění. Na výlisku se toto projeví jako povrchová vada. Cílem je, aby tavenina proudila laminárně v izolační vrstvě. Určitá drsnost povrchu vtokového systému zvyšuje fixaci izolační vrstvy, která tak není náchylná k posunutí vlivem proudící taveniny a nezpůsobuje tak vady na povrchu dílů (vrásovitost, špatně spojené vrstvy plastu a v krajním případě i zúžení průřezu vtoku, nebo jeho ucpání).

Plnění dutiny zásadně ovlivňuje její odvědušnění. V případě nedostatečného odvědušnění může docházet k „diesel efektu“ (městnání horkých plynů v dutině formy během jejího plnění), to má za následek spálený povrch výrobku, viz obr. 15. Ve spálených lokalitách je změněná struktura polymeru, což vede k jeho zkřehnutí a v důsledku toho umožňuje iniciaci trhlin a jejich šíření.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 18 Pohyblivá část formy:

k) tvářecí dutina.

5.2. Požadavky na vlastnosti forem [10]

Z **mechanických vlastností ocelí** je důležitým údajem mez pevnosti v tahu R_m σ_{Pt} a mez kluzu R_e σ_{Kt} . Dále poměrné prodloužení ε v % a pro křehké materiály pevnost v ohybu. **Obrobitelnost** je determinována tvrdostí a je znakem pro hospodárné obrobení do tvaru, jakosti povrchu, přesnost rozměrů. Je velice dobrá v měkkém, žíhaném stavu. Závisí na tvrdosti struktury, typu a množství karbidů, které obsahuje matrice. Více uhlíku a legur zvyšuje pevnost a zhoršuje obrábění. Úzce s ní souvisí i **tvářitelnost**, která má význam hlavně při výrobě vtačováním. **Leštitelnost** závisí na drsnosti, čistotě matrice, struktuře a množství legur ($R_a < 0,05 \mu m$), ovlivňuje ji rozložení karbidické fáze v materiálu, její nízký obsah zvyšuje leštitelnost. **Pevnost v tahu a odolnost proti otěru** narůstají s vyšší tvrdostí, pozitivně ji ovlivňují Cr, W, Mo, V. Oproti tomu účinek obou zmíněných faktorů negativně ovlivňuje **houževnatost a brusitelnost**. **Korozivzdornost a odolnost chemickému působení polymeru** v oxidačním prostředí zajistí min. 12% obsahu Cr dokonale rozpuštěného ve struktuře materiálu, k tomu je žádoucí i nižší obsah C. **Kalitelnost** je schopnost vytvrzení oceli zakalením a závisí na obsahu C v její struktuře. Nižší obsah C má za

následek nižší tvrdost než je u eutektoidních ocelí. Prokalitelnost se bere v potaz u větších součástí. Všechny legury stabilizují austenit v oblasti perlitické reakce a umožňují prokalení větších tloušťek i při pozvolném ochlazení. **Stálost rozměrů a omezení deformací vznikajících při kalení** jsou žádoucí pro dosažení přesných rozměrů a stabilní geometrie tvarů dílu. Závisí na složení oceli a způsobu jejího ochlazení. Nejvyšší deformace vykazují vysoce uhlíkaté oceli, nebo oceli s vyšším podílem karbidické fáze. V kalené struktuře vyšší podíl martenzitu zapříčiňuje vyšší deformace. Naopak zbytkový austenit snižuje deformace, pozitivně zde působí Mn, Ni. Význam deformací se snižuje elektroerozivním obráběním již dříve zakaleného polotovaru. **Tepelná vodivost, roztažnost a koeficient tření** jsou fyzikální vlastnosti kovů, které ovlivňují chování součástí v provozu. Mimo jiné musí materiál formy splňovat požadavky na **tepelnou odolnost**.

Z výše uvedeného lze konstatovat, že splnit všechny požadavky kladené na nástroj prostřednictvím jednoho druhu nástrojové oceli je kvůli jejich protichůdnosti nereálné. Při výběru je třeba zvážit vlastnosti a technologii vstřikovaných polymerů, způsob výroby funkčních částí forem, velikost součástí i způsob tepelného zpracování. Dále cenu a vhodnost opracování s dosaženou kvalitou povrchu.

5.3. Opotřebení a jeho vliv na životnost nástrojů [11]

Problematika životnosti nástrojů byla vyhodnocena ze současného stavu opotřebování nástroje. Zadavatel se primárně snaží o prodloužení intervalu plánovaných oprav nástrojů a o vymýcení neplánovaných oprav. Obecně lze opotřebení nástroje popsat jako výsledek reakce na namáhání, kterému je nástroj po dobu provozu vystavený. Velice zřídka je v praxi nástroj zatěžován jedním druhem namáhání, ve většině případů se jedná o kombinaci několika druhů namáhání současně. Výsledné poškození nástroje, nebo spíše jeho částí, vede ke zvýšení zmetkovitosti výroby, v kritických případech až k zastavení výroby (na základě vážného poškození, např. lomu).

Opotřebení se rozděluje na: **adhezivní, abrazivní, erozivní, kavitační, únavové a vibrační**. V praxi se mohou přidružit další druhy namáhání, jako teplotní, koroze atp.).

Abrazivní opotřebení vzniká při vzájemném silovém působení částic plniva a povrchu funkční součásti. Dochází přitom k oddělení a přesunu částic materiálu. Nejvíce exponovanou částí je závírací hlava tvárníku, na níž působí skelná vlákna, skládající se z oxidů Si, Al, Ca, Mg, obsažená v tavenině polymeru, případně to může být i prach usazený v mazivu. Dále jsou tomuto druhu opotřebení vystavena jádra, tvárníky, tvárnice, vtoková pouzdra a ústí vtokové vložky, tvarové vložky a šoupátka. K eliminaci abraze hrany se často aplikuje vhodná povrchová vrstva, návar nebo nástřík, které jsou tomuto namáhání odolné. Obecně se využívají Stellite (povlak na bázi Co), méně odolné jsou slitiny na bázi CrBSi a nitridované, příp. cementované vrstvy.

Adhezivní opotřebení je zapříčiněno adhezivními silami mezi povrchy, které jsou v těsném kontaktu. Protože plochy nejsou absolutně hladké, stýkají se v místech nerovností, má zde významný vliv drsnost povrchu R_a , s jejíž rostoucí velikostí se zvyšují i styčné plochy. Ve styku mikronerovností dochází k elastické a plastické deformaci. V první fázi se setkávají vrcholy nerovností a dochází k elastické deformaci, která je závislá na tlakovém napětí, s jehož nárůstem až na mez kluzu následně dojde k plastické deformaci povrchu doprovázené snížením jeho mechanických vlastností. Přitom může dojít k porušení povrchové vrstvy a v kontaktních plochách mohou vznikat mikrospoje. V případě relativního pohybu obou povrchů se mikrospoje porušují působením

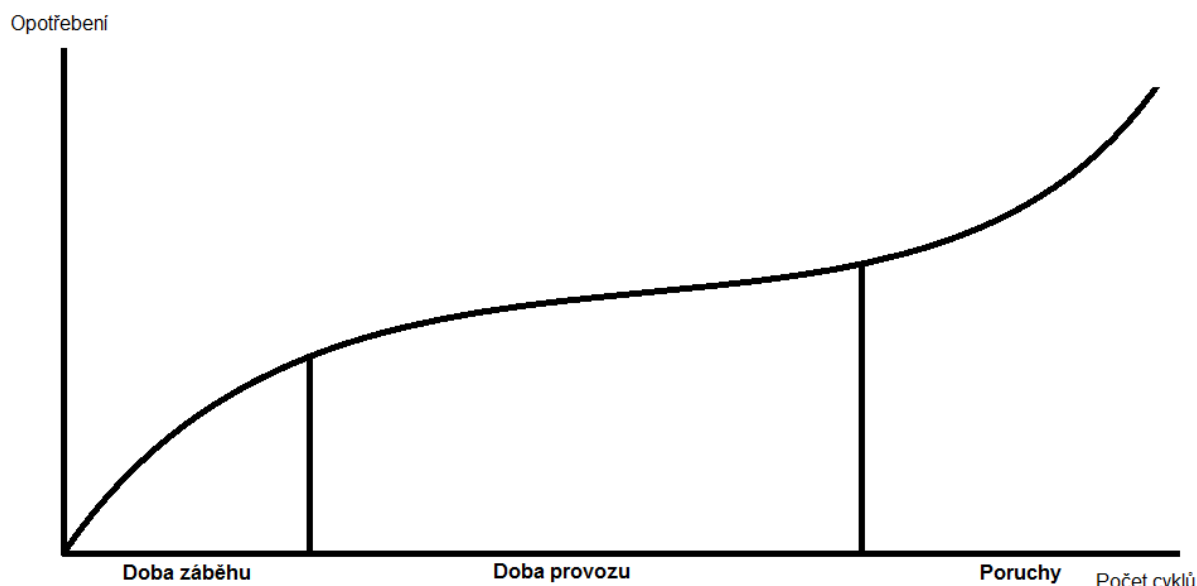
tangenciálních nebo normálních sil na původní ploše dotyku, nebo pod povrchem měkčího materiálu. Výsledkem plastické mikrodeformace je zpevněný povrch materiálu. Při porušení mikrospoje dochází i k lokálnímu nárůstu teploty, čímž se zvýší difuze, a je tak umožněn přenos měkčího materiálu na tvrdší, kde vytváří povlak většinou nesouvislého zpevněného materiálu. Je možný i zpětný přenos částic na měkčí materiál. Základním předpokladem pro přenos je porušení povrchové vrstvy vzniklé oxidickou nebo chemickou reakcí. Při intenzivním přenosu a zpětném přenosu částic může docházet k intenzivnímu poškození třecích povrchů a tvorbě částic otěru. Adhezivní opotřebení postihuje většinou tvarové vložky, ovšem na zavíracích hranách nástrojů je celkem zanedbatelné v porovnání s jinými druhy mechanického namáhání.

Erozivní opotřebení vznikne dopadem částice obsažené v tavenině na povrch funkční plochy. Částice s dostatečnou energií při dopadu vytlačí, nebo oddělí materiál z funkční plochy. Opotřebení závisí především na rychlosti a úhlu dopadu částice, chemickém složení taveniny, velikosti, tvaru, tvrdosti částice atd. Nejintenzivnější opotřebení vzniká, když mají částice a funkční plochy srovnatelný jejich modul pružnosti v tahu. Na zavírací hrany nástroje působí mimo uvedené i koroze, únava z teplotní zátěže, ohyb a dynamické namáhání.

Únavové opotřebení vznikne tam, kde na sebe opakovaně a dlouhodobě působí dva povrchy tlakem. Přičemž rozhodujícím faktorem je velikost kontaktního tlaku a jeho frekvence. Zásadní vliv zde mají vlastnosti povrchových a podpovrchových vrstev materiálů. Tento druh opotřebení nebude dále diskutován, protože nebyla zjištěna přítomnost povrchových důlků, kterými se toto opotřebení projevuje.

Vibrační opotřebení vzniká v případě tuhých těles přitlačovaných na sebe normálovou silou a vystavených kmitavému pohybu. Opotřebení je závislé na frekvenci a maximální výchylce (amplitudě) vibrace, vč. vlastností materiálů. Toto opotřebení se v nástroji podle analýz nevyskytuje, tudíž nebude dále pojednáváno.

Opotřebení má průběh skládající se z doby záběhu, provozu a poruch, viz obr. 19. Při záběhu se dosahuje stejnoměrné drsnosti povrchu snižováním mikronerovností na styčných plochách. Doba provozu je stabilní děj, při kterém míra opotřebení roste lineárně s časem, a z konstrukčního hlediska je v této fázi žádoucí snížit opotřebení na minimum. Po této době může opotřebení progresivně narůstat, objevují se vůle ve styku součástí a dochází ke zvyšování dynamických účinků a k vzniku rázů, což dále namáhá součásti. Z pohledu kontaktního procesu má v praxi velký význam skutečná plocha styku, geometrická není rozhodující. [12]



Obr. 19 Průběh opotřebení

V průmyslové praxi jsou klíčovými faktory koeficient tření, otěr a adheze. Testují se např. metodou Pin on Disc, která se provádí tribometrem, viz obr. 20. Z interakce rotujícího vzorku se zatíženým indentorem (kuličkou) lze z vytvořené stopy analyzovat informace o koeficientu tření a otěru. Zkoušku lze provádět i za zvýšených teplot (max. 800°C). Je-li koeficient tření stabilní, zůstávají oba materiály většinou relativně nedotčené a vykazují dobrou odolnost vůči otěru. Na druhé straně však, pokud dochází k zásadním změnám koeficientu tření, většinou je detekována vyšší míra opotřebení. Opotřebení lze kvantifikovat jako objem materiálu odstraněného ze vzorku, tento objem lze vypočítat pro obě tělesa, jak rotující vzorek, tak statické protitěleso (aluminiumoxidovou kuličku). [13]



Obr. 20 Tribometr pro zkoušku Pin on Disc, převzato z [13]

Další klíčovou vlastností je hodnocení adheze povlaku zkouškou scratch-testerem, obr. 21. Hodnotí se následek interakce Rockwellova diamantového hrotu s testovaným povrchem, po

kterém se pohybuje. Zjišťuje se adheze povlaku k substrátu, hloubka vniku a koeficient tření. Zatěžující síla může být konstantní, nebo rostoucí (max. 200 N). [13]



Obr. 21 Scratch tester pro měření adheze, převzato z [13]

5.4. Analýza problematiky konstrukce forem

V současnosti zpracování některých druhů polymerů posouvá materiály vstřikovacích nástrojů na samou hranici jejich možností. Důležitá oblast při konstrukci forem spočívá ve volbě vhodného materiálu pro jednotlivé části, který má spolupůsobit ve tvářecí dutině a zajistit pokud možno bezporuchový provoz nástroje. Jedná se hlavně o funkční prvky, které do sebe takzvané „zamykají“, případně jsou v jiném kontaktu, a které se vzájemně opotřebovávají v součinnosti s dalšími vedlejšími vlivy (např. teplota, abraze atd.) Mnohdy se jedná z hlediska konstrukce o obtížně řešitelné situace, zvláště v případě odvodu tepla z malých jader, kam není možné přivést chladicí médium. Odvod tepla je tak zajišťován materiálem s vysokou tepelnou vodivostí, ale na úkor tvrdosti jádra.

Významným faktorem, který přímo nesouvisí s konstrukcí forem, ale výrazně ovlivňuje jejich životnost, je senzorika. Např. jedna ze dvou výrobních dutin nástroje je osazena tlakovým senzorem, který ukazuje aktuální hodnotu tlaku v dutině, na základě tohoto údaje je řízen vstřikovací proces a dotlak. Senzor, respektive software, již ale nesleduje tlakový nárůst v případě ucpání plnicí trysky vtokového kanálu, což má za následek přeplnění jedné z výrobních dutin taveninou. Dávka taveniny je napočítána přesně pro obě dutiny. Dojde-li ke zmíněnému ucpání trysky, je celá dávka taveniny naplněna do jedné dutiny a dojde k takzvanému „zástřiku formy“, což je pro vstřikovací nástroj zcela fatální situace. Tavenina se vlivem tlaku dostane mimo vstřikovací dutinu a vměstná se za konstrukční prvky, jako třeba šoupátko, a po jejím zatuhnutí nelze nástroj otevřít. Následně je třeba k jeho otevření použít hrubé síly, současně s tím dojde k poškození všech „zamčených“ jader a dalších dílů, které se nemohly vrátit do své výchozí pozice. Oprava takto poškozeného nástroje je časově a finančně nákladná, k tomu je nutné připočíst i zastavení produkce a s tím spojené finanční ztráty. V následující tabulce č. 1 je přehled všech tvarových prvků nacházejících se ve tvářecích

dutinách nástroje SZ 11111 CB00, vč. uvedených číselných pozic v nástroji, druhů materiálu, ze kterých jsou vyrobeny a jeho tvrdostí. Obrázek 22 ukazuje sestavu „uzamčených jader“ tak, jak je lze vidět po uzavření formy (nástroje).

Následující tabulka obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Tabulka č. 1 Přehled funkčních prvků tvářecí dutiny.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 22 Pohled na celkovou sestavu jader, vložek aj. v dutině formy.

Materiál	Tvrdost [HRC]	Modul pružnosti [MPa]	Součinitel teplotní vodivosti λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
Ocel 1.2343 Böhler	52 - 54	215 000	27,7 ¹⁾
Ocel 1.2367 Böhler	52 - 54	215 000	30,4 ¹⁾
Ocel 1.2516 Hasco	58 - 60	-	-
Moldmax HH	40	131 100 ³⁾	145 ²⁾

Tabulka č. 2 Přehled použitých ocelí

¹⁾ při 200 °C, ²⁾ při 20 °C, ³⁾ Rm pevnost v tahu

5.5. Ověřování konstrukce forem v současnosti

Následující odstavec obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

5.6. Workflow výroby jader

Následující odstavec obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

5.7. Technologie oprav nástrojů využívané zadavatelem [11]

Zadavatel v současné době využívá následující technologie k opravám vstřikovacích nástrojů. Současně s tím jsou některé z nich, jako třeba nitridace a PVD aplikovány externě (např. pro jádra atp.).

5.7.1. Laserové navařování

Laserové navařování se u zadavatele provádí mobilním laserem s ramenem OR EVO Mobile Diode 200W (obr. 23) umožňujícím i poloautomatické navařování. Tato technologie vysokou hustotou energie laserového paprsku nataví jak základní, tak přídatný materiál ve formě drátu, a tím umožní jejich metalurgické spojení. Solidifikace kovů vede k promíšení spojovaných materiálů a vytvoření pevných vazeb. Přitom je nutné, aby nedošlo k více jak 10% promíšení mezi oběma kovy. Stupeň promíšení je jedním ze základních ukazatelů jakosti navařeného povlaku. Se zvyšujícím se promíšením dochází k degradaci vlastností návaru méně ušlechtilými kovy ze substrátu. Tloušťka návaru se pohybuje od 0,2 mm do cca. 2 – 3 mm. Zadavatel používá materiály od fy. Mepac CZ pro laserové navařování určené pro přesné strojírenství, formy a nástroje, viz tab. č. 3. Navařované vrstvy se v případě potřeby kombinují, měkké pro vytvoření základu a tvrdé pro vytvoření povrchové vrstvy.

Obchodní označení	Tvrдост	Použití
QuCu 80	220 HB	Bronzová jádra Moldmax HH, Ampcoloy.
QuFe 20	53 – 58 HRC	Ocelové hrany a tvary.
LAS 1P	cca. 20 HRC	Ocelové podklady a výplně.
LAS 2P	50 – 52 HRC	Ocelové hrany, tvary a nerez. ocel

Tabulka č. 3 Přehled tvrdostí navařovaných materiálů

Před navařením stačí plochy očistit broušením a chemicky odmastit. Cena laserového navařování (stejně jako vlastnosti návaru) je závislá na použitém přídavném materiálu. Ceny přídavných drátů jsou od 60 Kč/kg. K tomu je nutné přičíst náklady za hodinovou sazbu stroje 3 500 Kč/hod.



Obr. 23 Laser OR EVP Mobile Diode 200W

Výhody technologie: zaručená vysoká adheze návaru k substrátu daná metalurgickými vazbami, chemické složení návaru lze ovlivnit výběrem drátu, proces je celkově rychlý, lze využít pro neplánované opravy, možnost obrábět návar broušením, frézováním.

Nevýhody technologie: vysoká pořizovací cena zařízení, tepelné ovlivnění základního materiálu, vzniklé pnutí, omezený přístup hlavy laseru do místa návaru – lze navařovat pouze vnější plochy, požadavky na plochu (min. 12 m²).

5.7.2. Nitridace

Jedná se o proces povrchového tvrzení ocelí (popř. litin), při kterém se povrchová vrstva za teplot 500 – 550 °C sytí dusíkem, který s legurami vytváří tvrdé nitridy. Volí se o 20 °C nižší teplota, než je teplota popouštění, aby nedošlo k fázovým změnám ve struktuře materiálu, protože nitridace se provádí po kalení a popouštění. Výsledkem je tvrdší povrch odolný proti otěru a tvorbě únavových trhlin. Tloušťka vrstvy se pohybuje v rozmezí od 0,05 – 0,4 mm (max. 0,8 mm). Nitridace (především plazmová) je vhodná pro všechny materiály na bázi železa, a to i pro spékané materiály s vysokou porozitou, litiny a vysokolegované nástrojové oceli i s obsahem Cr nad 12%. Nerezové oceli a slitiny na bázi Ni lze rovněž zpracovat plazmovou nitridací a při využití nízkých teplot zachovat z větší části jejich odolnost vůči korozi. Tvrдост nitridované vrstvy se pohybuje kolem 1 000 HV. Předúprava povrchu se provádí broušením, chemickým odmaštěním, nejlépe v ultrazvukové lázni. Cena nitridace se pohybuje okolo 160 Kč/kg pro tloušťku nitridované vrstvy 0,2 mm.

Výhody technologie: vysoká otěruvzdornost, tvrdost a korozivzdornost vrstvy, nízká cena, možnost obrábění broušením.

Nevýhody technologie: malá flexibilita procesu, nebezpečí popuštění základního materiálu, nelze využít pro neplánované opravy, vysoká pořizovací cena zařízení, při nitridaci v lázni – ekologie (nutno likvidovat kyanidové soli), požadavky na plochu (min. 25 m²).

5.7.3. PVD vrstvy

Depozice PVD vrstev se provádí jako finální operace na již tepelně zpracovaném nástroji. To znamená, že teplota procesu nesmí být v oblasti popouštění ani popouštěcí křehkosti. Díly musí být očištěny od makronečistot a chemicky odmaštěny v ultrazvukové lázni. Fyzikální metoda PVD je založena na mechanickém odprášení, nebo odpaření materiálů, např. Ti, Al, Si, Cr atd., a jejich následné depozici na substrát. Za hlavní charakteristický rozdíl je brán způsob přípravy vrstvy, tj. z pevného terče (katody) u PVD metod a z plynu u CVD technologií. Tvrdost deponovaných vrstev PVD závisí na typu vrstvy, především na jejím chemickém a fázovém složení. Mikrotvrdost je v rozmezí 1 750 HV (CrN vrstva tloušťky 0,05 mm) až do 3 400 HV (TiAlN vrstva tloušťky 0,05 mm). Speciální vrstvy jako třeba TiAlSiN 0,05 mm dosahují tvrdosti až 5 000 HV. Další předností je odolnost proti teplotní únavě, teplotní degradaci a dobré adhezivně-kohezní vlastnosti.

Výhody technologie PVD: ekologie procesu, odolnost proti opotřebení, nízký koeficient tření, nízká teplota depozice (nehrozí degradace substrátu).

Nevýhody technologie PVD: flexibilita procesu, nižší adheze vrstvy oproti CVD, nižší teplotní stabilita vrstvy oproti CVD, omezený rozměr povlakovací komory, požadavky na plochu (min. 6 m²).

5.7.4. Lapování konvenčním způsobem

U zadavatele se provádí ruční lapování jako dokončovací obráběcí operace povrchu funkčních válcových, rovinných a tvarových ploch. Příkladky na lapování jsou v rozmezí 0,005 – 0,03 mm. Jako volné brusivo se používají diamantové lapovací pasty uvedené v tab. č. 4. Lapování se dělí na hrubé, kdy dochází k odřezávání nerovností a výstupků obráběného povrchu, dále na jemné a velmi jemné, při kterém malá brusná zrna svým tlakem způsobují plastickou deformaci obráběného povrchu, což zlepšuje jeho kvalitu. Při velmi jemném lapování se dosahuje průměrné aritmetické úchytky drsnosti povrchu Ra v rozmezí až 0,020 – 0,040 μm. Oproti broušení zvyšuje lapování nosný podíl plochy. Kvalitu povrchu ovlivňuje přitlačná síla lapovacích ploch [MPa], rychlost pohybu a doba lapování. [14] Pastu lze z povrchu obráběného dílu smýt lihem.

Pasta Urdiamant označení	Zrnitost [μm]	Informativní hodnoty Ra [μm]
D10	14/10	0,063 – 0,100
D15	20/14	0,100 – 0,160
D20	28/20	0,100 – 0,160

Tabulka č. 4 Přehled používaných lapovacích past

Výhody technologie: jednoduchost aplikace, snadná dostupnost, flexibilita procesu.

Nevýhody technologie: nízká efektivita, velká pracnost, velké náklady na jednotku plochy [14].

5.8. Potenciální technologie k výrobě a opravám nástrojů [11]

Zadavatel může využít další níže uvedené potenciální technologie pro opravy vstřikovacích nástrojů, popř. je začlenit i do výrobního procesu nových nástrojů.

5.8.1. Galvanické chromování

Tvrdochrom je elektrochemický proces k nanesení povlaku chromu na podkladový materiál. Dosahuje vysoké otěruvzdornosti a tvrdosti až 1 200 HV s tloušťkou povlaku 2,5 – 500 μm . Tyto vlastnosti si zachovává i při teplotách do 400 °C. Má nízký koeficient tření s ocelí 0,16 (oproti ocel/ocel 0,3) a vysokou korozní odolnost proti většině organických sloučenin, ropným produktům, kyslíku, síře a vlhkosti. Neodolává chloridům, sírovým kyselinám a kyselině mravenčí. Má vynikající tepelnou vodivost. Před chromováním je nutné deponovaný povrch mechanicky opracovat broušením a dále chemicky odmastit. Orientační cena chromování je 9,50 Kč/dm²/0,01 mm tloušťky vrstvy.

Výhody technologie: vysoká odolnost proti opotřebení a korozi, tvrdost povlaku cca. 1 000 HV, zvýšení únavových vlastností, nízká cena, možnost obrábění vrstvy broušením.

Nevýhody technologie: složitost podkladových vrstev, malá flexibilita procesu (nutná rezervace chromovací lázně v chromovně), rychlost deponování 500 μm /10 h, nelze využít pro neplánované opravy, nerovnoměrnost naneseného povlaku (na hranách silnější vrstva než na rovinných plochách), produkce šestimocného chromu (Cr⁶⁺ je zakázaný karcinogen).

5.8.2. Autokatalitické niklování

Při autokatalitickém procesu je na substrát chemicky nanášena vrstva z Ni-P nebo Ni-B. Nanesené vrstvy jsou odolné proti korozi a opotřebení. Po tepelném zpracování dosahují tvrdosti až 1 000 HV. Technologie je vhodná k povlakování tvarově složitých součástí, protože se dosahuje rovnoměrné vrstvy po celém povrchu dílu. Tloušťka povlaku činí 2,5 – 25 μm při rychlosti nanášení cca. 10 μm /h. Předpříprava zahrnuje broušení, leštění, odmaštění a moření v lázni 18% roztoku HCl. Cena autokatalytického niklování je cca. 14,50 Kč/dm²/0,01 mm tloušťky vrstvy.

Výhody technologie: rychlost deponování vrstvy, flexibilita procesu, lze využít pro neplánované opravy, nízké náklady na pokovovací lázeň, ekologie procesu, bezhlučné, minimální požadavky na plochu (digestoř min. 2 m²), deponovaný povlak je možné obrábět broušením.

Nevýhody technologie: nízká tloušťka deponované vrstvy, precizní příprava povrchu před povlakováním, odpadní produkty je nutné likvidovat skrze externí firmu.

5.8.3. Boridování

Je technologie chemicko-tepelného zpracování stejně jako nitridace nebo nauhličování. Nadifundovaný bór vytváří vrstvu s mimořádně vysokou odolností vůči abrazivnímu otěru. Při boridování mohou v povlaku vzniknout dva druhy fáze. Jednofázová vrstva Fe_2B , která má výhodnější vlastnosti, protože je houževnatější než dvofázová vrstva, která je složena z Fe_2B ležící uvnitř s FeB na povrchu, a je o něco tvrdší než Fe_2B . Tloušťka vrstvy se obvykle pohybuje v rozmezí od 20 do 250 μm . Teoreticky lze boridovat všechny železné materiály. Vývoj vrstvy závisí na stupni legování zvoleného materiálu. Při konstantních podmínkách zpracování obvykle s narůstajícím obsahem legur klesá míra zubového spojení, které je pro boridování charakteristické, a tloušťka boridové vrstvy (oproti tomu narůstá povrchová tvrdost). Volba materiálu je též omezena obsahem Si (ne více jak 1%) a Al (ne více jak 0,3%), v opačném případě se vytváří pod vrstvou tzv. měkké příkopy. Pro díly citlivé na deformace se doporučuje před posledním mechanickým opracováním žíhání ke snížení pnutí. Pro optimální kvalitu vrstvy se mají nasazovat jemně broušené povrchy. Teplota zpracování je mezi 850 – 1 000 °C. Boridovou vrstvu nelze po nadeponování obrábět z důvodu rizika popraskání vrstvy. Cena boridování je kolem 160 Kč/kg pro tloušťku vrstvy 0,2 mm.

Výhody technologie: vysoká odolnost vrstvy proti abrazi, vysoká teplotní stálost vrstvy, nízká cena.

Nevýhody technologie: malá flexibilita procesu, nevhodné pro zpracování ocelí s obsahem Si větším než 1% a Al větším než 0,3%, max. tloušťka boridové vrstvy je 250 μm , nelze využít pro neplánované opravy, vedlejším produktem boridování jsou plyny s obsahem fluoridu, požadavky na plochu min. 25 m^2 . Nelze dodržet přísné rozměrové tolerance, vznik trhlin v oblastech ostrých hran a přechodů, příliš velká změna tvaru v důsledku vystavení dílů vysokým teplotám kolem 1 000 °C.

5.8.4. HVOF nástřik

Jedná se o žárový nástřik částic (prášek, případně drát), přičemž se dosahuje tloušťky vrstvy od 0,2 mm do několika mm. Povlak má charakteristickou lamelární strukturu a specifické vlastnosti. Při jeho aplikaci má povlakovaná část teplotu mezi 80 – 120 °C, to je mimo oblast fázově strukturních přeměn, což zaručuje, že nevzniknou žádné nežádoucí deformace součástí. Tato metoda je založena na spalování směsi kyslík – palivo (kerosin, propylen, propan, acetylen, vodík) ve speciálním hořáku. Materiál ve formě prášku je přiváděn do supersonického plamene, kde se nataví a urychlí (až 1 000 m/s). Vysoká rychlost částic prášku způsobí rozprostření a dokonalé zakotvení částic k substrátu. To má za následek vysokou hustotu a vyšší přilnavost k povlaku. V závislosti na přídavném materiálu dosahují povlaky tvrdosti až 64 HRC. Předúprava povrchu se provádí broušením a chemickým odmaštěním. Cena HVOF nástřiku se pohybuje mezi 600 – 3 000 Kč/kg. K tomu nutno připočítat hodinovou sazbu pracoviště 3 500 Kč/hod.

Výhody technologie: vysoká otěruvzdornost vrstvy, vysoká tvrdost, dobrá adheze a koheze nástřiku.

Nevýhody technologie: malá flexibilita procesu, vysoká cena pořízovacího zařízení, omezený přístup hlavy hořáku na místa nástřiku – pouze nástřik vnějších ploch, nelze využít pro neplánované opravy, požadavek na plochu min. 12 m^2 .

5.8.5. CVD vrstvy

Depozice CVD vrstev se provádí jako finální operace na již tepelně zpracovaném nástroji. To znamená, že teplota procesu nesmí být v oblasti popouštění ani popouštěcí křehkosti. Díly musí být očištěny od makronečistot a chemicky odmaštěny v ultrazvukové lázni. Metoda CVD využívá pro depozici směs plynů (např. CH_4 , C_2H_2) chemicky zahřátých na $900 - 1\,100\text{ }^\circ\text{C}$. Reakční složky plynů jsou přiváděny na povrch deponované součásti v plynné fázi, a tenká vrstva na povrchu pak vzniká heterogenní reakcí. Za hlavní charakteristický rozdíl je brán způsob přípravy vrstvy, tj. z pevného terče (katody) u PVD metod a z plynu u CVD technologií. Tvrdost deponovaných vrstev CVD závisí na typu vrstvy, především na jejím chemickém a fázovém složení. Mikrotvrdost je v rozmezí 1750 HV (CrN vrstva tloušťky 0,05 mm) až do 3 400 HV (TiAlN vrstva tloušťky 0,05 mm). Speciální vrstvy jako třeba TiAlSiN 0,05 mm dosahují tvrdosti až 5 000 HV. Další předností je odolnost proti teplotní únavě, teplotní degradaci a dobré adhezivně-kohezní vlastnosti.

Výhody technologie CVD: vysoká odolnost vrstev proti opotřebení, možnost depozice nepřístupných vnitřních hran, drážek a dutin, tloušťka vrstvy až několik desítek μm , možnost deponovat krystalické i amorfni povlaky.

Nevýhody technologie CVD: flexibilita procesu, dlouhý proces depozice (8-10 hod.), nelze využít pro neplánované opravy, zaoblování hran při depozici, ekologie procesu, vysoká teplota depozice, omezený rozměr depoziční komory, požadavek na plochu (min. 6 m^2).

5.8.6. Kryogenní zpracování ocelí

Jedná se o ještě ne zcela do hloubky probádaný proces zpracování ocelí. Proces se rozděluje na klasické zmrazování při teplotách cca. -75°C , dále na zmrazování v kapalném dusíku a zmrazování bez kontaktu s kapalným dusíkem. Podstatou procesu je změna struktury materiálu. U nízkouhlíkových ocelí nedojde během kryogenního procesu k navýšení ořezuvzdornosti, ovšem může dojít k uvolnění napětí v materiálu na základě strukturních změn. Následně lze opracovávat, např. brousit, aniž by bylo nutné kryogenní proces opakovat. Nejčastěji se provádí u železných kovů z důvodu zvýšení odolnosti proti ořezu a zvýšení houževnatosti u slitin mědi, korozivzdorných ocelí, karbidů, hliníku, titanu, hořčíku, polymerů aj. Lze jím zvýšit stabilitu rozměrů a u svarů snížit vnitřní napětí. Nezvyšuje tvrdost, mez kluzu a pevnosti se nemění. Používá se k prodloužení životnosti řezných nástrojů o $100 - 1\,000\%$. Po kryogenním zpracování musí následovat popouštění na struktury s vyšší stabilitou. Změna teplot je řízený proces. Doba trvání procesu je cca. 32 h až 72 h, záleží na velikosti vsázky, která musí vždy docílit pokojové teploty, jinak hrozí vznik vnitřních pnutí. Kryogenní proces výrazně potlačuje vznik mikrotrhlin. Zvýší houževnatost u slitin mědi, korozivzdorných ocelí, karbidů, hliníku, titanu, hořčíku, polymerů, atp. [15].

Výhody technologie: může zvýšit pevnost v tahu, tuhost a uvolnění vnitřního pnutí v nástrojových ocelích. Zvyšuje odolnost proti opotřebení materiálu. Náklady na proces jsou velmi malé [15].

Nevýhody technologie: může nastat růst rozměrů, který je závislý na typu oceli, v případě objemnějších výrobků je třeba počítat s delší dobou procesu (72 h) [15].

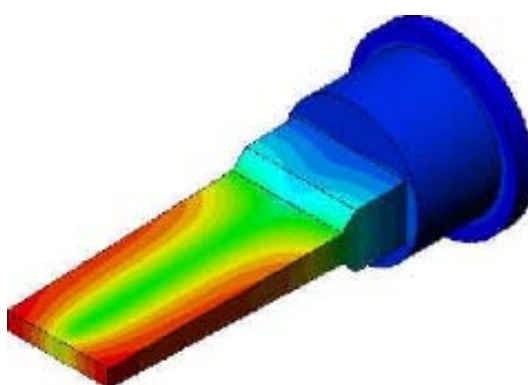
5.8.7. Jádra Mecobond

Jedná se o jádra vyráběná speciálně na zakázku, obr. 26 a 27. Jádro má ocelový plášť, čímž je zajištěna geometrie tvaru a zároveň ochrana proti opotřebení. Vnitřek jádra je vyplněn mědí, která je s ocelovým pláštěm difúzně spojená. To zajišťuje efektivní přenos tepla z oceli na měď a celkově tato koncepce zvyšuje teplotní vodivost ocelového jádra, viz porovnání teplotního rozložení obr. 24 a 25. Tím je umožněno efektivnější chlazení, což se pozitivně projevuje při výrobě tenkostěnných, velkých a rozměrově rozdílných výrobků. Technologie Mecobond umožnila zkrátit výrobní cyklus o 50%, a pomohla tak snížit výrobní náklady. Plášť jádra je v tomto případě navržen z oceli 1.2343, kterou lze pro zvýšení odolnosti proti opotřebení zpracovat kryogenní úpravou, popř. opatřit PVD vrstvou. Měď obsažená v jádře odvádí efektivně teplo z exponovaných míst a rozvádí jej plynule do okolního materiálu nástroje, čímž neovlivňuje negativně teplotní bilanci nástroje. [16] Aplikaci tohoto typu jader je ovšem nutné posoudit z hlediska teplotní vodivosti, viz tab. č. 5, neboť ne ve všech případech je použití tohoto druhu jádra vhodné. Např. vodní chladicí okruh lze zachovat, pokud se v simulaci AeroSoft nepotvrdí, že je změna vhodná. Pro odvod a další předání tepla je nutné brát v úvahu plochu, přes kterou výměna tepla probíhá, a ta nemusí být ve všech případech vždy stejná.

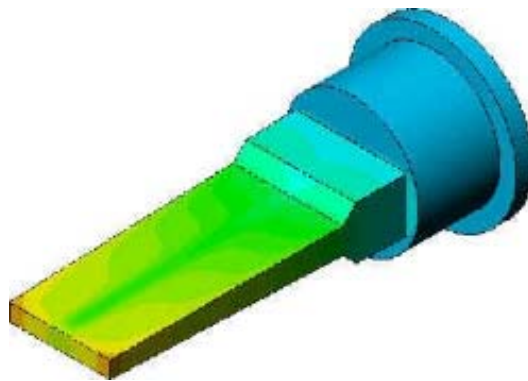
Porovnání součinitele teplotní vodivosti λ při 20 °C [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	
Měď	395
Moldmax HH	110
Ocel	47
Voda	0,599 ¹⁾

Tabulka č. 5 Porovnání součinitele teplotní vodivosti

¹⁾Platí pro teplotu 20°C a tlak 0,1 – 2 MPa.



Obr. 24 Rozložení teplot – ocelové jádro



Obr. 25 Rozložení teplot – jádro Mecobond

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 26 Návrh jádra poz. 106 technologie Mecobond

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

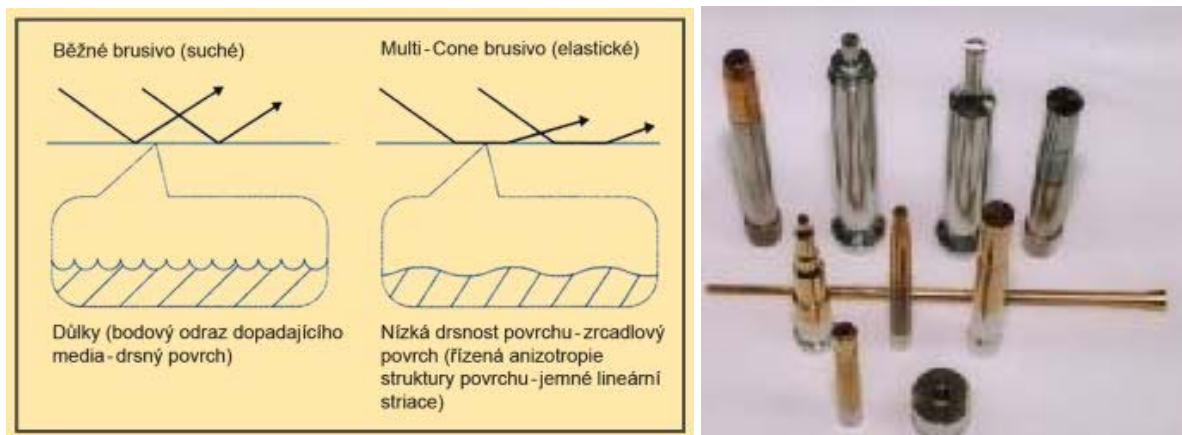
Obr. 27 Návrh jádra poz. 106 technologie Mecobond

Výhody technologie: vysoká tvrdost pláště jádra, vyšší otěruvzdornost, efektivní odvod tepla a jeho rozvod do okolní plochy nástroje.

Nevýhody technologie: vysoká cena, výroba na zakázku, flexibilita procesu.

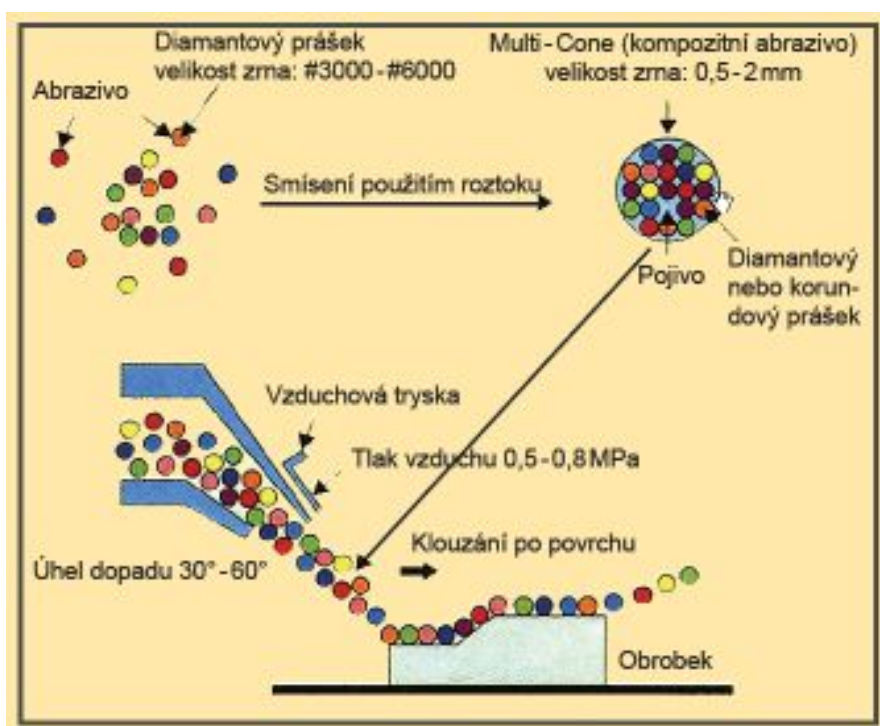
5.8.8. Aero Lap nekonvenční způsob lapování [17]

Jedná se o inovační technologii finálního opracování povrchu součástí a jejich deponovaných vrstev, kterou v současnosti využívá v ČR např. fa. Bosch Diesel Jihlava nebo také Liss Platit. Aero Lap je dokončovací metoda obrábění umožňující automatizovaně dokončovat funkční i pohledové plochy součástí do zrcadlového lesku. Využívá se hlavně pro tvarové plochy a nepravidelné profily obráběcích a tvářecích nástrojů (vstřikovací nástroje, jádra forem, razníky, střížníky a matrice atd.) tedy operací, které byly doposud prováděny výhradně ručně.



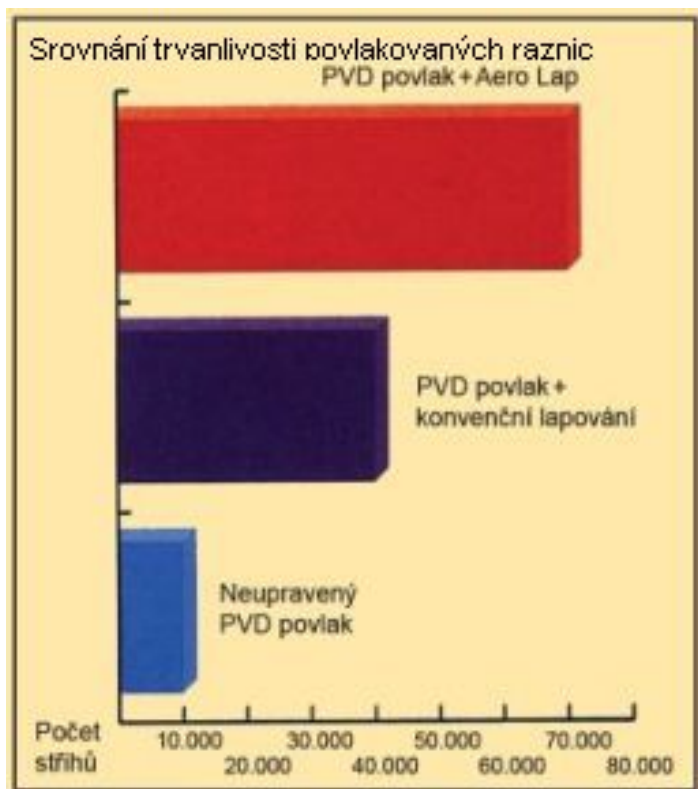
Obr. 28 Povrch po konvenčním a nekonvenčním lapování, převzato z [17]

Systém funguje na principu velmi malého odebrání částic materiálu. Je tvořen speciální turbínou, která vrhá vysokou rychlostí na profilovaný materiál kompozitní elastické částice s abrazivem, čímž dochází k leštění a jemnému broušení plochy. Použitím speciálního pojiva Multi Cone je dosaženo pružnosti a adheze k abrazivu.



Obr. 29 Princip lapování technologií AeroLap, převzato z [17]

Díky této technologii elastické médium zdánlivě teče po povrchu a umožňuje rovnoměrné obrábění všech ploch. Používá se rozdílné zrnitosti abraziva, a to podle požadované kvality finálního povrchu (0 – 0,25 μm , 2 – 4 μm). Abraziva mají značnou životnost a lze je recyklovat – úspora provozních nákladů. Požadavky na plochu přibližně 2 m^2 .



Obr. 30 Porovnání životnosti nástrojů, převzato z [17]

Výhody technologie: výrazně zvyšuje nosný podíl plochy, nedochází ke změně geometrie obráběných komponent, dosahuje konstantní drsnosti povrchu v mezích nejpřísnější tolerance, zlepšuje rovinnost obrobku, snadné lapování bez složité přípravy nástrojů, vhodný k lapování komponent s povlaky PVD a CVD, celkově prodlužuje životnost nástrojů, bezhlučný, nevytváří prach.

Nevýhody technologie: nelze použít v malých neprůchozích otvorech, nelze obrábět rychlořezné oceli a tvrdokov, vyšší pořizovací náklady, max. velikost obrobku 300 x 300 mm, vyšší pořizovací cena stroje vč. technologie 45 tis. EUR.

II. PRATICKÁ ČÁST

6 ANALÝZA OPOTŘEBENÍ A PODMÍNEK NAMÁHÁNÍ

6.1. Analýza oprav nástrojů

Následující odstavec obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 31 Graf výskytu závad podle skupin

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 32 Pareto diagram četnosti závad na pozicích

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 33 Sestavy jader

Následující odstavec obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

6.2. Analýza namáhání jader [11]

Jádra tvoří skupinu dílů namáhaných **tlakem**, kterému jsou vystaveny hlavně tuširovací hrany a plochy jader. Ty musí dokonale těsnit, aby se zabránilo průniku vstřikovaného polymeru, z toho důvodu je přesah materiálu 0 až 0,01 mm. Dále zde působí **abrazivní a erozivní působení** taveniny a jejích aditiv, vč. vzájemného tření dílů o sebe ocel/ocel, ocel/Moldmax. K minimalizaci vlivu tlaku je zásadní použití vhodného základního tepelně opracovaného materiálu s povrchovou úpravou ke snížení koeficientu tření mezi jádrem a taveninou. Kombinací houževnatosti a tvrdosti tak dojde k minimalizaci otlaku na nejnížší možnou mez. **Ohybem** jsou namáhána především dlouhá jádra a jádra, která na sebe dosedají bočně. Při jeho působení dochází na povrchu jádra ke vzniku tahového napětí, které obzvlášť při opakovaném (cyklickém) působení vede ke vzniku povrchových trhlin (tyto nebyly na konkrétně uvedených jádrech zjištěny). Pro takto namáhané jádro je vhodný materiál s vysokou houževnatostí povrchových a podpovrchových vrstev. Se zvyšující se tvrdostí povrchu a aplikací povrchových úprav, které nejsou difúzně spojeny se substrátem, je vyšší riziko poškození nástroje (např. galv. chromování). **Cyklickou teplotní zátěží**, kdy je jádro opakovaně vystaveno kontaktu s taveninou, jejíž teplota se pohybuje v rozsahu 320 – 350 °C. Jádra musejí být během provozu chlazená, proto je u jejich materiálu zcela zásadní fyzikální vlastností měrná tepelná vodivost λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]. K minimalizaci tepelné únavy je vhodné zvýšit odolnost proti popuštění substrátu ve spojitosti s nízkým koeficientem tepelné roztažnosti, vysokou tepelnou vodivostí při tečení za současně přijatelné tažnosti a houževnatosti. **Korozní odolnost** patří k zásadním požadavkům, neboť její zachování u oceli jader ovlivňuje jakost vystříknutých dílů. Odolnosti lze dosáhnout normalizačním žháním, které zajistí rovnoměrné rozmístění Cr ve struktuře oceli, viz též kap. 5.2. Pareto analýza určila díly, které jsou nejčastěji opravovány. Mimo to poskytl zadavatel k analýze dvě vyřazená jádra z p. 340 a jedno jádro z p. 106. Na jádrech bylo provedeno měření mikrotvrdosti, kruhovitosti a konturografie. Určení a popis faktorů podílejících se na namáhání vstřikovacích nástrojů (kap. 5.2), jsou z hlediska hledání nových technologií povrchových úprav zcela klíčové.

6.3. Měření mikrotvrdosti

Následující odstavec obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Následující tabulka obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Tabulka č.6 Mikrotvrdost jádra p. 340

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 34 Měření tvrdosti jádra - vtisky

Následující odstavec obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Následující tabulka obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Tab. č. 7 Mikrotvrdost jádra p.106

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 35 Měření tvrdosti jádra Moldmax

6.4. Konturografie (studium deformací profilu)

Následující odstavec obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 36 Profil partie A

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 37 Konturograf profilu partie A

Orientace jádra viz příloha č. 3.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 38 Profil partie B

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 39 Konturograf profilu partie B

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 40 Profil partie C

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 41 Konturograf profilu partie C

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 42 Profil partie D

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 43 Konturograf profilu partie D

6.5. Kruhovitost

Měření kruhovitosti bylo provedeno s jádrem z p. č. 340 a vykazuje opotřebení na horní a dolní straně jádra v uhlopříčně protilehlém směru o 0,01 mm, viz obr. 45 a 47. Obrázek 46 ukazuje poměrně rovnoměrné oboustranné opotřebení. Celkově se zřejmě nejedná o provozní opotřebení, ale následek po lapování, které se provádí jako finální operace před uvolněním nástroje do výroby. Právě rozsah úbytku materiálu ukazuje na lapování, neboť se tímto způsobem nekorigují rozdíly větší než 0,01 mm. Orientace pozic viz obr. 44.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 44 Orientace pozic na jádře

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 45 Kruhovitost pozice 5 mm

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 46 Kruhovitost pozice 10 mm

Kruhovitost je posuzována obalovou metodou. Orientace směrů viz příloha č. 3.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 47 Kruhovitost pozice 15 mm

6.6. Rádus zámku jádra

Následující odstavec obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 48 Rádus zámku jádra

6.7. Simulace průběhu napětí ve formě

Následující odstavec obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 49 Animace deformace jader při plnění dutiny nástroje (software Systus)

7 OVĚŘOVÁNÍ TECHNICKÝCH PARAMETRŮ

7.1. Technické parametry nástrojů a výrobku

V průběhu výroby jednotlivých konstrukčních a funkčních tvarových dílů vstřikovacího nástroje, ale také po opravách sériově uvolněných dílů a výrobků obecně, vč. mezioperačních kontrol (např. po el. erozivním hloubení), je třeba provádět kontrolní měření rozměrů stanovených

výkresovou dokumentací. K tomu účelu nástrojárna zadavatele využívá níže uvedené měřicí zařízení dle toho, pro který díl je zařízení vhodné.

Optický měřicí skener (Atos Triple Scan) – kde se na měřený díl nanese slabá titanová vrstva (0,002 mm), následně se povrch sejme kamerou, naskenovaný 3D obraz se v příslušném programu „překryje“ s 3D modelem a vyhodnotí se jeho geometrie a rozměrové odchylky od 3D modelu.

Profilový projektor (Schneider) – funguje na principu mikroskopu, snímanou část je možno měřit a sledovat nepřímo na obrazovce, lze jím měřit délky, průměry, úhly a rádiusy.

Mikroskop (WM2 Schneider) – snímanou část lze sledovat přímo v okuláru, lze jím měřit délky, průměry, úhly a rádiusy.

3D měřicí dotykový přístroj (EROVA Preset Comfort) – používá se k proměření elektrod pro el. erozivní obrábění.

Dílenský tvrdoměr (Škoda) – slouží k orientačnímu měření tvrdosti metodou Rockwell (HR).

Příruční tvrdoměr – slouží k orientačnímu měření tvrdosti metodou Rockwell (HR).

Komunální měřidla – výškoměry, měřicí desky, posuvky, mikrometry, úchylkoměry, pravítka, úhelníky, rádiusové měrky, koncové měrky aj.

7.2. Postup při ověřování technických parametrů

Veškeré konstrukční a funkční díly formy se dodávají s náměrovým protokolem. Za pomoci měřicích přístrojů a komunálních měřidel se před osazením proměří rám formy a boční aretace, aby forma dobře zamykala (lícovala bez přesazení). Dále se proměří středící klíny na pohyblivé desce a jejich zámky (destičky) v protější pevné desce. Na dosedacích plochách tvarových vložek by nečistoty mohly způsobit nedovření formy. Proto k zamezení jejich průniku do oblasti funkčních prvků formy tvarová vložka mírně přesahuje nad dělicí rovinu formy a její výška se ověřuje za pomoci hloubkoměru, viz obr. 50 a 51.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 50 Rám formy pohyblivá část, aretace, středící klíny

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 51 Pevná část, zámky středících klínů, jádra

U vyhazovačů se měří, zda nepřesahují obrys kotvicí desky, na kterou musí lícovat podpěrná deska, viz obr. 52.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 52 Kotvicí a podpěrná deska s vyhazovači

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 53 Pevná deska, detail jádra a průchozího zámku

V tvářecí dutině formy se měří výšky jader a to od dělicí roviny desky, do které jsou ukotvena, viz obr. 53 a 54.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 54 Pohyblivá část formy, sestava jádra-vložka

Vzhledem k tomu, že vedení vozíků jsou bronzová a mají tak vyšší roztažnost než ocel, je potřeba proměřit i výšky a šířky vozíků, viz obr. 55.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 55 Pohyblivá část, vedení vozíků, vozíky, vtok

Z důvodu chybějící metodiky a nutnosti delší přípravy se neprovádí měření některých podsestav, jako např. vzájemná souosost pohyblivých a pevných částí. V některých případech tomu brání i nemožnost přístupu kvůli uzavřené formě.

8 VYHODNOCENÍ TECHNOLOGIÍ POVRCHOVÝCH ÚPRAV MATERIÁLU

Následující odstavec obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Následující tabulka obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Tab. č. 8 Přehled podmínek namáhání a vhodných technologií

8.1. Návrh na doplnění metody pro ověření konstrukce

Následující odstavec obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

8.2. Návrh na doplnění metody pro evidenci oprav P@SN

Následující odstavec obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Následující obrázek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Obr. 56 Příklad konkretizace závad

8.3. Návrh na doplnění metody pro opravy

Následující odstavec obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Následující tabulka obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Tabulka č. 9 Tloušťky vrstev jednotlivých technologií

8.4. Ekonomika technologických procesů

Následující odstavec obsahuje utajované skutečnosti a je obsažen pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Následující tabulka obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

Tabulka č. 10 Ceny jednotlivých technologií

9 ZÁVĚR

Následující pasáž obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále bakalářské práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Forma a plastikační část lisu, převzato a upraveno z [1]	10
Obr. 2	Uzavření vstřikovací formy, převzato a upraveno z [3].....	11
Obr. 3	Plnění dutiny formy a dotlak, převzato a upraveno z [3]	12
Obr. 4	Chlazení a plastikace, převzato a upraveno z [3]	13
Obr. 5	Otevření nástroje a odformování dílu, převzato a upraveno z [3]	13
Obr. 6	Příklad lineárního řetězce	15
Obr. 7	Příklad rozvětveného řetězce.....	15
Obr. 8	Příklad prostorově zesíťovaného řetězce.....	15
Obr. 9	Rozdělení polymerů, převzato upraveno z [4]	16
Obr. 10	3D-model držáku čerpadla	20
Obr. 11	Pozice kanálků v držáku čerpadla.....	20
Obr. 12	Hroty v kanálcích	21
Obr. 13	Hroty v kanálcích	21
Obr. 14	Pleny v kanálcích	22
Obr. 15	Spálené čelo náustku „diesel efekt“.....	23
Obr. 16	Popis částí formy:	24
Obr. 17	Pevná část formy:	25
Obr. 18	Pohyblivá část formy:	27
Obr. 19	Průběh opotřebení	30
Obr. 20	Tribometr pro zkoušku Pin on Disc, převzato z [13]	30
Obr. 21	Scratch tester pro měření adheze, převzato z [13].....	31
Obr. 22	Pohled na celkovou sestavu jader, vložek aj. v dutině formy.	34
Obr. 23	Laser OR EVP Mobile Diode 200W	36
Obr. 24	Rozložení teplot – ocelové jádro	41
Obr. 25	Rozložení teplot – jádro Mecobond	42
Obr. 26	Návrh jádra poz. 106 technologie Mecobond.....	42
Obr. 27	Návrh jádra poz. 106 technologie Mecobond.....	42
Obr. 28	Povrch po konvenčním a nekonvenčním lapování, převzato z [17]	43
Obr. 29	Princip lapování technologií AeroLap, převzato z [17].....	43
Obr. 30	Porovnání životnosti nástrojů, převzato z [17]	44

Obr. 31	Graf výskytu závad podle skupin.....	46
Obr. 32	Pareto diagram četnosti závad na pozicích.....	47
Obr. 33	Sestavy jader	47
Obr. 34	Měření tvrdosti jádra - vtisky	49
Obr. 35	Měření tvrdosti jádra Moldmax	49
Obr. 36	Profil partie A	50
Obr. 37	Konturograf profilu partie A.....	50
Obr. 38	Profil partie B.....	50
Obr. 39	Konturograf profilu partie B.....	51
Obr. 40	Profil partie C.....	51
Obr. 41	Konturograf profilu partie C.....	51
Obr. 42	Profil partie D	52
Obr. 43	Konturograf profilu partie D.....	52
Obr. 44	Orientace pozic na jádře	52
Obr. 45	Kruhovitost pozice 5 mm	53
Obr. 46	Kruhovitost pozice 10 mm	53
Obr. 47	Kruhovitost pozice 15 mm	54
Obr. 48	Rádus zámku jádra	54
Obr. 49	Animace deformace jader při plnění dutiny nástroje (software Systus)	55
Obr. 50	Rám formy pohyblivá část, aretace, středící klíny	57
Obr. 51	Pevná část, zámky středících klínů, jádra.....	57
Obr. 52	Kotvicí a podpěrná deska s vyhazovači	58
Obr. 53	Pevná deska, detail jádra a průchozího zámku	58
Obr. 54	Pohyblivá část formy, sestava jádra-vložka.....	59
Obr. 55	Pohyblivá část, vedení vozíků, vozíky, vtoky.....	59
Obr. 56	Příklad konkretizace závad	62

11 SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1	Přehled funkčních prvků tvářecí dutiny.	33
Tabulka č. 2	Přehled použitých ocelí.....	35
Tabulka č. 3	Přehled tvrdostí navařovaných materiálů.	37
Tabulka č. 4	Přehled používaných lapovacích past.....	38
Tabulka č. 5	Porovnání součinitele teplotní vodivosti.	42
Tabulka č. 6	Mikrotvrdost jádra p. 340.....	50
Tabulka č. 7	Mikrotvrdost jádra p. 106.....	50
Tabulka č. 8	Přehled podmínek namáhání a vhodných technologií.....	61
Tabulka č. 9	Tloušťka vrstev jednotlivých technologií.	64
Tabulka č. 10	Cena vrstev jednotlivých technologií.....	64

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY

- [1] Vstřikovací lis, <http://new-delhi.all.biz/injection-moulding-machine-g236125>, 1.11.2015.
- [2] Technologie vstřikování, <https://publi.cz/books/194/Impresum.html>, 4.11.2015.
- [3] Vstřikování plastů, www.vyrobaplastu.eu/vstrikovani-plastu/, 1.11.2015.
- [4] DUCHÁČEK, V., Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití, Praha: VŠCHT, 2006, str. 32. ISBN 80-7080-617-6.
- [5] PROKOPOVÁ, I., Makromolekulární chemie, Praha: VŠCHT, 2007, str. 173, ISBN 978-80-7080-662-3.
- [6] Reologie tavenin v průmyslové praxi, <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/Intech/Reologie.pdf>, 22.11.2015.
- [7] Technologie zpracování plastů, <https://publi.cz/books/183/13.html>, 23.11.2015.
- [8] Polymery, <https://publi.cz/books/180/Cover.html>, 23.11.2015.
- [9] BOBČÍK, L., Formy pro zpracování plastů I. díl - Vstřikování termoplastů, Brno: Uniplast, 1999.
- [10] BOBČÍK, L., Formy pro zpracování plastů II. díl - Vstřikování termoplastů, Brno: Uniplast, 1999, str. 127.
- [11] MENTL, V., KŘÍŽ, A. a FIŠEROVÁ, P., Problematika opotřebení zavíracích hran nástrojů pro vstřikování plastů, Plzeň: Fakulta strojní, Katedra materiálů a strojírenské metalurgie, 2015.
- [12] NOVOTNÝ, J., Tribologické vlastnosti modifikovaných polymerů, Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2012.
- [13] Tribologie, <http://umi.fs.cvut.cz/veda-a-vyzkum/laboratore/tribologie>.
- [14] Bc. práce Moderní dokončovací metody obrábění vnějších povrchů, www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=84326, 5.1.2016, str. 31 - 34.
- [15] HÁJEK, J., Kryogenní zpracování ocelí, Plzeň: ZČU, 2015.
- [16] ŘEHULKA, Z., Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů - Polymery, Brno: Akademické nakladatelství Cerm s.r.o., 2015.
- [17] Lapování, www.misan.cz/okamoto/katalog-detail/aerolap-aero-lap---dokoncovani-funkcnich-ploch--do--zrcadloveholehu-lesku/, 5.1.2015.
- [18] J. KOVAŘÍK, F. HIRSCH a J. TEJC, Simulace průběhu napětí ve formě, České Budějovice: Mecas ESI s.r.o., 2012.

[19] Testování povrchu povlaků, <http://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/2413-moderni-mechanicke-testovani-povrchu-povlaku>, 23.1.2016.

13 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Název veličiny/význam zkratky	Znak	Jednotka
Robert Bosch společnost s.r.o. v Českých Budějovicích	RBCB	[-]
Oddělení technických funkcí	TEF2	[-]
Polyamid	PA	[-]
Heat deflection temperatur	HDT/A	[-]
Polyoxymetylen	POM	[-]
Trojměrný model	3D-model	[-]
Syntetická močovina k redukci NOx	AdBlue	[-]
Drsnost povrchu	R _a	[μm]
Tribologická zkouška	Scratch-test	[-]
Tribologická zkouška	Pin on Disc	[-]
Evidenční číslo nástroje (nekonkretizováno z důvodu ochrany informací)	SZ 11111 CB00	[-]
High Velocity Oxi – Fuel	HVOF	[-]
Chemical Vapour Deposition	CVD	[-]
Physical Vapour Deposition	PVD	[-]
Tvrdost podle Rockwella	HRC	[-]
Tvrdost podle Brinella	HB	[-]
Tvrdost podle Vickerse	HV	[-]
Systém ke snížení emisí NOx	DNOX	[-]
Polyoxymethylen	POM	[-]
Polyamid	PA	[-]
Mold Equipment Composite Bond	MECOBOND	[-]
Slitina berilia a mědi	Moldmax HH	[-]
Teplotní vodivost	λ	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]
Teplota	T	[°C]
Čas	t	[s]
Síla	F	[N]
Simulátor teploty nástroje	AeroSoft	[-]
Technologie lapování	Aero Lap	[-]
Elektronická evidence oprav nástrojů	P@SN	[-]
Rádus - poloměr	R	[mm]
Studie proveditelnosti	Feasibility study	[-]
Metoda konečných prvků	MKP	[-]
Finite element method	FEM	[-]

Software pro výpočet pomocí metody FEM	ANSIS	[-]
Simulace průběhu plnění dutiny nástr.	Moldflow	[-]

14 SEZNAM PŘÍLOH

1. Materiálový list Grivory
2. Materiálový list Hostaform
3. Měřicí protokol kruhovitosti a konkturografie. (Příloha č. 3. obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

TECHNICAL DATA SHEET

GRIVORY HTV-4X1 NATURAL

Product description

Grivory HTV-4X1 natural is a 40% glass-fibre reinforced engineering thermoplastic material based on a semi-crystalline, partially aromatic copolyamide.

Acc. to ISO: PA 6T/6I.

Acc. to ASTM: PPA, Polyphthalamide

Grivory HTV-4X1 is a specially heat stabilised injection moulding material.

It is particularly suitable and approved for parts in house-hold appliances in contact with food and drinking water.

The main distinguishing feature of Grivory HT, when compared to other polyamides, is its good performance values at high temperatures providing parts which are stiffer, stronger and have better heat distortion stability and chemical resistance.

Grivory HT is suitable for production of technical parts in the application fields of:

- Electro
- Electronics
- Automotive
- Safety technology
- Mechanical engineering
- Domestic appliances

GRIVORY®
EMS

PROPERTIES

Mechanical Properties

		Standard	Unit	State	Grivory HTV-4X1 natural
Tensile E-Modulus	1 mm/min	ISO 527	MPa	dry cond.	14500 14000
Tensile strength at break	5 mm/min	ISO 527	MPa	dry cond.	220 210
Elongation at break	5 mm/min	ISO 527	%	dry cond.	2 2
Impact strength	Charpy, 23°C	ISO 179/1eU	kJ/m²	dry cond.	70 70
Impact strength	Charpy, -30°C	ISO 179/1eU	kJ/m²	dry cond.	70 70
Notched impact strength	Charpy, 23°C	ISO 179/1eA	kJ/m²	dry cond.	8 8
Notched impact strength	Charpy, -30°C	ISO 179/1eA	kJ/m²	dry cond.	8 8
Ball indentation hardness		ISO 2039-1	MPa	dry cond.	310 300

Thermal Properties

Melting point	DSC	ISO 11357	°C	dry	325
Heat deflection temperature HDT/A	1.80 MPa	ISO 75	°C	dry	280
Heat deflection temperature HDT/C	8.00 MPa	ISO 75	°C	dry	175
Thermal expansion coefficient long.	23-55°C	ISO 11359	10 ⁻⁴ /K	dry	0.15
Thermal expansion coefficient trans.	23-55°C	ISO 11359	10 ⁻⁴ /K	dry	0.5
Maximum usage temperature	long term	ISO 2578	°C	dry	140
Maximum usage temperature	short term	ISO 2578	°C	dry	250

Electrical Properties

Dielectric strength		IEC 60243-1	kV/mm	dry cond.	35 35
Comparative tracking index	CTI	IEC 60112	-	cond.	600
Specific volume resistivity		IEC 60093	Ω · m	dry cond.	10 ¹¹ 10 ¹¹
Specific surface resistivity		IEC 60093	Ω	cond.	10 ¹²

General Properties

Density		ISO 1183	g/cm³	dry	1.53
Flammability (UL94)	0.8 mm	ISO 1210	rating	-	HB
Water absorption	23°C/sat.	ISO 62	%	-	3.5
Moisture absorption	23°C/50% r.h.	ISO 62	%	-	1.5
Linear mould shrinkage	long.	ISO 294	%	dry	0.10
Linear mould shrinkage	trans.	ISO 294	%	dry	0.55

Product-nomenclature acc. ISO 1874: PA 6T/6I, MH, 12-140, GF40

HOSTAFORM® C 13021 | POM | Unfilled

Description

Chemical abbreviation according to ISO 1043-1: POM
Molding compound ISO 9988- POM-K, M-GNR, 04-002

POM copolymer

Easy flowing Injection molding type for precision molded parts and thin-walled molded parts with high rigidity, hardness and toughness; good chemical resistance to solvents, fuel and strong alkalis as well as good hydrolysis resistance; high resistance to thermal and oxidative degradation.

Fulfills EG-directive 2002/72/EU as well as the recommendation XXXIII for consumer goods of the BgVV, corresponding to FDA-regulation for food contact.

UL-registration for all colours and a thickness more than 1.5 mm as UL 94 HB, temperature index UL 746 B electrical 110 °C, mechanical 90 °C.

Burning rate ISO 3795 and FMVSS 302 < 75 mm/min for a thickness more than 1 mm.

Ranges of applications: automotive engineering, precision engineering, electric and electronical industry, domestic appliances.

FDA = Food and Drug Administration (USA)
BgVV = Bundesinstitut für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin
UL = Underwriters Laboratories (USA)
FMVSS = Federal Motor Vehicle Safety Standard (USA)

Physical properties	Value	Unit	Test Standard
Density	1410	kg/m ³	ISO 1183
Melt volume rate (MVR)	12	cm ³ /10min	ISO 1133
MVR test temperature	190	°C	ISO 1133
MVR test load	2.16	kg	ISO 1133
Mold shrinkage - parallel	2	%	ISO 294-4
Mold shrinkage - normal	1.8	%	ISO 294-4
Water absorption (23°C-sat)	0.65	%	ISO 62
Humidity absorption (23°C/50%RH)	0.2	%	ISO 62

Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile modulus (1mm/min)	2900	MPa	ISO 527-2/1A
Tensile stress at yield (50mm/min)	65	MPa	ISO 527-2/1A
Tensile strain at yield (50mm/min)	8.5	%	ISO 527-2/1A
Nominal strain at break (50mm/min)	25	%	ISO 527-2/1A
Tensile creep modulus (1h)	2500	MPa	ISO 899-1
Tensile creep modulus (1000h)	1300	MPa	ISO 899-1
Charpy impact strength @ 23°C	150	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy impact strength @ -30°C	140	kJ/m ²	ISO 179/1eU
Charpy notched impact strength @ 23°C	6.5	kJ/m ²	ISO 179/1eA

HOSTAFORM® C 13021 | POM | Unfilled

Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Charpy notched impact strength @ -30°C	6	kJ/m²	ISO 179/1eA

Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
Melting temperature (10°C/min)	166	°C	ISO 11357-1,-2,-3
DTUL @ 1.8 MPa	106	°C	ISO 75-1/-2
Vicat softening temperature B50 (50°C/h 50N)	151	°C	ISO 306
Coeff.of linear therm. expansion (parallel)	1.1	E-4/°C	ISO 11359-2
Flammability @1.6mm nom. thickn.	HB	class	UL94
thickness tested (1.6)	1.5	mm	UL94
UL recognition (1.6)	UL	-	UL94
Flammability at thickness h	HB	class	UL94
thickness tested (h)	3	mm	UL94
UL recognition (h)	UL	-	UL94

Electrical properties	Value	Unit	Test Standard
Relative permittivity - 100 Hz	4	-	IEC 60250
Relative permittivity - 1 MHz	4	-	IEC 60250
Dissipation factor - 100 Hz	20	E-4	IEC 60250
Dissipation factor - 1 MHz	50	E-4	IEC 60250
Volume resistivity	1E12	Ohm*m	IEC 60093
Surface resistivity	1E14	Ohm	IEC 60093
Electric strength	35	kV/mm	IEC 60243-1
Comparative tracking index CTI	600	-	IEC 60112

Test specimen production	Value	Unit	Test Standard
Processing conditions acc. ISO	9988	-	Internal
Injection molding melt temperature	195	°C	ISO 294
Injection molding mold temperature	85	°C	ISO 294
Injection molding flow front velocity	200	mm/s	ISO 294
Injection molding hold pressure	90	MPa	ISO 294

Rheological Calculation properties	Value	Unit	Test Standard
Density of melt	1200	kg/m³	Internal
Thermal conductivity of melt	0.155	W/(m K)	Internal
Specific heat capacity of melt	2210	J/(kg K)	Internal
Ejection temperature	165	°C	Internal