

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Technológia výroby vstrekovacích foriem
Technology of Injection Molds Production

Student:

Michal Jurčík

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Josef Brychta

Ostrava

Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Jurčík**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Technologie výroby vstřikovacích forem**
Technology of Injection Molds Production

Zásady pro vypracování:

1. Historie výroby vstřikovacích forem.
2. Konstrukce vstřikovacích forem.
3. Nové trendy v technologii výroby vstřikovacích forem.
4. Příklad výroby vstřikovacích forem ve firmě TRUSTACOM.
5. Závěrečné zhodnocení navrhovaného řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] VASILKO, Karol; NOVÁK-MARCINČIN, Jozef; HAVRILA, Michal. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [2] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABAČEK, Marian. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [3] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef; *Top trendy v obrábání, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábání, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

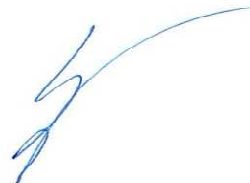
Vedoucí bakalářské práce: **prof. Dr. Ing. Josef Brychta**

Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry

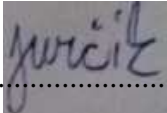


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Miestoprísahažné prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som celú bakalársku prácu vrátane príloh vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a uviedol som všetky použité podklady a literatúru.

V Ostrave...14.5.2015..


.....
podpis študenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užit (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užit dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užit své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostrave:

14.5.2015

.....
podpis

Jurčík

Jméno a přímení autora práce:

Michal Jurčík

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Turcovka Hlinene 223

Pod'akovanie

Chcel by som poďakovať svojmu vedúcemu pánovi prof. Dr. Ing. Josefovi Brychtovi za všestrannú pomoc a vedenie bakalárskej práce. Ďalej sa chcem poďakovať pánovi Ing. Milanovi Trubanovi za poskytnutie potrebných materiálov, za dôležité rady.

ANOTACIA BAKALARSKEJ PRÁCE

JURČÍK, M. *Technologia výroby vstrekovacích forem* : bakalářská práce. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2015, 64s, Vedoucí práce: Brychta, J.

Bakalářska práca je zameraná na problematiku výroby vstrekovacích foriem. Práca obsahuje rozbor jednotlivých častí vstrekovacej formy, popis ich funkcií ale predovšetkým súhrn súčasných technológií výroby vstrekovacích foriem.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

vstrekovacia forma, polymér, elektroerozívne obrábanie, vysokorýchlostné obrábanie

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

JURČÍK, M. *Technology of Injection Molds production* : Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB- Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Control Systems and Instrumentation, 2015, 64 p . Thesis head: Brychta J.

Bachelor thesis is focused on the issue of production of injection molds. The work includes analysis of each portion of the injection mold, a description of their functions but mostly a summary of current technologies of production of injection molds.

KEYWORDS

Injection mold, polymer, Electrical Discharge Machining, High Speed Cutting

Obsah

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	1
1 ÚVOD	9
2 HISTÓRIA VSTREKOVANIA PLASTOV	10
3 TECHNOLÓGIA VSTRIKOVANIA PLASTOV	11
3.1 Princíp vstrekovania plastu	11
3.2 Vstrekovacie stroje	12
3.3 Plasty	13
3.3.1 Základné prvky a zložky plastov	13
3.3.2 Rozdelenie polymérov	13
3.3.3 Materiály používané na vstrekovanie	16
3.3.4 Hlavné väzby v polyméroch	16
3.3.5 Hlavné výhody plastov	17
3.3.6 Hlavne nevýhody plastov	17
3.4 Vstrekovacie formy	18
3.4.1 Rozdelenie vstrekovacích foriem	18
3.4.1.1 Násobnosť vstrekovacej formy	19
3.4.1.2 Vtokový systém foriem	20
3.4.2 Vyhadzovací systém vstrekovacích foriem	22
3.4.2.1 Odvzdušnenie vstrekovacích foriem	23
3.4.3 Vhodné materiály na výrobu vstrekovacích foriem	24
3.4.3.1 Najpoužívanéjšie materiály vo firme TRUSTACOM	24
4 TECHNOLÓGIA VÝROBY VSTREKOVACEJ FORMY	28
4.1 Elektroerozívne obrábanie	28
4.1.1 Elektroiskrové hĺbenie	29
4.1.1.1 Vyplachovanie dielektrika	30
4.1.1.2 Nástrojové elektródy	31
4.1.2 Elektroiskrové rezanie	32
4.1.3 Elektroimpulzné obrábanie	33
4.1.4 Elektrokotúčové obrábanie	33
4.2 Trieskové obrábanie	34
4.2.1 Vysokorýchlostné obrábanie	34
4.2.1.1 Obrábanie za sucha	36
4.2.1.2 High Feed Miding(HFM)	37
4.2.1.3 HPC Obrábanie s vysokým výkonom(High Performance Cutting)	38

4.2.2	Obrábanie tvrdých materiálov	38
4.2.3	Postupy frézovania vstrekovacích dutín.....	39
4.2.3.1	Hrubovanie.....	40
4.2.3.2	Obrábanie na čisto (dokončovanie)	41
4.2.3.3	Obrábanie vnútorných rohov	41
4.2.3.4	Nájazd nástroja do rezu.....	42
5	PRÍKLAD VÝROBY VSTREKOVACÍCH FORIEM VO FIRME TRUSTACOM.....	43
5.1	Výroba tvarových časti formy(tvarník, tvarnica).....	43
5.2	Použitý software.....	44
5.3	Strojné vybavenie.....	45
5.4	Frézovacie nástroje.....	46
5.4.1	Nástroje na hrubovanie	46
5.4.2	Nástroje na dokončovanie	48
5.4.3	Obrábanie spodnej časti tvárnika	49
5.4.4	Obrábanie vrchnej časti tvárnika.....	52
6	VYUŽÍVANIE MODERNÝCH TECHNOLOGIÍ PRI VÝROBE	
	VSTREKOVÝCH FORIEM	55
6.1	Modernizácia strojového vybavenia	55
6.1.1	Modernizácia stroja pre trieskové obrábanie	56
6.1.2	Zakúpenie stroja pre elektroerozívne obrábanie	57
7	ZÁVER.....	59
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	60
	Zoznam príloh	62

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

Skratka/Symbol	Jednotka	Popis
A		Ampér
A_u		Koeficient vtokového úbytku
a_p	[mm]	Hĺbka rezu
C		Uhlík
CAD		Computer Aided Design
CAM		Computer Aided Manufacturing
CL		Chlór
CNC		Computer Numerical Controlled
Cr		Chróm
D	[mm]	priemer
DIN		Nemecká priemyselná norma
F		Flór
f_z	[mm]	Posuv
H		Vodík
HB		Tvrdosť podľa Brinela
HFM		High Feed Miding
HPC		Obrábanie vysokým výkono
HRC		Tvrdosť podľa Rockwella
HSC		Vysoko rýchlostné obrábanie
Hz		Hertz
K_f	[k_f/N]	Konštanta úmernosti
Kg/m^3		Hustota
Kg/h		Kilogram za hodinu
K_p	[Kč]	Prevádzkové náklady
kW		Kilowatt
M	[g]	Hmotnosť jedného výstriku
M_c	[g]	Vstrekovacia kapacita stroja
Mn		Mangán
MPa		Megapascal
Mo		Molibdén
ms		milisekundá
N		Dusík
NC		Číslicovo riadený stroj
Ni		Nikel
O		Kyslík
PC		Polycarbonát
PMMA		Polymethylmethakrylát

PVC		Polyvinylchlorid
POM		Polyoxymethylen
PP		Polypropylen
Q_P	$[\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}]$	plastifikačná kapacita stroja
R_a	$[\mu\text{m}]$	Priemerná aritmetická uchylka profilu
RO		Rychlorezná oceľ
Si		Kremík
T_C	$[\text{s}]$	Doba vstrekovacieho cyklu
UV		Ultrafialové žiarenie
V		Vanád
VBD		Vymeniteľná britová doštička
W		Volfrám
μ		Plastifikačný výkon stroja
$\mu_{\text{opt.}}$		Optimálna násobnosť formy

1 ÚVOD

V strojárskom priemysle je neustále kladený dôraz na znižovanie strojných časov, kvalitu výroby a presnosť opracovania. Neustále sa zvyšujú nároky na výrobu vo všetkých odvetviach strojárkeho priemyslu, čo ma za následok zavádzanie nových materiálov, ktoré kladú dôraz na výnimočne vlastnosti. Medzi tieto vlastnosti patrí tvrdosť, pevnosť, oteruvzdornosť.

Konštrukcia a následná výroba foriem v nástrojárňach pre lisovacie a vstrekovacie technológie výroby plastových výliskov je v Slovenskej a Českej republike značne rozšírená. Výlisky sú uplatňované najmä v automobilovom a elektrotechnickom priemysle. Na výrobcu týchto foriem sú kladené čoraz väčšie požiadavky na kvalitu, presnosť a rýchlosť vyrobenie formy. Väčšina vstrekovacích foriem sa vyrába na CNC obrábacích centrách. Z týchto dôvodov sú do výroby zavádzané nové metódy obrábania. Medzi tieto metódy patria elektroerozívne obrábanie, elektroiskrové obrábanie, vysokorýchlostné obrábanie HSC, obrábanie veľmi tvrdých materiálov atď. V dnešnej dobe sa začínajú presadzovať moderné výrobné postupy ako je napríklad výroba pomocou kovových 3D tlačiarň. Špeciálne softwary, ktoré sú špeciálne určené na výrobu foriem umožňujú navrhovať celé formy v 3D a následne vytvárať programy pre obrábanie jednotlivých častí formy. Pomocou softwaru môžeme vykonávať simulácie a tak minimalizovať riziká kolízie. Tieto moderné výrobné postupy začne skracujú výrobné časy vstrekovacích foriem a značne znižujú výrobné náklady. Čo vedie k zvyšovaniu konkurencie schopnosti.

2 HISTÓRIA VSTREKOVANIA PLASTOV

Lisovanie je prvá metóda, ktorá sa používala na spracovávanie plastov. Prvé zariadenie na vstrekovanie plastov si patentoval John Hyatt v roku 1872. Hyattove zariadenie pozostávalo z parou vykurovaného valca s hydraulickým piestom, ktorý mal vertikálnu polohu s tryskou umiestnenou kolmo na os valca dosadajúcu na dvojdielnou oceľovú formu, ktorá bola uzatváraná druhým hydraulickým valcom. Vtok bol vedený priamo do deliacej roviny formy. Toto bol prvý stroj na, ktorom boli vyrobené prvé vstreky.

Históriu technológia vstrekovania plastu v ČR môžeme rozdeliť do troch etáp. Tieto etapy sa od seba líšia v závislosti na politickom usporiadaní štátu. V rokoch 1918 až 1939 bola úroveň pastifikačného a gumárenského priemyslu v Československu na úrovni vyspelých európskych štátov. Pozornosť sa dostávala hlavne gumárenskému priemyslu, ktorý sa venoval rozvoju reaktoplastov. V rokoch 1919-1920 vyrobila firma Vltavský prvý hydraulický vulkanizačný lis pre firmu Baťa. V roku 1929 sa začalo v spolupráci s firmou Polák Praha s výrobou hydraulických lisov na liatie kovov pod tlakom, ktoré sa spolu s hydraulickými lismi na plasty stali hlavným výrobným programom firmy.

V roku 1970 bol vyvinutí šnekový vstrekovací stroj, ktorý dosahoval uzatváraciu silu až 10 000 kN. Výroba foriem prebiehala prevažne klasickým obrábaním, až v roku 1975 sa začala výroba pozvoľna modernizovaná (elektroiskrové obrábanie, CNC obrábanie, elektroerozívne rezanie). Po roku 1990 došlo k postupnému vyrovnaniu úrovne s vyspelými krajinami. K modernizácii strojového parku prispel nástup zahraničného kapitálu, rozvoj zákaziek pre automobilový priemysel, výrobu elektroniky a telekomunikačnej techniky.

3 TECHNOLOGIA VSTREKOVANIA PLASTOV

Technológiou vstrekovania plastov sa vyrábajú výrobky s konečnou podobou výrobku alebo polotovary, ktoré postupujú ďalšie technologické operácie. Technológiou vstrekovania môžeme vyrábať jednotlivé diely výrobkov, ktoré sa následne kompletujú. Táto technológia je vhodná na sériovú výrobu, ktorá dosahuje vysokú rozmerovú a tvarovú presnosť. Technológia vstrekovania je najrozšírenejšia technológia na spracovanie plastov. Vstrekaním je možné spracovávať všetky druhy termoplastov, niektoré druhy reaktoplastov a kaučukov.[2]

Vstrekovanie plastov je spôsob tvárnenia plastov, pri ktorom je zapracovávaný materiál z pomocnej zásobnej tlakovej nádoby vstreknutí pod veľkou rýchlosťou do uzavretej dutiny kovovej formy. V kovovej dutine vstreknutý plast stuhne do žiadanej podoby výrobku. Výhoda vstrekovacej technológie je krátky čas cyklu, schopnosť vyrábať zložité súčasti pri veľmi dobrých geometrických presnostiach a dobrou kvalitou povrchu. Na dosiahnutie požadovaných povrchových vlastností sa môžu následne využiť pokovovacie linky.

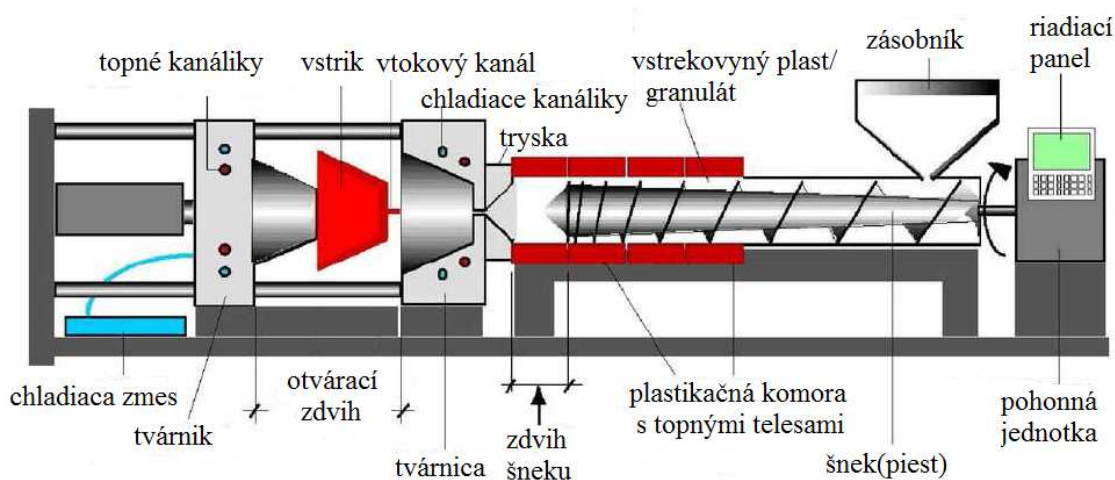
Medzi hlavné nevýhody vstrekovacej technológie oproti ostatným metódam spracovania plastov patria dlhá doba, ktorá je nutná na výrobu formy a s tým spojené vysoké náklady.

3.1 Princíp vstrekovania plastu

Postup pri výrobe technológiou vstrekovania je nasledujúci: plast, ktorý je v podobe granúl je nasypaný do zásobníka. Zo zásobníka je plast následne odoberaný šnekom, alebo piestom, ktorý plastový granulát dopravuje do taviacej komory, v ktorej dôjde k taveniu plastu (vznik taveniny). Tavenina je v nasledujúcom kroku vstrekováná do dutiny formy, ktorú musí tavenina celú vyplniť. Nasleduje tlaková fáza, ktorá zníži zmrštenie a zaručí rozmerovú presnosť. Tavenina predáva forme teplo, čo má za následok tuhnutie do podoby požadovaného výrobku. Následne sa forma otvorí a z formy sa vyberie výrobok a celý cyklus sa opakuje.[2]

3.2 Vstrekovacie stroje

Hlavnou výhodou vstrekovacích strojov je ich výrobná produktivita. Tieto stroje sa používajú najmä v hromadnej a veľkosériovej výrobe. Ich prevádzka môže byť nepretržitá a automatizovaná. V súčasnej dobe existuje široká škála výrobcov vstrekovacích foriem. Tieto stroje sa delia podľa rôznych kritérií. Najhlavnejšie rozdelenie vstrekovacích strojov je podľa vstrekovacieho materiálu (pre vstrekovanie termoplastov, reaktoplastov, elastomerov alebo keramiky). Ďalším kritériom pri rozdelení môže byť poloha vstrekovacej a uzatváracej jednotky (horizontálna vertikálna alebo uhlová). Tieto stroje môžeme ďalej rozdeľovať podľa vstrekovacieho systému (piestové, šnekové alebo kombinované). Každý vstrekovací stroj sa skladá zo vstrekovacej jednotky, uzatváracej jednotky a z riadenia a regulácie. Stroj je taktiež možné doplniť tak aby plnil funkciu čiastočne alebo plne automatizovaného pracoviska. [4]



Obr. 1. Schéma vstrekovacieho stroja[4]

3.3 Plasty

Plasty sú jednou z najmladších skupín konštrukčných materiálov na trhu. Plasty sa začali objavovať v priemysle v prvej polovici 19. Storočia. V druhej polovici storočia nastáva ich prudký rozvoj, ktorý sa neustále zvyšuje. Na trhu sa neustále zvyšuje ich sortiment a zlepšujú sa ich vlastnosti. Postupne plasty prenikajú do všetkých priemyselných odvetví. Plasty postupom času umožňujú vznik nových oborov. V dnešnej dobe majú plasty nezastupiteľné miesto vo všetkých priemyselných odvetviach. Vďaka špecifickým vlastnostiam ako je merná hmotnosť, koroziodolnosť, tepelná a elektrická izolácia sú nenahraditeľné.[1]

3.3.1 Základné prvky a zložky plastov

Plasty sú makromolekulárne organické zlúčeniny. Tieto zlúčeniny sa skladajú z molekúl, ktoré obsahujú tisíce atómov. Plasty sa skladajú najmä z týchto prvkov: uhlík(C), vodík(H), kyslík(O), chlór(Cl), dusík (N), fluór(F). Kombináciami chemikálií a rôzne výrobné postupy dávajú obrovské možnosti výsledných vlastností plastov.[1]

Plasty sa väčšinou skladajú z týchto troch zložiek: *spojivo, plnivo, prísady*

- **Spojivo**- sú to makromolekulové látky- polyméry jedného, alebo viacerých druhov. Taktiež sa označujú ako živice. Spojivo určuje typické vlastnosti plastov.
- **Plnivo**- sú to materiály rôzneho druhu a tvaru. Hlavným účelom plniva je nahradiť časť spojiva polyméru, čo má za následok zlacnenie výrobku. Ďalším účelom plniva je vhodne upraviť vlastnosti výslednej hmoty. Väčšinou sa používajú ako plniva pevné látky.
- **Prísada**- sú to hlavne farbivá, tepelné stabilizátory a zmäkčovadla. Slúžia predovšetkým na úpravu vlastností plastických hmôt.

3.3.2 Rozdelenie polymérov

Polyméry sa môžu rozdeľovať:

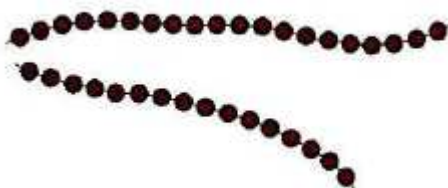
-podľa chemickej štruktúry makromolekúl

- **organické a anorganické**- sú vyrobené z prírodných látok alebo sú vyrobené chemickou cestou

- **homopolyméry a kopolymery**- sú zložené z monomérov toho istého typu alebo sa skladajú z rozličných typov monomérov

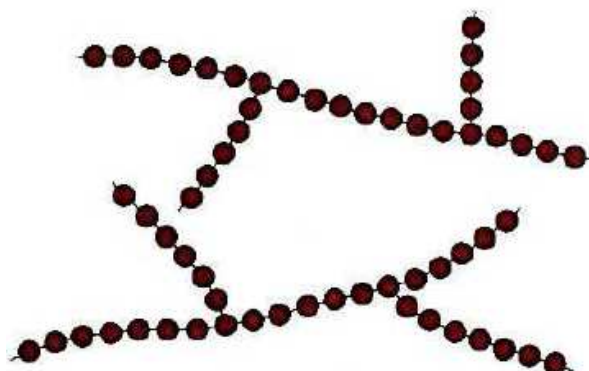
-podľa tvaru makromolekúl

- **jednoduchý reťazec(lineárni)**- tvorí jeden dlhý reťazec molekúl usporiadaných tesne za sebou. Jednoduché reťazce tvoria prevažne termoplasty.[1]



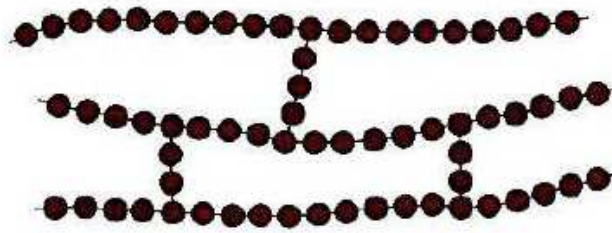
Obr. 2 Jednoduchý reťazec[1]

- **Rozvetvený reťazec**- okrem hlavného reťazca má ešte bočné vetvy. Tieto vetvy sa môžu ešte ďalej rozvetvovať. Tento reťazec je typický pre termoplasty. [1]



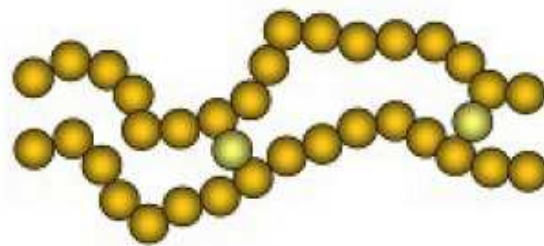
Obr. 3.Rozvetvený reťazec[1]

- **Priestorovo rozsvietený reťazec**- je spojený z niekoľkými lineárnymi alebo rozvetvenými makromolekulami. Vyskytuje sa hlavne v reaktoplastoch.[1]



Obr. 4. Priestorovo rozsvietený reťazec[1]

- **Čiastočne zosieťovaný reťazec**- je zložený z jednoduchých reťazcov, ktorí sú v malom množstve priečne prepojené. Tento reťazec t je typický pre elastomery.[1]



Obr. 5. Čiastočne zosieťovaný reťazec[1]

-podľa obsahu častíc(plnidla)

- **Nevystužene**- množstvo prísad neovplyvňuje vlastnosti
- **Vystužené(kompozity)**-pridané plnivo ovplyvňuje mechanické a fyzikálne vlastnosti

-podľa chovania za zvýšených teplôt

- **Termoplasty** sú to polyméry, ktoré možno opakovateľne zahrievať a tým ich je možné plasticky tvarovať či vstrekať. Následným ochladením sa dajú spätne priviesť do tuhého stavu. V plastickom stave, ktorý sa dosahuje pri teplotách 40°C až 60°C sa dajú veľmi ľahko tvarovať, ohýbať a lisovať. Pri teplotách okolo 80°C až 130°C sa plasty dostávajú do stavu kedy sa dajú tvárniť. Teplotu tavenia dosahujú plasty niekde pri teplote 250°C. Termoplasty sa skladajú sa z vláknitých molekúl. Zvyčajne sa dodávajú vo forme práškov, granúl, vlákien. Medzi termoplasty patrí napríklad polyvinylchlorid(PVC), polyetylén(PE), polypropylén(PP), polymetylmetakrylát (PMMA) tiež známy ako plexisklo.[1]

- a) **Reaktoplasty (termosety)** väčšinou vznikajú polymerizáciou, ktorá má charakter chemickej reakcie. Majú husto zosieťované polyméry. Pri svojom vzniku môžu byť tvarované. Po dokončení reakcie sa stávajú reaktoplasty tvrdými a krehkými. V tejto výslednej podobe sa už nedajú tvarovať. Po spracovaní sa už reaktoplasty nedajú rozpúšťať. Medzi najznámejšie reaktoplasty patrí takzvaný bakelit.
- a) **Elastomery, kaučuky a pryže** sú to polyméry, ktoré sú schopné vysokej elasticity vo veľkom rozsahu teplôt. Elasticita pri pôsobení malých síl môže dosiahnuť až niekoľko sto percent. Elastomery sa skladajú z priestorovo zasieťovaných molekúl.[1]

3.3.3 Materiály používané na vstrekovanie

Polypropylén(PP) je z časti podobný tvrdému polyetylénu, ale odoláva teplotám do 90°C. Polypropylén obsahuje krátke sklenené vlákna alebo mastenec, je lacnou konštrukčnou hmotou. Táto hmota je vhodná na stredne namáhané súčiastky, ktoré sú vystavené vyšším teplotám. Polypropylén sa používa na výrobu čističov vzduchu automobilov, rotory teplovzdušných ventilátorov.

Polyformaldehyd(POM, polyoxymetylén) je tuhý a veľmi pevný. Je vhodný na použitie do prostredí kde nepresiahne teplota 90°C. Zle odoláva kyselinám, ktoré narušujú jeho štruktúru.

Polycarbonát (PC) používa sa na prehľadne diely, ktoré sa používajú pri veľkom namáhaní v strojárskom priemysle.

3.3.4 Hlavné väzby v polyméroch

Kovalentná väzba je to hlavný typ väzby v polymérových látkach. Táto väzba je založená na zdieľaní elektrónov medzi atómami. Tieto väzby sa uplatňujú ako intramolekulárne pri tvorbe reťazcov a ako intermolekulárne pri sieťovaní. Väzby môžu byť porušené vplyvom tepla, oxidácie, vplyvom žiarenia, toto porušenie následne vedie k degradácií.[5]

Vodíková väzba je to druh slabej väzobnej interakcie medzi molekulami. Môže sa uplatniť aj v rámci dvoch častí jednej molekuly. Vodíková väzba je podstatne slabšia ako iontová väzba, je taktiež približne slabšia ako kovalentná väzba.[5]

Iontová väzba je druh vnútro molekulárnej chemickej väzby. Iontová väzba vzniká v tom prípade ak rozdiel elektronegativity atómov zúčastnených na väzbe presahuje 1,67 a vzniknutá polarita je tak veľká že dôjde k odovzdaniu elektrónov atómu.[5]

Van der Waalsová väzba pôsobí medzi všetkými atómami a molekulami. Energia vzniknutá medzi vzájomným pôsobením je veľmi malá. Rádovo 10kJ/mol. Nad touto väzbou väčšinou prevládajú ostatné silnejšie väzby. Kryštály v ktorých pôsobí Van der Waalsová väzba sa nazývajú molekulárne kryštály. Pevné látky s touto väzbou sú izolátory.[5]

3.3.5 Hlavné výhody plastov

Hustota – pohybuje sa v rozmedzí 890-2200 kg/m³. Malá hustota ma za následok nízku hmotnosť výrobkov. V porovnaní z výrobkami ktoré sú vyrobené zo železa sú plastové výrobky neporovnateľné ľahšie.[5]

Nízka tepelná vodivosť- pre túto vlastnosť sa používajú k výrobe tepelnej izolácie.

Nevedenie elektrického prúdu- vďaka tejto vlastnosti sa využívajú v elektrotechnike ako izolátory. Vyrábajú sa z neho napríklad bužírky pre elektrické vodiče.

Pružnosť, húževnatosť- tieto vlastnosti sa využívajú vo výrobe ochranných pomôcok a puzdier pre elektroniku.

Recyklácia- v súčasnej dobe existuje veľa spôsobov akými sa dajú plasty recyklovať. Niektoré spôsoby sú ešte cenovo príliš nedostupné, ale tento fakt sa bude postupom času zmenšovať.

3.3.6 Hlavne nevýhody plastov

Horľavosť- je to vlastnosť všetkých plastov. Pri horení plastov vznikajú nebezpečne plyny, v niektorých prípadoch vznikajú karcinogénne látky. Plasty by sa nemali likvidovať spaľovaním.

Nízka odolnosť voči UV žiareniu- niektoré plasty vystavené priamemu slnku majú veľmi výrazne skrátenú životnosť. Veľmi malú odolnosť voči UV žiareniu majú polyuretánové peny.

Tvorba elektrostatického náboja- tento jav je nežiaduci a v niektorých prípadoch môže byť veľmi nebezpečný.

3.4 Vstrekovacie formy

Vstrekovacia forma je zložitý nástroj a je to spolu s plastifikačnou jednotkou najdôležitejšia časť vstrekovacieho stroja. Vstrekovacia forma nie je súčasťou stroja. Na jednom stroji sa môže používať viac druhov vstrekovacích foriem podobného typu a veľkosti. Forma dáva vstreknutému plasty výsledný tvar, následne tento tvar uchováva až do stuhnutia plasty. Vstrekovacia forma je zložitý nástroj ktorý sa skladá z viacerých súčiastok. Zloženie formy môžeme rozdeliť na tieto základne časti tváriaci systém, vtokový, temperačný a vyhladzovací systém, vodiace a upínacie elementy. Materiály vstrekovacích foriem sú volené podľa niekoľkých základných požiadaviek. Medzi základné požiadavky patrí druh zapracovávaného plasty, veľkosť vyrábaného výrobku, požadovaný počet výrobkov, požadovaná presnosť, výsledná drsnosť súčiastky, tepelná odolnosť a odolnosť voči kyselinám. Dôležitú úlohu hrajú tvarové časti, ktoré musia byť tepelne spracovávané. Požiadavky na tvarové časti sú závislé na počte vyrábaných súčiastok. Vstrekovacie formy musia mať konštrukciu, ktorá umožňuje rýchle vyberanie súčiastok. Táto požiadavka je dôležitá pri plne automatizovanej prevádzke. V súčasnej dobe existuje veľmi veľa typov vstrekovacích foriem, ktoré môžeme rozdeliť podľa základných kritérií. [6,7]

3.4.1 Rozdelenie vstrekovacích foriem

-podľa počtu dutín:

- Jednonásobné
- viacnásobné

-podľa konštrukcie vstrekovacieho stroja:

- vstrekovanie do osy
- vstrekovanie do deliacej roviny

-podľa spôsobu za formovania:

- dvojdoskové
- trojdoskové
- etážové
- vytáčacie čeľušt'ové

3.4.1.1 Násobnosť vstrekovacej formy

Násobnosťou vstrekovacej formy sa rozumie koľko bude mať tvarových dutín. Pri voľbe násobnosti sa musí brať ohľad na zložitosť a veľkosť tvarovej dutiny, požadované výrobné množstvá a parametre vstrekovacieho stroja. Najväčšiu presnosť dosahujú formy, ktoré majú malú násobnosť. Pri viacnásobných vstrekovacích by sa malo rozloženie tvarových dutín voliť tak, aby bola dráha taveniny čo možno najkrajšia a rovnako dlhá. Ak nie je možné splniť túto podmienku je treba upraviť vtok. Násobnosť vstrekovacích foriem môžeme vypočítať z ohľadom na:[8]

a) vstrekovaciu kapacitu stroja

$$n = \frac{0,8 \cdot M_c}{M \cdot A_u} [-]$$

M- hmotnosť jedného výstriku [g],
M_c-vstrekovacia kapacita stroja [g],
A_u- koeficient vtokového úbytku (1,05-2)

b) na plastifikačný výkon stroja

$$n = \frac{0,8 \cdot Q_p \cdot t_c}{3,6 \cdot A_u \cdot M} [-]$$

M- hmotnosť jedného výstriku [g],
A_u- koeficient vtokového úbytku (1,05-2),
Q_p- plastifikačná kapacita stroja [kg·h⁻¹],
t_c- doba vstrekovacieho cyklu [s]

c) ekonomické hľadisko (optimálna násobnosť formy)

$$n_{opt.} = \sqrt{\frac{N \cdot t_c \cdot K_p}{k_f \cdot 3600}} [-]$$

N- celková produkcia behom celej životnosti vstrekovacej formy [ks],

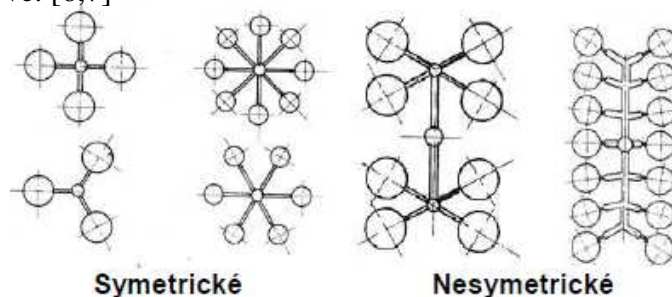
t_c - doba vstrekovacieho cyklu [s],

k_f - konštanta úmernosti (k_f/N) [-],

k_p - prevádzkové náklady [Kč]

3.4.1.2 Vtokový systém foriem

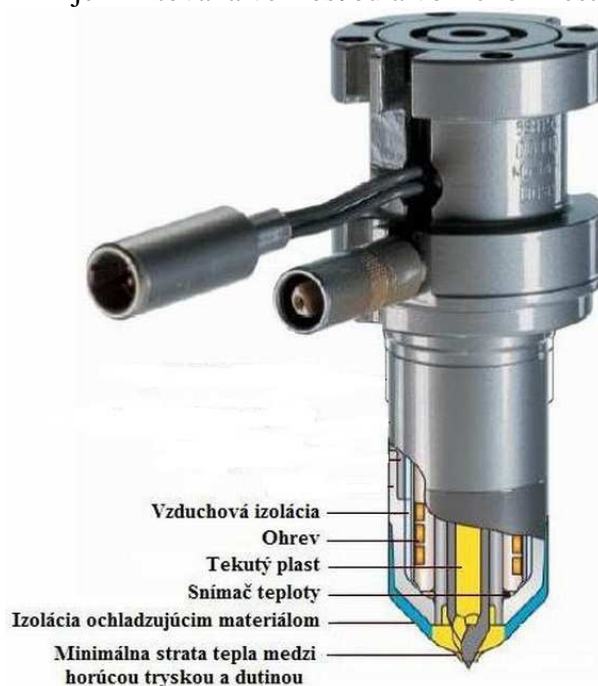
Ďalšou neoddeliteľnou súčasťou vstrekovacích foriem musí byť vtokový systém. Je to sústava kanálov a kanálikov slúžiacich k doprave roztaveného plastu od ústia trysky vstrekovacieho valca až k tvarovej časti formy. Tvar, veľkosť a rozmiestnenie rozvádzacích kanálikov má veľký vplyv na to ako bude tavenina vo forme prúdiť, či sa nebudú vytvárať studené spoje, zťažneniny, alebo aký bude mať vstrek povrch. V zásade sa volí taká konštrukcia sústavy vtokových kanálikov tak, aby sa tavenina dostala do tvarovej časti čo možno najkratšou cestou a bez väčších tlakových a teplotných strát. Pri voľbe tvaru a rozloženia vtokových kanálikov je nutne brať do úvahy násobnosť formy. V tomto prípade sa volí také riešenie, aby sa roztavený plast dostal ku všetkým tvarovým dutinám pokiaľ možno vo rovnakom časovom intervale a v rovnakom tlaku. V prípade, že to z technického hľadiska nie je možné, vykoná sa korekcia vtokových kanálikov, respektíve jeho ústie. Tvarov vtokových ústí je veľké množstvo a používajú sa podľa toho, akého charakteru je vstrekovaná súčasť. Vtokové ústia môžu byť bodové, dáždnikové, tanierové, tunelové. [6,7]



Obr. 6. Príklad rozdelenia rozvádzacích kanálikov u viacnásobných formách [7]

Okrem studených vtokových systémov (opísaných vyššie) môžu byť použité vo vstrekovacích formách aj horúce vtokové systémy. Horúce vtokové systémy majú oproti studeným vtokovým systémom tú výhodu, že odstraňujú vtokový zvyšok a tým pádom nie je nutné dodatočné začisťovanie vstreku, skrúti sa vstrekovací cyklus a ušetri sa časť vstrekovateľného polyméru. Avšak majú aj svoje nevýhody ako sú napríklad vyššie ceny formy alebo náročnejšie opravy kvôli zložitosti formy. Pri konštrukcii foriem sa používajú štyri základné typy horúcich vtokových systémov: [6]

- a) izolované rozvádzacie kanáliky- používajú sa u trojdoskových foriem a pre rozvádzacie kanáliky veľkého prierezu.
- b) komorové vtoky- tieto vtoky sa vyznačujú kratšími vstrekovacími cyklami a vyžadujú pravidelnú prevádzku. V prípade nepravidelnej prevádzky hrozí stuhnutie plastu v komore.
- c) rozvádzacie kanáliky s vyhrievaním- v tomto prípade rozvádzania plastu je celý obsah vstrekovanej hmoty roztavený
- d) tryska s vyhrievaním- je súčasťou formy, túto trysku nemôžeme použiť vždy. Tryska je limitovaná veľkosťou a voľného miesta vo forme.



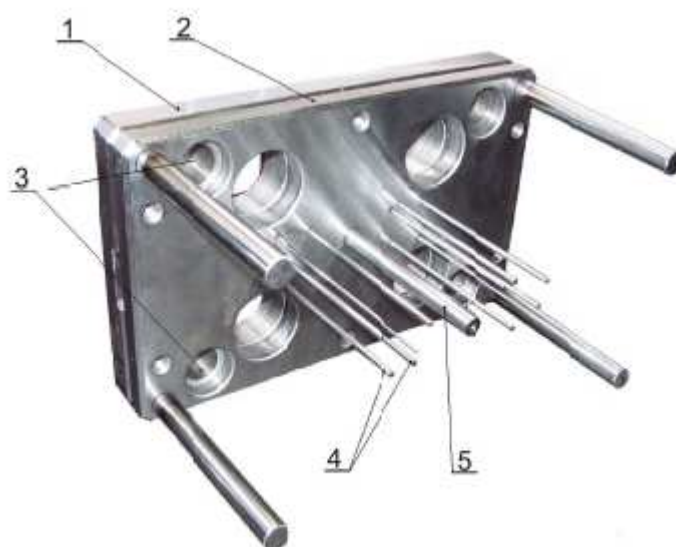
Obr. 7. Prierez vyhrievanej trysky



Obr. 8. Vstrekovacia tryska formy

3.4.2 Vyhadzovací systém vstrekovacích foriem

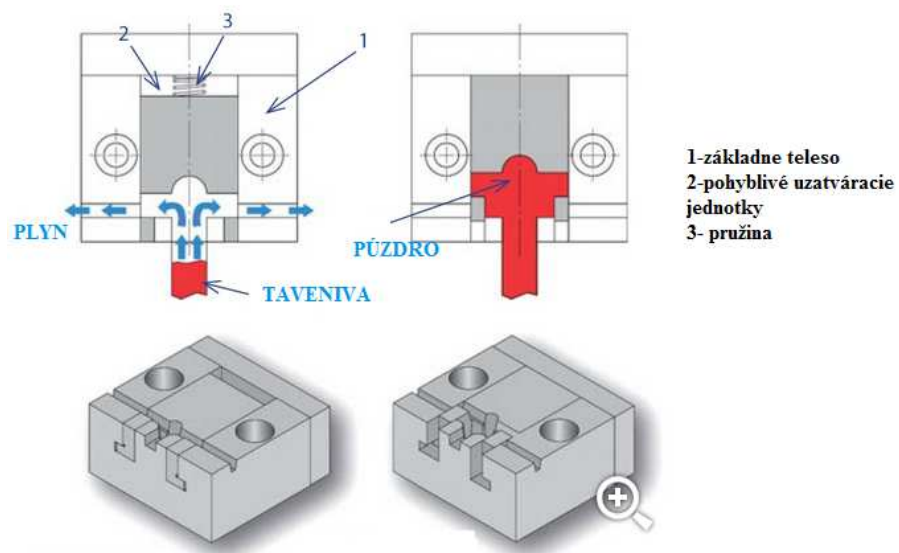
Termoplastické hmoty sa po vstreku do formy ochladzujú a tým sa aj zmršťujú. Toto zmrštenie ma za následok že ostávajú pevne prichytené na tvarových častiach formy. K ich vyhodneniu z formy slúži vyhadzovací systém, tento systém tiež zabezpečí vyhodnenie vtokového zvyšku. Vyhadzovací systém obsahuje sústavu vyhadzovacích kolíkov rôznych priemerov. V niektorých prípadoch sa používajú trubkové vyhadzovače (medzikruhového tvaru). Okrem týchto mechanických spôsobov vyhodnenia výslednej súčiastky sa niekedy vyhadzujú súčiastky pomocou stlačeného vzduchu alebo rôznych manipulátorov. Pohyb vyhadzovačov je odvodený buď od pohybu časti formy alebo pôsobením pružiny. Vo väčšine prípadov sa ale používa pohyb odvodení od hydraulického vyhadzovacieho systému vstrekovacieho stroja. Výpočet vyhadzovacej sily sa vždy počíta aj vzhľadom na zmrštenie vstreku, na adhéziu plastu k lícu formy, na vznikajúci podtlak pri vyhodnení. [6]



Obr. 9. Vyhadzovací systém vstrekovacej formy: 1-oporná doska, 2-kotviaca doska, 3-vodiace púzdra, 4-válcove vyhadtovače, 5-trubkový vyhadzovač

3.4.2.1 Odvzdušnenie vstrekovacích foriem

Pri vstrekaní taveniny plastu do prázdnej dutiny formy sa musí vzduch, ktorý je v dutine dostať nejaký spôsobom von z formy, inak hrozí nárast tlaku vzduchu, čo v spojení z horúcou taveninou môže vyvolať jeho zapálenie a toto zapálenie môže viesť k znehodnoteniu výrobku. Tento jav bol pomenovaný Diesedlov efekt. Okrem tejto vady môže vzduch uzavretý v dutine vytvoriť v tavenine bubliny. V prípade malého vstrekovacieho tlaku môže dôjsť k nedostreknutiu plastu do všetkých častí. Toto sa prejaví na jeho mechanických a optických vlastnostiach. Miesto kde sa forma odvzdušňuje býva na tokom mieste, kam sa tavenina dostáva najneskôr. V niektorých prípadoch sa toto miesto musí určovať pomocou skúšok. Odvzdušnenie môže byť vykonané pomocou otvorov, rôznych trňov a vložiek. Veľmi často je odvzdušnenie zaistené vyhadzovačom, kde medzera niekoľko stotín milimetra medzi vyhadzovačom a dierou pre vyhadzovač v tvarovej dutine postačí k odvzdušneniu formy. Jedným z ďalších spôsobov ako formu zbaviť stlačeného vzduchu v tvarovej dutine je pootvorenie formy po naplnení dutiny na 80 - 95% požadovaného objemu o 0,1 - 0,2 mm, dôjde k odvzdušneniu a potom sa forma opäť uzavrie a prebehne dostreknutie na požadovaný objem. Toto sa praktizuje predovšetkým pri spracovaní reaktoplastov.[7,8,10]



Obr. 10 Odvzdušňovacie zariadenie ECOVENT.[10]

3.4.3 Vhodné materiály na výrobu vstrekovacích foriem

Cena vstrekovacej formy je z veľkej časti určená cenou materiálu, z ktorého je vyrobená. Vstrekovacie formy sú väčšinou vyrobené z rôznych materiálov. Formy sú najviac namáhané na tlak, opotrebenie a pri niektorých druhov vstrekovacích materiálov aj na koróziu. Hlavným kritériom pri voľbe materiálu, z ktorého bude forma vyrobená je množstvo vyrábaných výliskov. Na konštrukčné časti formy sú kladené iné nároky ako na funkčné tvary (vodiace trne, tvarové vložky, vyhadzovače atď.)

Najpoužívanejšími materiálmi pre výrobu vstrekovacej formy sú ocele. Na trhu je však veľké množstvo oceli a každá ma svoje špecifické vlastnosti, ktoré ju predurčujú na určité použitie. Tento fakt hodne zužuje okruh oceli, ktoré sa používajú na výrobu vstrekovacej formy. Na výrobu tvarových dutín, mechanicky namáhaných časti formy sa často používa nástrojová, cementovaná a legovaná oceľ. Dôležité je taktiež tepelné spracovanie na funkčných a tvarových plochách. Zlé zvolené tepelné spracovanie niekedy vedie až k znehodnoteniu celej formy. Tvarové časti sú kalene na 54 HRC. Niektoré firmy vyrábajú vstrekovacie formy z oceli, ktoré si sami pre daný vstrekovací plast vyvynuli.

Pri výrobe vstrekovacích foriem sa vo veľkej miere používajú aj iné materiály ako je napríklad hliník, dural, meď a mosadz. Taktiež sa používajú rôzne izolačné a ochranné materiály. Na životnosť formy ma najväčší vplyv tepelné spracovanie, povrchová úprava a chemické zloženie oceli.[17]

3.4.3.1 Najpoužívanejšie materiály vo firme TRUSTACOM

Firma TRUSTACOM používa na výrobu nástrojovej ocele od firmy Böhler. Firma Böhler ma ocele rozdelené do piatich kategórií.

- Ocele pre prácu za studena
- Ocele pre prácu za tepla
- Ocele pre formy na plasty
- Špeciálne materiály

Firma TRUSTACOM používa vo svojej výrobe ocele pre prácu za tepla a ocele na formy na plasty.

Ocele pre prácu za tepla sú ocele, ktorým ich vlastnosti umožňujú pracovať pri zvýšených teplotách v procesoch ako je kovanie, tvárnenie, liatie kovov pod tlakom. Hlavné vlastnosti týchto materiálov sú pevnosť, húževnatosť a odolnosť voči opotrebeniu pri zvýšených teplotách. Böhler ma v tejto kategórii široký sortiment materiálov.[11]

Tab. 1. Ocele pre prácu za tepla od firmy Böhler.[11]

Böhler	W.-Nr.	DIN	STN
Böhler W100	1.2581	X30WCrV9-3	19721
Böhler W300	1.2343	X38CrMoV5-1	19552
Böhler W302	1.2344	X40CrMoV5-1	19554
Böhler W320	1.2365	X32CrMoV3-3	19541
Böhler W500	1.2714	56NiCrMoV7	19663

1.2343- Chróm- molybdén- kremík- vanadová oceľ vhodná na kalenie v oleji a na vzduchu. Oceľ má veľmi dobrú prekaliteľnosť, vysokú pevnosť za tepla a odolnosť proti popusteniu, veľmi dobrú húževnatosť a plastické vlastnosti pri normálnych a zvýšených teplotách. Oceľ vykazuje odolnosť voči vzniku trhliniek pri tepelných úpravách a malú citlivosť na prudké zmeny teplôt. Po kalení vykazuje malé rozmerové deformácie. Vyznačuje sa dobrou obrobitelnosťou. Pevnosť je 750 MPa. Oceľ ma maximálnu tvrdosť v stave žíhanom na mätko 230 HB. Je to najpoužívanejšia oceľ pre vstrekovacie formy. [12]

Tab. 2. Chemické zloženie ocele 1.2343 [11]

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0,38	1,10	0,40	5,00	1,30	0,40

1.2365- Nástrojová oceľ vhodná na kalenie na vzduchu alebo v oleji s veľmi dobrou prekaliteľnosťou. Má vysokú odolnosť proti popúšťaniu. Oceľ disponuje vysokou pevnosťou za tepla a veľmi dobrou húževnatosťou. Pevnosť je 750- 780 MPa. Oceľ sa

vyznačuje malou citlivosťou k prudkým zmenám teplôt a je vhodná pre nástroje chladené vodou, je dobre tvárna za tepla a dobre obrábateľná v stave žíhanom na mäkko. Je vhodná na nitridáciu. Oceľ je možné kaliť vo vákuu. Oceľ sa používa na výrobu vysokonamáhaných nástrojov, ktoré pracujú pri zvýšených teplotách. Predovšetkým pre zapracovávanie zliatin, ktoré sú legované ťažkými kovmi. Jedná sa napríklad o lisovacie matrice, prietlačníky, vysoko namáhané vnútorné puzdra, vložky zápustiek.[11,12]

Tab. 3. Chemické zloženie oceli 1.2365 [11]

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0,31	0,30	0,35	2,90	2,80	0,50

1.2344- Cr-Mo-V legovaná oceľ vhodná na kalenie v oleji a na vzduchu s veľmi dobrou prekaliteľnosťou (oceľ sa prekaluje v celom priereze asi do priemeru 150 mm). Oceľ ma vysokú pevnosťou za tepla a odolnosťou proti popúšťaniu a oteru (väčšia ako u ocele). [11,12]

1.2343- Vyznačuje sa veľmi dobrou húževnatosťou a plastickými vlastnosťami pri normálnych aj zvýšených teplotách. Ďalej oceľ vykazuje veľmi dobrú odolnosť proti vzniku trhliniek tepelnej únavy a väčšiu citlivosť na prudké zmeny teplôt ako u ocele 1.2343. Oceľ je vhodná pre tepelné spracovanie aj na pevnosti cez 1765 N / mm², a na nástroje chladené vodou. Je dobre tvárna za tepla a dobre obrábateľná v stave žíhanom na mäkko.[11,12]

Tab. 4 Chemické zloženie oceli 1.2344 [11]

C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0,39	1,10	0,40	5,20	1,40	0,95

Ocele pre formy na plasty sú ocele, ktoré sú svojimi vlastnosťami predurčené na výrobu foriem na spracovávanie plastov. Najdôležitejšie vlastnosti materiálov v tejto skupine sú leštiteľnosť, korozivzdornosť, odolnosť voči opotrebeniu a dobrá obrábateľnosť. Každá z týchto vlastností je v určitom pomere zastúpená v sortimente ocelí ponúkaných firmou Böhler. Niektoré materiály sú ponúkané v tepelne spracovanom stave. [11]

Tab. 5. Ocele pre formy pre plasty od firmy Böhler [11]

Böhler	W.-Nr.:	DIN	STN
Böhler M130	1.2764	X19 NiCrMo4	16 720
Böhler M200	1.2312	40 CrMnMoS 8-6	19 520
Böhler M300	1.2316	X36 CrMo 17	17 135
Böhler M310	1.2083	X 42 Cr 13	17 136
Böhler M330	1.4028	X30 Cr13	17 023

1.2312- Zušľachtená ocel' legovaná Cr - Mn - Mo s obsahom síry zaručuje výbornú obrábateľnosť aj v zušľachtenom stave. Vďaka vysokej schopnosti spracovania do hĺbky materiálu je zaručená rovnomerná pevnosť v celom priereze. Ocel' ponúka výborné mechanické vlastnosti ako húževnatosť, rozmerovú stálosť a zároveň dobrú opracovateľnosť a erodovateľnosť. Má dobrú prekaliteľnosť a pevnosť za tepla. Je vhodná na nitridovanie, cementovanie a tvrdo chrómovanie. V porovnaní s ocelou 1.2311 je ťažšie lešiteľná. Ocel' sa dodáva v zušľachtených stave a nie je nutné ju ďalej tepelne spracovávať. Ďalšie tepelné spracovanie sa odporúča len vo výnimočných prípadoch, kedy je požadovaná vyššia tvrdosť. Pevnosť v dodávanom stave je 900 - 1100 MPa (33 HRC), tvrdosť v dodávanom stave max. 280 - 325 HB a tvrdosť v stave žíhanom na mätko max. 230 HB. Tvrdosť po kalení býva 51 HRC. Využitie pre rámy a dosky foriem.[11,12]

Tab. 6. Chemické zloženie oceli 1.2312 [11]

C	Si	Mn	Cr	Mo	S
0,40	0,40	1,50	1,90	0,20	0,08

Materiály na výrobu prototypových foriem (malé série)

EN 5083 [AlMg4,5Mn0,7]- Materiál sa vyznačuje dobrou obrobiteľnosťou a veľmi dobrou zvariteľnosťou. Veľmi dobre odoláva korózií a dá sa eloxovať. Zliatina sa využíva v potravinárskom priemysle, na stavbu lodí, zvarané konštrukcie.

EN 7075- Zliatina hliníka, ktorá sa veľmi dobre obrába, leští a eloxuje. Zliatinu nie je možné zvärať, zle odoláva korózií a má relatívne mäkkú zónu vnútri hrubších platní. Dosahuje tvrdosť 161 HB. Používa sa na výrobu vyfukovacích foriem.

4 TECHNOLOGIA VÝROBY VSTREKOVACEJ FORMY

Výroba vstrekovacích foriem má v Českej a Slovenskej republike veľkú tradíciu a je veľmi ceneným odvetvím v strojárstve. Výroba vstrekovacích foriem tvorí približne 95% produkcie v nástrojárstve. Veľké množstvo foriem je vyrábaných z nástrojových oceli, ktoré sa obrábajú trieskovým alebo elektroerozívnym spôsobom. Ale v dnešnej dobe sa začínajú vyrábať vstrekovacie formy aj menej známymi metódami ako je galvanoplastika. Najväčší podiel na výrobe vstrekovacích foriem má obrábanie frézovaním. V strojárskom priemysle je neustále kladený dôraz na zlepšenie efektívnosti obrábania a to následne vedie k neustálemu vývoju nových metód obrábania. Súčasne trendy v trieskovom obrábaní vedú k zvyšovaniu rezných rýchlostí, zväčšovaniu posuvov a hĺbky rezu. V niektorých prípadoch sa obrábanie vykonáva bez prísunu reznej alebo chladiacej kvapaliny.

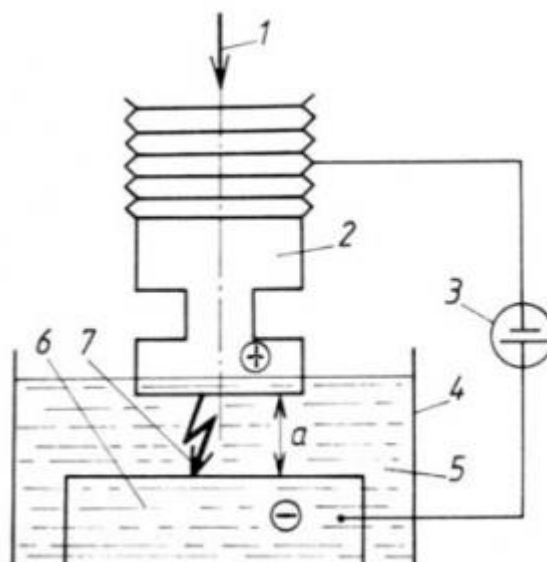
4.1 Elektroerozívne obrábanie

Je to nekonvenčný spôsob obrábania, ktorý zahrňuje viacero metód. Ich spoločným rysom je fyzikálny princíp úberu materiálu odtavovaním a odparovaním pomocou opakujúcich sa elektrických prípadne oblúkových výbojov. Pri tomto spôsobe obrábania nevznikajú triesky ako pri konvenčných metódach, kedy sa obrába reznými nástrojmi. Pri elektroerozívnom obrábaní sa nepoužívajú žiadne rezne sily. Elektroerozívne obrábanie má tu podmienku aby bol obrábaný materiál z elektricky vodivého materiálu. Elektroerozívne obrábanie funguje na princípu dvoch elektród. Anóda je tvorená obrobkom, druhú elektródu tvorí nástroj. Elektródy sú ponorené do dielektrickej kvapaliny. Dielektrická kvapalina má vysoký elektrický odpor. Na tieto účely sa používa petrolej, transformátový olej, destilovaná voda, vodné sklo, silikónový olej a rôzne soľné roztoky. Elektródy sú oddelené iskrovou medzerou. Proces odoberania materiálu je zložený zo striedavých impulzných výbojov rozložených po celej ploche nástroja. Pri každom výboji dôjde k narušeniu materiálu a na obrobku aj nástroji sa vytvorí malý kráter. Častice, ktoré majú tvar dutých guľôčok sa počas procesu odtavujú a oparujú. Tieto častice sú následne odplavované z narušeného miesta prúdiacim dielektrikom. Nástroj je postupne prisúvaný k obrábanej ploche, v niektorých prípadoch môže vykonávať kmitavý pohyb. Kmitanie zlepšuje prúdenie dielektrika čo vedie k lepšiemu odplavovaniu častíc z iskrovej medzery. Pracovná teplota pri ktorej dochádza

v mieste iskrovej medzery k odtavovaniu materiálu sa líši podľa toho či je použitý elektrický oblúk alebo iskrový výboj. U elektrického oblúku dosahuje teplota 3600°C až 4000°C po dobu 0,1 ms až 0,1 s , u iskrového výboja dosahuje teplota 10000°C po dobu 0,01 ms až 0,1 ms.[13,14]

Spôsoby elektroerozivného obrábania:

- Elektroiskrové obrábanie- hĺbenie
- rezanie
- Elektroimpulzné obrábanie
- Elektrokotúčové obrábanie
- Anódomechanické obrábanie



Obr. 11.Princíp elektroerozivného obrábania

1-smer posuvu nástrojovej elektródy, 2-nástrojová elektróda,
3-generátor, 4-pracovná vaňa, 5-tekuté dielektrikum,
6-obrobok, 7- elektrický výboj [14]

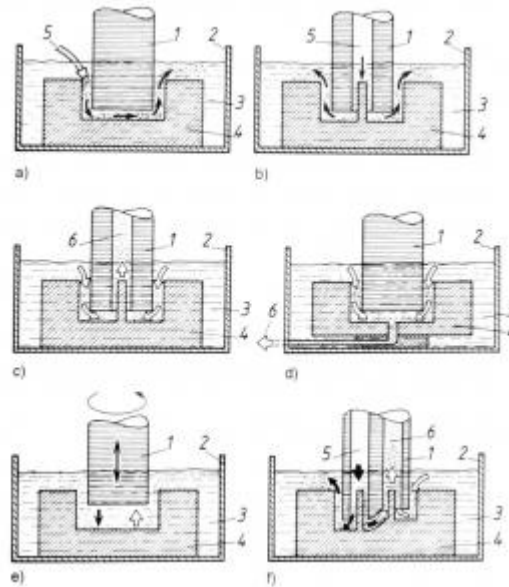
4.1.1 Elektroiskrové hĺbenie

Elektroiskrové hĺbenie predstavuje základný typ elektroerozivných metód obrábania. Používa sa pri výrobe zložitých tvarových vnútorných plôch, foriem, strižných nástrojov, nástrojov na lisovanie plastu ale niekedy sa využíva aj na vonkajšie tvarové plochy. Elektroiskrovým hĺbením je možné obrábať vodivé materiály bez ohľadu na ich mechanické vlastnosti. Na nešťastie tu existuje nepriama úmera medzi produktivitou obrábania a kvalitou obrobenej plochy. Široký rozsah nastavenia pracovných podmienok umožňuje

vyrábať povrchy rôznych kvalít. Metóda elektroiskrového hĺbenia poskytuje možnosť vyrábať súčiastky zložitých tvarov a vykonávanie operácií, ktoré by boli inými metódami neuskutočniteľné (výroba dier so zakrivenou osou alebo úzke a hlboké štrbiny). Pri obrábaní nepôsobí na obrobok žiadne zaťaženie a vzniká menej odpadu ako u konvenčného mechanického obrábania. Nevýhody tejto metódy spočívajú v tom, že obrobok počas obrábania musí byť ponorený v kvapaline, nízka produktivita pri obrábaní mäkkých materiálov. Nástrojová elektróda sa počas obrábania automaticky posúva oproti obrobku, riadiaci systém súčasne udržiava konštantnú veľkosť iskrovej medzery. Produktivita obrábania a kvalita povrchu je závislá na parametroch prúdu, tvaru a frekvencií elektrických výbojov, dielektrickej kvapaline, materiálu nástroja a materiálu obrobku. Komplikované tvary sa obrábajú na CNC strojoch.[13,14]

4.1.1.1 Vyplachovanie dielektrika

Pri elektroiskrovom obrábaní vznikajú v iskrovej medzere mikročastice odtaveného materiálu. Aby bola dodržaná čo najlepšia kvalita povrchu musia byť tieto mikroskopické častice odplavované von z pracovného priestoru, toto musí byť dodržiavané predovšetkým pri hlbokých tvarových dutinách.. Existuje niekoľko spôsobov vyplachu. Prvým spôsobom je prívod dielektrika pod tlakom vnútom elektródy do miesta obrábania, vnútorné steny vyrábanej dutiny majú menšiu tvarovú presnosť. Ako druhý spôsob je možné použiť vonkajšie vyplachovanie alebo poprípade vyplachovanie odsávaním. Odsávanie dielektrika je vykonávané cez nástroj alebo obrobok, dosahuje sa tak veľmi dobrá tvarová presnosť vyrábanej dutiny. Pri elektroerozívnom hĺbení načisto sa veľmi často uplatňuje pulzné vyplachovanie, pri ktorom sa elektróda počas obrábacieho procesu oddialí od obrobku, tým sa zväčší iskrová medzera a docieli sa dokonalé prepláchnutie. Potom sa elektróda opäť priblíži na predpísanú hodnotu pracovnej medzery a znova sa začne obrábanie. Jeden takýto cyklus trvá zhruba od 0,15 až do 10 s. V niektorých prípadoch obrábania tvarovo zložitých dutín sa používa kombinované vyplachovanie, je to kombinácia vnútorného tlakového vyplachovania a odsávania.[14]



Obr. 12. Spôsoby vyplachovania dielektrika medzi elektródou a obrobkom a) vonkajšie, b) vnútorné tlakové, c),d) odsávaním, e) pulzné, f)kombinované 1-elektroda, 2-pracovná nádoba, 3-dielektrikum 4-obrobok, 5-prívod dielektrika, 6- odsávanie dielektrika [14]

4.1.1.2 Nástrojové elektródy

Nástrojová elektróda je negatívom vyrábanej tvarovej dutiny obrobku, preto sa materiál volí s ohľadom na zložitosť tvaru, potrebnú akosť povrchu, materiál obrobku a opotrebenie elektródy počas procesu obrábania. Každý materiál na výrobu nástroja musí spĺňať niekoľko základných parametrov. Predovšetkým musí mať dobrú elektrickú vodivosť, vysoký bod tavenia, dobrú opracovateľnosť a pevnosť. Nástrojové elektródy pre elektroiskrové hĺbenie sa vyrábajú viacerými spôsobmi. Frézovaním a sústružením sa vyrába najväčšia časť elektród, nasleduje lisovanie, prášková metalurgia, striekanie alebo galvanoplastika. Náklady na výrobu tvarovo zložitých elektród môžu dosiahnuť až 50 % z celkových nákladov. Elektróda sa počas používania opotrebováva hlavne na bokoch a na koncoch elektródy. Hlavným kritériom podľa čoho sa určuje trvanlivosť nástroja je opotrebenia rohov. Najväčší vplyv na trvanlivosť má teplota tavenia použitého materiálu, preto sa elektródy musí pravidelne kontrolovať.[13,14]

Tab. 7. Materiály nástrojových elektród[13]

Materiál	Charakteristika
Grafit	Najčastejšie používaný materiál, je dobre obrobiteľný a vykazuje nízke opotrebenie. Nevýhodou grafitu je znečisťovanie hlbiaceho stroja.
Meď	Má dobrú elektrickú vodivosť, vykazuje nízke opotrebenie. Medené elektródy nepracujú tak dobre ako elektródy z grafitu alebo mosadze. Sú vhodné pre obrábanie karbidu wolfrámu. Dosahovaná drsnosť povrchu obrobenej plochy je menšia ako $Ra = 0,5$ mikrometrov.
Meď-wolfram Striebro-wolfram	Ide o drahé materiály. Používajú sa na výrobu elektród na hlboké drážky. Elektródy sú vyrábané spekaním wolfrámu s meďou alebo striebrom. Po spekaní už nemôže byť elektróda tvarovaná v dôsledku krehkosti materiálu.
Meď- grafit	Tento materiál je 1,5 až 2-krát drahší ako grafit, je vhodný pre obrábanie karbidu wolfrámu.
Mosadz	Relatívne lacný a ľahko obrobiteľný materiál, vykazuje však vysoké hodnoty opotrebenia.
Wolfram	Pre výrobu malých dier, $\varnothing D < 0,2$ mm.

4.1.2 Elektroiskrové rezanie

U tejto metódy platia rovnaké fyzikálne princípy ako u metódy elektroiskrového hĺbenia. Metóda sa vyznačuje minimálnou šírkou rezu a nachádza uplatnenie pri delení pevných a tvrdých materiálov (napríklad elektricky vodivých keramických materiálov). Rozdiel medzi metódami je v rozdielnom tvare nástrojovej elektródy. U elektroiskrového rezania má nástrojová elektróda tvar tenkého vodivého drôtu. Touto metódou môžeme vykonávať rezy po ľubovoľnej krivke o minimálnej šírke rezu. Pri rezaní nevzniká na nástroji nadmerné opotrebenie lebo nástrojová elektróda je navinutá na bubne a postupne sa odvíja a prechádza miestom rezu. Obrobok je celý ponorený v dielektrickej kvapaline, ako dielektrikum sa používajú rovnaké látky ako u elektroiskrového hĺbenia (destilovaná voda, olej, petrolej atď.). Elektródy majú priemer od 0,03 až 0,35 mm a sú vyrábané z mosadze, medi a molybdénu, ktorý je určený na jemné rezanie. V dnešnej dobe sa používajú aj povlakované rezne drôty. Ich jadro je tvorené zliatinou medi a povlak obsahuje zinok, ktorý umožňuje vysoké rezne rýchlosti a zaručuje stálosť elektrického výboja.

Výhody elektroiskrového obrábania sú v tom , že je možné rezať materiály o veľkej pevnosti a tvrdosti ako je spekaný karbid, kalená oceľ, zliatiny titánu a ďalšie. Materiál podobne ako u elektroiskrového hĺbenia musí vykazovať elektrickú vodivosť. Pri výrobe vstrekovacích foriem sa elektroiskrové rezanie používa na výrobu tvarových vložiek. Presnosť rezania hodne závisí na napnutí rezacieho drôtu. Pri správne nastavenom stroji a správne zvolených rezných podmienkach je možné dosiahnuť drsnosť obrobeného povrchu Ra 0,15až Ra 0,3 [11]

4.1.3 Elektroimpulzné obrábanie

Metóda elektroimpulzného obrábania využíva elektrický oblúkový výboj. Anódu tvorí nástroj a obrobok tvorí katódu. Pulzy generuje nezávislý impulzný generátor, kde doba trvania impulzu, amplitúda, polarita a frekvencia nie sú závislé od času obrábania ani do stavu elektroerozívnej medzery. Táto metóda sa vyznačuje väčším úberom materiálu ako elektroiskrová metóda. Medzi nevýhody patri horšia presnosť a drsnosť povrchu. Elektroimpulzné obrábanie sa používa predovšetkým na hrubovacie práce. Opotrebovanie nástrojovej elektródy sa pohybuje okolo 1%.

4.1.4 Elektrokontaktné obrábanie

Je to druh elektroerozívneho obrábania. Podstatou elektrokontaktného obrábania je odporové odtavovanie materiálu obrobku, pričom sa využíva oblúkový výboj a malý počet impulzov. Frekvencia sa pohybuje v rozmedzí 50 až 500 Hz. Nástrojová elektróda môže mať tvar disku alebo kotúča. Elektróda sa pri práci otáča tým vytvára mechanické budenie. Ako zdroj sa používa výkonný transformátor, ktorý môže dosahovať výkon až niekoľko stoviek kW. Maximálny úber materiálu môže dosahovať až 500kg/h.

4.2 Trieskové obrábanie

Je to technologický proces, pri ktorom dochádza k vytváraniu nových povrchov odstraňovaním materiálu v podobe triesky rezným nástrojom. Pri výrobe vstrekovacích foriem sa z oblasti trieskového obrábania najčastejšie používajú technológie sústruženie, brúsenie, vŕtanie, ale asi najväčší podiel pri výrobe tvoria technológie frézovania. Frézovanie je nenahraditeľnou technológiou trieskového obrábania, kde hlavný rezný rotačný pohyb vykonáva viac britý nástroj a pomocné pohyby (posuv a prísuv) obrobok. V minulosti sa frézovanie používalo výhradne k obrábaniu rovinných plôch, ale postupným technickým zdokonaľovaním, vývojom nových výkonných technológií a rozvojom viacosových strojov sa začali obrábať takmer všetky tvary obrobovkov, rôzne otvory, dutiny alebo závit. Závit sa v minulosti obrábali výhradne iba sústružením. Najväčší vplyv na výslednú kvalitu obrobeného povrchu má nástroj. Okrem nástroja má veľký vplyv na kvalitu povrchu aj voľba rezných podmienok, tuhosť stroja, spôsob prívodu procesnej kvapaliny. Dráha nástroja sa dá v dnešnej dobe riadiť viacerými spôsobmi. Vďaka dnešným CNC strojom a podpory CAD / CAM softvérov je možné naprogramovať dráhu nástroja takmer vo všetkých možných smeroch. V súčasnej ekonomicky napätej situácii je kladený veľký dôraz na skracovanie výrobných časov čo vedie k znižovaniu výrobných nákladov. Toto skracovanie výrobných časov má za následok neustály vývoj nových rezných materiálov, nástrojov, frézovacích stratégií a použitie moderných frézovacích centier, ktoré umožňujú obrábať aj zložité tvarové diely. Ide predovšetkým o čo najväčšiu úber materiálu v čo najkratšom čase. Pri obrábaní sa používajú procesné kvapaliny, ktoré zlepšujú celý proces obrábania, ich zloženie má však zlý vplyv nielen na zdravie človeka, ale najmä na životné prostredie. Preto sa začínajú presadzovať technológie ako je vysokorýchlostné, suché a tvrdé obrábanie, u ktorých použitie procesných kvapalín nie je potrebné. [15]

4.2.1 Vysokorýchlostné obrábanie

Vysokorýchlostné obrábanie (High Speed Cutting- HSC)-je obrábanie pri vysokých rezných rýchlostiach ale z hľadiska rýchlosti nie je možné jednoznačne a presne stanoviť hranice, kde začína a končí HSC obrábanie. Označenie vysokorýchlostné obrábanie navrhol Carl Salomon v roku 1931. Vysokorýchlostné obrábanie má špecifické využitie vo výrobnom procese. Metóda HSC pracuje pri reznej rýchlosti 5x až 10x väčšej oproti konvenčnému frézovaniu. Stroje pre HSC obrábanie môžu byť klasické konvenčne ale aj

číslicovo riadené, ktoré dosahujú otáčky frézovacích vretien 10000-80000 ot/min, u sústruhov sú otáčky vretena 5000-15000 ot/min. Posuvové rýchlosti dosahujú rýchlosti 10-40 m/min, rýchloposuv dosahuje rýchlosť 90-120 m/min. HSC technológia sa najviac využíva predovšetkým pri výrobe tvarovo zložitých dutín vstrekovacích foriem alebo zápustiek.

Tab. 8. Rezné rýchlosti pri HSC z hľadiska materiálov a obrábacej operácie[16]

Materiál	Rezná rýchlosť [m·min⁻¹]	Obrábacie operácie	Rezná rýchlosť [m·min⁻¹]
Oceľ	800-1100	Sústruženie	800-8000
Zliatiny Ti	100-150	Vŕtanie	100-1100
Zliatiny Ni	160-280	Frézovanie	560-6000
Liatina	900-1600	Preťahovanie	12-70
Zliatiny Al	3000-6000	Vysturžovanie	10-250
Bronz a mosadz	1100-3000	Brúsenie	6000-9500
Zpevnené plasty	2800-8000	Rezanie	70-200

Hlavný rozdiel medzi konvenčným a HSC frézovaním je okrem reznej rýchlosti v mechanizme tvorenia triesky. Pri vysokých rezných rýchlostiach sa teplota triesky blíži k teplote tavenia obrábaného materiálu. Tým sa menia jej mechanické a chemické vlastnosti. Pri podrobnom skúmaní rezného procesu bolo zistené, že čím vyššia je rezná rýchlosť, tým menšia je oblasť primárnej plastickej deformácie v oblasti triesky, skôr sa dosiahne medze pevnosti v strihu a dôjde k oddeleniu triesky sklzom v rovine strihu pod strižným uhlom Φ . Trieska po priechode rovinou strihu takmer skokovo zvýši svoju teplotu, zmäkne a tým pádom sa zníži sila, ktorou pôsobí trieska na čelo nástroja. To zapríčiní zmenšenie celkového rezného odporu a taktiež sa zníži trecia sila medzi nástrojom a trieskou, čím sa zníži aj celková rezná sila. Vďaka rýchlemu odchodu triesky z oblasti styku s čelom nástroja nedôjde k dodatočnému zahriatiu vplyvom trenia a taktiež trieska nestačí odovzdať svoje teplo do nástroja ani do obrobku. Poklesom rezných síl a odvedením približne 99% všetkého vzniknutého tepla trieskou sa zvýši aj presnosť obrábania a trvanlivosť nástroja. Ďalšou z výhod je to, že trieska je krátka a pri použití suchého obrábania je obrobok čistý, a bez zvyškov procesnej kvapaliny, Tento fakt uľahčuje následné spracovávanie. [16,17]

Jedna s hlavných výhod HSC obrábania oproti konvenčnému obrábaniu spočíva v tom, že pri rovnakej hrúbke triesky, ale pri zvýšenej reznej rýchlosti sa zvyšuje hodnota posunu, čím sa dosahuje vyšší úber materiálu až o 30% za jednotku času. HSC obrábanie dosahuje lepšie akosti povrchu, ktoré môže v niektorých prípadoch celkom nahradiť dokončovacie metódy a tým skrátiť celkový čas výroby. Hlavnou výhodou je však to, že sa zníži celková teplota ako nástroje tak obrobku. Avšak ako všetky technológie aj technológia HSC má svoje nevýhody. Je tu zvýšené riziko úrazu obsluhy stroja vplyvom veľmi rýchlych pohybov častí stroja, musí byť teda zabezpečená dostatočná ochrana (nepriestrelné kryty a sklo). Aby sa predišlo závažným poruchám musia sa vykonávať pravidelné kontroly zamerané na únavové trhliny a opotrebovanie súčiastok. Izolácia stroja musí byť veľmi účinná lebo pri vysokých rýchlostiach vzniká veľké hlukové znečistenie. Softvérová alebo hardvérová chyba môže mať vážne následky. Núdzové zastavenie stroja sa prakticky nedá použiť. Vyššie dynamické účinky pri rozbehu a zastavovanie vretena vedú k vyššiemu opotrebeniu ložísk, guľôčkových skrutiek a vodiacich častí stroja. Oproti konvenčným obrábacím strojom majú HSC stroje mnohonásobne vyšší výkon a tiež umožňujú vykonávať široké spektrum technologických operácií (predovšetkým 5-osá obrábacie centrá). Vďaka 5 riadeným osiam sa môžu obrábať také plochy, ktoré boli na klasickom 3-osom stroji len ťažko obrobiteľné. V niektorých prípadoch môže obrábanie v 5 osiach nahradiť elektroerozívne hĺbenie a tým znížiť počet elektród a náklady na ich výrobu.[17,18,21]

4.2.1.1 Obrábanie za sucha

Cieľom suchého obrábania je minimalizácia alebo úplne vylúčenie reznej kvapaliny, tým dochádza k zníženiu nákladov na ich obstarávanie, údržbu a likvidáciu. Taktiež odpadávajú vedľajšie práce ako je čistenie (odmasťovanie) obrobkov, mokrých triesok. Pri použití reznej kvapaliny sa zvyšuje kolísanie teplôt pri vstupe a výstupe nástroja zo záberu. Tieto výkyvy teplôt sú často príčinou vzniku tepelných trhlín.[21]

Pri obrábaní niektorých materiálov ako sú napríklad korozi odolné ocele alebo zliatiny hliníka je použitie kvapaliny vhodným riešením, aby sa zabránilo tvorbe nebezpečného toxického prachu. Na odvod triesky z miesta rezu sa môže používať stlačený vzduch.[21]

Procesné kvapaliny majú za úlohu zmenšovať trenie medzi obrobkom a nástrojom, zaistiť plynulý odchod triesky z miesta rezu a zaistiť požadovanú kvalitu obrobenej plochy. Pri vylúčení reznej kvapaliny s rezného procesu však tieto funkcie odpadajú. Toto môže viesť ku zvýšenému opotrebovaniu nástroja a zhoršeniu kvality obrábanej plochy. [21]

Pri obrábaní za sucha je hlavný dôraz kladený na geometriu a materiál nástroja, ktorý musí odolávať veľmi vysokým teplotám. Materiály používané na výrobu nástrojov musia mať dostatočnú tvrdosť, pevnosť pri vysokých teplotách. Teploty môžu dosahovať až 1000°C. Na výrobu nástrojov sa používajú vo veľkej miere cermety, rezná keramika, kubický nitrid bóru, spekané karbidy prípadne rôzne povrchové povlaky. Nástroje z rychloreznej ocele sa skoro vôbec nepoužívajú lebo nevyhovujú svojou tvrdosťou za vysokých teplôt. Vo väčšine prípadov sa vyrábajú VBD (vymeniteľné britové doštičky) RO stráca svoju tvrdosť už pri teplote okolo 500°C. Trvanlivosť nástrojov dosahuje pri obrábaní za sucha vyšších hodnôt ako pri použití reznej kvapaliny, kde sa rezná kvapalina takmer okamžite vyparí a nemá takmer žiadny chladiaci účinok, Tento fakt vyvoláva striedavé tepelné rázy, ktoré môžu v niektorých prípadoch najmä u frézovania viesť k vzniku mikroskopických trhlin a následne aj k lomu.[21]

4.2.1.2 High Feed Miding(HFM)

Je to typ vysokorýchlostného frézovania, ktorý je vysoko produktívny. Pre jeho realizáciu je potrebné vhodné a kvalitné strojové a nástrojové vybavenie. Pri tvorbe NC programu je nutné dodržiavať niektoré zásady a je nutné sledovať veľkosť pracovných otáčok a maximálny posuv. Musí sa dbať na kontrolu vysokého zrýchlenia vo všetkých osiach pohybu nástroja. Obrábanie vysokými hodnotami posuvu je hospodárne a ekologické. HFM obrábanie sa využíva hlavne pri frézovaní, je charakterizované malou hrúbkou rezu ($a_p= 2 \text{ mm}$) a posuvom na zub ($f_z= 3 \text{ mm}$). Na efektívne obrábanie, ktoré vedie ku skráteniu výrobného času sú potrebné špeciálne a kvalitné nástroje. Nástroje najčastejšie obsahujú VBD a sú konštruované tak aby boli tvarovo robustné a mali malý uhol ostria. VBD v

správnom nastavení a s dobre nastavenými reznými podmienkami v NC programovaní umožňuje využitie aj fréz s veľkými priermi.[22]

4.2.1.3 HPC Obrábanie s vysokým výkonom(High Performance Cutting)

Tento typ HSC obrábania je definovaný veľkým úberom triesky v jednom kroku. Tento typ vysokorýchlostného obrábania sa využíva na hrubovacie operácie alebo pri opracovávaní ťažko obrobitelných materiálov. Pri HPC obrábaní môže vzniknúť aj hĺbka rezu okolo 1,5xD. Toto obrábanie sa začleňuje medzi inovatívne metódy obrábania, ktoré sa vyznačujú predovšetkým ekologickými a ekonomickými prednosťami, používajú sa hlavne pri sériovej výrobe. Pre úspešné frézovanie touto metódou je potrebné, aby bol nástroj vyrobený z kvalitného spekaného karbidu a bol povlakovaný, povlak zaručuje vysokú odolnosť voči teplotám. Najčastejšie využívané nástroje sú frézovacie hlavy s vymeniteľnými reznými platničkami a špeciálne stopkové frézy. [22]

4.2.2 Obrábanie tvrdých materiálov

Túto technológiu v mnohých prípadoch tvorí vysokorýchlostné obrábanie (HSC) a obrábanie za sucha. Materiály, ktoré sú opracovávané touto technológiou dosahujú tvrdosť až 60 HRC a pevnosť 1800 až 2000MPa. Pri výrobe vstrekovacích foriem zápustiek sa používajú ocele, ktoré majú rôzne tepelné zapracovanie. Tieto ocele sa vyznačujú zlou obrobitelnosťou, čo vedie k neustálemu vývoju nových materiálov, ktoré sú vhodné na použitie v tejto metóde obrábania. Pri obrábaní dochádza k abrazívnemu opotrebovaniu britu nástroja. Preto sa skoro vôbec nepoužívajú na výrobu nástrojov materiály ako je rychlorezná oceľ. Nástroje sú vo väčšine prípadov s VBD zo spekaného karbinu, reznej keramiky alebo povlakované tvrdokovy na báze karbidu volfrámu a kobaltu. Materiály, ktoré sa používajú na výrobu týchto nástrojov musia odolávať vysokým teplotám.

Tvrde obrábanie v niektorých prípadoch nahradzuje dokončovacie metódy ako je napríklad brúsenie alebo tepelné spracovávanie. Nahradzovanie týchto dokončovacích technológií ma za následok znižovanie výrobných nákladov. Aby sa dosahovali kvalitné výsledky musí byť kvalitný stroj, riadiaci systém a vhodná obrábacia stratégia.[19]



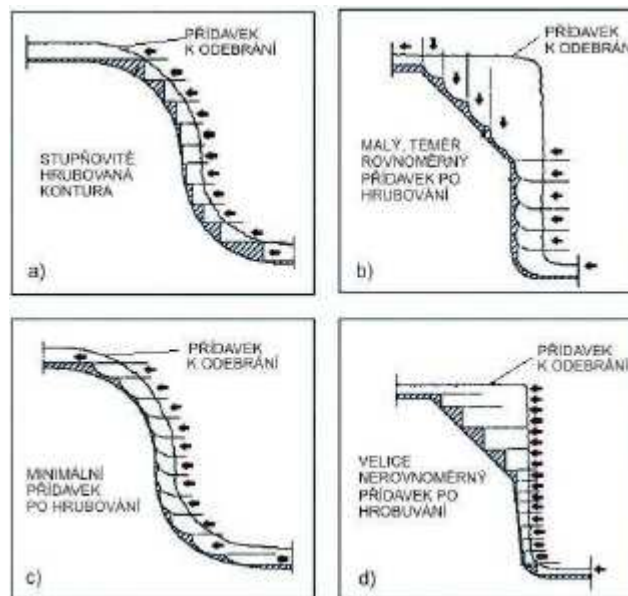
Obr. 13. HSC frézovanie zakalenie liatiny

4.2.3 Postupy frézovania vstrekovacích dutín

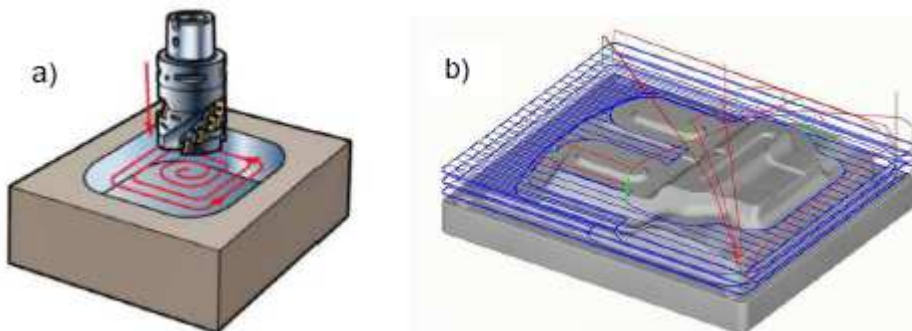
Tvarové časti formy majú väčšinou tvar dutín a na ich výrobu sa používa vo veľkej miere frézovanie. Veľký dôraz sa kladie nielen na vývoj moderných viac osí obrábacích centier, upínacích systémov ale aj na vývoj nových frézovacích stratégií. Novo vyvinuté obrábacie stratégie spolu so správne zvolenými reznými podmienkami značne znižujú výrobný čas. Stále zdokonaľované CAD/CAM systémy umožňujú konštruktérom a technológom ľahšiu a efektívnejšiu prácu pri navrhovaní, modelovaní foriem a vytváraní dráh nástroja.

4.2.3.1 Hrubovanie

Hrubovanie je časť frézovania pri ktorej sa odoberá väčšina materialu za čo najkratší čas. Vysledná kontúra by mala byť čo najpresnejšia. Pri dôkladnom priblížení sa požadovanej kontúre je možné úplne vynechať preddokončovanie a značne obmedziť dokončovanie. Pre čo najlepšie priblíženie k požadovanej kontúre je vhodné zvoliť nástroj so zaoblením britom. Nástroje s kruhovými VBD majú plynulejší prechod do rezu. Pri hrubovaní by mal byť nástroj neustále v záberu, jednotlivé frézovacie dráhy by mali na seba plynule nadväzovať. V HSC obrábaní dutín vstrekovacích foriém sa v súčasnej dobe najviac uplatňuje tzv. kapsovanie- je to frézovanie po dráhach, ktoré majú tvar špirály, viz.Obr. 15a), alebo lineárne, kde sa pohybuje nástroj po priamkach, viz. Obr. 15 b).[23]



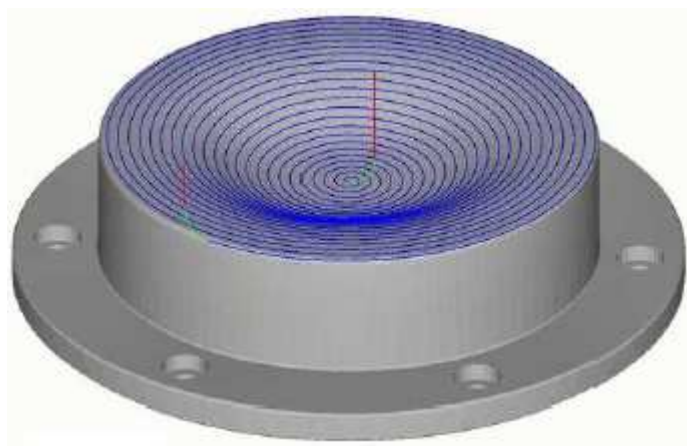
Obr. 14. Frézovacie stratégie pri hrubovaní: a) rohovou frézou ($\chi_r=90^\circ$), b) frézou s osadenými kruhovými VBD (kombinácia frézovacích smerov) c) frézou s osadenými kruhovými VBD d) rohovou frézou ($\chi_r=90^\circ$)



Obr. 15. Frézovanie a) kopsovaním b) lineárnym

4.2.3.2 Obrábanie na čisto (dokončovanie)

Dokončovanie nasleduje vždy po hrubovacích operáciách. Hrubovacích aj dokončovacích operácii môže byť viac. Cieľom dokončovacích operácií je sa čo najviac priblížiť požadovanej kontúre s nulovým prídavkom, teda presne kopírovať vymodelovaný tvar. Dokončovacích stratégií je veľké množstvo a voľba konkrétnej stratégie závisí od tvaru obrábanej plochy. Plochy, ktoré majú žiadny alebo minimálny sklon sa môžu frézovať špirálovito alebo vrstvomito. Pri týchto stratégiách sa zachovávajú rovnaké záberové podmienky. Niektoré problematické časti dutín (vnútorné rohy, lopatky) vyžadujú špeciálne NC funkcie. Výrobcovia frézovacích CAM systémov sa neustále snažia vytvárať nové obrábacie stratégie, aby bolo obrábanie čo najplynulejšie a najefektívnejšie. Tieto software po zadaní všetkých vstupných parametrov a správne zvolenej obrábacej stratégie automaticky dopočítajú dráhu nástroja. Postup je rovnaký ako u hrubovania akurát že u dokončovacích metód sa kladie dôraz na plynule nadväzovanie dráh nástroja.[30]

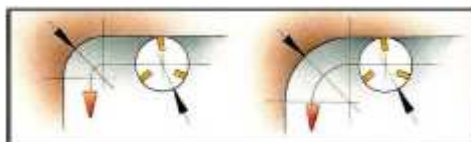


Obr. 16. Frézovanie (dokončovacia špirálová stratégia)

4.2.3.3 Obrábanie vnútorných rohov

Obvyklý spôsob, ktorý sa používa pri obrábania rohov je lineárnym pohybom nástroja, čo sa ale deje pri nerovnomerných záberových podmienkach. Najčastejšie sa používa nástroj, ktorý ma priemer zodpovedajúci požadovanému rádiusu daného rohu. Avšak toto riešenie nie je vždy vhodné, pretože u lineárneho pohybu dochádza k zmene smeru pohybu nástroja a tým aj k veľmi krátkemu zastaveniu v tzv. zlomovom bode. To má za následok väčšie trenie a teda zvýšenie teploty a v prípade väčšieho prídavku v rohu, môže

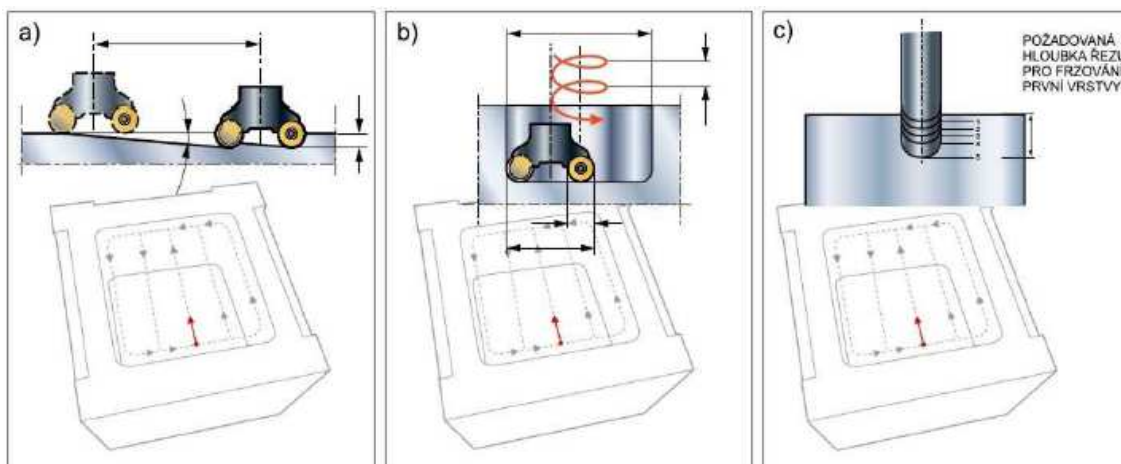
väčšia hĺbka záberu zapríčiniť vznik vibrácií, čo má negatívny vplyv na nástroj a na polotovár. Z týchto dôvodov je výhodnejšie použiť nástroj menšieho priemeru a daný roh obrobiť pomocou kruhovej interpolácie, tým sa zamedzí zastaveniu nástroja a nedôjde ku vzniku zlomového bodu.



Obr. 17. Kruhová interpolácia pri obrábaní vnútorných rohov[30]

4.2.3.4 Nájazd nástroja do rezu

Spôsob akým sa nachádza do rezu môže ovplyvniť celý proces obrábania. Keď sa brit nástroja dostáva do rezu je vystavený krátkodobému ale vysokému zaťaženiu a môže dôjsť k jeho porušeniu. Preto je veľmi dôležité v akom mieste dôjde sa brit nástroja dostane do záberu. Je veľa spôsobov akým sa môže nástroj (fréza dostať do záberu). Jedným zo spôsobov obrábania dutín je, že sa predvrtá otvor do požadovanej hĺbky. Následne sa dutina pomocou frézy vyhrubuje. Tento spôsob však vyžaduje dva nástroje a je časovo náročnejší. Oveľa ekonomickejšie je použiť guľovú frézu a postupne sa zavrtávať do materiálu. Výhodnejšie je však použiť kruhovú interpoláciu v šróbovici a dosiahnuť tak plnú hĺbku rezu. Jednou z najpoužívanejších metód zahlbovania je rampovanie. Rampovanie je postupné lineárne zahlbovanie do plnej hĺbky rezu. Môže začať od stredu alebo od kraja. Pri HSC obrábaní sa však nenachádza lineárne ale pomocou hladkej kruhovej interpolácie.[23]

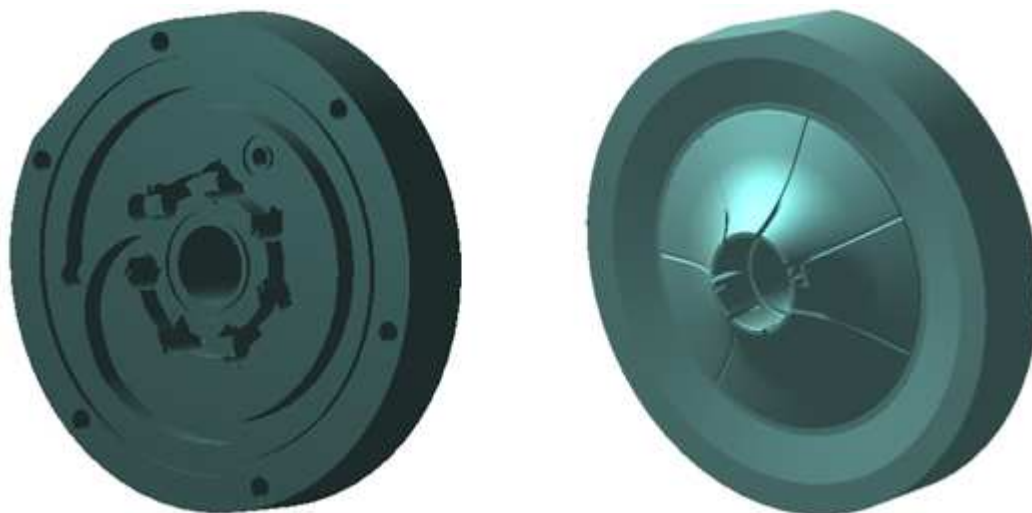


Obr. 18. Spôsoby nachádzania do rezu: a) rampovanie b)špirálové kapsovanie c)postupné zavrtávanie[30]

5 PRÍKLAD VÝROBY VSTREKOVACÍCH FORIEM VO FIRME TRUSTACOM

5.1 Výroba tvarových časti formy(tvarník, tvarnica)

Tvarové časti vstrekovacej formy sa budú vyrábať dvomi technológiami a to trieskovým obrábaním (viz. kapitola0) a elektrozívním hĺbením(viz. kapitola 4.1.1). Tato práca sa zaoberá výrobou tvarových časti formy z hľadiska trieskového obrábania. Obrábanie bude vykonávané frézovaním na CNC stroji. Programy boli vytvorené v programoch SolidWorks a HSMWorks.



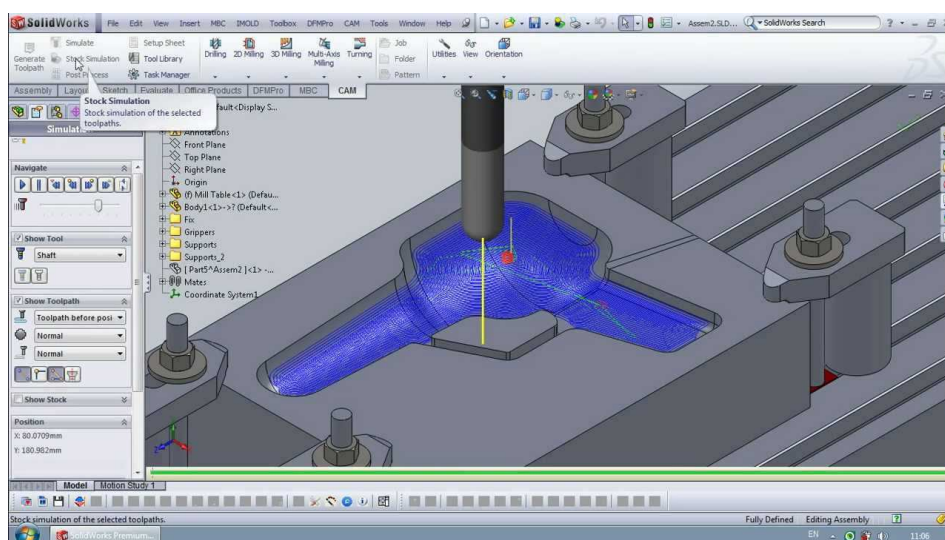
Obr. 19.Tvarník

5.2 Použitý software

HSMWorks je program, ktorý bol od začiatku navrhnutý pre prácu v systéme SolidWorks® a logicky rozširuje prostredie parametrických zostáv do CAM oblasti. HSMWorks je navrhnutý pre generovanie čo najviac hladkých, plynulých dráh nástrojov umožňujúci skrátenie času obrábania, zlepšenie výslednej kvality povrchu, zmenšenie namáhania nástroje a predĺženie životnosti nástroja. HSMWorks vytvára nové stratégie obrábania, ako je napríklad Adaptívne obrábanie, ktoré znižuje čas hrubovania 4x alebo viac v porovnaní ku klasickému obrusovaniu. Adaptívne obrábanie predlžuje životnosť nástroja až na desaťnásobok v závislosti na tvrdosti obrábaného materiálu.

HSMWorks obsahuje všetky z konvenčných stratégií obrábania ako je napríklad Rovnobežné, kontúrové, Kapsovacia, Tužková atď. Známej väčšine HSMWorks generuje hladké prechody a prejazdy, ktoré zaisťujú zníženie času obrábania pri predĺžení životnosti nástroja.

Podpora viacerých procesorov dramaticky znižuje čas generovania nielen zložitých dráh nástrojov, alebo prepočítanie všetkých operácií pri zmene zložitého CAD dielu, ale aj pri generovaní jednej dráhy.



Obr. 20. Pracovné prostredie HSMWorks

5.3 Strojné vybavenie

Frézovanie tvarových častí formy na ventilátor je požitie 3xose vertikálne obrábacie centrum MCV 1000 Power s CNC riadením. Na ktorom sú v súčasnosti vykonávané všetky trieskové operácie. Rada strojov MCV je postavená na nosnom ráme v tvare C. Usporiadanie a tvar odliatkov nosného rámu strojov je optimalizované s ohľadom na požiadavky vysokú tuhosť a stabilitu. Aplikácia lineárneho vedenia vo všetkých lineárnych osiach garantuje požadovanú presnosť a dynamiku pri obrábaní.

Tab. 9. Parametre stroja MCV 1000 Power

Parametre	Hodnota	Parametre	Hodnota
Pracovná plocha stola [mm]	1 300x670	Počet miest v zásobníku	24
T-drážky(početx šírka x rozteč)	5x18x125	Max. priemer nástroja [mm]	125
Max. zaťaženie stola [kg]	1 200	Odmeriavací systém	priamy
Kužel'ová dutina vretena	ISO 50	Presnosť nastavenej polohy [mm]	0,01
Max. otáčky vretena [min ⁻¹]	8 000	Opakovateľnosť nastavenej polohy [mm]	0,004
Pracovný posuv [mm·min ⁻¹]	1-1 5000	Výkon motora Siemens [kW]	28
Rýchloposuv [m·min ⁻¹]	40	Krútiaci moment [Nm]	406
Hmotnosť stroja [kg]	11 500	Rozmery stroja dxšxv [mm]	4600x3600x 3330



Obr. 21 3ose vertikálne obrábacie centrum MCV 1000 Power.

5.4 Frézovacie nástroje

5.4.1 Nástroje na hrubovanie

Tab. 10. Fréza POKOLM nástrčná s VBD

Priemer frézy ØD [mm]	Tvar VBD	Počet VBD	Ø upínacieho otvoru
80	štvorcový	6	27

Tab. 11 Monolitná tvrdokovová stopková fréza FRAISA

Priemer frézy ØD [mm]	Zaoblenie rohu r [mm]	Počet britov	Dĺžka reznej hrany [mm]
5	0.5	2	5

Tab. 12. Monolitná tvrdokovová stopková fréza FRAISA

Priemer frézy ØD [mm]	Zaoblenie rohu r [mm]	Počet britov	Dĺžka reznej hrany [mm]
3	0.5	2	3

Tab. 13. Monolitná tvrdokovová stopková fréza FRAISA

Priemer frézy ØD [mm]	Zaoblenie rohu r [mm]	Počet britov	Dĺžka reznej hrany [mm]
2	0.2	2	2

Tab. 14. Fréza POKOLM s vonkajším závitom a kruhovými VBD

Priemer frézy ØD [mm]	Priemer VBD Ød [mm]	Počet VBD	ISO označenie VBD
16	12	3	RDEX 12T3 M0T

Tab. 15. Monolitná tvrdokovová stopková fréza FRAISA

Priemer frézy ØD [mm]	Zaoblenie rohu r [mm]	Počet britov	Povlak
12	2	2	PVTiH



Obr. 22. Hrubovacie nástroje a) Fréza POKOLM nástrčná s VBD b) Monolitná tvrdokovová stopková fréza FRAISA c) Fréza POKOLM s vonkajším závitom a kruhovými VBD) d) Monolitná tvrdokovová stopková fréza FRAISA

5.4.2 Nástroje na dokončovanie

Tab. 16 Valcová fréza FRAISA

Priemer frézy $\varnothing D$ [mm]	Zaoblenie rohu r [mm]	Počet britov	Dĺžka reznej hrany [mm]
10	0.5	4	30

Tab. 17 Kulová fréza FRAISA

Priemer frézy $\varnothing D$ [mm]	Zaoblenie r [mm]	Počet britov	Dĺžka reznej hrany [mm]
4	2	4	40



Obr. 23. Dokončovacie nástroje FRAISA
a) valcová fréza b) kulová fréza

Frézovanie tvárniku

Rozmery polotovaru	155x45
Materiál tvárniku	1.2343
Vlastnosti materialu	Najčastejšie používaná kaliteľná oceľ pre tvarové diely foriem.
Tvrdosť pred dokončením	50 HRC
Celkový čas obrábania	326 min= 5hodín 26minút

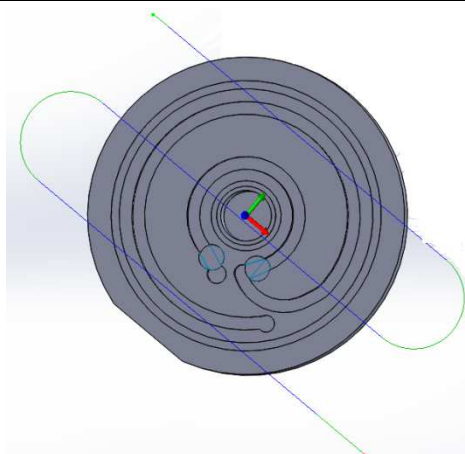
5.4.3 Obrábanie spodnej časti tvárnika

Hrubovanie bude vykonané vo 4 operáciach. Operácia č.1 bude zarovnanie čela, operácia č.2 bude hrubovanie drážky na vodu, operácia č.3 kontúra po obvode, č.4 bude hrubovanie kapsy pre vonkajšie tesnenie, operácia č.5 bude hrubovanie kapsy pre vnútorné tesnenie.

- Operácia č.1 zarovnanie čela

Použitá fréza: Fréza POKOLM s Kruhovými VBD Ø80 mm, r=3 mm

Otáčky n [min ⁻¹]	Rýchlosť posuvu vf [mm×min ⁻¹]	Rezná rýchlosť vc [m×min ⁻¹]	Hĺbka rezu [mm]	Čas obrábania [sec]
5000	2500	1256.64	0,3	32

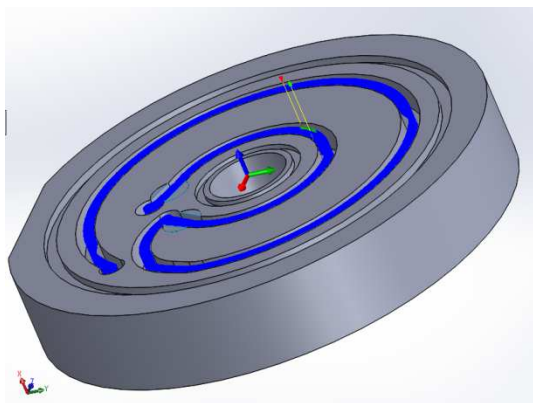


Obr. 24. Zarovnanie čela

- Operácia č.2 hrubovanie drážky na vodu

Použitá fréza: Toroidná fréza $\varnothing 5$ mm, $r=0.5$ mm

Otáčky n [min ⁻¹]	Rýchlosť posuvu v_f [mm×min ⁻¹]	Rezná rýchlosť v_c [m×min ⁻¹]	Hĺbka rezu [mm]	Čas obrábania [min]
5000	1000	78,54	0,12	71

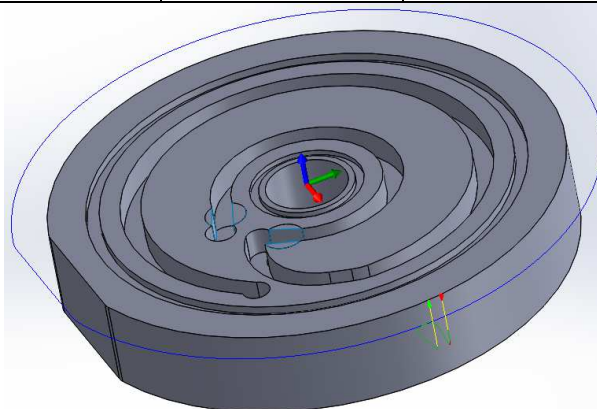


Obr. 25.Hrubovanie drážky na vodu

- Operácia č.3 Kontúra po obvode

Použitá fréza: Toroidná fréza $\varnothing 5$ mm, $r=0.5$ mm

Otáčky n [min ⁻¹]	Rýchlosť posuvu v_f [mm×min ⁻¹]	Rezná rýchlosť v_c [m×min ⁻¹]	Hĺbka rezu [mm]	Čas obrábania [min]
5000	1000	78,54	0,12	71

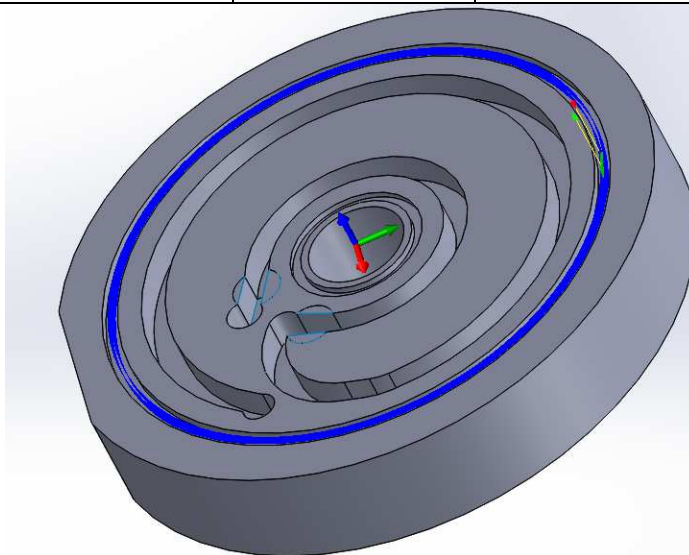


Obr. 26.Kontúra po obvode

- Operácia č.4 Hrubovanie Kapsy pre vonkajšie tesnenie

Použitá fréza: Toroidná fréza Ø3 mm, r=0.5 mm

Otáčky n [min ⁻¹]	Rýchlosť posuvu vf [mm×min ⁻¹]	Rezná rýchlosť vc [m×min ⁻¹]	Hĺbka rezu [mm]	Čas obrábania [min]
5000	1000	47,12	0,12	19

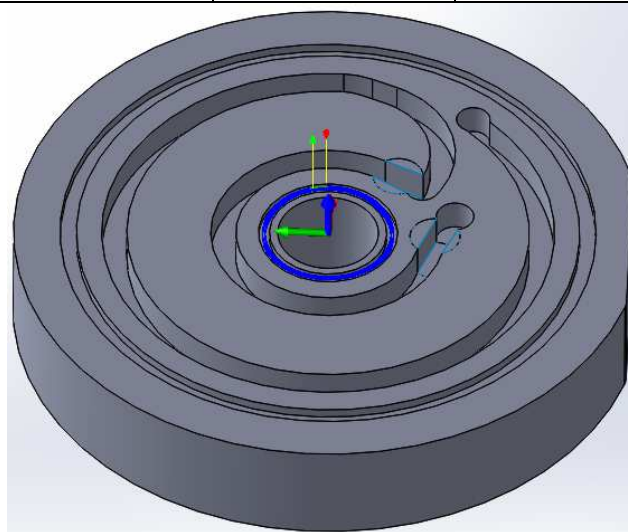


Obr. 27. Hrubovanie kapsy pre vonkajšie tesnenie

- Operácia č.5 Hrubovanie kapsy pre vonkajšie tesnenie

Použitá fréza: Toroidná fréza Ø2 mm, r=0.2 mm

Otáčky n [min ⁻¹]	Rýchlosť posuvu vf [mm×min ⁻¹]	Rezná rýchlosť vc [m×min ⁻¹]	Hĺbka rezu [mm]	Čas obrábania [min]
5000	1000	31,41	0,07	6



Obr. 28. Hrubovanie kapsy pre vnútorné tesnenie

5.4.4 Obrábanie vrchnej časti tvárnika

Hrubovanie

Obrábanie vrchnej časti bude vykonané v 4. Operáciach: predhrubovanie, dohrubovanie1, dohrubovanie2, dohrubovanie3 a v 2 dokončovacích metódach.

- Operácia č.1. predhrubovanie

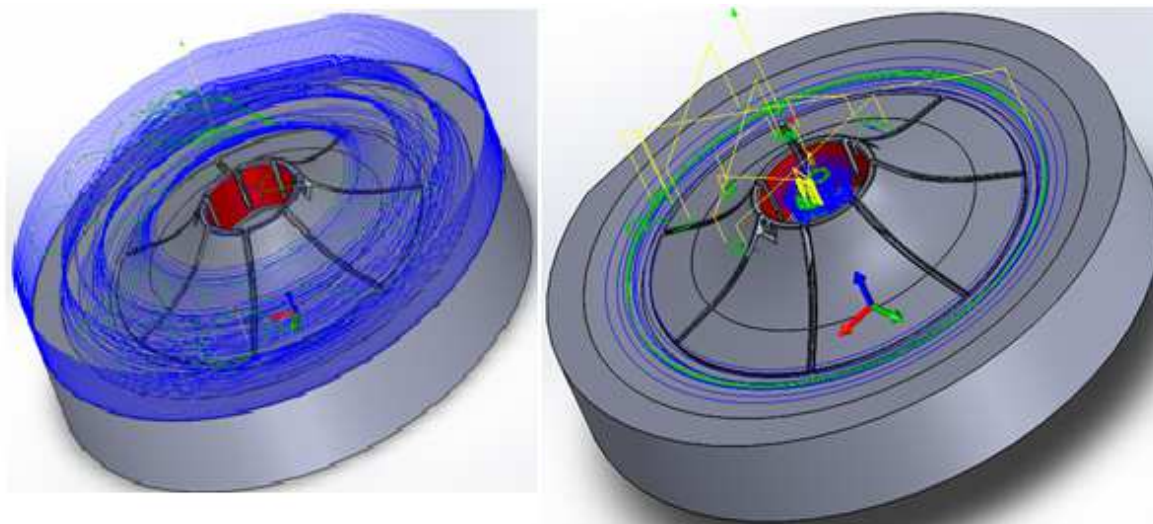
Použitá fréza: Toroidná fréza Ø35 mm, r=6 mm

Otáčky n [min ⁻¹]	Rýchlosť posuvu vf [mm×min ⁻¹]	Rezná rýchlosť vc [m×min ⁻¹]	Hĺbka rezu [mm]	Čas obrábania [min]
5000	2000	550	0,55	18

- Operácia č.2. dohrubovanie č.1

Použitá fréza: Toroidná fréza Ø12 mm, r=6 mm

Otáčky n [min ⁻¹]	Rýchlosť posuvu vf [mm×min ⁻¹]	Rezná rýchlosť vc [m×min ⁻¹]	Hĺbka rezu [mm]	Čas obrábania [min]
5000	1200	188,5	0,23	10



Obr. 29. Hrubovanie č.1vľavo a dohrubovanieč.1

- Operácia č.3. dohrubovanie č.2

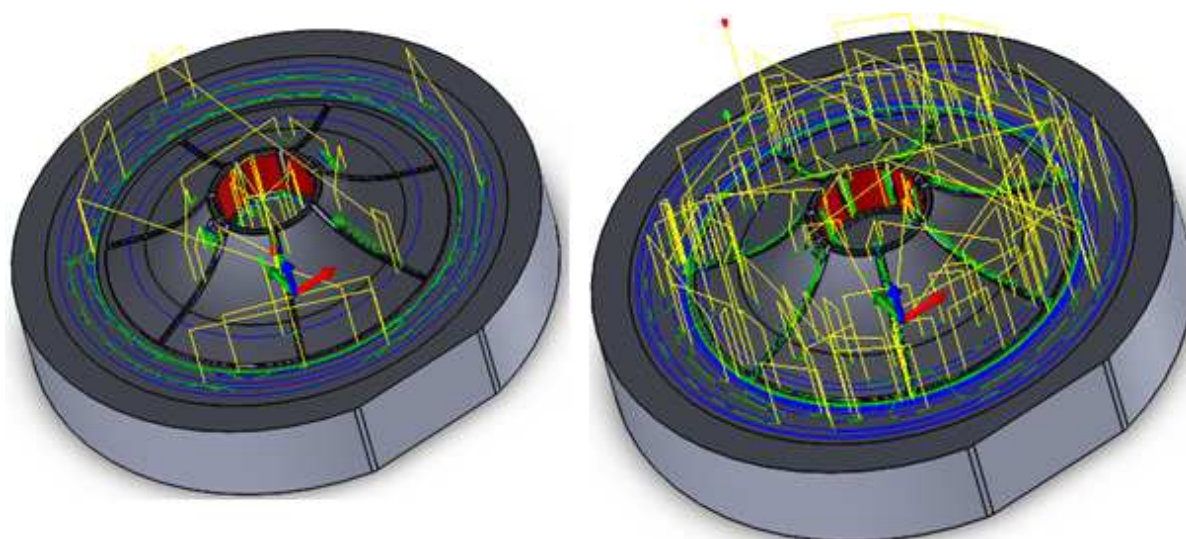
Použitá fréza: Toroidná fréza Ø6 mm, r=0,5 mm

Otáčky n [min ⁻¹]	Rýchlosť posuvu vf [mm×min ⁻¹]	Rezná rýchlosť vc [m×min ⁻¹]	Hĺbka rezu [mm]	Čas obrábania [min]
5000	1000	94,25	0,20	8

- Operácia č.4. dohrubovanie č.3

Použitá fréza: Toroidná fréza Ø3 mm, r=0,5 mm

Otáčky n [min ⁻¹]	Rýchlosť posuvu vf [mm×min ⁻¹]	Rezná rýchlosť vc [m×min ⁻¹]	Hĺbka rezu [mm]	Čas obrábania [min]
5000	1000	47,12	0,15	19,5



Obr. 30. dohrubovanie č.2 vľavo a dohrubovanie č.3

Dokončovacie metódy

- Operácia č.5. dokončovanie č.1

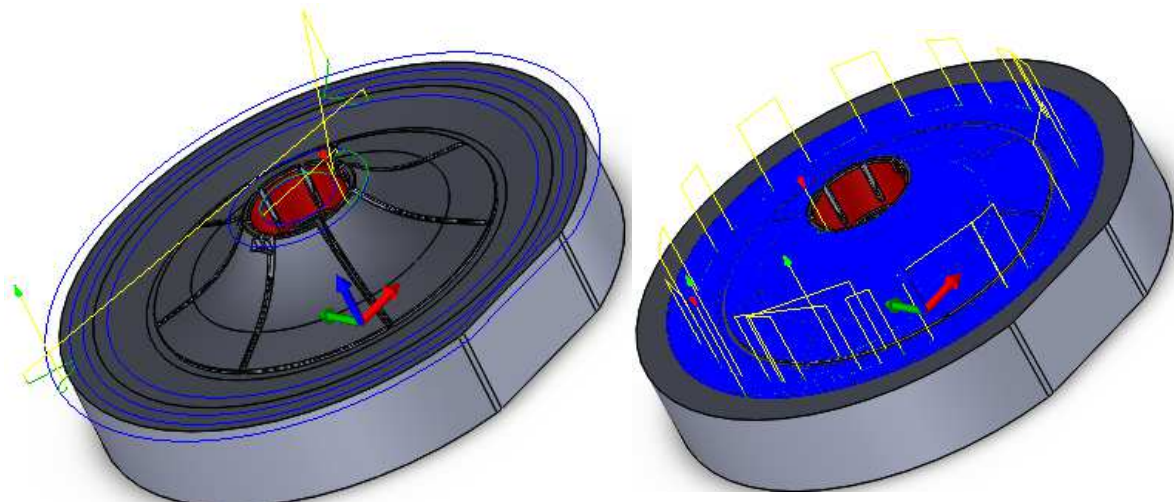
Použitá fréza: Valcová freza Fraisa $\varnothing 10$ mm, $r=0,5$ mm

Otáčky n [min ⁻¹]	Rýchlosť posuvu vf [mm×min ⁻¹]	Rezná rýchlosť vc [m×min ⁻¹]	Hĺbka rezu [mm]	Čas obrábania [min]
5000	1000	157	0,06	2,27

- Operácia č.6. dokončovanie č.2

Použitá fréza: Guľová fréza FRAISA $\varnothing 4$ mm, $r=0,5$ mm

Otáčky n [min ⁻¹]	Rýchlosť posuvu vf [mm×min ⁻¹]	Rezná rýchlosť vc [m×min ⁻¹]	Hĺbka rezu [mm]	Čas obrábania [min]
5000	1000	62,83	0,06	2,27



Obr. 31.v ľavo dokončovanie č.1. a dokončovanie č.2

6 VYUŽÍVANIE MODERNÝCH TECHNOLOGIÍ PRI VÝROBE VSTREKOVÝCH FORIEM

Brúsenie môžeme nahradiť technológiu tvrdého obrábania. Táto technológia je výhodnejšia z viacerých hľadísk, je ekonomickejšia, ekologickejšia a energetický úspornejšia. Brúsenie do veľkej miery deformuje obrábaní povrch. Tvrdé obrábanie sa využíva pri obrábaní materiálov s tvrdosťou nad 50 HRC. Stroj na ktorom sa bude používať technológia tvrdého obrábania musí mať dostatočnú tuhosť. Nástroj sa musí vyrábať s materiálov, ktoré sú odolné voči vysokým teplotám. Teploty v mieste rezu môžu dosahovať 550°C.

Technológia HFM je typ vysokorýchlostného frézovania. HFM zaručuje vysoko produktívnu výrobu ale na fungovanie tejto technológie musí byť zabezpečené kvalitné strojové a nástrojové vybavenie. Obrábanie vysokými hodnotami posuvu je veľmi ekonomické. Pre technológiu HFM sú typické malé hĺbky rezu (okolo 2 mm) a veľky posuv na zub, ktorý môže činiť aj 3mm. Dobré nastavené rezné podmienky umožňujú používanie fréz s veľkými priermi.

Pri výrobe vstrekovacích foriem je vhodné využívať obrábanie na sucho. Vylúčenie reznej kvapaliny s procesu obrábania prospieva k znižovaniu nákladov na obrábanie, údržbu stroja a aj k čistote samotnej formy. Pri suchom obrábaní je menšie riziko vzniku tepelných trhlín. Na druhú stranu pri obrábaní zliatin hliníka je použitie reznej kvapaliny vhodné lebo zabraňuje vzniku toxického prachu. Plynulí odchod triesky z miesta rezu zaručuje stlačený vzduch. Hlavný dôraz je kladený na geometriu a materiál nástroja. Materiáli používané na výrobu nástrojov na suché obrábanie musí spĺňať prísne kritéria, musia odolávať vysokým teplotám, mať dostatočnú tvrdosť a oteruodolnosť.

6.1 Modernizácia strojového vybavenia

Pri nákupe strojov musíme brať do úvahy niekoľko dôležitých kritérií, ako je návratnosť investície, bezpečnosť pri práci, dopad na životne prostredie. Trh CNC obrábacích strojov je v poslednej dobe zaplavovaný nekvalitnými strojmi z Číny. Tieto stroja sa vyznačujú horšou kvalitou práce, vyššou hlučnosťou, a životnosťou stroja.

6.1.1 Modernizácia stroja pre trieskové obrábanie

Stroje HSM kombinujú presnosť, mimoriadnu dynamiku a vysokú rýchlosť a spoločne s ďalšími aspektmi, ako je vynikajúce prvotriedne trieskové obrábanie, vysoká flexibilita, mimoriadne dobrá ergonómia a možnosť automatizácie zapožičiavajú stroju perfektné vlastnosti pre HSC obrábanie. Stroje HSM tak predstavujú ideálne výrobné zariadenia pre výrobu prototypov a vstrekovacích foriem a tiež pre dielenskú spracovanie.[25]

Stroj Mikron HSM 500 LP disponuje vysokorýchlostnými vretenami, prepracovaným systémom riadenia a precíznymi pohonmi podávania. Osový mechanizmus a automatizácia výroby boli navrhnuté tak, aby spĺňali požiadavky HSC obrábania. Presné zachovanie určenej dráhy nástroja pri vysokých rýchlostiach posuvu zaručuje presné konkávne a konvexné tvary. Tuhá základňa obrábacieho stroja vybavená tlmením zaručuje čo najplynulejší pohyb nástroja a to aj za meniaceho sa zaťaženia. Stroj disponuje zložitým systémom chladenia, ktorý odstraňuje problémy s prehrievaním nástroja. Stroj ma veľmi dobrú spoľahlivosť v nepretržitej výrobe. [25]



Obr. 32. Vysokorychlostná fréza Mikron HSM 500LP od firmy GF Machining Solutions [25]

Tab. 18 Parametre stroja Mikron HSM 500LP od firmy GF Machining Solutions [25]

Parametre	Hodnota	Parametre	Hodnota
Pojazd v osiach X,Y,Z [mm]	500x450x360	Hmotnosť stroja[kg]	6785
Počet pracovných os	3	Počet miest v zásobníku	18
Otáčky vretena [min ⁻¹]	42 000	Max. zaťaženie stola [kg]	200
Kužel'ová dutina vretena	HSK-E 40	Rýchloposuv [m·min ⁻¹]	60
Výkon motora [kW]	1000	Pracovná plocha stola [mm]	550x450

6.1.2 Zakúpenie stroja pre elektroerozívne obrábanie

V súčasnej dobe sa všetky diely výroby, ktoré sa musia vyrábať elektroiskrovým hĺbením posielajú na kooperáciu do susednej firmy, v ktorej majú zavedenú technológiu elektroiskrového hĺbenia. Pre zvýšenie efektívnosti a konkurencie schopnosti sa bude vo firme TRUSTACOM zakupovať elektroiskrová hĺbička AgieCharmilles FORM 30, ktorá spoločne s frézou Mikron HSM 500 LP značne zvýši výrobné kapacity a celkovo vylepší strojové vybavenie firmy. [24]

Elektroerozívna hĺbička FORM 30 je najkompaktnejší univerzálny stroj v segmente štandardných obrábacích centier. Model FORM 30 sa dodáva s najmodernejším generátorom na svete pre elektroerozívne hĺbenie. Do generátora je zabudovaný systém na podporu kvality a inteligentné riadenie nákladov. Proces elektroerozívneho obrábania sa pri každom impulze optimalizuje a tým sa významne znižuje opotrebenie elektródy aj na veľmi jemnom povrchu. Riadenie procesu trvá zlomok sekundy a výsledkom je extrémne homogénna povrchová úprava. Vysokovýkonný generátor má maximálny výstup 140 A . [24]



Obr. 33. Elektroerozívna hĺbička Form 30 od firmy GF Machining Solutions [24]

Tab. 19. Parametre Elektroerozívnej hĺbičky FORM 30 od firmy GF Machining Solutions[24]

Parametre	Hodnota	Parametre	Hodnota
Rozmery stroja (š x h x v) [mm]	1 600x2 700x2 858	Hmotnosť stroja[kg]	4 400
Pojazd v osiach X,Y,Z [mm]	600x400x400	Kapacita vodnej nádrže [l]	750
Rozmery obrobku (š x h x v) [mm]	1 000x700x400	Typ generátora	ISPG
Max. hmotnosť elektrody [kg]	100	Štandardní obrábací prúd [A]	80-140
Max. hmotnosť obrobku[kg]	1 000	Najlepšie povrchové spracovanie Ra [μm]	0,1

7 ZÁVER

Formy na vstrekovanie plastických hmôt tvoria v dnešnej dobe neoddeliteľnú súčasť strojárskej výroby v Českej a Slovenskej republike. Najväčší dopyt po plastových dieloch je predovšetkým v automobilovom a elektrotechnickom priemysle, ale často sa diely vyrobené touto technológiou používajú aj v potravinárskom priemysle. Nároky na výrobu plastových dielov ako sú napr. zložité tvary, vysoká kvalita povrchu majú za následok vývoj nových výrobných technológií.

Táto práca sa zaoberá problematikou výroby vstrekovacích foriem. Začínajúc samotným návrhom formy až po jej samotnú realizáciu. V prvých kapitolách bol opísaný princíp spracovania plastov vstrekovaním, funkcia vstrekovacích foriem a ich jednotlivých častí vrátane možností ich konštrukčných riešení, a samozrejme plasty a ich vlastnosti.

Ďalšia časť práce sa zaoberala výrobnými technológiami, ktorými je možné tieto vstrekovacie formy vyrábať. V drvivej väčšine prípadov sa vyrábajú len tvarové časti foriem, ostatné časti sú normalizované a iba sa upravujú podľa potreby. Pri výrobe sa používa takmer vždy kombinácia viacerých uvedených technológií. Najviac sa v oblasti výroby vstrekovacích foriem uplatňujú technológie trieskového (predovšetkým frézovanie) a elektroerozívneho obrábania. Súčasné trendy v oblasti trieskového obrábania smerujú k vysokým rezným rýchlostiam a posuvom bez použitia procesnej kvapaliny alebo s jej minimálnym množstvom a tiež obrábanie veľmi tvrdých materiálov. Neustály vývoj sa netýka len samotných výrobných technológií, ale aj s tým súvisiaci vývoj nástrojov, strojov, alebo aj CAD / CAM softvérov, bez ktorých sa súčasný strojársky priemysel nezaobíde. Pri návrhu konštrukcie vstrekovacej formy bol použitý software SolidWorks a jeho zásuvný modul HSMWorks, ktorý bol použitý na generovanie dráh nástroja pri hrubovacích a dokončovacích metódach. Táto práca bola vypracovaná v spolupráci s firmou TRUSTACOM.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] SOJKA, Jaroslav a Petra VÁŇOVÁ. *Základy progresivních konstrukčních materiálů*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012, 1 DVD-ROM. ISBN 978-80-248-2578-6. Dostupné z: http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/ZPKM/OPORA_PROGRESIVNI_MATERIALY.pdf
- [2].LENFELD, Petr. *Technologie II*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006, 138 s. ISBN 80-737-2037-X.
- [4]. Lenfeld, Petr. Katedra tváření kovů a plastů - Skripta. *Technologie II: Část II - Zpracování plastů*. Technická univerzita Liberec –Fakulta strojní – Katedra stojírenské technologie - Oddělení tváření kovů a plastů, 2008.
- [5] VÁRKOLY, L, KOVÁČ P.: *Technické plasty: Výroba, spracovanie a skúšanie*, 1. st. ed., Žilina, 1995, 103 p, ISBN 80-7100-285-2
- [6] KANDUS, Bohumil. *Přednášky z Technologie zpracování plastů*. FSI VUT v Brně. 2007
- [7] Lenfeld, Petr. Katedra tváření kovů a plastů - Skripta. *Technologie II: Část II Zpracování plastů*. Technická univerzita Liberec – Fakulta strojní – Katedra stojírenské technologie - Oddělení tváření kovů a plastů, 2008. [online]. Dostupné z WWW:http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/obash_plasty.htm
- [8] BOBČÍK a kolektiv, *Formy pro zpracování plastů, I. Díl – Vstřikování termoplastů*, Uniplast Brno, 2. opravené vydání, 1999. 134 s.
- [9] HASCO Hasenclever GmbH + Co KG [online]. c1999 [cit. 2015-05-08]. Dostupný z WWW:<http://www.hasco.com/de/content/download/19784/652035/file/Z3280_D.pdf>.
- [10] Konec diesel efektu ve formách [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z <http://www.plasticportal.sk/sk/konec-diesel-efektu-ve-formach/c/2375>
- [11] Ocele Böhler. [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z <http://www.bohler.sk/slovak/798.php>
- [12] JKZ Bučovice a.s [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z <http://jkz.cz/produkty/ocelinastrojove>
- [13] Humár, A.: *TECHNOLOGIE I, technologie obrábění-3.část*. Studijní opory pro magisterskou formu studia
- [14] ŘASA, Jaroslav, KEREČANINOVÁ, Zuzana. *Nekonvenční metody obrábění. MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, č. 7 [cit. 2009-01-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonnencnimetody-obrabeni>>. ISSN 1212-2572.

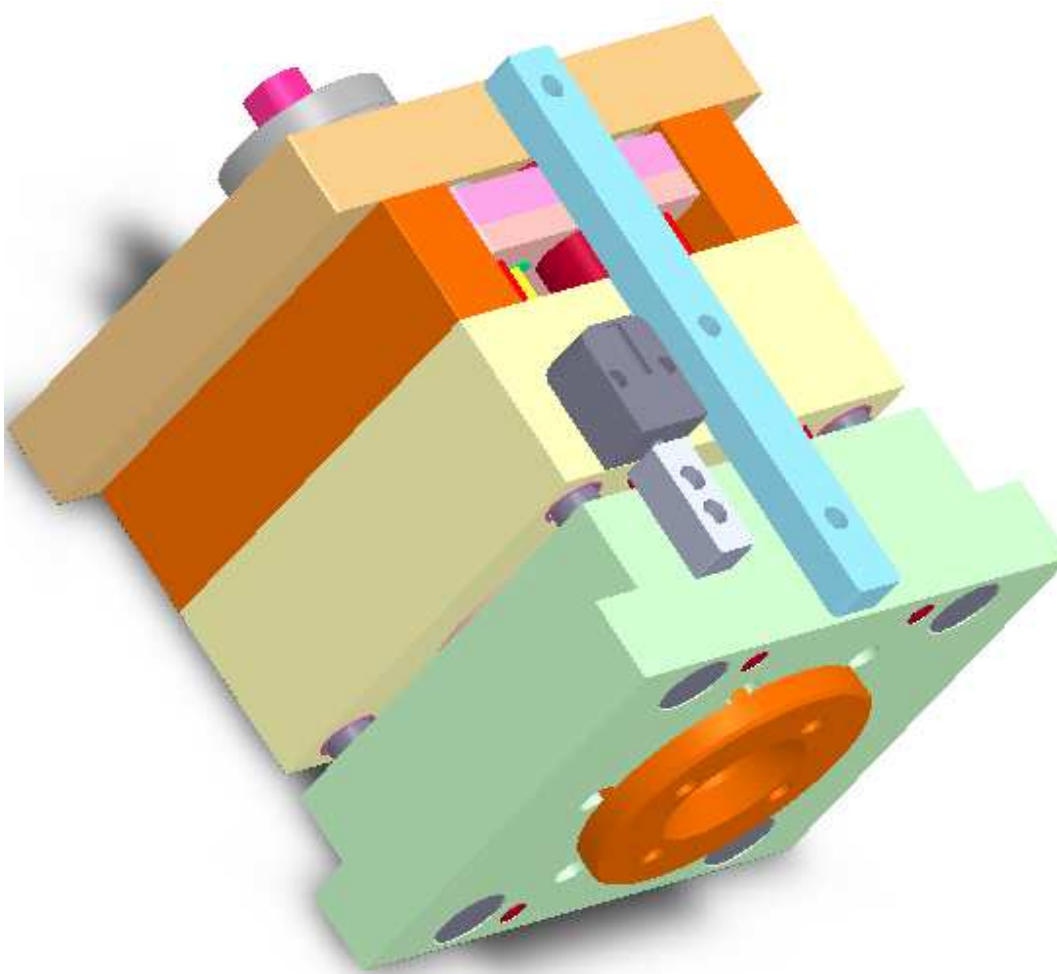
- [15] Technická příručka obrábění. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Dánsko: Stibo Graphic. Říjen 2005. C-2900:3-CZE/01
- [16] KOCMAN, Karel. *Inovace studijních programů Strojírenské technologie : Ekologické a technologické aspekty HSC obrábění* [online]. 1999 [cit.2015-04-15]. Dostupný z WWW: <http://esf.fme.vutbr.cz/modul/5/hsc_obrabeni_1.pps>.
- [17] ZEMAN , Pavel, ŠAFEK, Jiří, VANĚČEK, David. Technologie HSC : Velké ekonomické i ekologické přínosy. *Technik : Technické a technologické novinky pro výzkum, výrobu a trh* [online]. 2002 [cit. 2015-04-14]. Dostupný z WWW: <http://technik.ihned.cz/c4-10004030-11353150-800000_d-technologie-hsc>.
- [18]Důležité aspekty vysokorychlostního obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, č. 12 [cit. 2015-04-14]. Dostupný z <http://www.mmspektrum.com/vydani/2002/12/1>. ISSN 1212-2572.
- [19]Obrábění zasucha - ano, či ne?. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001, č. 11 [cit. 2009-03-11]. Dostupný z <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-zasucha-ano-ci-ne.html> ISSN 1212-2572.
- [20]ŠKABRAHA, Stanislav. Obrábění kalených materiálů řeznou keramikou.*MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, č. 12 [cit. 2015-04-04].Dostupný z <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-kaleny-ch-materialu-reznou-keramikou.html> ISSN 1212-2572.
- [21]BRYCHTA, Josef, Marek SADÍLEK, Robert ČEP a Jana PETRŮ. *Progresivní metody v obrábění: studijní opora*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011, 146 s. ISBN 978-80-248-2513-7.
- [22] Vysokorychlostné obrábanie. Engineering.sk [online]. [cit. 2015-05-04] Dostupný z <http://www.engineering.sk/index.php/clanky2/stroje-a-technologie/421-vysokorychlostne-obrabanie>
- [23]SKOPEČEK, Tomáš, HOFMANN, Petr. Frézovací strategie při výrobě forem a zápusťek. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2005, č. 5 [cit. 2015-04-01]. Dostupný z <http://www.mmspektrum.com/clanek/frezovaci-strategie-pri-vyrobe-forem-a-zapusťek.html>
- [24]AgieCharmilles FORM 30. [online]. [cit. 2015-05-4]. Dostupné z: http://www.gfms.com/content/gfac/country_CZ/cs/Products/EDM/die-sinking-edm/cost-effective/form-30.html
- [25]AgieCharmilles MIKRON HSM 500LP Dostupné z: http://www.gfms.com/content/gfac/country_CZ/cs/Products/Milling/high-speed-milling--hsm-/hsm--high-speed-machining-centers/hsm-500-lp.html

Zoznam príloh

Príloha I: Model vstrekovacej formy

Príloha II: Fotografia vstrekovacej formy

Príloha I: Model vstrekovacej formy



Príloha II: Fotografia vstrekovacej formy

