

Výzkum vlivu materiálu vstřikovací formy na jakost povrchu polymerního výrobku

Bc. Vojtěch Nevrlka

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vojtěch Nevrlka**
Osobní číslo: **T14548**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Výzkum vlivu materiálu vstříkovací formy na jakost povrchu polymerního výrobku**

Zásady pro vypracování:

- 1. Provedte literární rešerši na téma vstříkování a materiály vstříkovací formy.**
- 2. Popište integritu povrchu a dokončovací operace.**
- 3. Provedte výrobu polymerních vzorků.**
- 4. Hodnoťte vliv materiálu vstříkovací formy na jakost povrchu polymerních výrobků.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří Čop

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

8. ledna 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2016

Ve Zlíně dne 26. ledna 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.

děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Narolka Vojtěch

Obor: Výzobní inženýrství

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 11.5.2016


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce charakterizuje vliv materiálu vstřikovací formy na jakost povrchu polymerního výrobku. Je rozdělena na dvě části, a to na teoretickou a praktickou.

Teoretická část práce obsahuje základní rozdělení polymerů, základy technologie vstřikování, porovnání materiálů vstřikovacích forem a integritu povrchu.

V praktické části jsou popsány použité materiály, stroje a zařízení, výroba tvarových dutin (ocelové, duralové, měděné). V poslední části jsou vyhodnoceny výsledky naměřených dat.

Klíčová slova: vstřikování, materiály vstřikovací formy, integrita povrchu

ABSTRACT

The thesis is focused on the influence of the injection mold material on the surface quality of polymer products. It is divided into the two parts, theoretical and practical.

The theoretical part contains basic division of polymer, basics of technology injection, comparison of the injection molds materials and integrity of surface.

In the practical part are described the used materials, machines and equipment, production of shaped cavities (steel, aluminum, copper). In the last part are evaluated the results of the measured data.

Keywords: injection, injection mold material, integrity of surface

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Jiřímu Čopovi, za vynaložený čas, ochotu a cenné rady, které mi pomohly porozumět a řešit danou problematiku. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Františkovi Vavříkovi za pomoc při vstřikování polymerních vzorků. Také bych chtěl poděkovat mé přítelkyni a rodině za podporu po celou dobu studia.

Tato diplomová práce byla spolufinancována z projektu Interní Grantové Agentury Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně číslo IGA/FT/2016/002.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERY	12
1.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ POLYMERŮ.....	12
1.2 ROZDĚLENÍ PODLE TVARU MAKROMOLEKULÁRNÍCH ŘETĚZCŮ	14
1.3 ROZDĚLENÍ PODLE POLARITY	15
1.4 ROZDĚLENÍ PODLE SLOŽENÍ.....	15
1.5 ROZDĚLENÍ Z HLEDISKA APLIKACÍ.....	16
1.6 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ DLE VÝCHOZÍ SUROVINY.....	17
1.6.1 Polymerace	18
1.6.2 Polyadice	18
1.6.3 Polykondenzace.....	18
1.7 ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY VÝROBY POLYMERŮ.....	18
2 VSTŘIKOVÁNÍ	20
2.1 VSTŘIKOVACÍ STROJ	20
2.1.1 Vstřikovací jednotka	21
2.1.2 Uzavírací jednotka.....	22
2.2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS.....	23
2.2.1 Plastikace.....	24
2.2.2 Vstříknutí taveniny do dutiny formy	25
2.2.3 Dotlak.....	28
2.2.4 Ochlazení taveniny v dutině formy	28
2.2.5 Vyhození výrobku z formy.....	29
3 MATERIÁLY VSTŘIKOVACÍCH FOREM	30
3.1 OCELI	32
3.1.1 Číselné značení ČSN EN 10027-2	32
3.1.2 Příklady použití ve vstřikovacích formách.....	33
3.2 SLITINY HLINÍKU.....	36
3.2.1 Číselné značení ČSN EN 573-1	36
3.3 SLITINY MĚDI.....	38
3.3.1 Číselné značení ČSN EN 1412	39
4 INTEGRITA POVRCHU	40
ROZMĚROVÉ VLASTNOSTI	42
4.1 DRSNOST POVRCHU	44
4.2 ZPŮSOBY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU	47
4.2.1 Dotyková metoda	47
4.2.2 Bezdotyková metoda	48

4.3	DOKONČOVACÍ OPERACE.....	50
II	PRAKTICKÁ ČÁST	52
5	POUŽITÉ MATERIÁLY	53
5.1	MATERIÁLY TVAROVÝCH DUTIN.....	53
5.1.1	Ocel ČSN 19552.4 (EN 1.2343).....	53
5.1.2	Dural ČSN 424222 (EN AW-7075).....	53
5.1.3	Měď ČSN 423001 (EN CW004A).....	54
5.2	POLYMERNÍ MATERIÁLY	55
5.2.1	PP – SYNTEGUM 1020 AFV/HFML	55
5.2.2	PC - polycarbonate resin calibre 303EP-22	55
6	POUŽITÉ STROJE A ZAŘÍZENÍ.....	56
6.1	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	56
6.1.1	Technologické podmínky vstřikování	57
6.2	SUŠIČKA GRANULÁTU ARBURG THERMOLIFT	58
6.3	PROFILOMĚR TAYLOR HOBSON FORM TALYSURF 50.....	59
7	VÝROBA TVAROVÝCH DUTIN.....	60
7.1	OCELOVÉ TVAROVÉ DUTINY	61
7.2	DURALOVÉ TVAROVÉ DUTINY	64
7.3	MĚDĚNÉ TVAROVÉ DUTINY	67
7.4	POROVNÁNÍ PARAMETRŮ DRSNOSTI RA A RZ	69
8	VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT	71
8.1	PARAMETR DRSNOSTI <i>RA</i> – MATERIÁL PP	71
8.2	PARAMETR DRSNOSTI <i>RZ</i> – MATERIÁL PP	73
8.3	PARAMETR DRSNOSTI <i>RA</i> – MATERIÁL PC	75
8.4	PARAMETR DRSNOSTI <i>RZ</i> – MATERIÁL PC.....	77
	ZÁVĚR	79
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	81
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	84
	SEZNAM OBRÁZKŮ	86
	SEZNAM TABULEK.....	88

ÚVOD

V dnešní době je hlavní devizou výrobních společností výroba produktů za co nejnižší ceny, ovšem při dodržení požadované kvality. Jedině tak firma obstojí v konkurenčním boji. Mezi další aspekty úspěchu patří flexibilita výrobní společnosti vůči potřebám zákazníka. Mezi potřeby zákazníka řadíme termíny dodávání dílů a jejich požadovaného množství i kvalitu dodávané produkce. Právě tyto zákaznické požadavky vzbuzují u dodavatele snahy v okleštění délky procesu výroby při dodržení standardní kvality.

Rozšíření plastových výrobků datujeme od druhé poloviny 20. století. Výhodou plastových výrobků je značná chemická odolnost, odolnost proti korozi, nízká hmotnost. Obrovská výhoda je spatřena v možnosti jednou operací vyrobit složitý, tvarový dílec, jehož výroba jinou technologií by byla přinejmenším obtížná.

Typický zákazník dneška vyžaduje, aby výrobek dobře vypadal a jeho cena byla sražena co možná nejnižší. Vzhled a kvalitu ploch výrobku bezprostředně ovlivní plochy dutin vstříkovací formy. Jejich kvalita musí být vysoká, ovšem finanční nároky na strojní opracování, hloubení, leštění a povlakování jsou velmi vysoké. Vysoké náklady na špičkovou kvalitu ploch v dutině formy nekorespondují se snižováním ceny výrobku. Jelikož každý vstříkovaný materiál nedokáže využít kvality povrchu dutin formy, je zbytečné upravovat povrch dutiny formy nad využitelnou hranici.

Tato diplomová práce se zabývá vlivem jakosti povrchu formy na jakost polymerních výrobků. Vytyčeným úkolem práce je zjistit, jak přesně jsou polymerní materiály schopny kopírovat povrch dutiny vstříkovací formy. Výsledné údaje budou moci ukázat nejvhodnější technologie pro dokončovací operace povrchů v dutině vstříkovací formy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

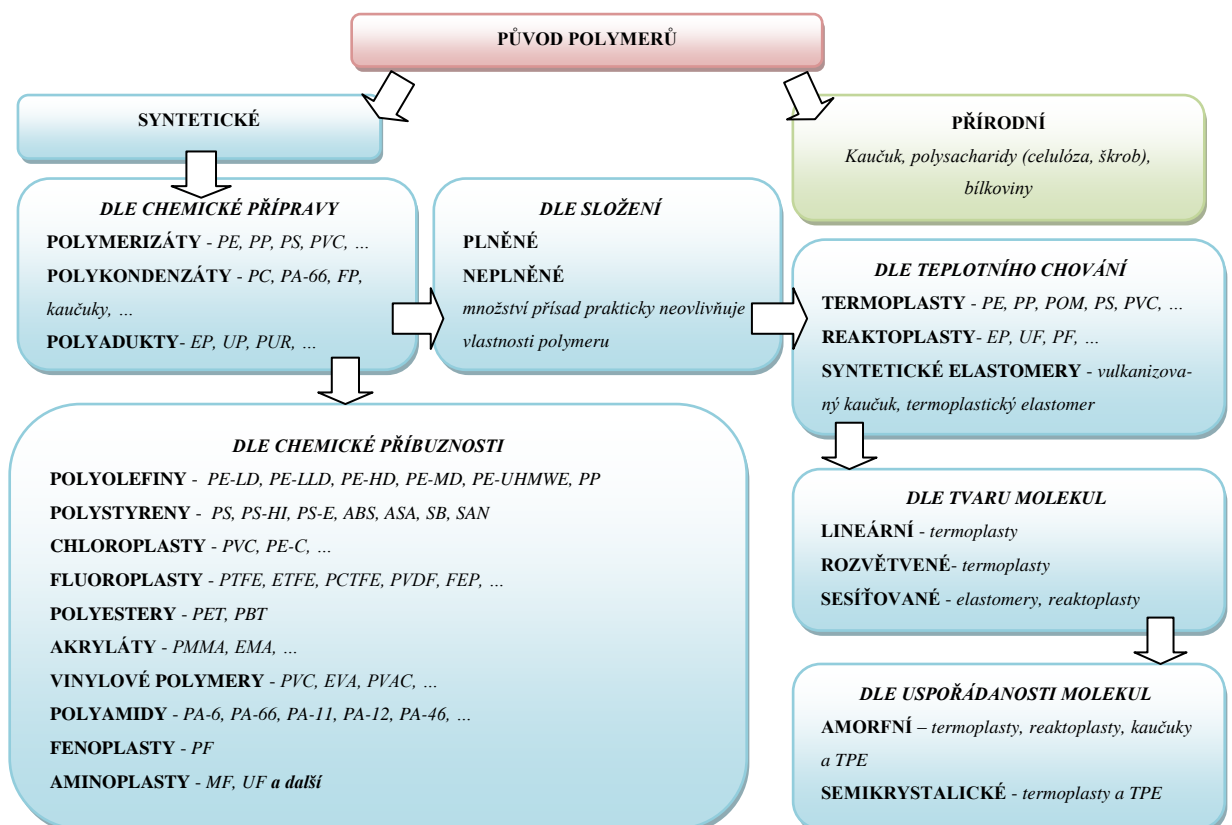
1 POLYMERY

Slovo polymer je složeno ze dvou částí. *Poly* znamená mnoho a *mer* značí jednotku. Polymerní materiály se tedy skládají z velkých molekul. Tyto obsahují mnoho opakujících se stejných jednotek. Ony velké molekuly se nazývají makromolekuly neboli polymerní řetězce. Z hlediska chemického jsou polymery nejčastěji sloučeniny uhlíku a vodíku. Často obsahují také kyslík, dusík, síru, chlór a další. [1]

Plasty tvoří nejen makromolekulární látka, jež se skládá z hlavní složky. Je v nich zakomponována řada příměsí (aditiv). Každá přísada, ať se jedná o plniva, stabilizátory, změkčovadla, maziva, barviva a další látky, ovlivňují vlastnosti polymerní směsi. [2]

- Mezi výhody plastů patří: výborné zpracovatelské vlastnosti, nízká měrná hmotnost, výborná korozní odolnost, tlumí rázy a chvění, plasty jsou elektrické izolanty.
- Nevýhody plastů: ekologická zatížitelnost, creep (tečení), nízké mechanické a časově závislé vlastnosti.

1.1 Základní rozdělení polymerů



Obr. 1 Základní schéma rozdělení polymerů [19]

- **Elastomery (kaučuky)** – jedná se o látky, které vykazují velmi velké deformace při mechanickém zatížení. Tato deformace je elastická tzn. pružná. Po odlehčení se materiál vrací do původního tvaru. Dominantní skupinou elastomerů jsou kaučuky. Jedná se například o styrenbutadienový kaučuk nebo isoprenový kaučuk. [2]



Obr. 2 Příklad aplikace reaktoplastu [19]

- **Termoplasty** – jsou polymerní materiály, které za zvýšených teplot měknou, přecházejí do plastického stavu. Za těchto popsaných podmínek je možné je tvarovat. Zástupcem této skupiny je polyetylén (PE), polyvinylchlorid (PVC), polypropylén, polystyren aj.



Obr. 3 Příklady aplikací termoplastů [19]

- **Reaktoplasty** – vykazují odlišné chování. Při zahřátí polotovaru, jenž má tvar budoucího výrobku, následně dojde k jeho vytvrzení, změní se jeho struktura (zesíťování). Tento proces je nevratný. Výsledkem je tuhý a tvrdý materiál. Tento materiál při opakovaném zahřátí neměkne a netaví se. Mezi reaktoplasty se řadí: epoxidové pryskyřice, polyesterové pryskyřice atd.



Obr. 4 Příklady aplikací reaktoplastů [19]

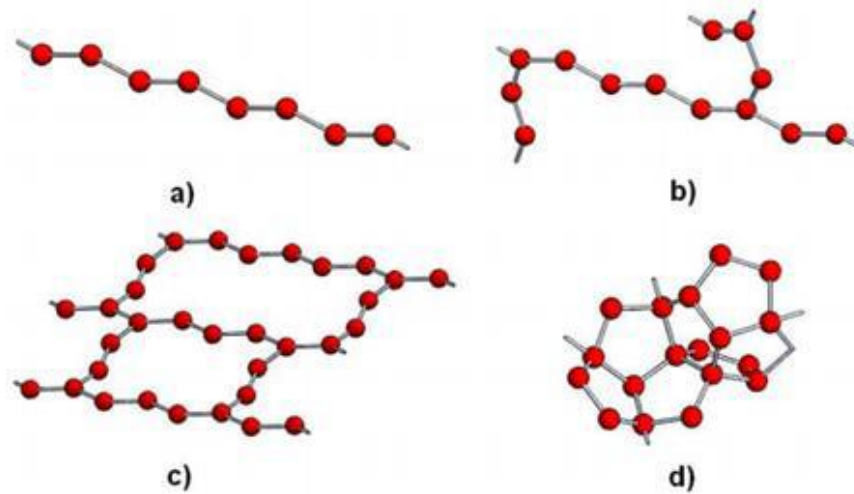
1.2 Rozdělení podle tvaru makromolekulárních řetězců

a) Lineární polymer – jednotlivé monomery jsou seřazeny vedle sebe, viz Obr. 5 a), tvoří jednoduchý řetězec. Lineární makromolekuly se mohou z prostorových důvodů více přiblížit k sobě a vyplnit tak kompaktnější prostor (polymery potom mají vyšší hustotu např. HDPE).

b) Rozvětvený polymer – makromolekula se vyznačuje hlavním řetězcem, na kterém jsou boční větve, viz Obr. 5 b). Rozvětvené makromolekuly se na rozdíl od lineárních makromolekul nemohou k sobě dostatečně přiblížit v důsledku bočních větví. Proto jsou specifické nižší hodnotou hustoty.

c) Zesíťovaný polymer – je zde několik přímých nebo rozvětvených makromolekulárních řetězců mezi sebou spojenými vazbami, takže vytvářejí jednu takřka nekonečnou makromolekulu nazývanou také jako prostorovou síť, viz Obr. 5 c). Daná síť vede ke ztrátě tavitelnosti a rozpustnosti polymeru. Polymery mají vysokou tuhost, tvrdost a odolnost proti zvýšené teplotě, ale vyznačují se nízkou odolností proti rázovému namáhání. Síť mohou být řídké (charakteristické pro elastomerní kaučukovité polymery) nebo husté (reaktoplasty).

d) Prostorově zesíťovaný polymer – trojrozměrné monomery, které mají tři aktivní kovalentní vazby vytvářející trojrozměrnou síť, viz Obr. 5 d). Tyto polymery se vyznačují zajímavými mechanickými vlastnostmi. Patří sem fenolformaldehydy a epoxidy. [3]



Obr. 5 Tvar makromolekulárních řetězců [3]

1.3 Rozdělení podle polarit

- Polární plasty – mají trvalý dipól (např. PA).
- Nepochární plasty – nemají trvalý dipól (např. PE, PP, PS).
 - DIPÓL = Dipólový moment (přesněji elektrický dipólový moment) je vektorová veličina popisující nesymetrické rozdělení elektrického náboje, např. v molekule nebo v malé skupině atomů.
 - Podle hodnoty dipólového momentu chemie rozlišuje polární a nepochární molekuly. Polární molekuly mají stálou a nenulovou hodnotu elektrického dipólového momentu, tvoří permanentní dipól, nepochární ho mají nulový.

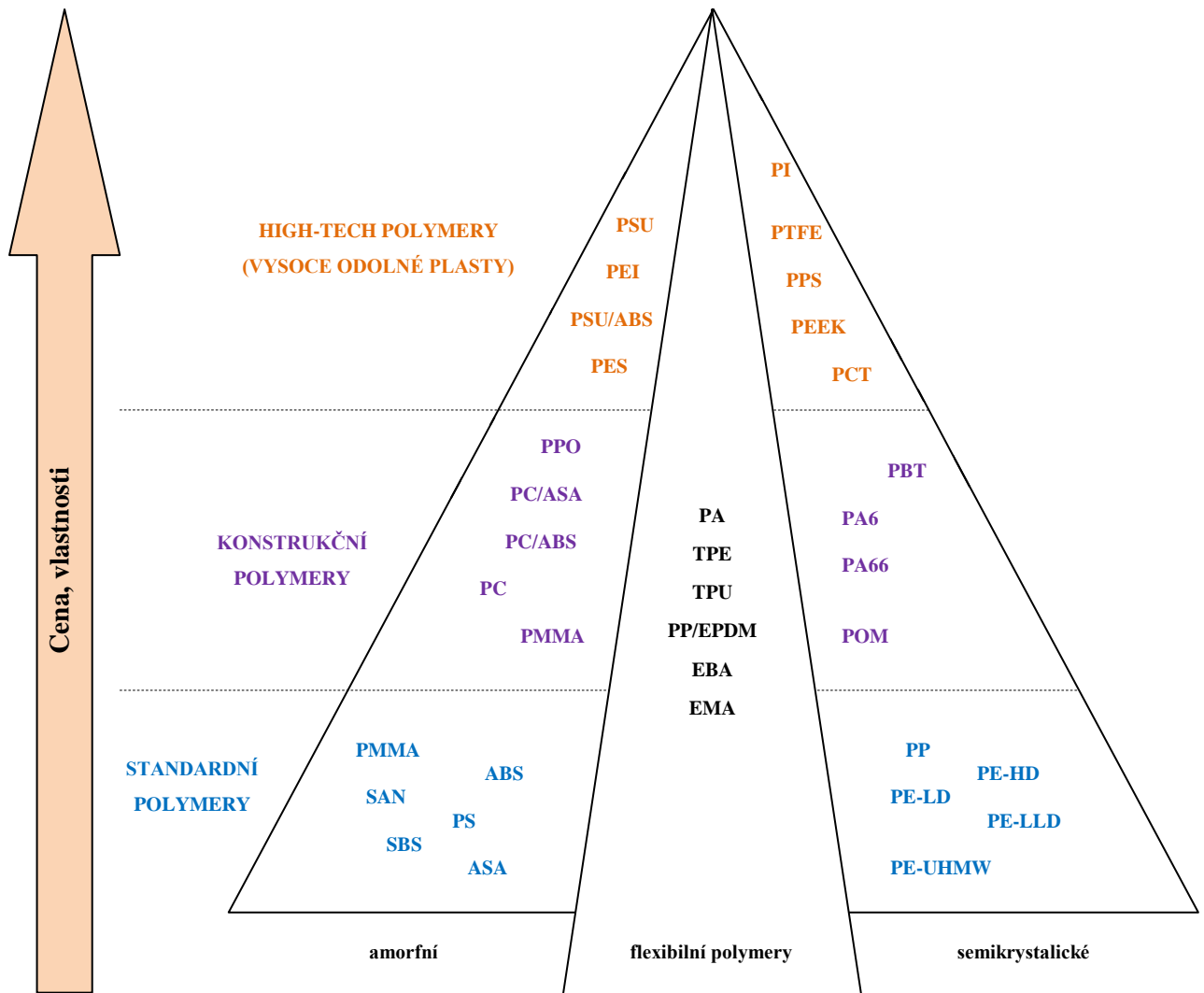
[3]

1.4 Rozdělení podle složení

- **Plněné plasty** – plnivo ovlivňuje mechanické a fyzikální vlastnosti plastu. Makromolekulární látka zajišťuje funkci pojiva a určuje základní fyzikální a mechanické vlastnosti hmoty. Přísadou mohou být plniva, maziva, stabilizátory, barviva, změkčovadla, iniciátory, tvrdidla, retardéry hoření, nadouvadla apod.
- **Nepochněné plasty** – nepochněný plast je hmota, ve které množství přísad neovlivňuje vlastnosti polymerní matrice.

1.5 Rozdělení z hlediska aplikací

- **Standardní použití** – jsou součástí běžného života, např. fólie, PVC podlahy atd. Mezi ně patří polyolefiny jako polyetylén, polypropylén (PE, PP), polystyrénové hmoty (PS), polyvinylchlorid (PVC), fenoformaldehydové a močovinoformaldehydové hmoty (PF, UF) aj.
- **Konstrukční plasty** – využívají se u součástí, které podléhají většímu namáhání např. ozubená kola z polyamidu (PA), ve stavebnictví tyče a profily z polyoximetylénu (POM), polymethylmetakrylát (PMMA) aj.
- **High-tech plasty** – jsou to plasty, které odolávají chemickým vlivům, vysokým teplotám, a velkému namáhání. Používají se převážně v letectví, kosmu, v chemickém a v automobilovém průmyslu. Patří sem např. polybenzenimid (PBI), polyetherimid (PEI), polysulfon (PSU), polyfenylénsulfid (PPS), tetrafluoretylén (PTFE), polyimidy (PI). [4]



Obr. 6 Rozdělení polymerů podle jejich aplikace a nadmolekulární struktury [3]

1.6 Rozdělení polymerů dle výchozí suroviny

- **Přírodní** – organické polymery, mohou to být původní např. bílkoviny, škrob, celulóza, kaučuk nebo chemicky upravované jako celuloid, umělé hedvábí, umělá rohovina apod.
- **Syntetické** – vyrábí se z nízkomolekulárních sloučenin chemickými reakcemi. Podle typu reakce je můžeme rozdělit na polymery vznikající: [3]
 - polymerací,
 - polyadící,
 - polykondenzací.

1.6.1 Polymerace

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

1.6.2 Polyadice

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

1.6.3 Polykondenzace

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

1.7 Základní způsoby výroby polymerů

Při výrobě polymerů z monomerů dochází k exotermní chemické reakci. Základním problémem při těchto reakcích je odvod uvolňovaného tepla z reakční směsi. Průmyslově se polymery vyrábějí několika základními způsoby. Chemicky nejjednodušší je polymerace samotného monomeru. Je-li polymer v monomeru rozpustný, vzniká v průběhu polymerace stále viskóznější roztok, který nakonec ztuhne na blok, který zaujímá tvar reakční nádoby (bloková polymerace). Nerozpouští-li se vznikající polymer ve výchozím monomeru, vylučuje se v jemných částicích. Po přidání vhodného rozpouštědla vznikne roztok polymeru (roztoková polymerace). Častější než polymerace samotného monomeru v bloku nebo jeho roztoku se pro technologické výhody provádí polymerace v emulzi (emulzní polymerace) nebo v suspenzi (suspenzní polymerace).

- **Bloková polymerace**

Blokovou polymerací se provádí iontová a radikálová polymerace. Technologickou nevýhodou polymerace v bloku je nesnadný odvod tepla. Polymerace je obecně doprovázena zmenšováním objemu. Kvůli snadnějšímu chlazení a potlačení smršťování se v bloku polymerují výrobky, které mají „tenký“ jeden rozměr, např. desky z PMMA. Hlavní předností blokové polymerace je to, že lze připravit polymer o vysoké čistotě, např. PMMA a PS v čistotě vhodné pro elektroniku.

- **Roztoková polymerace**

Při roztokové polymeraci se reakční teplo odvádí snadněji než při blokové. Díky tomu, že rozpouštědlo je přenašečem, výsledný produkt má vždy nižší molekulovou hmotnost M než při blokové polymeraci. Jestliže je polymer v rozpouštědle rozpustný, připraví se produkt, který se používá přímo, např. jako lepidlo nebo s přídavkem dalších aditiv jako nátěrová hmota.

- **Suspenzní polymerace**

Při suspenzní polymeraci je zaručen dobrý odvod reakčního tepla. Monomer s iniciátorem je rozptýlen mícháním ve vodě. S postupující konverzí reakce stoupá viskozita a lepkavost částic a nebezpečí jejich slepení ve velké shluky. Tomu se zabráňuje přídavkem látek, které snižují viskozitu nebo ulpívají na povrchu částic. Suspenzní polymer je kvalitativně stejnoměrnější než blokový, ale obsahuje více příměsí. Tímto způsobem se vyrábí např. PS a PVC.

- **Emulzní polymerace**

Emulzní polymerace je proces, kdy polymer vzniká rovněž z částic mechanicky rozptýlených ve vodě, která obsahuje emulgátor (např. mýdlo) a iniciátor. Od suspenzní polymerace se liší tím, že každá částice monomeru je chráněná obalem emulgátoru a při polymeraci se mění na „jedinou“ makromolekulu polymeru. Tím je zaručena možnost jejího růstu do vysoké molekulové hmotnosti. Stejně jako u suspenzní polymerace je u emulzní zaručen velmi dobrý odvod tepla, ale produkt je znečištěn aditivou. Emulzně se polymerují zejména homo- a kopolymery butadienu, polyvinylacetát a PVC. [5]

2 VSTŘIKOVÁNÍ

Je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu vstříknuta velkou rychlostí do uzavřené dutiny formy, kde ztuhne v konečný díl.

- Výhody vstřikování jsou krátký časový cyklus, schopnost vyrábět složité součásti s drobnými tolerancemi rozměrů a velmi dobrou povrchovou úpravou.
- Nevýhodou vstřikování jsou vysoké investiční náklady, zdlouhavá výroba formy a potřeba používat strojní zařízení, které je neúměrně velké v porovnání s vyráběným dílem. [9]

Vstřikování polymeru pro výrobu polymerních dílů je jednou z nejrozšířenějších technologií. Vyznačuje se poměrně složitým fyzikálním procesem, jehož součástí je polymer, vstřikovací forma a vstřikovací stroj. Při vstřikovacím procesu je polymerní tavenina dopravena tlakem do dutiny formy, tam je následně ochlazená a tím se získá tvar vyráběné součástky. [6]

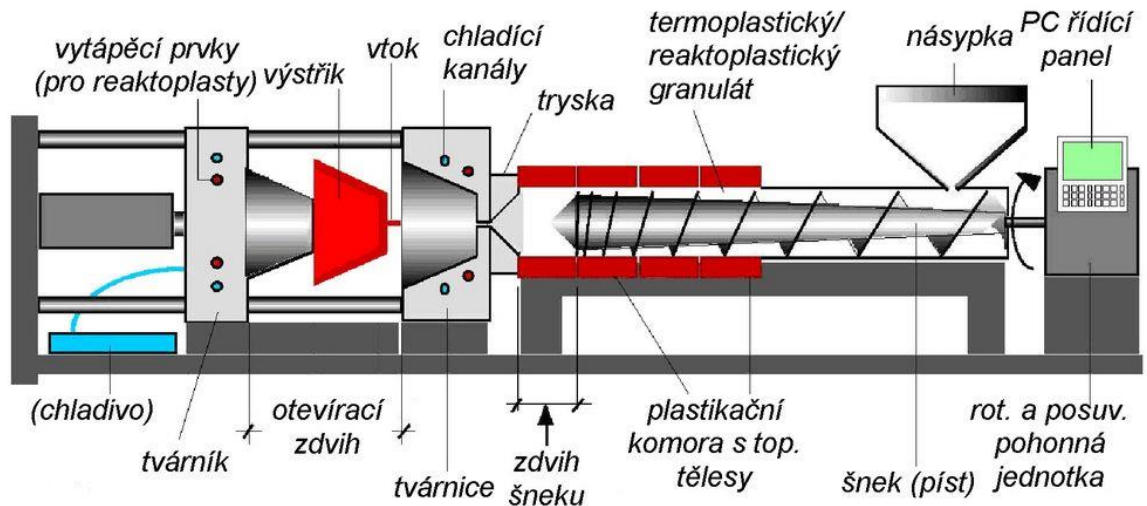
Vstřikování je diskontinuální cyklický proces, kde se v jedné operaci mění polymer (nejčastěji ve formě granulí) v hotový výrobek. Pečlivým návrhem vstřikovací formy můžeme eliminovat nutnost dalšího opracování. V případě vstřikovaných termoplastů můžeme jejich vtokové zbytky znovu zpracovat, čímž zmenšíme odpad polymeru na minimum. [7]

2.1 Vstřikovací stroj

Slouží k plastikaci granulového materiálu a k následné dopravě materiálu do dutiny formy. (Obr. 7.)

Z hlediska funkce jej rozdělujeme do tří částí: [8]

- vstřikovací jednotka,
- uzavírací jednotka,
- ovládání a řízení stroje.

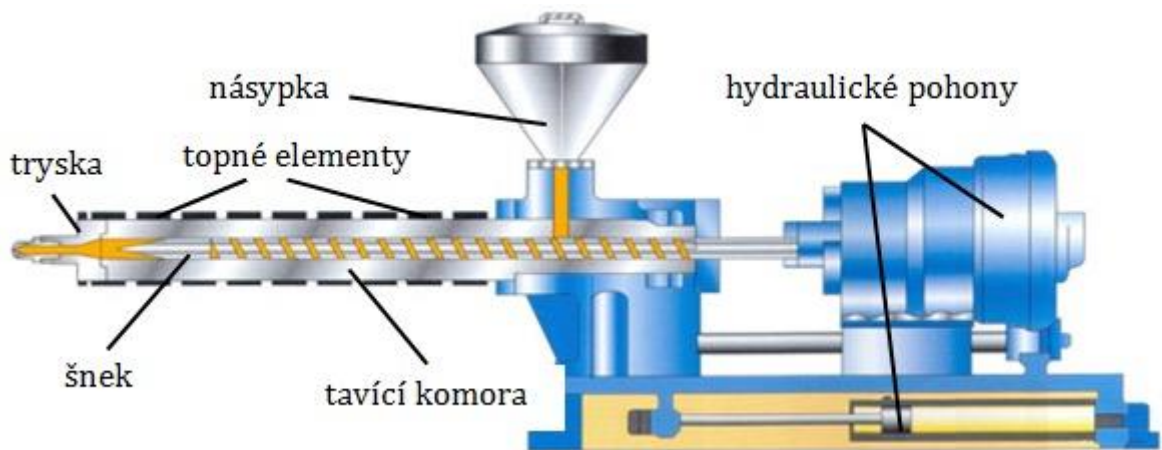


Obr. 7 Vstříkovací stroj [4]

2.1.1 Vstříkovací jednotka

Slouží k přípravě a dopravě předem daného množství roztaveného materiálu do dutiny formy s požadovanými technologickými parametry. Množství materiálu dopravovaného do dutiny formy musí být menší, než je kapacita vstříkovací jednotky při jednom zdvihu. [8]

Princip vstříkovací jednotky závisí na dopravování zpracovaného polymerního materiálu (nejčastěji granulátu) do tavného válce z násypky za pomoci šneku (Obr. 8.). Zpracovaný polymer je posouván rotujícím šnekem přes vstupní, přechodové a výstupní pásmo. Postupně dochází k plastikaci, homogenizaci a ke hromadění materiálu před šnekem. Tavná komora je na konci opatřena tryskou s vyhříváním, díky ní je spojena vstříkovací jednotka s formou. Tryska s kulovým zakončením zajistí přesné dosednutí do sedla vtokové vložky vstříkovací formy. [8]



Obr. 8 Vstřikovací jednotka [5]

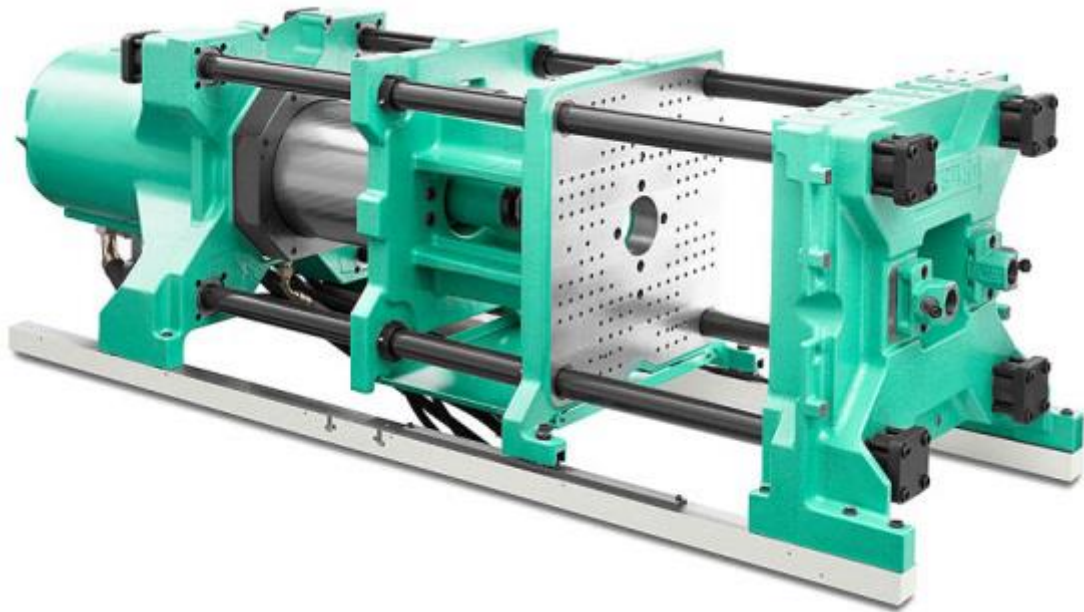
2.1.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka zajišťuje bezpečné otevření a uzavření vstřikovací formy. Potřebná síla, která je za potřeby k uzavření vstřikovacího stroje, závisí na velikosti vstřikovacího tlaku a velikosti plochy průřezu výstřiku v dělicí rovině. Tuhost uzavíracího mechanismu, stejně jako uspořádání uzavírací jednotky, má velký vliv na těsnost vstřikovací formy. [10]

Podle druhu pohonu rozdělujeme vstřikovací jednotky na:

- hydraulické (Obr. 9.),
- hydraulicko-mechanické,
- elektromechanické.

U hydraulických uzavíracích systémů se uzavírací rychlost odvíjí od uspořádání a ovládání hydraulického obvodu. Hydraulicko-mechanický uzavírací systém má uzavírací rychlost řízenou kinematickým uspořádáním mechanismu, díky tomu dosahuje minimálních došedacích rychlostí. Elektromechanické uzavírací systémy využívají zkušenosti z konstruování obráběcích strojů, mají jednoduché ovládání a příznivou spotřebu energie. [10]

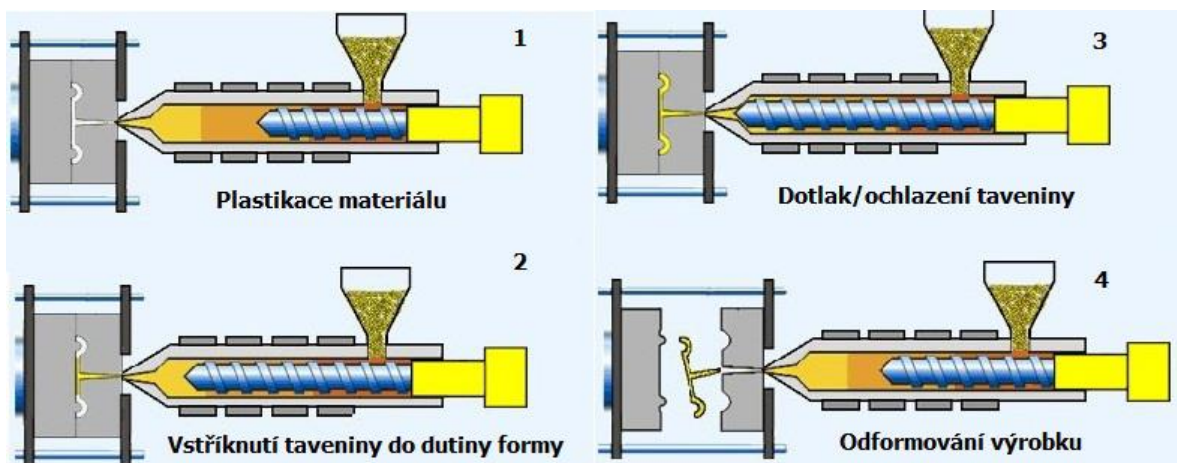


Obr. 9 Hydraulická uzavírací jednotka [7]

2.2 Vstřikovací cyklus

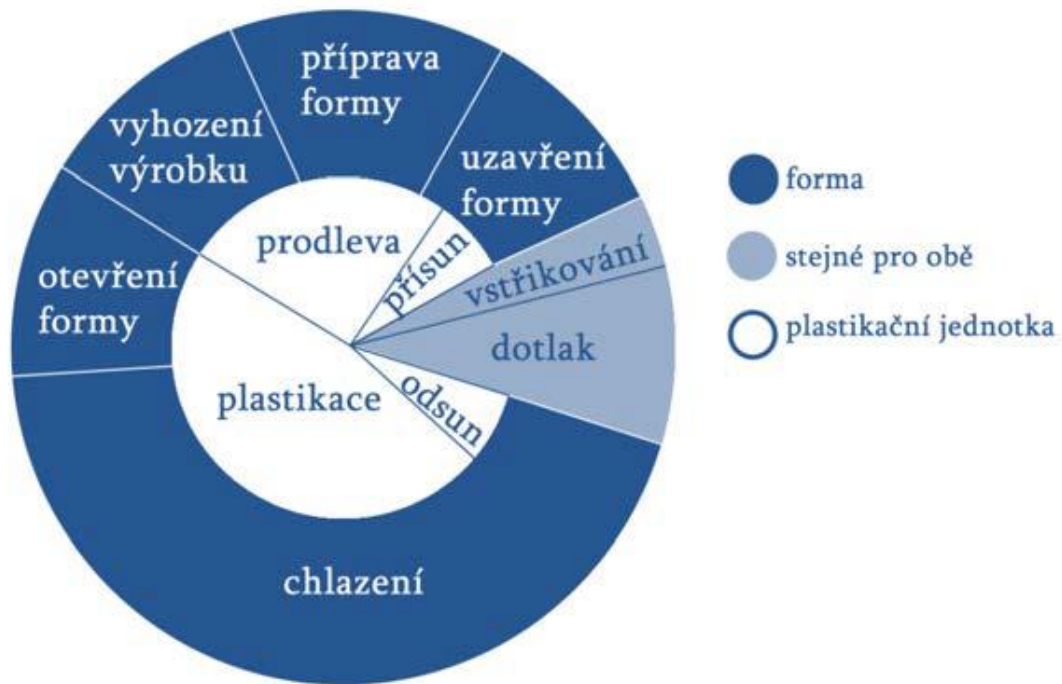
Vstřikovací cyklus rozdělujeme na čtyři hlavní fáze (Obr. 10.): [11]

- plastikace materiálu,
- vstříknutí taveniny do dutiny formy,
- dotlak a ochlazení taveniny ve formě,
- odformování výrobku.



Obr. 10 Vstřikovací cyklus [8]

Násobností formy lze ovlivnit množství zhotovených výrobků na jeden vstřikovací cyklus. Z toho plyne, že správnou volbou násobnosti můžeme zvýšit produkci výroby. Mezi hlavní faktory patří také optimální délka celého cyklu, ta závisí na technologických parametrech stroje, teplotě formy a samozřejmě i na samotné konstrukci daného výrobku, hlavně na tloušťce jeho stěn. [8]



Obr. 11 Průběh vstřikovacího cyklu [9]

Forma se uzavře a dochází ke vstříknutí taveniny o dané teplotě, rychlosti a tlaku do dutiny formy. Tlak působí na taveninu, a to až do doby, kdy se začne ochlazovat. Následuje dotlak, až do částečného ochlazení taveniny. Po ukončení dotlakové fáze dojde k odsunutí vstřikovací jednotky a začíná plastikace pro další cyklus. Po ochlazení výrobku na vyhazovací teplotu dochází k otevření formy a následnému vyhození výrobku. Poslední fáze cyklu je očištění a příprava formy pro další vstřikovací cyklus. [8]

2.2.1 Plastikace

Plastikace připravuje homogenní taveninu polymeru a shromažďuje ji před čelem šneku. Při plastikaci dochází k otáčení šneku a současnému pohybu šneku zpět. Z násypky padá granulát do válce a ten se ve vyhřívané části válce začne tavit, za pomoci šneku homogenizovat a hníct. Později se přesune do prostoru před čelo šneku. Polymer se ohřívá působení

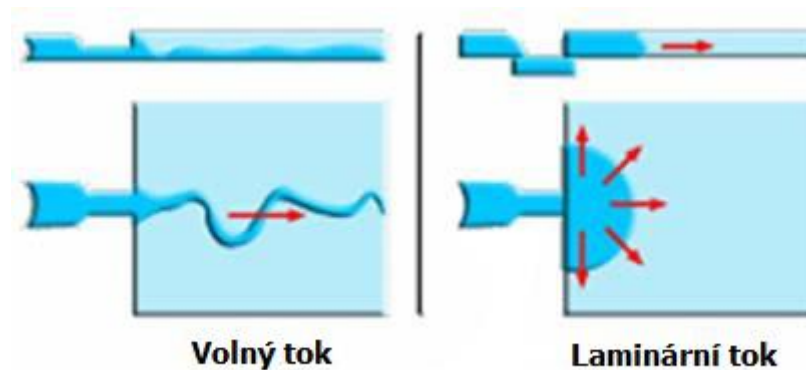
ním tepla z vyhřívaného válce a teplem vznikajícím třením mezi šnekem a materiálem. Homogenitu taveniny lze ovlivňovat konstrukcí šneku, jeho otáčkami, dávkou granulátu a zpětným tlakem. [12]

2.2.2 Vstříknutí taveniny do dutiny formy

Tuto operaci rozdělujeme do dvou částí: [12]

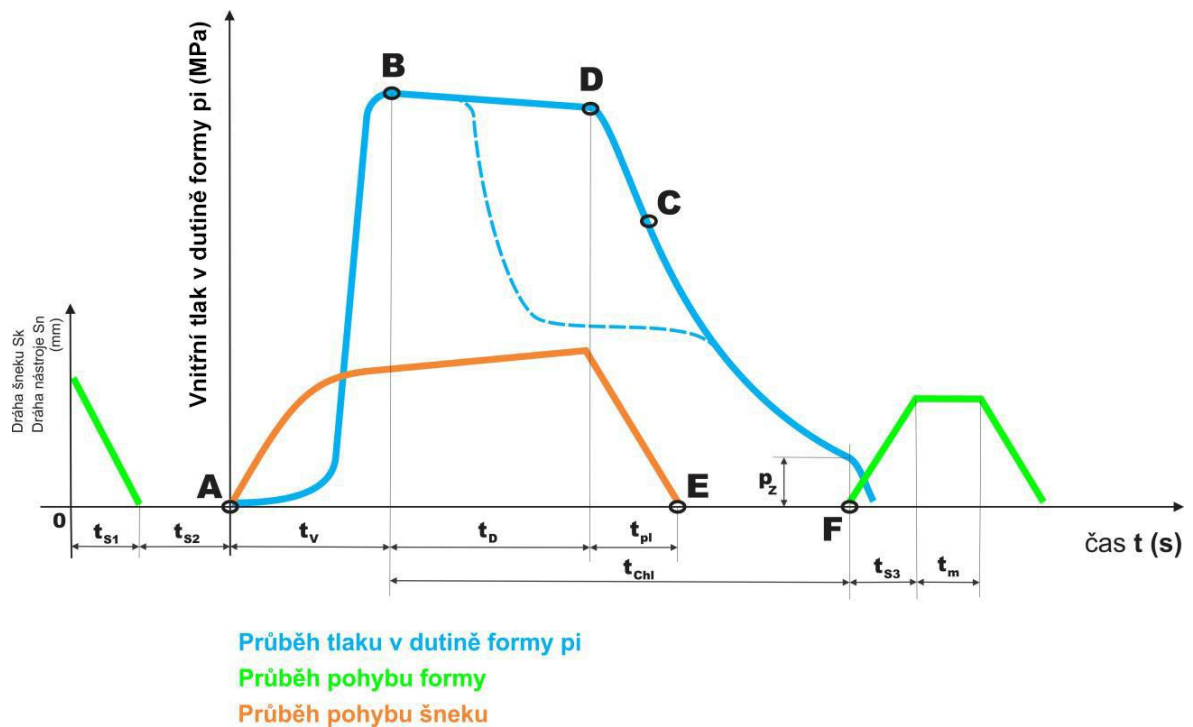
- plnění formy,
- stlačení taveniny ve formě.

Při plnění dutiny formy dochází ke vstříknutí taveniny do uzavřené formy přímočarým pohybem šneku. V zájmu dosažení dobrých fyzikálních vlastností a kvalitního povrchu se musí dutina formy plnit tak, aby materiál nevtékal volným tokem, ale vtékal postupně. Při splnění těchto podmínek vzniká tzv. laminární plnění (Obr. 12.), to nám zajistí vznik plastického jádra, které nám umožní stlačení taveniny a její následné dotlačení do dutiny formy. [12]



Obr. 12 Porovnání volného a laminárního toku [10]

- Průběh tlaku při vstřikování



Obr. 13 Průběh tlaku při vstřikování [26]

Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma je otevřená. V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu. V časovém úseku t_{s1} se pohyblivá část formy přisune k pevné, forma se zavře a „zamkne“. Pokud se přisouvá vstřikovací jednotka vstřikovacího stroje k formě, tak tato činnost je popsána časovým úsekem t_{s2} . Časové úseky t_{s1} a t_{s2} jsou strojní časy.

V bodě A se dává do pohybu šnek v tavicí komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty (plnění) do dutiny vstřikovací formy. Tato doba, během níž probíhá plnění dutiny formy, se nazývá doba plnění nebo doba vstřikování a značí se t_v . Ve fázi plnění dosáhne tlak maximální hodnoty. Tento děj je ukončen v bodě B. Objem taveniny plastu dosahuje kolem 95 až 97% objemu dutiny vstřikovací formy. A samozřejmě platí, že jakmile tavenina vteče do dutiny vstřikovací formy, ihned začne předávat teplo vstřikovací formě a začne chladnout. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a plní funkci pístu.

Chlazení trvá až do otevření formy a vyjmutí, (vyhození) výstřiku ze vstřikovací formy. Tato doba se nazývá doba chlazení a je označena t_{ch} . V praxi se dělí na dobu chlazení při

plném vstřikovacím tlaku a při klesajícím tlaku. Po vyhození výstřiku z dutiny vstřikovací formy pokračuje chlazení již bez tlaku až do vyrovnání teploty výstřiku s teplotou okolí.

Během chladnutí se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem. Aby se na výstřiku netvořily propadliny nebo staženiny, je nutné kompenzovat zmenšování objemu dodatečným dotlačením taveniny do dutiny formy. Tento úsek cyklu se nazývá doba dotlaku a značí se t_d . Dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako maximální tlak (plná modrá čára na obr. 13) nebo se může po několika sekundách snížit (přerušovaná modrá čára na obr. 13) a další chladnutí probíhá při sníženém tlaku. Dotlak se proto rozděluje na izobarický (konstantní tlak) a izochorický (konstantní objem). Doba dotlaku končí v bodě D. Bod C označuje okamžik zatuhnutí roztavené hmoty ve studeném vtokovém kanálu. Abychom mohli dotlačovat, musí před čelem šneku zůstat určitý objem plastu – polštář, na který bude šnek působit svým čelem. Tento objem nesmí být příliš velký (obvykle kolem 5 až 15 %, méně než jednonásobek průměru šneku D), aby nedocházelo k tepelné degradaci hmoty. Objem polštáře závisí na velikosti výrobku.

Po dotlaku začíná plastikace nové dávky plastu, časový úsek t_{pl} , končící v bodě E. Šnek se začne otáčet, pod násypkou nabírá granulovanou hmotu, plastikuje ji a vtlačuje do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu, přičemž musí překonávat tzv. protitlak nebo-li zpětný tlak. Výška protitlaku ovlivňuje dobu plastikace a tím i kvalitu prohnětení roztaveného plastu. Příliš vysoký protitlak by však mohl způsobit až degradaci plastu. Ohřev plastu během plastikace se děje jednak převodem tepla ze stěn válce, jednak frikčním teplem, které vzniká třením plastu o stěny komory a o povrch šneku a dále přeměnou hnětací práce šneku v teplo.

Dále může nebo nemusí následovat odsunutí tavicí komory od formy (strojní čas). Během pokračující fáze chlazení tlak ve vstřikovací formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku p_z , což je tlak, pod nímž se výstřik nachází ve formě těsně před jejím otevřením. Příliš vysoký zbytkový tlak je příčinou vysokých pnutí ve výstřicích, které mohou způsobovat deformace nebo až samovolné praskání výstřiku. V bodě F se vstřikovací forma otevře a výstřik se vyhodí z formy. Na tuto operaci je potřeba strojní doba t_{s3} . Je-li výstřik vyjímán z formy manipulátorem, je k tomu navíc vymezena manipulační doba t_m . Ta je určena i k případné další činnosti, např. ke vkládání kovových záložek do formy, k dávkování separačních prostředků, k očištění formy, apod. [26]

2.2.3 Dotlak

V intervalu dotlaku je nahrazen úbytek materiálu, ke kterému dochází smrštěním hmoty při ochlazování taveniny na teplotu formy. [12]

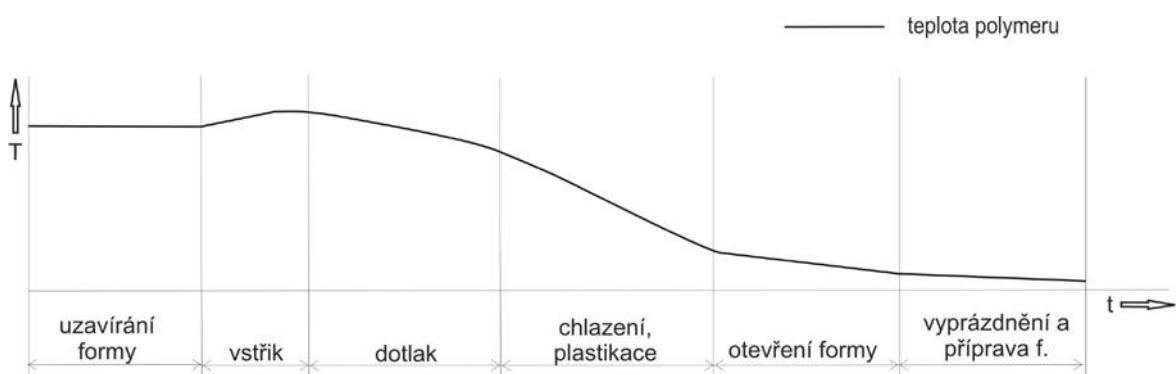
Při vysokém dotlaku dochází v polymeru při jeho ochlazování k omezení pohyblivosti makromolekul, tím vzniká pnutí ve výrobku. Dále může způsobit vysoký zbytkový tlak, díky tomu pak může docházet k problematickému vyjímání výrobku. Naopak při nízkém dotlaku hrozí zvláště u tlustostěnných výrobků vznik vnitřních staženin tzv. lunek, propadlin nebo mikropórovitosti, proto se u tlustostěnných výrobků používá tzv. pulsní dotlak. Pulsující hydraulický tlak vyvolá střídavé změny proudění taveniny z trysky do formy a zpět. Díky tomu udržíme jádro vtoku déle tekuté. Dotlak působí, dokud není zatuhnuté vtokového ústí. [12]

2.2.4 Ochlazení taveniny v dutině formy

Chlazení začíná již při vstřikování taveniny, ale převážně od spuštění dotlaku (Obr. 14.). Chlazení ovlivňuje zejména teplota taveniny, tloušťka stěn tvar výstřiku, teplota formy, vstřikovací rychlost atd. [12]

Do hlavní části vstřikovacího cyklu patří právě chlazení. U standardních výrobků je volena co nejnižší teplota formy, ale tak, abychom ve výrobku nevyvolali příliš vysoké vnitřní pnutí nebo neovlivnili povrch výrobku z hlediska kvality. [12]

Z hlediska přesného vstřikování je především u semikrystalických polymerů nutné temperovat formy na takové teploty, kdy dosáhneme rovnovážných podmínek z hlediska krystalizace i orientace. Doba chlazení a dotlak je regulován dle p-v-T diagramu. [12]



Obr. 14 Průběh teploty polymeru [12]

2.2.5 Vyhození výrobku z formy

Po potřebném ochlazení výrobku dochází k otevření formy a současnému vyhození výrobku z dutiny formy. Vyhazovací zařízení musíme umístit v takových tvarových částech, na kterých výrobek ulpí díky smrštění. Při vstřikování výrobků, u kterých je zapotřebí otevření formy ve více směrech, je nutné zajistit, aby pohyb součástí formy i jeho ovládacích prvků byl řízen v souladu s celkovým řízením stroje. V souladu se zvyšující se snahou o automatizaci vstřikovacích procesů roste počet manipulátorů schopných vyjmout výrobek z formy, oddělit vtok a předat dále na dopravní pás či do přepravky. [12]

3 MATERIÁLY VSTŘIKOVACÍCH FOREM

Forma je nástroj, který se upíná na vstřikovací stroj. V průběhu vstřikovacího cyklu je naplněna roztaveným plastem. Po zchladnutí je zhotoven výstřik s požadovaným tvarem a funkčními vlastnostmi. Forma během své životnosti musí splňovat tyto požadavky:

- odolávat vůči vysokým tlakům,
- zajistit požadovaný rozměr a kvalitu výstřiku,
- snadné vyjmutí výstřiku,
- snadná obsluha a automatický provoz,
- nízká pořizovací cena,
- snadná a rychlá výroba,
- vysoké využití zpracovávaného plastu.

Konstrukční koncepce, uspořádání formy a také způsob výroby závisí na účelu a požadavcích, které má forma splňovat. Životnost formy je dána volbou materiálu a tepelným zpracováním funkčních částí jako je tvárník, tvárnice atd. Materiál volíme s ohledem na:

- druh zpracovávaného plastu,
- použité technologii,
- velikosti výrobku a jeho složitosti,
- velikosti série,
- tepelné odolnosti a odolnosti proti opotřebení a korozi,
- ceně atd.

Vstřikovací formy jsou konstrukčně velmi rozmanité a lze je rozdělit do následujících skupin:

- podle násobnosti na jednonásobné a vícenásobné,
- podle způsobu zaformování a konstrukčního řešení na dvoudeskové, třídeskové, etážové, čelist'ové, vytáček'í apod.,

- podle konstrukce vstřikovacího stroje na formy se vstřikem kolmo na dělicí rovinu a na formy se vstřikem do dělicí roviny.

Vstřikovací forma se skládá z mnoha dílů. Jednotlivé díly lze rozdělit do několika kategorií. Jsou to díly:

- vymezuující tvarovou dutinu,
- temperovacího systému,
- vtokového systému,
- upínací a vodící elementy.

Konstrukční části zajišťují správnou činnost nástroje a funkční části jsou v kontaktu s tvářeným materiálem a udělují mu požadovaný tvar.

Výroba dílů technologií vstřikování probíhá na vstřikovacích strojích ve formě během krátkého času při působení dostatečného tlaku a teploty spolu s dalšími technologickými parametry. Proto se u formy vyžaduje:

- vysoká přesnost a jakost funkčních ploch dutiny formy a funkčních dílů,
- maximální tuhost a pevnost jednotlivých částí, potažmo celků formy pro zachycení potřebných tlaků,
- vhodný vtokový systém, odvzdušnění, temperování, vyhazování apod.,
- optimální životnost zaručená konstrukcí, materiálem a výrobou.

Přední dodavatelé normalizovaných dílů pro použití ve vstřikovacích formách:

- Hasco
- Meusburger
- DME
- Rainer Knarr

3.1 Oceli

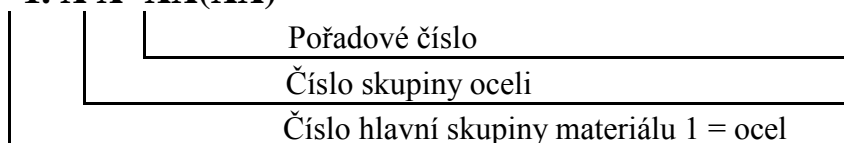
Nejpoužívanějším materiálem na výrobu forem jsou oceli. Každý díl formy plní jinou funkci. Proto na jednotlivé díly volíme různé druhy ocelí. Od použité oceli se požaduje převážně dobrá obrobiteľnosť a dostatečná mechanická pevnosť. Z hľadiska technológie výroby výstřiků by měla zajišťovat požadované vlastnosti na kvalitu struktury. Požadované vlastnosti výroby a provozu forem jsou dány mechanickou pevností materiálu, obrobiteľnosť (hospodárné obrobení do tvaru, jakosti povrchu), tváriteľnosť, dobrá leštitelnosť (má vliv na kvalitu výstřiku), ošeruvzdornosť, korozivzdornosť a odolnosť vůči chemickému působení plastu, stálosť rozměrů, tepelná vodivosť, roztažnosť, koeficient tření apod.

Z velkého výběru jakosti ocelí se pro výrobu forem používají následující skupiny:

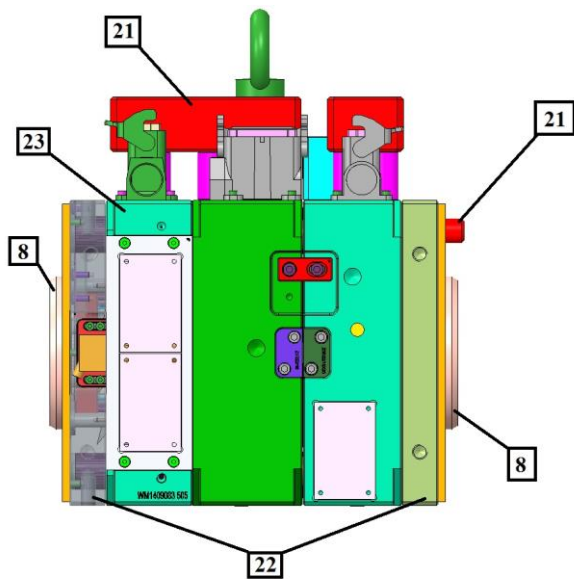
- konstrukční oceli k použití v přírodním zušlechťeném stavu,
- oceli k snadnému opracování a tváření, pro cementování a zušlechťování,
- oceli uhlíkové k zušlechťování,
- oceli nástrojové legované se sníženou i velkou prokalitelností a odolností proti ošeru,
- oceli k nitridování,
- antikorozi oceli, používané při zpracování plastů,
- martenziticky vytvrdivelné oceli s malou deformací při tepelném zpracování a velkou stálosť rozměrů. [13,14]

3.1.1 Číselné značení ČSN EN 10027-2

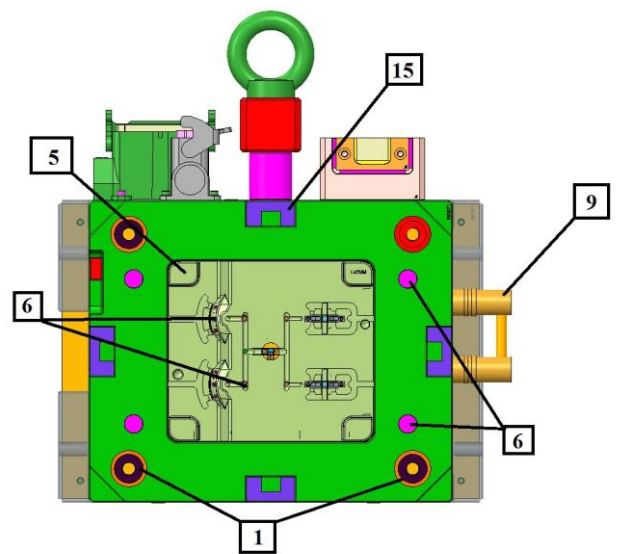
1. X X XX(XX)



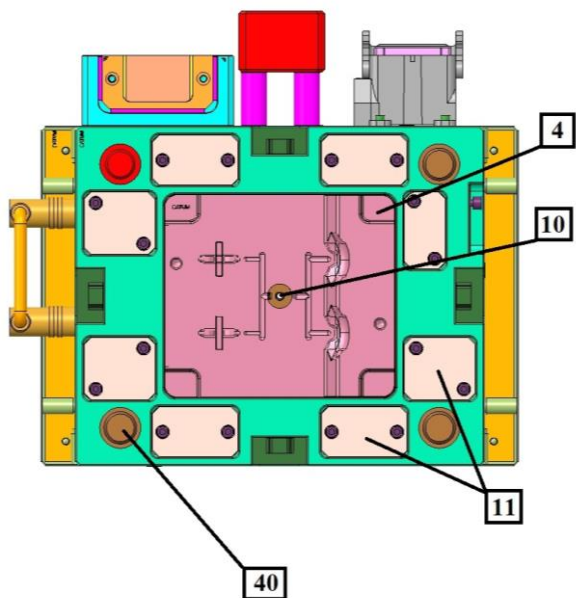
3.1.2 Příklady použití ve vstřikovacích formách



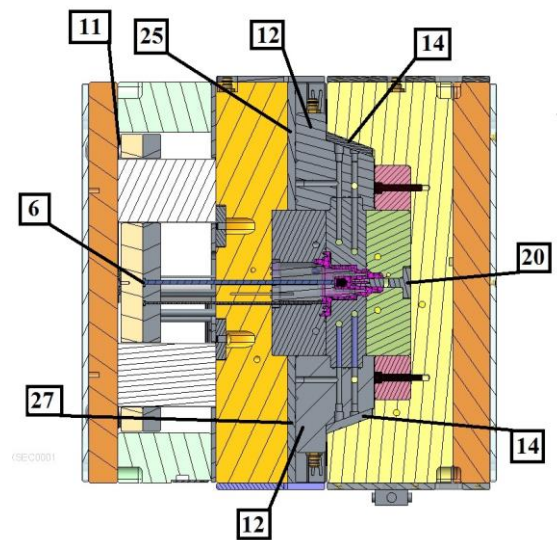
Obr. 1 Forma I



Obr. 2 Forma II



Obr. 3 Forma III



Obr. 4 Forma IV

Tab. 1. Materiály jednotlivých dílů forem a jejich tepelné zpracování [13]

Číslo dílu	Název dílu	Materiál	Tvrdość [HRC]	Poznámka
1.	Vodící pouzdra	14220,14120	63-61	cem.do hl. 0,8-1 mm
2.		12010	62-60	cem. do hl. 0,6-0,8mm
3.	Kotevní pouzdra	14120	62-58	cem. do hl. 0,6-0,8mm
4.	Tvárnice	14220,14221	57-55	
5.	Tvárníky	19486,19487,19436	57-55	
6.	Vyhazovače zpětné kolíky	19421,19422	57-55	
7.	Vyhaz. čepy	14220	57-55	
8.	Sředičí kruhy	11500		
9.	Náústky	11107		
10.	Vstřík. trysky	19436	57-55	
11.	Dorazy	19422	60-58	
12.	Čelisti pohyblivé	19192,19221,19436	63-60	
13.	Pohybové klíny	19192,19221	62-58	
14.	Opěrné čelisti	19312	60-56	
15.	Čelisti pevné	19192,19221,19436	63-61	
16.	Průtlačníky	19221,19423	63-60	
		19436,19437	62-60	
17.	Průtlačníky	19800,19810,19824	63-60	Standardní ocel na protlačování 194-36 snese tlak 2700MPa
18.	Průtlačnice	19191	63-60	
19.	Zděře, bandáže	13180,14160,14260, 19452,19642,19650	49-45	Vykováno
20.	Trny	19436,19421, 19423,19312		
21.	Pomocné části a svařované konstrukce	11375,11353,11373 11423,11523		

Tab. 2. Materiály jednotlivých dílů forem a jejich tepelné zpracování (pokrač. Tab.1) [13]

Číslo dílu	Název dílu	Materiál	Tvr- dost [HRC]	Zušlech- tění [MPa]	Poznámka
22.	Základní kotevní a upínací desky	11373,11375,11500, 11523,11600			
23.	Běžné opěrné desky a vložky	12061	58-50		Cem.kal.z vložky
		12050,12060	54-50		
24.	Desky tvárnice pro vložkování	11500,11600			Normal. žiháno pro odstranění vnitřního pnutí
25.	Vodící, stírací desky	11500,11600,12060			
26.	Stírače	12060		850-700	Zušlechtěno
27.	Vodící lišty	11600,12050			
28.	Pruž. vodící lišty, palce	14220			Funkční plochy cem. do hl. 0,5 mm
29.	Upínací hlavice	12060,12061		850-700	Zušlechtěno
		12050		800-650	
30.	Vodící sloupky	14220	63-61		Cem. do hl. 0,8-1mm
		12010	62-60		Cem. do. hl. 0,6 mm
32.	Upínací hlavice	12060,12061		850-700	Zušlechtěno
		12050		800-650	
33.	Závěsná pouzdra (hlavice) a závěsné stopky	12060,12061		850-700	Zušlechtěno
34.	Stopky a středící čepy	11500,11600			
35.	Klíny, pera přenášečí čepy	11600			
36.	Pružiny šroubové	12090,12093	48-43	1620-1400	Kal. pero popouštěno
37.	velmi namáhané	14260	48-45	1620-1480	
38.	Pružiny listové	12090	48-43	1620-1400	Kal. pero popouštěno
		13180	47 min.	1600 min.	
39.	Pružiny talířové	12090,15260	46-45	1520-1480	Kal. 2x popouštěno
40.	Součástky s velmi tvrdou cem. vrstvou	14220,14221	63-60		Cem. kal. popouštěno
41.	Drobné součástky	11107		650-470	Hodnoty v příř. stavu
		11110		620-450	

3.2 Slitiny hliníku

Formy, které mají své díly ze slitin jsou speciálně využívány. Charakterizuje je menší pevnost a odolnost proti opotřebení než u ocelí. Jsou využívány díky jejich dobrým vlastnostem, a to především korozivzdornost a velké tepelné vodivosti, které jsou výhodou u použití forem.

Tyto slitiny jsou využívány převážně pro prototypové formy, případně pro formy s velmi nízkou produkcí dílů, ale také u forem na strukturní pěny. Zde je vyžadován intenzivní chladicí účinek, dobrá chemická odolnost proti korozi a ostatním činidlům.

Vstřikovací tlaky jsou nižší (až 10x) než u forem na vstřikování kompaktních plastů a není proto vyžadována taková pevnost.

Nejvíce je využívána válcová slitina 424203.6 (AlCuMg), která po vytvrzení dosahuje vysoké pevnosti. Odlévané materiály jsou den již minimálně využívány. Je u nich těžké docílit hladký a bezporézní povrch. Poréznost se projevuje u materiálu i u temperačních kanálů, a proto se do odlitků vkládají nebo zalévají měděné chladicí trubky. [14]

3.2.1 Číselné značení ČSN EN 573-1

Základy kódování

Jednotlivé části označení následují v pořadí:

- předpona EN následovaná mezerou;
- písmeno A určuje hliník;
- písmeno W (wrought) určuje tvářené výrobky;
- spojovací čárka;
- čtyři číslice označení chemického složení;
- písmeno označující národní změnu, je-li požadováno.

Příklady: EN AW-5052

EN AW-5154A

Skupiny slitin

V označení slitin udává první ze čtyř číslic skupinu slitin:

- Hliník minimálně 99,00 % a více 1xxx (řada 1000)
- Slitiny hliníku ve skupinách podle hlavních slitinových prvků
 - o Měď 2xxx (řada 2000)
 - o Mangan 3xxx (řada 3000)
 - o Křemík 4xxx (řada 4000)
 - o Hořčík 5xxx (řada 5000)
 - o Hořčík a křemík 6xxx (řada 6000)
 - o Zinek 7xxx (řada 7000)
 - o Ostatní prvky 8xxx (řada 8000)
 - o Neobsazená řada 9xxx (řada 9000)

Skupina 1xxx

Ve skupině 1xxx určují dvě poslední číslice minimální obsah hliníku v procentech. Tyto číslice jsou shodné se dvěma číslicemi za desetinou čárkou minimálního procentuálního obsahu hliníku stanoveného na 0,01 %.

Druhá číslice označení vyjadřuje změny v mezním obsahu doprovodných nebo slitinových prvků. Jestliže je nula, potom určuje nelegovaný hliník s běžným obsahem doprovodných prvků, číslice 1 až 9 udávané postupně a podle potřeby určují zvláštní kontrolu obsahu jednoho nebo více doprovodných nebo slitinových prvků.

Skupiny 2xxx až 8xxx

Ve skupinách slitin 2xxx – 8xxx nemají poslední dvě číslice zvláštní význam, rozlišují pouze různé hliníkové slitiny ve skupině.

Druhá číslice označení vyjadřuje modifikace slitiny. Jestliže je nula, potom určuje základní slitinu, postupně řazené číslice 1 až 9 udávají modifikace základní slitiny

Národní odchytky Národní odchytky určují písmena následující za čtyřmi číslicemi. Písmena se uvádějí v abecedním pořadí od písmene A pro první registrovanou národní odchytku, avšak s vynecháním písmen I, O a Q. [1]

3.3 Slitiny mědi

V dnešní době se ve výrobě forem stále více prosazují slitiny mědi. Používají se především na chladicí trny tenkých tvárníků, tvarové vložky, vytáčeční matice a šrouby, vyhazovací kolíky, vodící a středící pouzdra, různé vedení apod. Vůči ocelím mají značné výhody:

- jsou velmi dobře tepelně vodivé,
- mají dobrou chemickou odolnost,
- mají dobré kluzné vlastnosti.

Při vhodném využití slitin mědi se dosáhne těchto vlastností:

- zkrácení pracovního cyklu vstřikování (kratší čas chlazení),
- větší kvalita výstřiku,
- větší funkční bezpečnost (hladší plochy, vhodnější kluzné vlastnosti, ...)

Jedna z velmi důležitých vlastností slitin mědi je tepelná vodivost, která je přibližně 4x vyšší než u ocelí. Využitím slitin mědi se dosáhne rychlejšího procesu chlazení, zkrácení celého cyklu a tím i snížení ceny výstřiku. Chlazení totiž zabírá největší část vstřikovacího cyklu. Nevýhodou slitin mědi je špatná úprava materiálu elektroerozivními metodami, ale snazší opracování běžnými třískovými metodami. Výhodou je nízký koeficient tření. Čistá měď se v praxi používá málo. Pro funkční díly se využívají různé slitiny mědi s dalšími kovy. Tím se vlastnosti mědi poněkud mění. Při volbě optimální slitiny záleží na tom, která kritéria se upřednostňují:

- Slitiny CuSiNi jsou výhodné díky své tepelné vodivosti, ale vyznačují se menšími mechanickými vlastnostmi.
- Slitiny CuAlFe, CuAlFeMn, CuAlFeCo, CuAlFeNi se vyznačují horší tepelnou vodivostí, ale velmi dobrou chemickou odolností (vhodné pro zpracování PVC) a nízký koeficient tření. Další výhodnou vlastností je vysoká pevnost v tlaku – až 700 MPa. [13]

3.3.1 Číselné značení ČSN EN 1412

Celková struktura označení obsahuje 6 míst

Místo	1	2	3	4	5	6
Znak	C	L	x	x	x	L

L – velké písmeno, x – arabská číslice

Na prvním místě je vždy písmeno C, které označuje měď a slitiny mědi.

Písmeno (L) na druhém místě je

- B - materiály ve formě ingotů pro přetavení k výrobě litých výrobků
- C - odlitky
- M - předslitiny
- R - rafinovaná měď netvářená
- S - přídatné materiály pro pájení a svařování
- W - materiály ve formě tvářených výrobků
- X - nenormalizované materiály [2]

Tab. 3. Význam 3. až 6. místa [3]

Skupiny materiálu	3., 4. a 5. místo ¹⁾ (číslo v rozsahu)	6. místo (písmeno označující skupinu materiálu)
Měď	000 až 999	A nebo B
Slitiny mědi, nízkolegované (méně než 5% jiných prvků)	000 až 999	C nebo D
Speciální slitiny mědi (5% nebo více jiných prvků)	000 až 999	E nebo F
Slitiny měď-hliník	000 až 999	G
Slitiny měď-nikl	000 až 999	H
Slitiny měď-nikl-zinek	000 až 999	J
Slitiny měď-cín	000 až 999	K
Slitiny měď- zinek, binární	000 až 999	L nebo M
Slitiny měď- zinek- olovo	000 až 999	N nebo P
Slitiny měď- zinek, komplexní	000 až 999	R nebo S
¹⁾ Normalizované druhy mědi 001 až 799, nenormalizované druhy mědi 800 až 999		

4 INTEGRITA POVRCHU

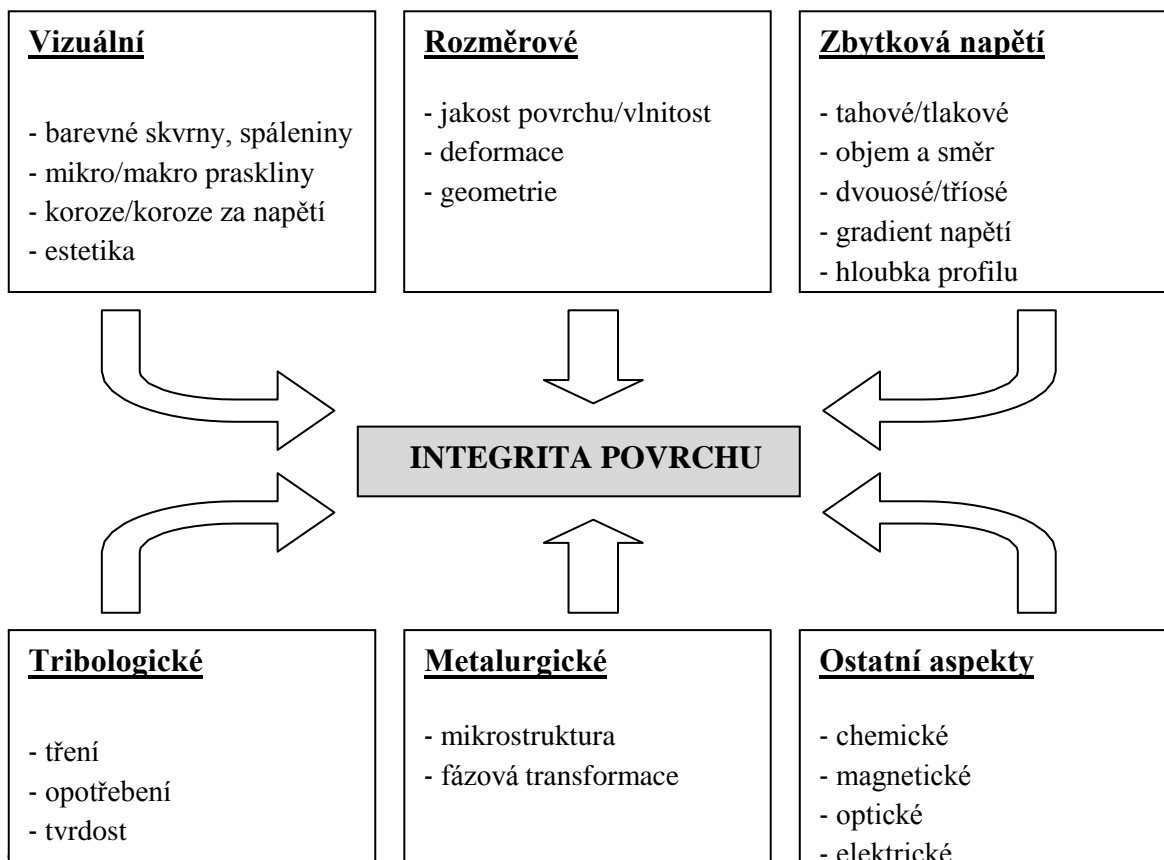
Z hlediska výroby má zásadní význam znalost mechanismu vytváření nového povrchu součásti, protože umožňuje pochopit povahu a vlastnosti takto vytvořeného povrchu, dává možnost pro zlepšení použitých procesů a případně umožňuje vytvoření obrobených ploch bez poruch.

Všechny změny, které nastávají v povrchové vrstvě součásti, lze shodně posuzovat jako změny jakosti. Tyto změny se potom mohou dávat do vztahu s budoucí funkcí dokončené plochy a využívají se pro hodnocení její integrity.

Integrita povrchu je proto odrazem podmínek, za kterých funkční plocha vzniká, bere v úvahu důsledky působení technologických metod na jakost obrobené plochy a dává je do vztahu k funkčním požadavkům na celý výrobek.

Problém i obsah integrity funkčních ploch součástí byl definován již začátkem 70. let, kdy bylo ukázáno, že je nutné dávat do souvislosti podmínky technologických operací s požadavky jakosti, spolehlivosti a životnosti součástí i zařízení. První práce na tomto úseku byly zaměřeny na opracování vysoce pevných ocelí.

Zatím neexistuje způsob, kterým lze komplexním způsobem zhodnotit nově vytvořenou plochu z hlediska její integrity. Řada údajů o obrobené ploše se sice již běžně zjišťuje, pro jiné jsou zpracovány postupy a navrhována potřebná zařízení. Zatím nejspolehlivější zkouškou integrity je vlastní provoz. [2]



Obr. 15 Složky integrity povrchu [24]

Vizuální vlastnosti

- **Barevné skvrny, spáleniny** – v mnoha výrobních operacích, poškození povrchu může být odhaleno jednoduchým vizuálním sledováním. Např. brusné popáleniny jsou zbarvené vzhledem k oxidaci při vysoké teplotě.
- **Mikro/makro praskliny** – praskliny se mohou vyskytovat v dokončovacích operacích, které mají významné tepelné a mechanické efekty jako je například broušení, frézování, vystružování, vrtání, obrábění atd. Jedná se o negativní jevy, které jsou způsobeny objemovou změnou při ochlazování.
- **Náchylnost ke korozi/korozní praskání za napětí**
- **Estetické aspekty** – když jsou výkonové podmínky téměř stejné, konečná komponenta výběru je ta, která má lepší vzhled. [24]

Rozměrové vlastnosti

- **Jakost povrchu/vlnitost** – krom významu pro tribologii a estetiku, jakost povrchu a vlnitost mohou mít z části významný vliv na integritu povrchu, protože opotřebení povrchu je ovlivněno drsností povrchu.
- **Deformace** – změna struktury.
- **Geometrie** – jedná se kruhovitost, souosost, kolmost, válcovitost, je určena odchylkami tvaru. [24]

Zbytková napětí

- **Tahové / tlakové**
- **Objem**
- **Směr**
- **Dvouosé / tříosé**
- **Gradient napětí**
- **Hloubka profilu**

Zbytková napětí vzniklá v povrchové vrstvě po obrábění jsou důležitým parametrem pro další funkci součásti. V případě kladných (tahových) napětí dochází ke snížení únavové pevnosti součásti, případná tahová napětí urychlují růst trhlin v povrchové vrstvě a snižují mez únavy. Naopak tlaková napětí zpomalují a zvyšují únavovou pevnost nebo uzavírají růst trhlin v povrchové vrstvě.

Zbytková napětí se vyskytují při obrábění díky plastické deformaci povrchu. Tato deformace vzniká:

- tepelným účinkem při nerovnoměrném ohřevu nebo ochlazování povrchu,
- změnou struktury při vysokých teplotách a deformaci,
- silovým účinkem řezných sil při obrábění,
- absorpcí plynů do povrchové vrstvy (kysličníky). [24]

Tribologické faktory/vlastnosti

- **Tření**
- **Opotřebení**
- **Tvrдость**

Hotový obrobek je často navržen jako část pohybového mechanismu, kde opotřebení nebo tření může být důležitým problémem. Dokončovací operace by proto měly být vybrány na základě jejich důsledku na odolnosti opotřebení částí, jejich koeficientu tření, jejich tvrdosti atd. [24]

Metalurgické faktory/vlastnosti

- **Mikrostruktura**
- **Fázové transformace**

Během dokončovacího procesu se může vyskytnout široká škála metalurgických efektů: tvorba zbytkového austenitu, objemové změny v důsledku fázové transformace, oxidace a další efekty se mohou stát důležitými v závislosti na mechanických a tepelných aspektech dokončovací operace.

Většina z metalurgických vlastností může být kvalitativně posuzována pomocí široké škály pozorovacích technik jako je metalografie, rastrovací elektronové mikroskopie a chemického leptání. [24]

Ostatní aspekty

- **Chemické, magnetické, optické nebo elektrické** vlastnosti hotové části mohou být dramaticky ovlivněny dokončovacím procesem. Např.: optické vlastnosti infračervených materiálů mohou být ovlivněny různými technikami zpracování; povrchové podmínky, zejména přítomnosti prasklin důsledkem křehkých lomů během dokončovacího procesu, mohou ovlivnit elektrické vlastnosti izolátorů. [24]

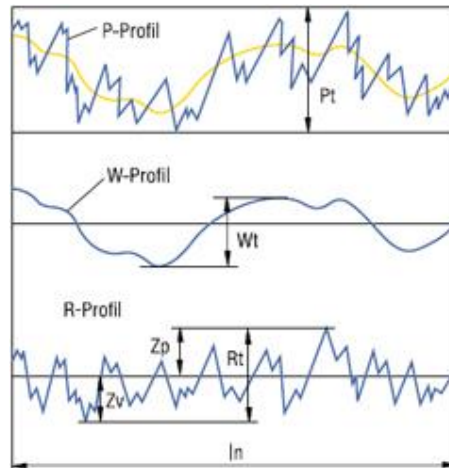
4.1 Drsnost povrchu

Charakterizace a měření struktury povrchu je velmi složitý problém, protože charakter opracovaného povrchu zahrnuje tři dimenze prostoru. Reálná geometrie povrchu je natolik složitá, že konečný počet parametrů nemůže poskytnout úplný popis. Kromě toho jsou všechna číselná hodnocení povrchu ovlivněna směrem a libovolným rozdílem mezi drsností a vlnitostí. Obrázek 18 poskytuje základní přehled terminologií používaných pro vyhodnocení povrchu, které se týkají nejčastějších standardních metod založených na střední čáře. Některé metody vyhodnocují rozměry profilu výškou, podélnými rozměry.

Parametry drsnosti, kterými jsou číselné hodnoty přiřazené k povrchu, je možné vypočítat buď ve 2D nebo 3D formě. 2D analýza profilu povrchu byla široce používána v laboratořích a výrobních halách více než polovinu století. V posledních letech došlo ke zvýšené potřebě analýzy 3D topografie povrchu vzhledem k potřebě posouzení aktuálního výkonu projektu. K dispozici je také zvýšený zájem o využití povrchové metrologie jako analytického nástroje poruch namísto vyhodnocení klasického materiálu nebo analýzu opotřebení mechanismů ve větším detailu. [22]

Parametry drsnosti povrchu jsou obvykle rozděleny do tří skupin podle jejich funkčnosti, tj. parametry amplitudy (vrchol nebo údolí), parametry rozteče (rozteč nesrovnalostí na povrchu) a hybridní parametry (určeno kombinací amplitudy a rozteče). Parametry amplitudy odhalují rozdíly ve výšce profilu povrchu. Parametry rozteče jsou citlivé ke změnám ve vlnové délce měřeného profilu a hybridní parametry měří oba prvky. Na rozdíl od toho Griffiths navrhuje parametry drsnosti 2D, které mají být rozděleny do šesti tříd, které popisují různé atributy profilu povrchu, včetně parametrů amplitudy, parametry distribuční amplitudy, parametry sklonu, prostorových parametrů další parametry a parametry motivu. [22]

- **P** - Profil: profil základního profilu,
- **W** - Profil: profil vlnitosti,
- **R** - Profil: profil drsnosti



Obr. 16 Parametry P , R , W na profilu povrchu [25]

Pt – Hloubka profilu DIN EN ISO 4287

Nejmenší vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými mezními přímkami z nefiltrovaného profilu povrchu uvnitř měřené délky l_n .

Pt je silně závislý na délce měřené délky l_n .

Pt slouží k vyhodnocování jednotlivých chyb povrchu. [25]

Wt – Hloubka vln DIN EN ISO 4287

Vzdálenost mezi nejvyšším a nejhlubším bodem vyrovnaného profilu vlnitosti (drsnot odfiltrována) uvnitř měřené délky l_n .

Značka W_t se používá ke kontrole výrobního postupu, u kterého vlnitost představuje funkční kritérium. [25]

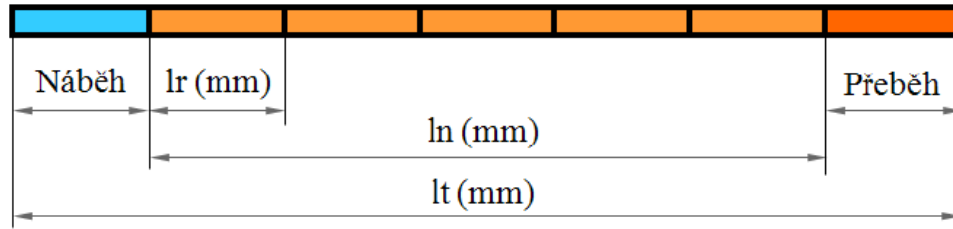
Rt – Největší hloubka drsnosti DIN EN ISO 4287

Svislá vzdálenost od nejvyšší špičky k nejhlubší rýze filtrovaného profilu drsnosti uvnitř měřené délky l_n .

Vztažnou čarou pro definici parametrů je uvnitř základní délky l_p , l_r , l_w střední čára. Pokud není stanoveno jinak je dovoleno měření pro zjištění parametrů drsnosti a vlnitosti přes $l_n = 5 l_r$ resp. $l_n = 5 l_w$ (l_p). [25]

Schéma měřicí dráhy snímače

$$\text{Náběh} = l_r \text{ (mm)} \quad l_n = n \times l_r \text{ (mm)} \quad l_t = l_n + 2 \times l_r \text{ (mm)} \quad \text{Přeběh} = l_r \text{ (mm)}$$



Obr. 17 Schéma měřicí dráhy snímače [25]

l_r – základní délka profilu drsnosti

l_n – vyhodnocovaná délka profilu

l_t – celková délka snímání

n – počet základních délek /1;3;5/

Základní délka l_r : je délka ve směru osy X, použitá pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil drsnosti.

Vyhodnocovaná délka l_n : je délka ve směru osy X, použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu.

Průměrná aritmetická úchylna posuzovaného profilu R_a – je aritmetický průměr absolutních hodnot všech pořadiv $Z(x)$ v rozsahu základní délky l_r . Geometricky se parametr R_a dá vyjádřit jako výška obdélníku sestrojeného na střední čáře, který má stejnou plochu jako nerovnosti profilu od střední čáry.

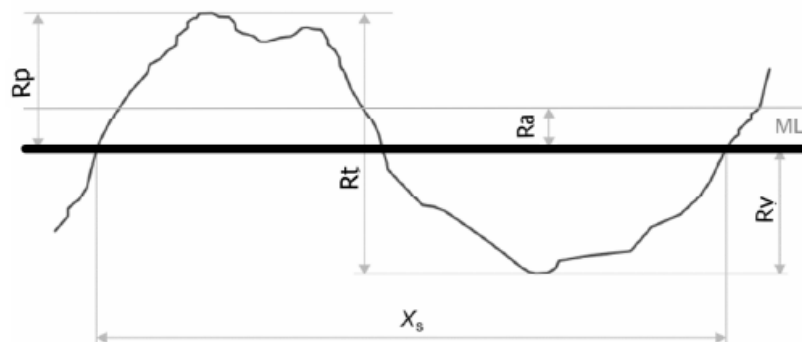
R_a je výškový parametr, který udává střední hodnotu vzdáleností zkoumaného povrchu od střední čáry daného profilu. Jedná se pouze o statistickou hodnotu, a proto nemusí být vždy efektivní při hodnocení drsnosti povrchu. Jeho měření je poměrně snadné a získané hodnoty vykazují značnou přesnost při opakovaném měření. [18]

Největší výška výstupku profilu R_p – je definována jako vzdálenost mezi střední čarou a nejvyšším bodem výstupku profilu. [4]

Největší hloubka prohlubně profilu R_v – je definována jako vzdálenost mezi střední čarou a nejnižším bodem prohlubně profilu. [20]

Celková výška profilu R_t – je součet nejvyššího výstupku profilu Z_p a nejnižší prohlubně profilu Z_v v rozsahu vyhodnocované délky l_n . [20]

Výška nerovnosti R_z – výška profilu je součtem nejvyššího výstupku profilu a hloubky nejnižší prohlubně profilu v jeho základní délce. [18]



Obr. 18 Prvek profilu [28]

4.2 Způsoby měření drsnosti povrchu

4.2.1 Dotyková metoda

Metoda dotyková je pro hodnocení povrchu nejrozšířenější. Její hlavní výhodou je možnost převodu z analogového záznamu do digitálního. Naměřené hodnoty používáme jako vztažené a srovnávací. Tyto hodnoty lze využít pro jiné metody měření [29].

Mezi výhody této metody řadíme přesnou reprodukovatelnost, tj. schopnost zobrazovat měřený profil. Stává se, že v důsledku tlaku na hrot snímače dochází k deformaci v povrchové vrstvě. To víceméně závisí na tvrdosti měřeného povrchu. Může dojít k tomu, že hrot snímače poškrábe, či jinak zdeformuje měřený povrch. To ovlivní výsledek měření. V neposlední řadě poškozený povrch po měření není ideální a vyžadovaný. [30]

Dotykové profiloměry s postupnou transformací profilu

Tato zařízení jsou nejrozšířenějšími a i nejdokonalejšími přístroji pro měření drsnosti povrchu. Po měřeném povrchu se posouvá rovnoměrnou rychlostí měřící dotek. Dotek se

vyznačuje velmi malým zaoblením hrotu. V opačném případě se posouvá kontrolovaná plocha. Změny ve výškových polohách měřícího hrotu, které způsobují nerovnosti, se mnohonásobně zvětšují některým z fyzikálních principů. Změny výšky doteku se buď znamenávají do tvaru profilografů, nebo se převádějí na analogové změny napětí nebo indukčnosti u elektrických metod. Změny elektrického signálu již umožní vyhodnocení jedné nebo libovolného počtu charakteristik drsnosti povrchu, které je docela snadné. Řadí se do skupiny přístrojů s postupnou transformací měřeného profilu.

Profilograf – dotykový přístroj, u kterého je výsledkem měření grafický záznam profilu.

Profilometr – přístroj vyhodnocuje automaticky některé z normalizovaných charakteristik drsnosti povrchu.

Profiloměr – kombinovaný přístroj profilometr-profilograf a také obecně dotykový přístroj na měření drsnosti povrchu.

Mechanicko-optické dotykové profilografy

Měřící hrot naklání při změně polohy zrcátka, a tím vychyluje odražený světelný paprsek, který vytváří na fotografickém materiálu zvětšený obraz profilu povrchu. Funkce vychylování je řešena velmi jednoduše přes pákový převod. Nejznámějším přístrojem tohoto druhu je Leitz Forsterův profilograf.

Přístroj pracuje způsobem cyklicky krokovým. Hrot vyrobený ze safíru je zdvihán elektromagnetem. Pracujícím při frekvenci od 50 do 100 Hz, synchronizovaný posuv stolu s měřenou součástí a posuv fotografického filmu řídí elektrický servo motorek.

Dotykové profiloměry s mechanicko-elektrickým převodem

Řadí se mezi nejrozšířenější přístroje. Mají velkou citlivost, jsou velmi přesné. Umožňují vyhodnocování více charakteristik drsnosti povrchu.

4.2.2 Bezdotyková metoda

Alternativou měření povrchu dotykovými profilometry je metoda optická. Jelikož se jedná o bezdotykové měření, je vyloučeno poškození měřeného povrchu. Světelným paprsek se odráží nebo rozptyluje na měřeném povrchu. Vzájemná interakce mezi světelným paprskem a povrchem je závislá na vlnové délce světla. Dále na drsnosti povrchu a také

vlastnostech měřeného tělesa. Hloubka vnikání světelného paprsku jistě také ovlivňuje výsledek měření. [31]

Metoda světelného řezu

Rovnoběžný svazek paprsků procházející zeleným filtrem a kondenzorem omezuje štěrbinou do tvaru velmi tenké světelné roviny, která je promítána soustavou čoček pod úhlem 45° na měřený povrch. Obraz profilu šikmého řezu nerovností plochy vzniká průnikem světelné roviny nerovnostmi. Odraz se pozoruje druhým mikroskopem (mikroskop musí být se stejnými optickými vlastnostmi jako osvětlovací mikroskop). Měřicí okulár má skleněnou destičku s nitkovým křížem, dále pomocnou stupnicí s milimetrovým dělením, která je orientována k nitkovému kříži úhlem 45° . Pomocí natáčení měřicího okuláru můžeme nastavit různou polohu nitkového kříže k proměřovanému profilu. Zaostruje se pouze jedna strana obrazu světelné štěrbině, protože hloubka ostroty mikroskopů je malá. Na profilu se nitkovým křížem a mikrometrickým šroubem měřicího okuláru měří výška nerovností povrchu. [18]

Interferenční metody měření drsnosti povrchu

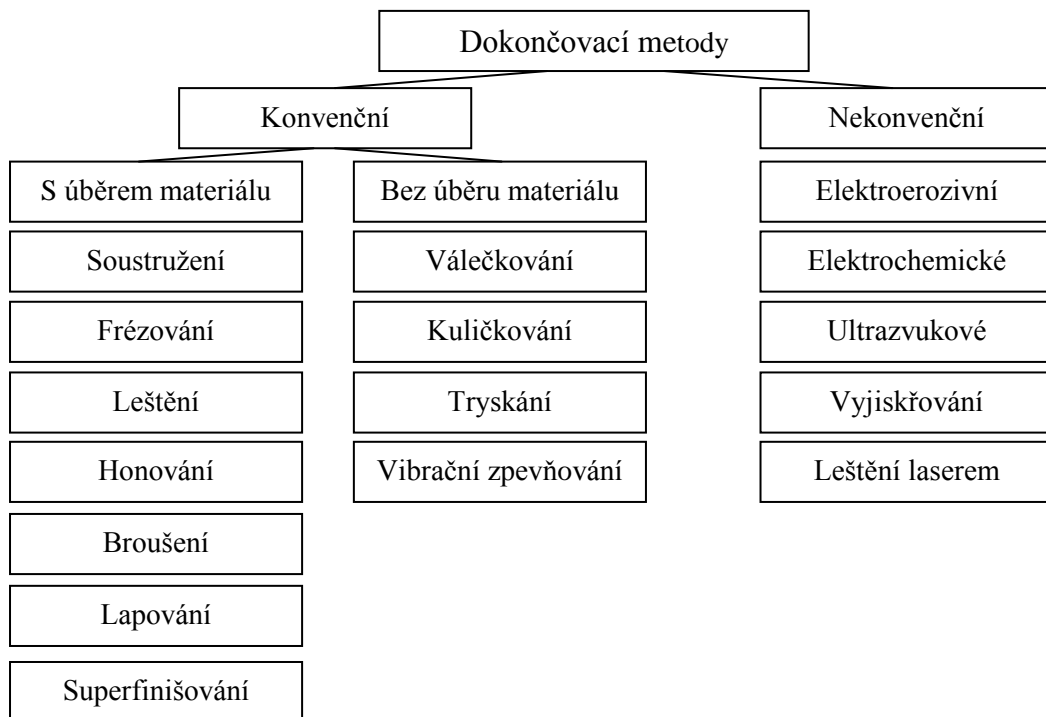
Při měření drsnosti velmi jemně obrobených povrchů, např. leštěných, broušených a superfinišovaných, jsou profily povrchu zkreslené i zaoblením měřicích hrotů. Toto vždy do určité míry zkresluje výsledky i nejdokonalejších profiloměrů. V těchto případech lze nejpřesněji měřit nerovnosti na povrchu menší než $1 \mu\text{m}$ optickými interferenčními metodami. Nejmenší výška nerovností měřitelná optickými interferenčními metodami je omezena vlnovou délkou monochromatického světla, dále charakterem nerovností měřeného povrchu a v neposlední řadě drsností porovnávací plochy. Podmínkou pro interferenční měření je dostatečná odrazivost světelných paprsků a malá drsnost povrchu. [18]

Použití plastických otisků pro měření drsnosti povrchu

Důvody, proč je měření drsnosti povrchu dotykovými profiloměry i optickými měřicími metodami omezeno, jsou hmotnost, rozměry součástí, nepřístupnosti ploch. Byl proto hledán jiný nepřímý způsob stanovení drsnosti povrchu prostřednictvím negativních otisků nerovností. Otisky reliéfů musí splňovat tyto podmínky: věrnost otisku až do zlomku mikrometru, musí být dostatečně silné, nedeformovat se. Musí vykazovat dostatečnou tvrdost, aby měřicí hrot nepoškodil jemnou strukturu otisku. [18]

4.3 Dokončovací operace

Dokončovací metody se dělí podle základních principů na konvenční a nekonvenční. Ne-konvenční jsou založené na chemických reakcích nebo fyzikálních jevech bez silového působení nástroje. Konvenční jsou založeny v odstranění daného přídatku na dokončení silovým působením a zahrnují varianty s úběrem a bez úběru materiálu. [27]



Obr. 19 Přehled dokončovacích metod [27]

Tab. 4. Dosahované drsnosti R_a a stupně přesnosti IT [27]

způsob obrábění	dosahovaná drsnost povrchu a přesnost
Honování	$R_a = 0,4 - 0,8$ IT 6 - 7
Lapování	$R_a = 0,02 - 0,05$ IT 1 - 3
Superfinašování	$R_a = 0,012 - 0,1$ IT 1 - 3

Tab. 5. Dosahované drsnosti R_a a stupně přesnosti IT [27]

způsob obrábění	dosahovaná drsnost povrchu a přesnost		
	hrubování	obrábění na čisto	jemné obrábění
soustružení	$R_a = 12,5 - 100$ IT 11 - 14	$R_a = 1,6 - 12,5$ IT 9 - 11	$R_a = 0,2 - 1,6$ IT 5 - 8
frézování	$R_a = 6,3 - 25$ IT 10 - 13	$R_a = 1,6 - 6,3$ IT 7 - 13	$R_a = 0,8 - 1,6$ IT 7 - 8
broušení	$R_a = 0,8 - 6,3$ IT 9 - 11	$R_a = 0,2 - 1,6$ IT 5 - 7	$R_a = 0,05 - 0,4$ IT 3 - 4

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POUŽITÉ MATERIÁLY

5.1 Materiály tvarových dutin

Pro zjištění vlivu materiálu vstřikovací formy, při otisknutí jakosti povrchu z tvarové vložky na polymerní výrobek, byly použity tři materiály, které se v praxi nejčastěji využívají. Jmenovitě se jednalo o ocel, měď, dural. Tyto materiály byly vybrány z hlediska různých teplotních vodivostí. Bylo tedy nutné se zaměřit na vliv ochlazování tvarové dutiny z hlediska jakosti polymerního výrobku (výstřiku). Proto po těchto zjištěních musela být upravena délka chlazení výstřiku vzhledem k použitému materiálu tvarové vložky.

5.1.1 Ocel ČSN 19552.4 (EN 1.2343)

Jedná se o ocel, která je určena pro práci za tepla (nástrojová ocel). Je kalitelná jak v oleji, tak i na vzduchu. Využívá se také pro nástroje chlazené vodou. Obvykle se využívá pro nástroje velmi namáhané teplem, jako jsou např.: matrice, lisovací trny, nástroje pro výrobu šroubů a matic za tepla, nástroje pro tlakové lití, vložky zápustek lisovacího nářadí, nože pro stříhání za tepla. [18]

Tab. 6 Vybrané vlastnosti oceli ČSN 19552.4 (EN 1.2343) [18]

Vlastnosti	
Hustota [kg/m^3]	7850
Měrná tepelná kapacita C_p při teplotě 20 °C [$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	460
Tepelná vodivost při teplotě 20 °C [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	25
Tepelná vodivost [$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$]	0,05
Modul pružnosti při 20 °C [MPa]	215000
Mez pevnosti R_m po zušlechtnění [MPa]	1200

5.1.2 Dural ČSN 424222 (EN AW-7075)

Dural je obchodní název pro slitiny 90-96% hliníku a 4-6% mědi s přísadami hořčíku, manganu atd. Dural má až pětkrát vyšší pevnost a tvrdost oproti čistému hliníku a má i nepatrně vyšší hustotu. Používá se v různých oblastech průmyslu ve tvaru lisovaných a válcovaných polotovarů, volných a zápustkových výkovek. Je určen pro vysoce namáhané konstrukce dlouhodobě pracující do teploty 120°C, např. pro leteckou výrobu: kryty, vý-

ztuže, přepážky. Materiál má nízkou tažnost a vysokou mez pevnosti. Je citlivý na vrubový účinek. Používá se pouze ve stavu vytvrzeném za tepla. Stárnutí je doprovázeno snížením pevnosti i tažnosti a zvýšením korozní odolnosti. [20]

Tab. 7 Vybrané vlastnosti duralu ČSN 424222 (EN AW-7075) [20]

Vlastnosti	
Hustota [kg/m^3]	2850
Měrná tepelná kapacita C_p při teplotě 20 °C [$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	960
Tepelná vodivost při teplotě 20 °C [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	150
Tepelná vodivost [$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$]	0,16
Modul pružnosti při 20 °C [MPa]	76000
Mez pevnosti R_m po zušlechtění [MPa]	500

5.1.3 Měď ČSN 423001 (EN CW004A)

Měď se prezentuje výbornou elektrickou a tepelnou vodivostí. Zpracovává se jak za studena, tak i za tepla převážně ražením a hlubokým tažením. Po žihání na vzduchu musí následovat moření k odstranění oxidické povrchové vrstvy, ale také můžeme proces žihání provést v neutrální argonové atmosféře. Vzhledem k obsahu kyslíku v mědi nesmí být použita vodíková atmosféra při žihání, hrozí nebezpečí výbuchu. Vodík silně narušuje povrch slitiny. [19]

Tab. 8 Vybrané vlastnosti mědi ČSN 423001 (EN CW004A) [19]

Vlastnosti	
Hustota [kg/m^3]	8890
Měrná tepelná kapacita C_p při teplotě 20 °C [$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	380
Tepelná vodivost při teplotě 20 °C [$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$]	388
Tepelná vodivost [$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$]	1,02
Modul pružnosti při 20 °C [MPa]	115000
Mez pevnosti R_m po zušlechtění [MPa]	395

5.2 Polymerní materiály

Polymerní materiály, které se často označují jako plasty či plastické hmoty, jsou velmi významné. V dnešní době jsou tyto materiály rozšířeny po celém světě a vyskytují se téměř ve všech odvětvích lidských činností. V dnešním světě se polymery staly samozřejmostí. Moderní život si bez nich už ani nedokážeme představit.

5.2.1 PP – SYNTEGUM 1020 AFV/HFML

Prvním použitým materiálem byl semikrystalický polypropylen, přesným názvem polypropylen - SYNTEGUM 1020 AFV/HFML.

Tab. 9 Vlastnosti materiálu PP SYNTEGUM 1020 [32]

Vlastnosti	
Hustota (23°C) [g/cm ³]	1.04
Teplota tání [°C]	190
Mez pevnosti v tahu [MPa]	65
Mez pevnosti v ohybu [MPa]	100
Modul pružnosti v tahu [MPa]	3200

5.2.2 PC - polycarbonate resin calibre 303EP-22

Druhým použitým materiálem byl amorfni polykarbonát, přesným názvem PC - polycarbonate resin calibre 303EP-22

Tab. 10 Vlastnosti materiálu polycarbonate resin calibre 303EP-22 [32]

Vlastnosti	
Hustota (23°C) [g/cm ³]	1.20
Teplota tání [°C]	150
Mez pevnosti v tahu [MPa]	65
Mez pevnosti v ohybu [MPa]	97
Modul pružnosti v tahu [MPa]	2300

6 POUŽITÉ STROJE A ZAŘÍZENÍ

6.1 Vstřikovací stroj

K výrobě zkušebních vzorků byl použit vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470H viz Obr. 20. Stroj je umístěn v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství a slouží k vstřikování vzorků pro studentské práce, ale taktéž pro vědeckou činnost.



Obr. 20 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470 H

Tab. 11 Základní vlastnosti vstřikovacího stroje

Uzavírací jednotka	
Maximální zdvih vyhazovače [mm]	175
Maximální vyhazovací síla [kN]	40
Otevření maximální [mm]	500
Vzdálenost mezi sloupky [mm]	470x470
Uzavírací síla [kN]	1000
Vstřikovací jednotka	
Maximální krouticí moment šneku [Nm]	700
Maximální hmotnost vstřikované dávky [g]	232
Maximální objem vstřikované dávky [cm ³]	254
Maximální vstřikovací tlak [MPa]	158
Maximální zdvih šneku [mm]	160
Poměr šneku L/D	18
Průměr šneku [mm]	48
Základní parametry vstřikovacího stroje	
Rozměry vstřikovacího stroje (d x š x v) [mm]	4030x1645x2050
Hmotnost stroje (bez oleje) [kg]	4900

6.1.1 Technologické podmínky vstřikování

Nastavené parametry vstřikování jsou zaznamenány v Tab. 12. Tyto podmínky byly z důvodu srovnávání nástrojových materiálů použity pro všechny materiály (ocel, dural, měď). Jelikož nebyla forma temperována, docházelo na začátku vstřikování k potížím s vyhozením výstřiku, který setrával v pravé straně formy. Výstřik bylo potom obtížné ručně odformovat. Po několika takovýchto cyklech se forma částečně vytemperovala a tyto problémy se již neobjevily.

Tab. 12 Technologické podmínky při vstřikování

Parametry	PP	PC
Vstřikovací tlak [Bar]	600	600
Dotlak [Bar]	600	600
Vstřikovací rychlost [mm.s⁻¹]	70	70
Doba chlazení [s]	30	30
Dávkování [mm]	18	18
Přepnutí [mm]	8	8
Uzavírací síla [kN]	1000	1000
Doba dotlaku [s]	10	10
Teplota zóny 2 [°C]	160	250
Teplota zóny 3 [°C]	175	260
Teplota zóny 4 [°C]	185	265
Teplota zóny 5 [°C]	195	270
Teplota zóny 6 [°C]	205	275
Teplota trysky [°C]	210	275
Teplota sušení [°C]	80	120
Doba sušení [hod.]	3	16

6.2 Sušička granulátu Arburg Thermolift

Velké množství polymerních materiálů je hydrofilních, a proto je nutné je před zpracováním sušit (zbavit vlhkosti). Při nedostatečném vysušení nám nastanou problémy při vstřikování. Sušení probíhalo v sušičce, která je k dispozici na Ústavu výrobního inženýrství. (Obr. 21)

Tab. 13 Základní vlastnosti sušičky granulátu

Základní parametry sušičky granulátu	
Maximální objem sušeného materiálu [l]	100
Maximální teplota sušení [°C]	160
Příkon topení [kW]	4,5
Příkon ventilátoru [kW]	0,95
Množství suchého vzduchu [m ³ /hod]	90
Množství regenerovaného vzduchu [m ³ /hod]	20



Obr. 21 Sušička granulátu Arburg Thermolift

Sušička pracuje s přívodem čerstvého vzduchu, ale i s recirkulací vzduchu. Je možnost kontinuálně dodávat granulát do vstřikovacího stroje, ale tato možnost nebyla využita. Stroj může být naprogramován na samostatné spuštění a ukončení procesu sušení. Záleží na naprogramování obsluhou. [15]

6.3 Profiloměr Taylor Hobson Form Talysurf 50

Přístroj Taylor Hobson Form Talysurf 50 (Obr. 22) byl použit při měření drsnosti tvarových dutin vstřikovací formy a také zkušebních vzorků vyrobených vstřikováním. Profiloměrem můžeme měřit základní parametry drsnosti (R_a , R_z , apod.) a vlnitosti, analýz úchylek tvaru, které měří a vyhodnocuje poloměry, úhly, sklony a rozměry.



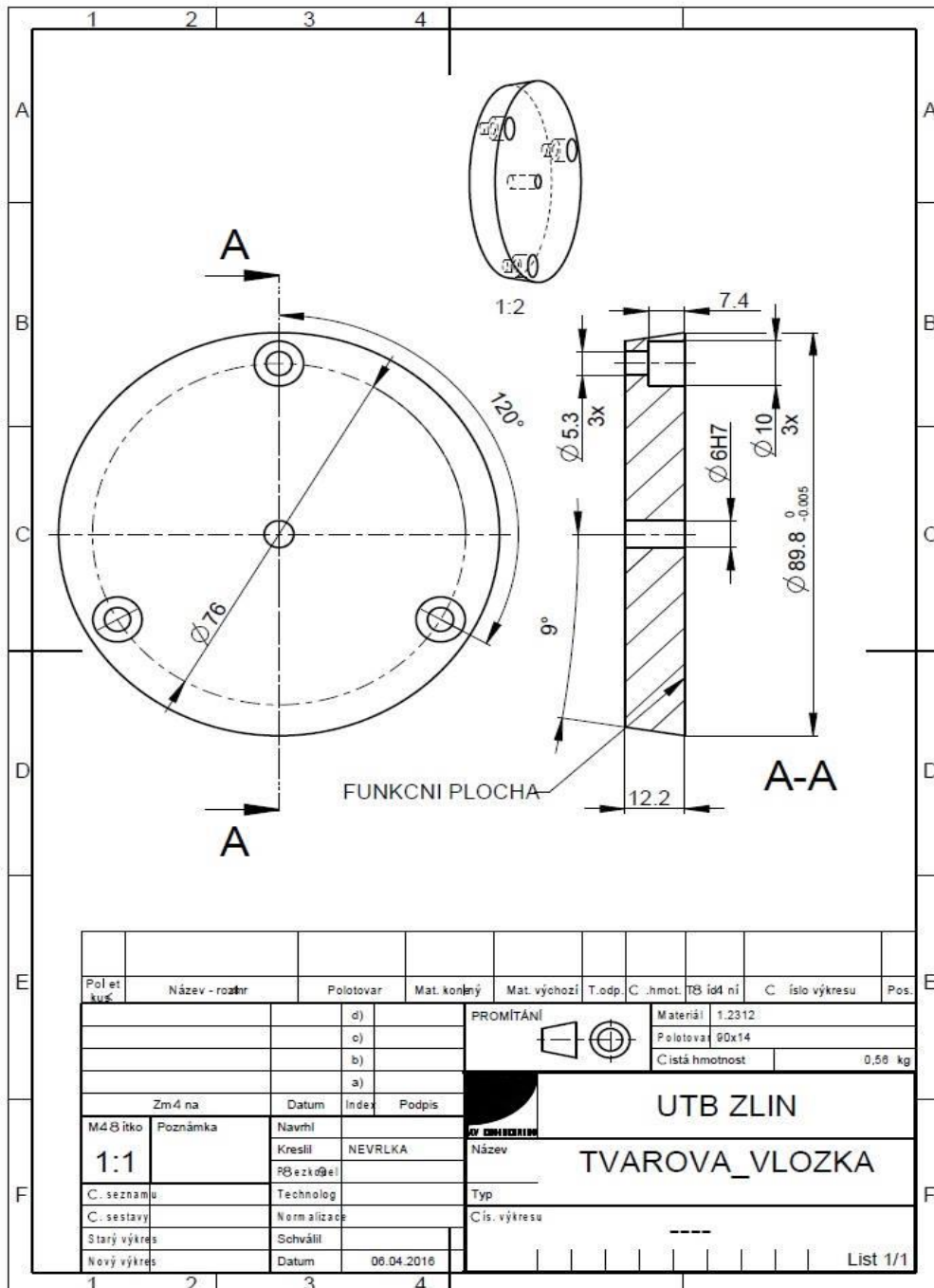
Obr. 22 Profiloměr Taylor Hobson Form Talysurf 50

Tab. 14 Technická specifikace profiloměru Taylor

Charakteristika přístroje	
Rozměry L x D x H	Posuvová jednotka 343x116x160 mm
Hmotnost	4,9 kg
Parametry drsnosti	R_{3y} , R_{3z} , R_a , R_c , R_{da} , R_{dc}^* , R_{dq} , R_z , $RHSC^*$, R_{ku} , R_{lo} , R_{lq} , $R_{mc}(c)^*$, $R_z(DIN)$, R_{mr}^* , R_p , R_{p1max} , R_{pc}^* , RS , $R_z(JIS)$, R_{sk} , R_{Sm} , R_t , R_v , R_{vo}^* , R_{v1max} , R_{z1max} , R_{ln} , R_q ,
Horizontální charakteristika	
Délka snímání	0,1 – 50 mm
Rychlost měření (snímání)	10 mm/s, maximálně: 0,25 mm/s
Úchylka přímosti	0,4 μ m na 50mm
	0,2 μ m na libovolných 20mm
Vertikální charakteristika	
Nominální rozsah měření	1 mm
Rozlišení	16 mm v rozsahu 1 mm
Poměr rozsahu k rozlišení	65,536 : 1

7 VÝROBA TVAROVÝCH DUTIN

Za účelem výzkumu byly vyrobeny tvarové dutiny (Obr. 23) o různých drsnostech povrchu. Tyto tvarové dutiny jsou konstruovány tak, aby byly snadno vyměnitelné ve vstřikovací formě. Z hlediska výroby byl u každé tvarové dutiny ponechán přírůstek na dokončovací operace.



Obr. 23 Výkres tvarové vložky vstřikovací formy

7.1 Ocelové tvarové dutiny

Dokončovací operace a technologické podmínky:

Tvarová dutina č. 1

- Soustruženo s použitím řezné kapaliny: hloubka řezu $a_p=0,10\text{mm}$; posuv $f=0,01\text{mm/ot}$; $n=250\text{ot/min}$.
- Broušeno za pomoci brousících hranolů Minimo se zrnitostí 1200, 900 a 600.
- Lapováno pastou JOKE Magic, velikost zrna: 45 a $25\mu\text{m}$.
- Leštěno vatou s pastou Novapax s velikostí zrna $5\mu\text{m}$, $1\mu\text{m}$ a $0,5\mu\text{m}$.
- Celková doba výroby tvarové dutiny přibližně 4 hodiny.

Tvarová dutina č.2

- Soustruženo s použitím řezné kapaliny: hloubka řezu $a_p=0,10\text{mm}$; posuv $f=0,01\text{mm/ot}$; $n=250\text{ot/min}$.
- Broušeno za pomoci brousících kamenů se zrnitostí 1200, 900 a 600.
- Lapováno pastou JOKE Magic, velikosti zrna: $15\mu\text{m}$.
- Lapováno pastou JOKE Magic, velikosti zrna: $7\mu\text{m}$.
- Celková doba výroby tvarové dutiny přibližně 2 hodiny.

Tvarová dutina č. 3

- Broušeno s použitím řezné kapaliny a vyjiskřováním: hloubka řezu $a_p=0,005\text{mm}$; posuv $v_f=7\text{m/min}$; řezná rychlost $v_c=29,4\text{m/s}$.
- Broušeno brousícím papírem Klingspor P2000 zrnitosti 2000 za použití řezné kapaliny.
- Leštěno leštící pastou s plstí Novapax $10\mu\text{m}$ za použití řezné kapaliny
- Celková doba výroby tvarové dutiny 1 hodina.

Tvarová dutina č. 4

- Broušeno s použitím řezné kapaliny a vyjiskřováním: hloubka řezu $a_p=0,005\text{mm}$; posuv $v_f=7\text{m/min}$; řezná rychlost $v_c=29,4\text{m/s}$.
- Leštěno leštící pastou s plstí Novapax $20\mu\text{m}$. Leštěno 10 minut na soustruhu při maximálních otáčkách.
- Celková doba výroby tvarové dutiny 0,5 hodin.

Tvarová dutina č. 5

- Broušeno s použitím řezné kapaliny a vyjiskřováním: hloubka řezu $a_p=0,005\text{mm}$; posuv $v_f=7\text{m/min}$; řezná rychlost $v_c=29,4\text{m/s}$.
- Broušeno brousícím papírem Klingspor P2000 zrnitosti 2000 za použití procesní kapaliny. Broušeno 5 minut na soustruhu při maximálních otáčkách.
- Celková doba výroby tvarové dutiny přibližně 20 minut.

Tvarová dutina č. 6 až 10

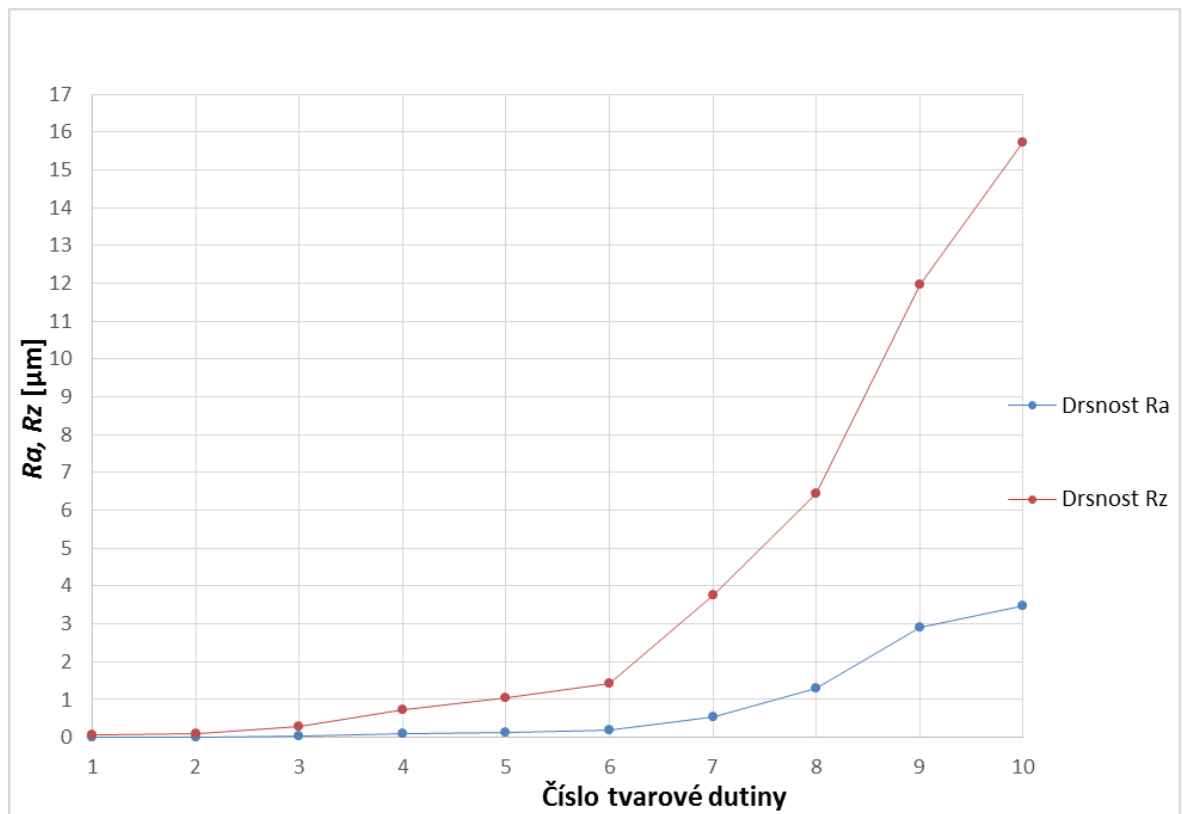
Tab. 15 Technologické podmínky použité při dokončování funkční plochy soustružením

Materiál		Ocel ČSN 19552.4				
Číslo tvarové dutiny		6	7	8	9	10
Axiální šířka záběru	a_p [mm]	0,10	0,10	0,10	0,3	0,1
Posuv	f [mm/ot]	0,01	0,04	0,16	0,15	0,32
Otáčky	n [1/min]	250	125	125	125	125
Procesní kapalina		MICROTREND 217 M	-	-	-	-

- Celková doba výroby tvarové dutiny přibližně 10 minut.

Tab. 16 Ocelová tvarová dutina

Ocelová tvarová dutina R_a				Ocelová tvarová dutina R_z		
Číslo vzorku	Průměr R_a [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměr R_z [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,008	0,001	0,001	0,081	0,016	0,017
2	0,009	0,001	0,001	0,085	0,010	0,011
3	0,040	0,007	0,007	0,294	0,057	0,060
4	0,099	0,003	0,003	0,720	0,050	0,053
5	0,127	0,008	0,009	1,042	0,143	0,151
6	0,200	0,010	0,011	1,427	0,100	0,106
7	0,539	0,030	0,031	3,761	0,316	0,333
8	1,290	0,045	0,047	6,458	0,343	0,362
9	2,908	0,037	0,039	11,956	0,153	0,162
10	3,465	0,079	0,083	15,734	0,517	0,545



Obr. 24 Porovnání drsnosti Ra , Rz u ocelové tvarové dutiny

Porovnání drsnosti Ra a Rz u ocelové tvarové dutiny je vidět na Obr. 24. Při použití odlišných technologických podmínek dokončování a při použití odlišných technologií se drsnost Ra a Rz mění. Vyšší hloubka úběru, vyšší posuv a menší otáčky vedou ke zvýšení drsnosti povrchu Ra . Maximální hodnota drsnosti Ra byla dosažena u tvarové dutiny č. 10 $Ra = 3,465 \mu\text{m}$. U drsnosti Rz je pozorováno pozvolné zvyšování hodnot u dutiny č. 1 – 6. Poté se křivka skokově mění a hodnoty drsnosti Rz oproti Ra jsou přibližně pětkrát až sedmkrát vyšší.

7.2 Duralové tvarové dutiny

Dokončovací operace a technologické podmínky:

Tvarová dutina č. 1

- Soustruženo s použitím řezné kapaliny: hloubka řezu $a_p=0,10\text{mm}$; posuv $f=0,01\text{mm/ot}$; $n=250\text{ot/min}$.
- Broušeno za pomoci brousících hranolů Minimo se zrnitostí 1200, 900 a 600.
- Lapováno lapovací pastou JOKE Magic o velikosti zrna 45 a $25\mu\text{m}$.
- Leštěno vatou s pastou Novapax s velikostí zrna $5\mu\text{m}$, $1\mu\text{m}$ a $0,5\mu\text{m}$ – ot. = 2800ot/min
- Celková doba výroby tvarové dutiny přibližně 4 hodiny.

Tvarová dutina č. 2

- Soustruženo s užitím procesní kapaliny: hloubka řezu $a_p=0,10\text{mm}$; posuv $f=0,01\text{mm/ot}$; $n=250\text{ot/min}$.
- Broušeno za pomoci brousících kamenů se zrnitostí 1200, 900 a 600.
- Lapováno lapovací pastou JOKE Magic o velikosti zrna $15\mu\text{m}$.
- Lapováno lapovací pastou JOKE Magic o velikosti zrna $7\mu\text{m}$.
- Celková doba výroby tvarové dutiny přibližně 2 hodiny.

Tvarová dutina č. 3

- Broušeno s použitím řezné kapaliny a vyjiskřováním: hloubka řezu $a_p=0,005\text{mm}$; posuv $v_f=7\text{m/min}$; řezná rychlost $v_c=29,4\text{m/s}$.
- Broušeno brousícím papírem Klingspor P2000 zrnitosti 2000 za použití procesní kapaliny.
- Leštěno leštící pastou s plstí Novapax $10\mu\text{m}$ za použití procesní kapaliny.
- Celková doba výroby tvarové dutiny přibližně 1 hodina.

Tvarová dutina č. 4

- Broušeno s použitím řezné kapaliny a vyjiskřováním: hloubka řezu $a_p=0,005\text{mm}$; posuv $v_f=7\text{m/min}$; řezná rychlost $v_c=29,4\text{m/s}$.
- Leštěno leštící pastou s plstí Novapax $20\mu\text{m}$ za použití procesní kapaliny.
- Celková doba výroby tvarové dutiny přibližně 0,5 hodin.

Tvarová dutina č. 5

- Broušeno s použitím řezné kapaliny a vyjiskřováním: hloubka řezu $a_p=0,005\text{mm}$; posuv $v_f=7\text{m/min}$; řezná rychlost $v_c=29,4\text{m/s}$.
- Broušeno brousícím papírem Klingspor P2000 zrnitosti 2000 za pomoci procesní kapaliny.
- Celková doba výroby tvarové dutiny přibližně 20 minut.

Tvarová dutina č. 6 - 10

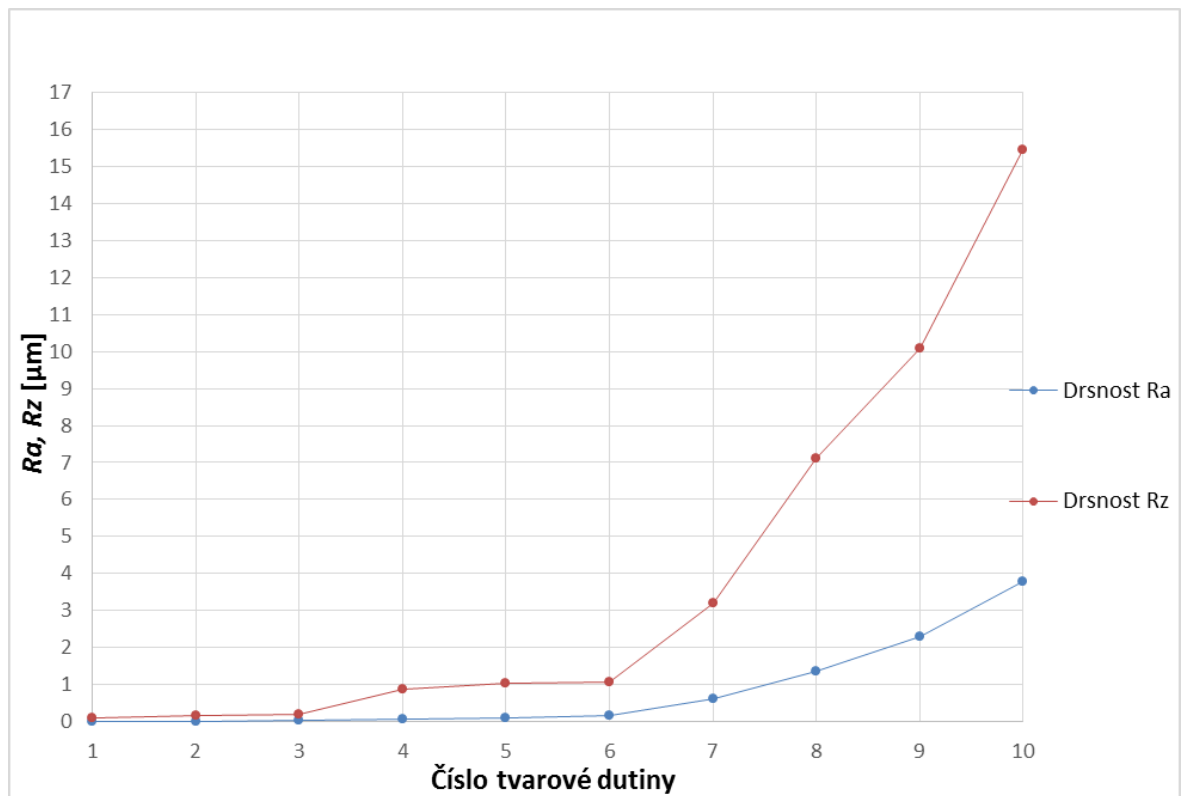
Tab. 17 Technologické podmínky soustružení tvarových dutin z duralu

Materiál		Dural 424222				
Číslo tvarové dutiny		6	7	8	9	10
Axiální šířka záběru	a_p [mm]	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Přísuv	f [mm/ot]	0,01	0,04	0,15	0,19	0,24
Otáčky	n [1/min]	250	125	125	125	125
Procesní kapalina		MICROTREND 217 M				

- Celková doba výroby tvarové dutiny přibližně 10 minut.

Tab. 18 Duralová tvarová dutina

Duralová tvarová dutina R_a				Duralová tvarová dutina R_z		
Číslo vzorku	Průměr R_a [μ m]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměr R_z [μ m]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,010	0,001	0,001	0,115	0,013	0,014
2	0,013	0,001	0,001	0,180	0,037	0,039
3	0,023	0,003	0,003	0,202	0,019	0,020
4	0,067	0,006	0,007	0,872	0,105	0,111
5	0,109	0,005	0,006	1,041	0,153	0,161
6	0,158	0,008	0,009	1,059	0,098	0,103
7	0,624	0,018	0,019	3,194	0,143	0,151
8	1,365	0,098	0,103	7,115	0,327	0,345
9	2,286	0,069	0,072	10,091	0,211	0,223
10	3,784	0,057	0,060	15,460	0,626	0,660



Obr. 25 Porovnání drsnosti Ra , Rz u duralové tvarové dutiny

Na Obr. 25 lze pozorovat, že u duralové tvarové dutiny je dosaženo podobné drsnosti jako u ocelové dutiny. Je zřejmé, že odlišné technologické podmínky mění drsnost povrchu Ra a Rz . U tvarové dutiny č. 1 byly použity vysoké otáčky při leštění v porovnání s ocelí, protože dural a měď jsou hůře obrobitelné a bylo zde nutné k dosažení vysoké kvality povrchu nastavit otáčky při leštění až na hodnotu 2800 ot/min.

7.3 Měděné tvarové dutiny

Dokončovací operace a technologické podmínky:

Tvarová dutina č. 1 – č. 5

- Byly použity shodné dokončovací operace i technologické podmínky jako u materiálu dural, které jsou popsány v kapitole 7.2.

Tvarová dutina č. 6 – č. 10

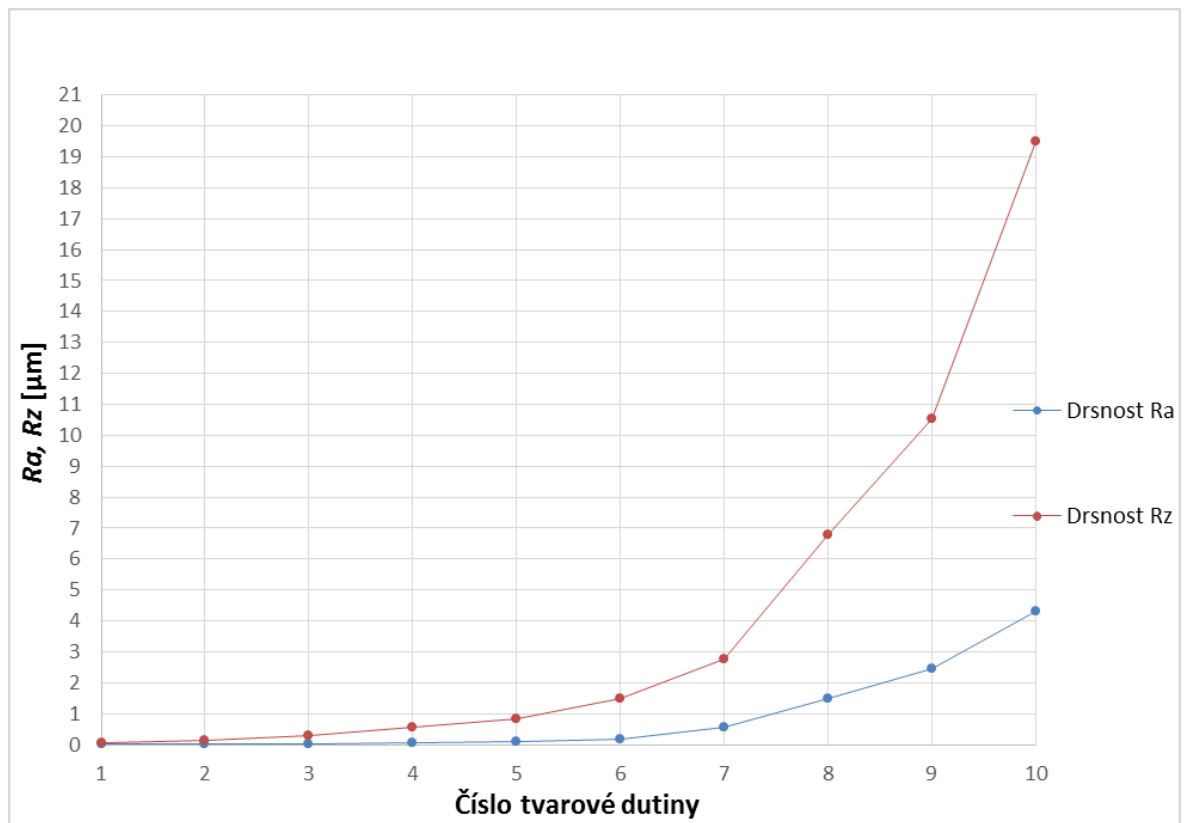
Tab. 19 Technologické podmínky soustružení tvarových dutin z mědi

Materiál		Měď ČSN 423001				
Číslo tvarové dutiny		6	7	8	9	10
Axiální šířka záběru	a_p [mm]	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Přísuv	f [mm/ot]	0,01	0,04	0,15	0,19	0,24
Otáčky	n [1/min]	250	125	125	125	125
Procesní kapalina		MICROTREND 217 M				

- Celková doba výroby tvarové dutiny přibližně 10 minut.

Tab. 20 Měděná tvarová dutina

Měděná tvarová dutina R_a				Měděná tvarová dutina R_z		
Číslo vzorku	Průměr R_a [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměr R_z [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,008	0,001	0,001	0,067	0,012	0,013
2	0,013	0,002	0,002	0,150	0,040	0,042
3	0,040	0,003	0,004	0,311	0,052	0,055
4	0,061	0,010	0,011	0,551	0,124	0,131
5	0,108	0,004	0,004	0,849	0,128	0,135
6	0,162	0,008	0,008	1,483	0,228	0,240
7	0,560	0,006	0,006	2,749	0,156	0,164
8	1,489	0,013	0,013	6,771	0,140	0,148
9	2,468	0,016	0,017	10,529	0,075	0,079
10	4,317	0,094	0,100	19,489	0,967	1,019



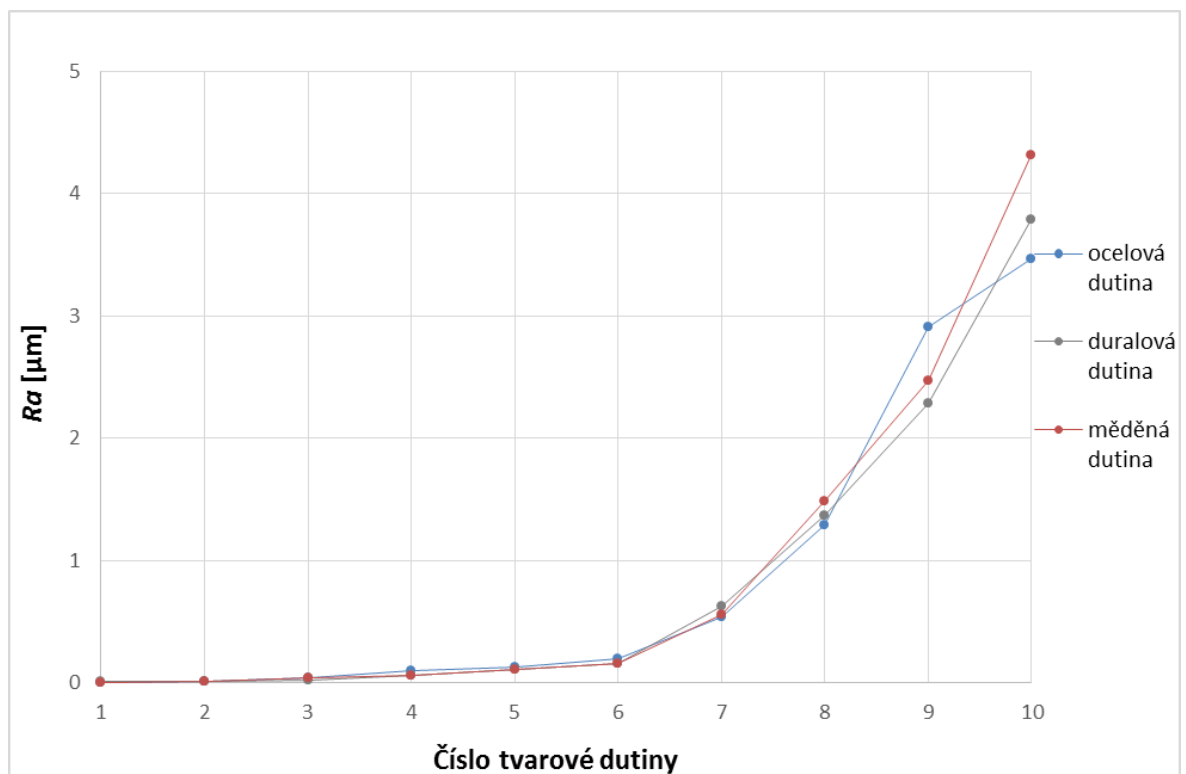
Obr. 26 Porovnání drsnosti Ra , Rz u měděné tvarové dutiny

U měděné tvarové dutiny, která je sledována na Obr. 26, je vidět velmi podobný graf jako u ocelové i duralové tvarové dutiny. Jediný podstatný rozdíl je v nejvyšších drsnostech, kdy drsnost Ra dosahuje nejvyšší hodnoty ze všech třech dutin, a to je 4,317 μm . Stejně tak i drsnost povrchu Rz , která dosahuje nejvyšších hodnot také u měděné tvarové dutiny. Nejvyšší naměřená drsnost Rz činila 19,489 μm . Nastavené technologické podmínky zapříčinily, že tvarová dutina č. 10 dosahovala nejvyšší hodnoty drsností Ra a Rz .

7.4 Porovnání parametrů drsnosti Ra a Rz

Tab. 21 Porovnání parametru drsnosti Ra u tvarových dutin

Průměrné hodnoty parametru drsnosti Ra u tvarových dutin [μm]										
Číslo dutiny	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ocelová tvarová dutina	0,008	0,009	0,040	0,099	0,127	0,200	0,539	1,290	2,908	3,465
Duralová tvarová dutina	0,010	0,013	0,023	0,067	0,109	0,158	0,624	1,365	2,286	3,784
Měděná tvarová dutina	0,008	0,013	0,040	0,061	0,108	0,162	0,560	1,489	2,468	4,317



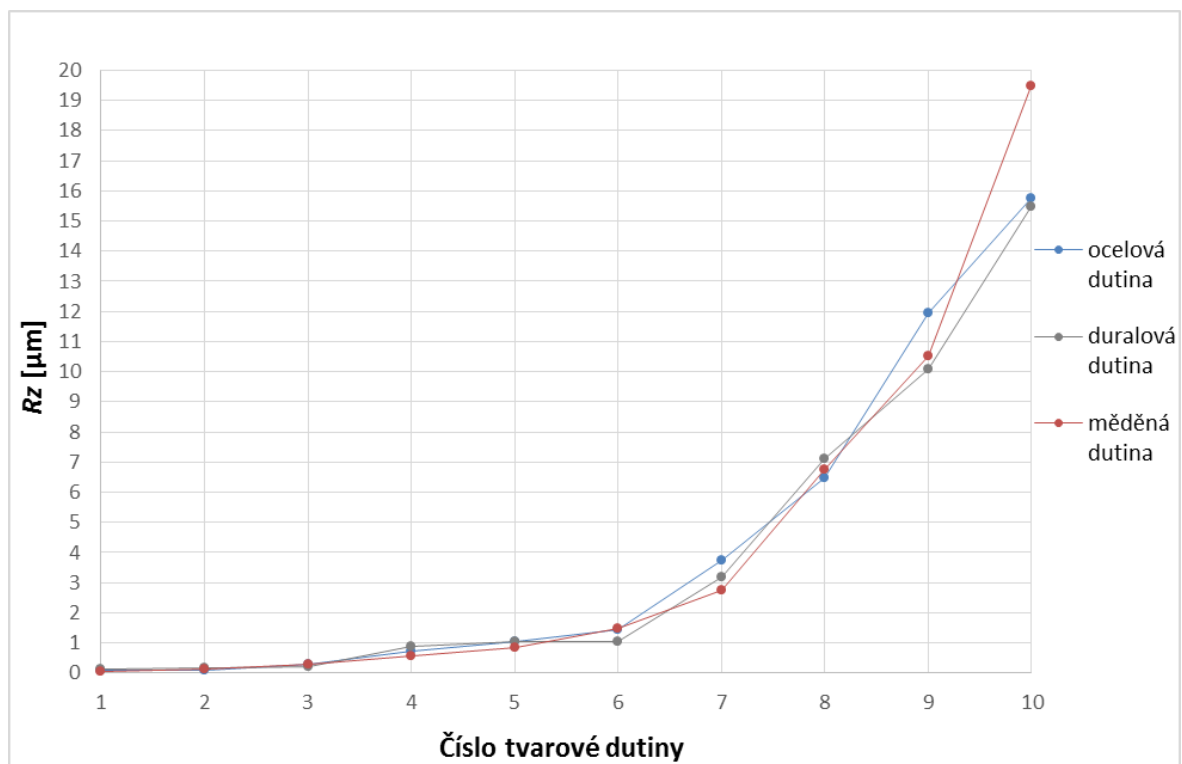
Obr. 27 Porovnání drsnosti Ra u tvarových dutin

Na Obr. 27 lze pozorovat porovnávání parametru drsnosti Ra u všech tvarových dutin (ocelová, duralová, měděná). Jak je vidět na obrázku, tvarové dutiny č. 1 – č. 6 se u ocelové, měděné a duralové dutiny liší jen velmi málo a jejich drsnost je velmi podobná. Od tvarové dutiny č. 6 se křivky mírně mění, to znamená, že se více odlišuje drsnost tvarových dutin. Lze pozorovat menší odchylku v porovnání s durallem a mědí, vhodnou změnou technologických podmínek by bylo dosaženo drsnosti Ra, které by se více blížila hodnota parametru drsnosti Ra dosažené u mědi a duralu. U tvarových dutin č. 10 je pozorována nejvyšší drsnost u měděné dutiny 4,317 μm , následuje ji duralová dutina, která má hodnotu 3,784 μm . Nejnižší hodnota parametru drsnosti Ra je u ocelové tvarové dutiny 3,465 μm . V tomto experimentu je nicméně důležité sledovat zejména vhodnost či nevhodnost velmi přesných

dokončovacích operací použitých u dutiny č. 1 až č. 5. Proto mírná odchylka u tvarové dutiny č. 9 a č. 10 není až tak podstatná.

Tab. 22 Porovnání parametru drsnosti R_z u tvarových dutin

Průměrné hodnoty parametru drsnosti R_z u tvarových dutin [μm]										
Číslo dutiny	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ocelová tvarová dutina	0,081	0,085	0,294	0,720	1,042	1,427	3,761	6,458	11,956	15,734
Duralová tvarová dutina	0,115	0,180	0,202	0,872	1,041	1,059	3,194	7,115	10,091	15,460
Měděná tvarová dutina	0,067	0,150	0,311	0,551	0,849	1,483	2,749	6,771	10,529	19,489



Obr. 28 Porovnání drsnosti R_z u tvarových dutin

Na Obr. 28 je vidět, že hodnoty drsnosti R_z jsou si velmi podobné u jednotlivých označení dutin pro všechny materiály. Je pozorováno, že čím větší je číslo tvarové dutiny tím vyšší je hodnota drsnosti R_z . Stále se však hodnoty značně podobají. Ne vždy se dají nastavit ideální technologické podmínky, tak aby bylo dosaženo přesně stejného povrchu. Nejvíce se zaměřujeme na tvarové dutiny č. 1 až č. 6. Dutiny č. 1 a č. 2 jsou obdobné jako u předchozí drsnosti R_a . U měděné tvarové dutiny se hodnota měřeného vzorku č. 10 zastaví na 19,489 μm , což je ze všech tvarových dutin největší drsnost.

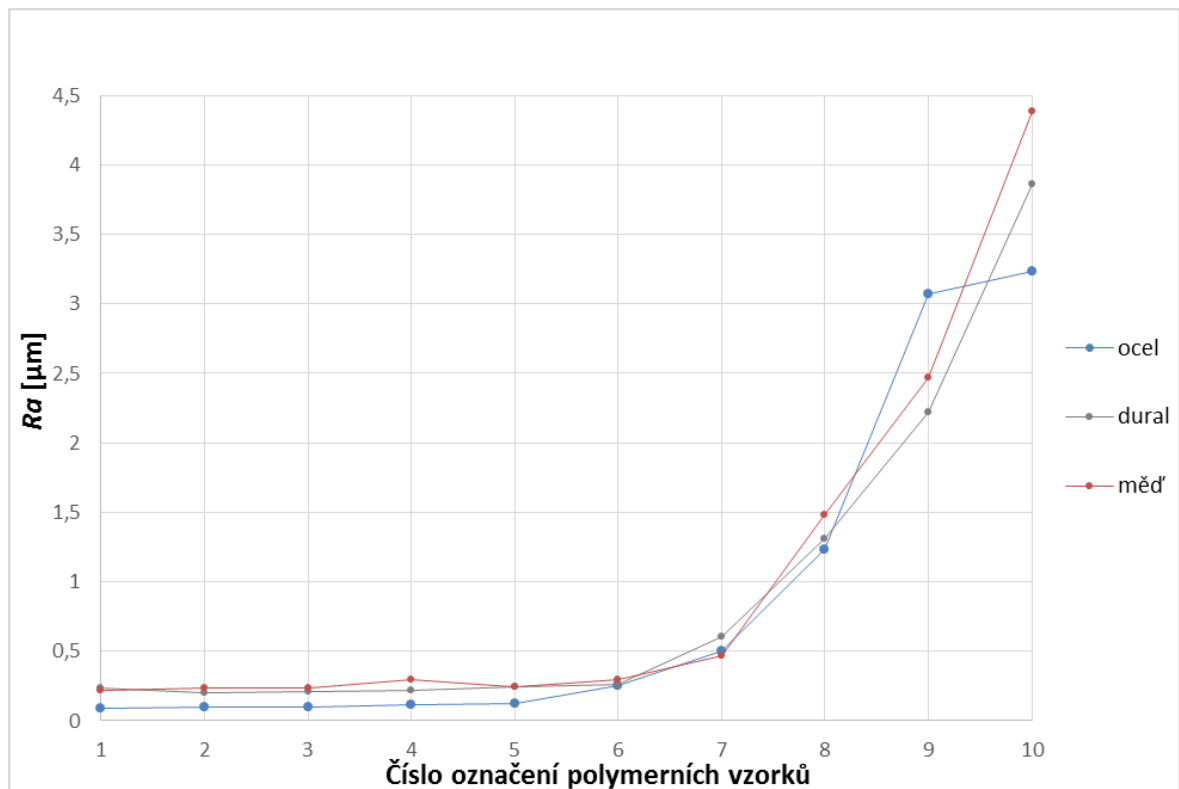
8 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

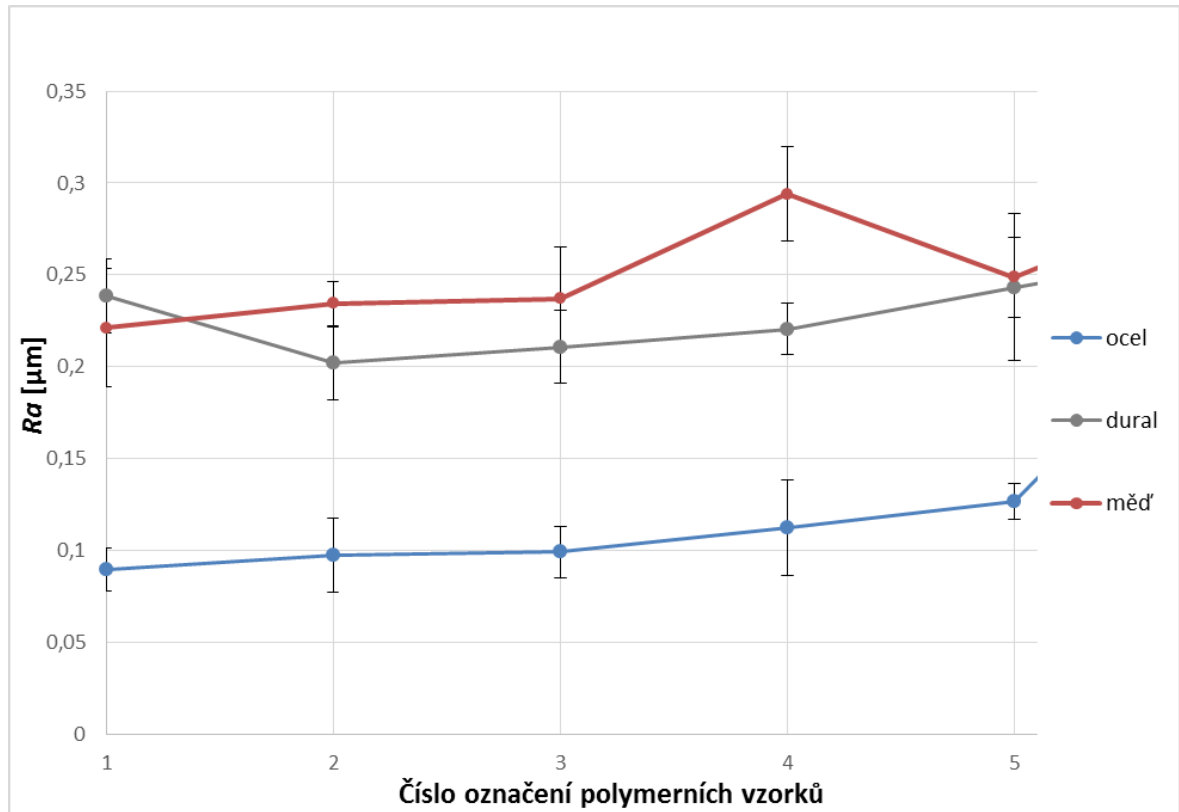
8.1 Parametr drsnosti Ra – materiál PP

Naměřená data drsnosti Ra u polymerního materiálu PP a různých tvarových dutin byla vyhodnocena a zapsána do Tab. 23 a graficky zobrazena v Obr. 29 a 30.

Tab. 23 Vyhodnocená data parametrů drsnosti Ra polymerních vzorků z PP

Číslo vzorku	Ocelová tvarová dutina			Duralová tvarová dutina			Měděná tvarová dutina		
	Průměr Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměr Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměr Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,089	0,006	0,006	0,239	0,010	0,011	0,221	0,016	0,017
2	0,098	0,010	0,010	0,202	0,010	0,011	0,234	0,006	0,006
3	0,099	0,007	0,007	0,211	0,010	0,011	0,237	0,014	0,015
4	0,112	0,013	0,014	0,220	0,007	0,007	0,294	0,013	0,013
5	0,126	0,005	0,005	0,243	0,020	0,021	0,249	0,011	0,011
6	0,252	0,017	0,017	0,265	0,012	0,013	0,298	0,013	0,013
7	0,502	0,042	0,044	0,607	0,022	0,023	0,469	0,037	0,039
8	1,228	0,025	0,026	1,310	0,076	0,079	1,482	0,042	0,044
9	3,072	0,125	0,131	2,220	0,072	0,076	2,471	0,026	0,028
10	3,233	0,104	0,109	3,858	0,085	0,090	4,387	0,127	0,134



Obr. 29 Závislost drsnosti R_a polymerních vzorků z PP na materiálu tvarové dutinyObr. 30 Detail závislosti drsnosti R_a polymerních vzorků z PP na materiálu tvarové dutiny

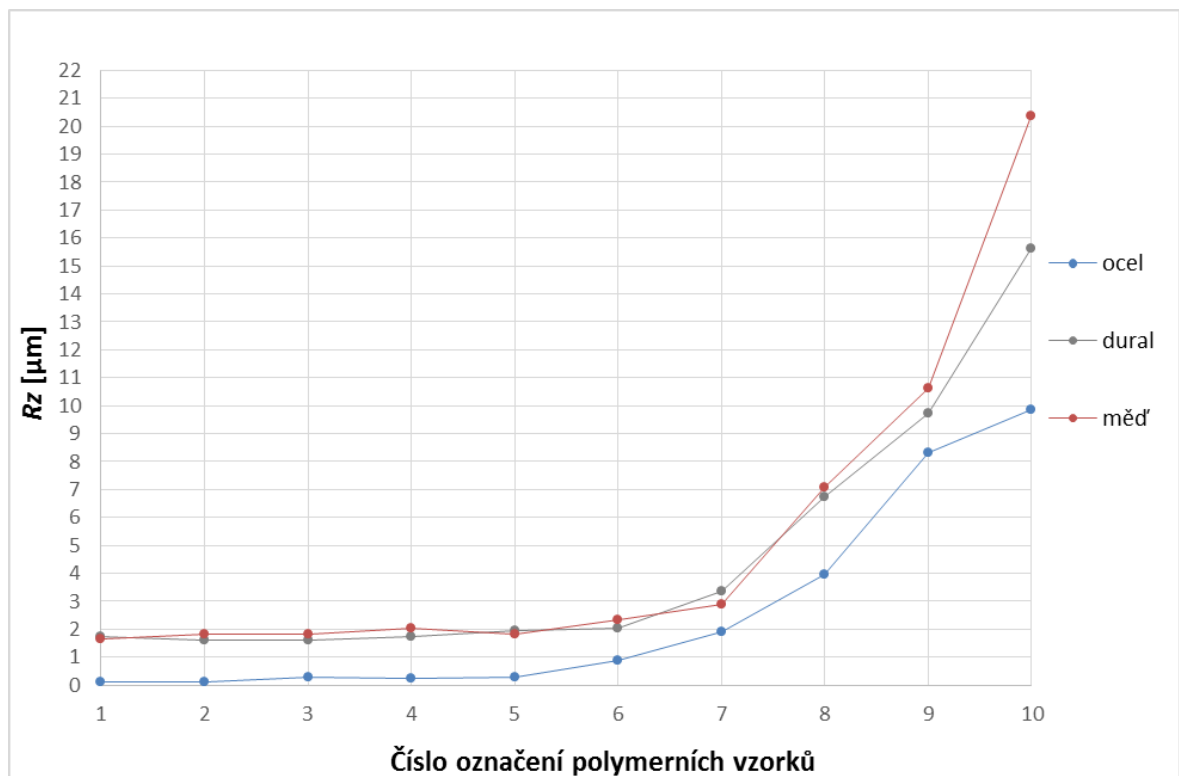
Z grafu drsnosti R_a u PP v závislosti na materiálu tvarové dutiny Obr. 29 a 30 je patrné, že drsnost PP vyšla mnohem lépe u ocelové tvarové dutiny než u duralové a měděné. Měď má teplotní vodivost téměř šestkrát vyšší než ocel, dural třikrát vyšší. Zřejmě zde dochází k tomu, že se tavenina rychleji ochlazuje, čímž se snižuje viskozita taveniny a vstříkovaný polymer nedokáže kopírovat povrch tvarové dutiny. Na detailním Obr. 30 je vidět, že u duralu není příliš vhodné při použití materiálu PP tvarové dutiny leštit, ani lapovat jelikož hodnota parametru drsnosti polymerních vzorků je podobná, jako při použití broušené tvarové dutiny. Je důležité zvážit přínos velmi drahých dokončovacích operací lapování a leštění, neboť kvalita povrchu polymerních výrobků se již příliš nemění v porovnání s použitím broušené tvarové dutiny.

8.2 Parametr drsnosti R_z – materiál PP

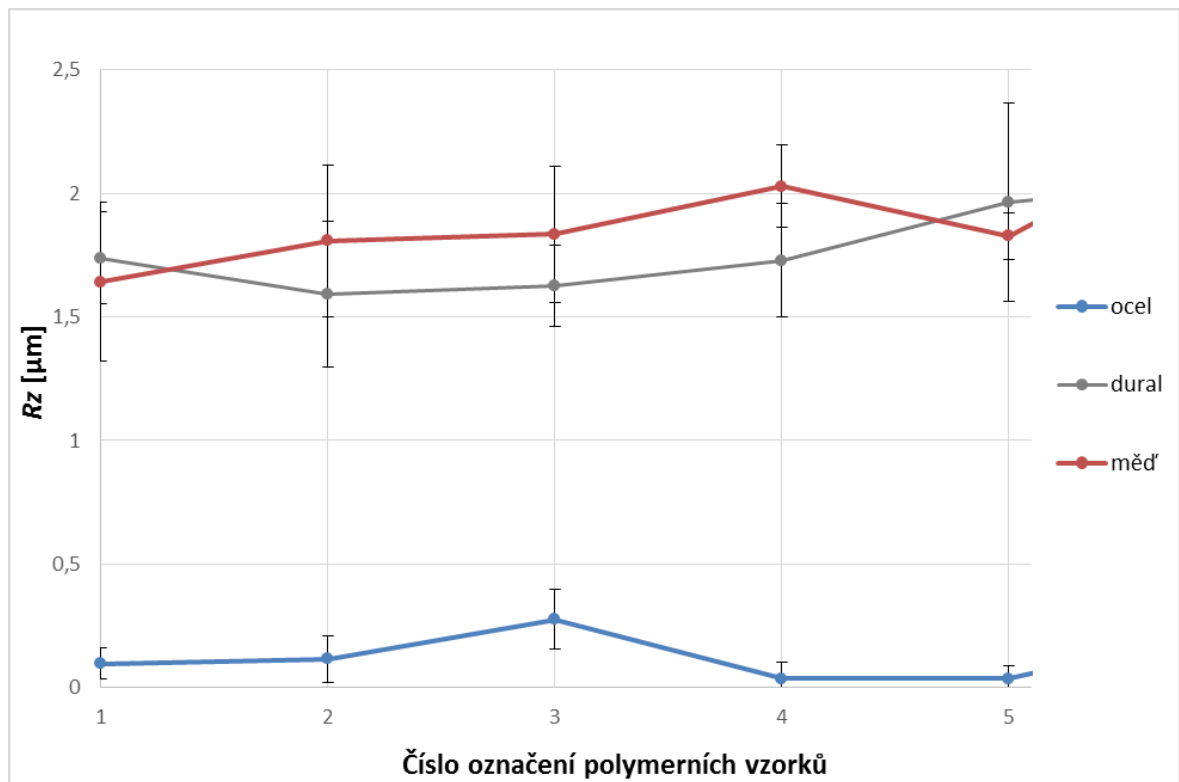
Naměřená data drsnosti R_z u polymerního materiálu PP a různých tvarových dutin byla vyhodnocena a zapsána do Tab. 24 a graficky zobrazena na Obr. 31 a 32.

Tab. 24 Vyhodnocená data parametrů drsnosti R_z polymerních vzorků z PP

Číslo vzorku	Ocelová tvarová dutina			Duralová tvarová dutina			Měděná tvarová dutina		
	Průměr R_z [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměr R_z [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměr R_z [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,098	0,031	0,033	1,738	0,093	0,097	1,641	0,161	1,641
2	0,116	0,047	0,050	1,593	0,148	0,155	1,808	0,154	1,808
3	0,277	0,060	0,063	1,626	0,083	0,087	1,834	0,138	1,834
4	0,243	0,034	0,036	1,728	0,115	0,120	2,029	0,084	2,029
5	0,275	0,026	0,027	1,964	0,200	0,210	1,827	0,047	1,827
6	0,880	0,105	0,110	2,051	0,146	0,153	2,318	0,266	2,318
7	1,891	0,442	0,465	3,367	0,122	0,128	2,891	0,225	2,891
8	3,948	0,173	0,183	6,721	0,333	0,349	7,063	0,161	7,063
9	8,316	0,227	0,240	9,744	0,253	0,265	10,647	0,290	10,647
10	9,874	0,556	0,586	15,638	0,549	0,576	20,367	2,125	20,367



Obr. 31 Závislost drsnosti R_z polymerních vzorků z PP na materiálu tvarové dutiny



Obr. 32 Detail závislosti drsnosti Rz polymerních vzorků z PP na materiálu tvarové dutiny

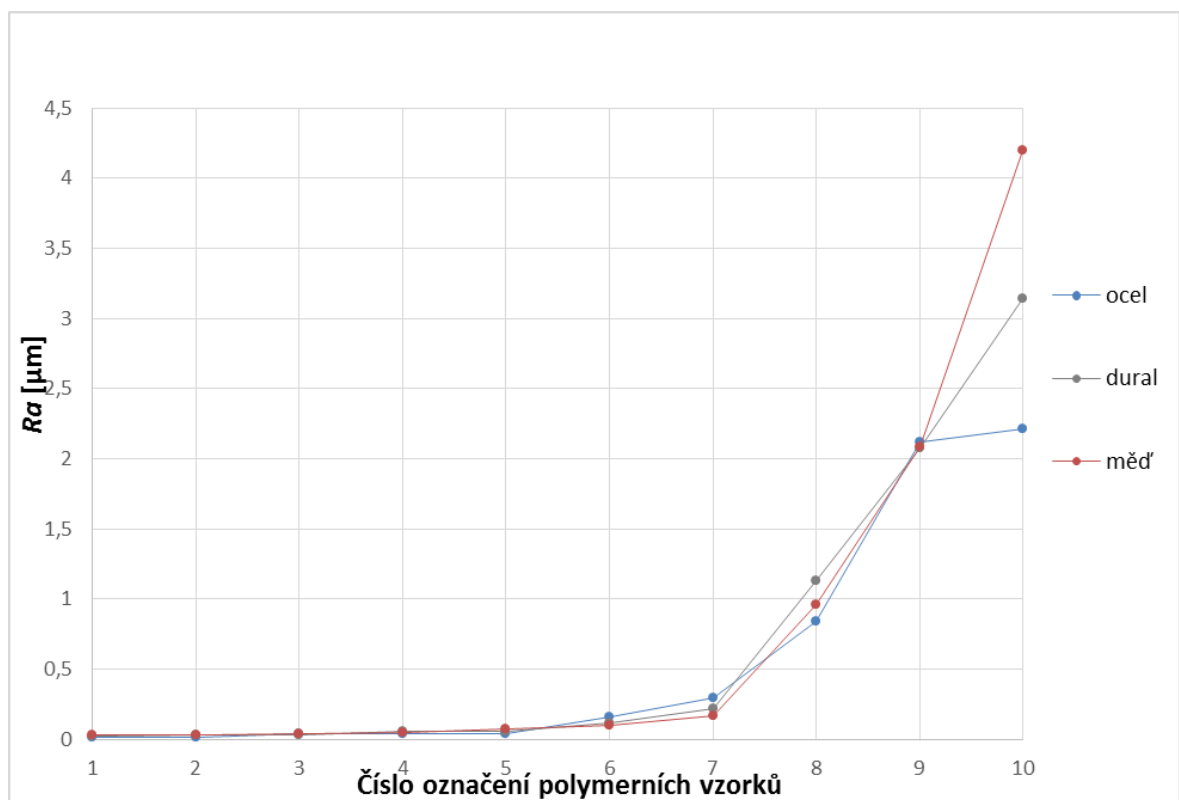
Z Obr. 31 je zřejmé, že u polymerních vzorků z PP byly naměřeny nejnižší hodnoty drsnosti Rz při použití ocelových tvarových dutin. Na Obr. 32 je pozorováno prvních pět polymerních vzorků. Jak je vidět drsnosti Rz polymerních vzorků jsou velmi podobné při použití tvarové dutiny č. 1 až č. 5 a to pro všechny materiály tvarových dutin, a proto je nezbytné zvažovat přínos leštění a lapování tvarové dutiny. U dutiny z oceli konkrétně u vzorku č. 4, který byl opracován broušením a leštěn brousící pastou, a u vzorku č. 5, který byl opracován broušením a brousícím papírem, jsou hodnoty velmi podobné. Je nutné zdůraznit dokončovací operace, odstranění dokončovacích operací leštění a lapování nejen zkrátí výrobní časy, ale rovněž sníží cenu vstříkovací formy, která se odráží v ceně výrobku.

8.3 Parametr drsnosti Ra – materiál PC

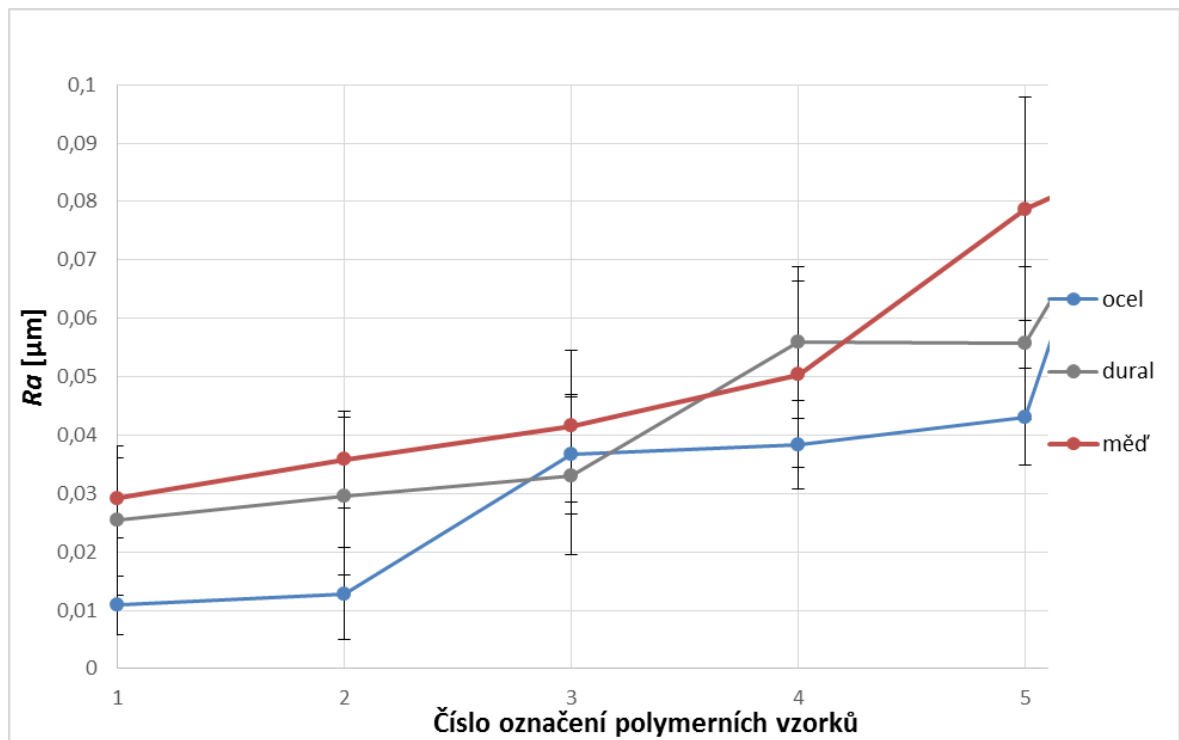
Naměřená data drsnosti Ra u polymerního materiálu PC a různých tvarových dutin byla vyhodnocena a zapsána do Tab. 25 a graficky zobrazena na Obr. 33 a 34.

Tab. 25 Vyhodnocená data parametrů drsnosti Ra polymerních vzorků z PC

Číslo vzorku	Ocelová tvarová dutina			Duralová tvarová dutina			Měděná tvarová dutina		
	Průměr Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměr Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměr Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,011	0,003	0,003	0,025	0,006	0,007	0,029	0,003	0,004
2	0,013	0,004	0,004	0,030	0,007	0,007	0,036	0,004	0,004
3	0,037	0,005	0,005	0,033	0,007	0,007	0,042	0,007	0,007
4	0,038	0,004	0,004	0,056	0,006	0,007	0,050	0,008	0,008
5	0,043	0,004	0,004	0,056	0,007	0,007	0,079	0,010	0,010
6	0,159	0,016	0,016	0,120	0,008	0,009	0,096	0,008	0,009
7	0,299	0,025	0,027	0,221	0,014	0,014	0,167	0,007	0,008
8	0,840	0,057	0,060	1,135	0,108	0,114	0,962	0,064	0,068
9	2,121	0,068	0,072	2,078	0,162	0,170	2,085	0,079	0,084
10	2,217	0,151	0,159	3,146	0,086	0,090	4,197	0,231	0,244



Obr. 33 Závislost drsnosti Ra polymerních vzorků z PC na materiálu tvarové dutiny



Obr. 34 Detail závislosti drsnosti R_a polymerních vzorků z PC na materiálu tvarové dutiny

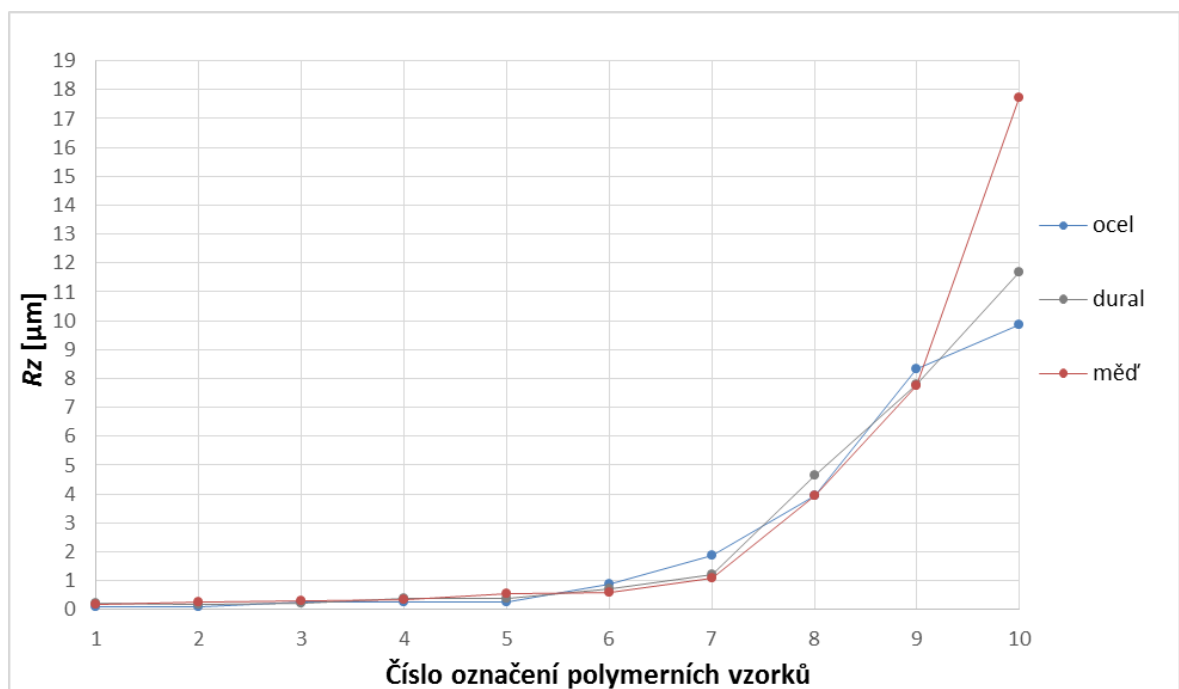
Na Obr. 33 a 34 je pozorována drsnost povrchu R_a polymerních vzorků z PC na materiálu tvarových dutin z oceli, duralu a mědi. Na Obr. 34 je patrné, že jako nejlepší se jeví ocelová tvarová dutina. Nicméně hodnoty drsností R_a se pro použité nástroje velmi podobají, což potvrdily i vložené odchylky v grafech. U polymerních vzorků č. 1 a č. 2 je velká podobnost drsností R_a a z toho je patrné, že leštění v případě použití polymerního materiálu PC není příliš potřebné, neboť tento materiál již není schopen kopírovat vysokou kvalitu leštěné tvarové dutiny. Výroba tvarové dutiny č. 1 je velmi nákladná a časově náročná (až 4 hodiny) u tvarové dutiny č. 2 je čas na výrobu poloviční a to přibližně 2 hodiny. Délka výrobního procesu a použití drahých dokončovacích operací ovlivňuje nejen cenu vstřikovací formy, ale také cenu polymerního výrobku. U amorfního PC není velký rozdíl při použití mědi, duralu a oceli. Při použití tohoto polymerního materiálu tak lze u malosériové výroby nahradit materiál ocel za dural, jehož cena je několikanásobně nižší.

8.4 Parametr drsnosti R_z – materiál PC

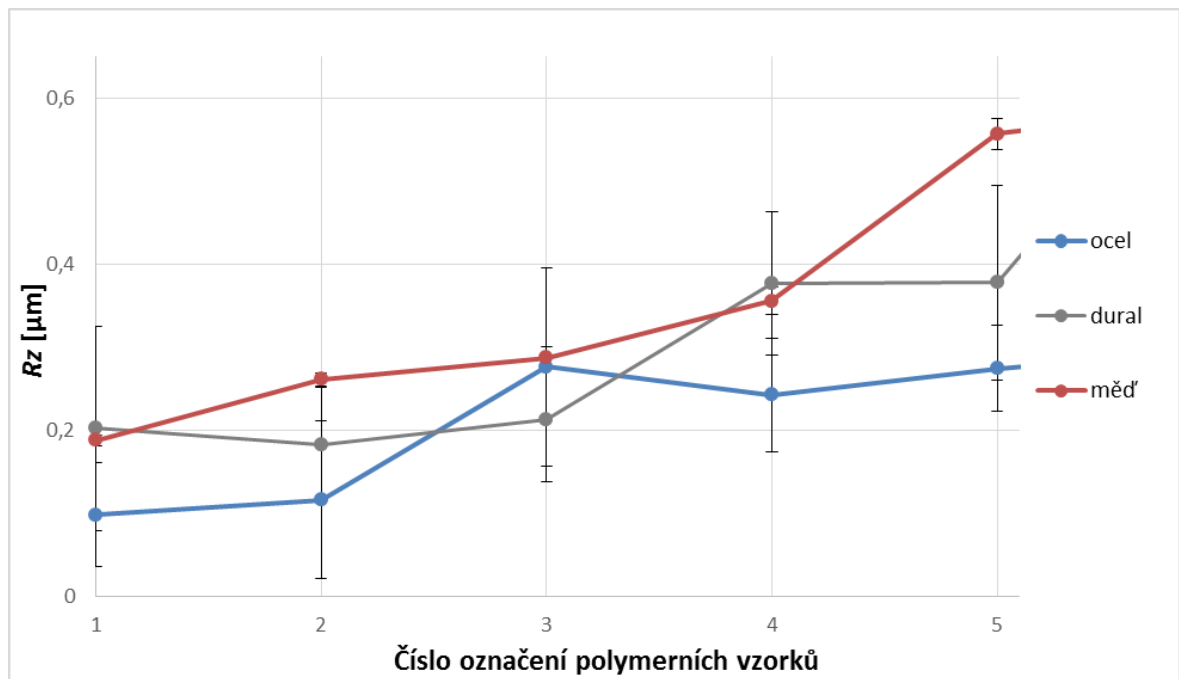
Naměřená data drsnosti R_z u polymerního materiálu PC a různých tvarových dutin byla vyhodnocena a zapsána do Tab. 26 a graficky zobrazena na Obr. 35 a 36.

Tab. 26 Vyhodnocená data parametrů drsnosti R_z polymerních vzorků z PC

Číslo vzorku	Ocelová tvarová dutina			Duralová tvarová dutina			Měděná tvarová dutina		
	Průměr R_z [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměr R_z [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměr R_z [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,098	0,031	0,033	0,203	0,062	0,065	0,188	0,020	0,021
2	0,116	0,047	0,050	0,183	0,034	0,036	0,262	0,044	0,047
3	0,277	0,060	0,063	0,213	0,037	0,039	0,287	0,084	0,089
4	0,243	0,034	0,036	0,377	0,043	0,046	0,356	0,045	0,047
5	0,275	0,026	0,027	0,378	0,058	0,062	0,557	0,109	0,115
6	0,880	0,105	0,110	0,696	0,058	0,061	0,590	0,059	0,062
7	1,891	0,442	0,465	1,227	0,065	0,069	1,079	0,059	0,062
8	3,948	0,173	0,183	4,653	0,409	0,431	3,931	0,250	0,264
9	8,316	0,227	0,240	7,790	0,536	0,565	7,766	0,369	0,389
10	9,874	0,556	0,586	11,683	0,177	0,187	17,742	1,575	1,661



Obr. 35 Závislost drsnosti R_z polymerních vzorků z PC na materiálu tvarové dutiny



Obr. 36 Detail závislosti drsnosti R_z polymerních vzorků z PC na materiálu tvarové dutiny

Na Obr. 35 a 36 se pozoruje drsnost povrchu R_z u materiálu PC v závislosti na materiálu tvarové dutiny. U polymerních vzorků č. 1 a č. 2 je pozorováno, že drsnosti R_z jsou podobné. Lapovaná tvarová dutina je dostatečná, protože leštěná už nedosáhne takových kvalit jako tvarová dutina. Polymerní materiál PC není schopen kopírovat leštěnou tvarovou dutinu. Tento polymerní materiál je amorfní, lépe teče, a proto nestačí tvarové dutiny brousit jako např. u polymerního materiálu PP, ale musí se lapovat. Lapovaná tvarová dutina vede ke snížení času a následným nižším ekonomickým výdajům. Toto tvrzení platí i u polymerních vzorků vyrobených z duralové tvarové dutiny. Polymerní materiál je tedy i přes přítomnost materiálu s větší schopností ochlazovat polymerní taveninu schopen kopírovat jakost povrchu tvarových dutin. Tento fakt je důležitý především pro malosériovou výrobu, kde může dural z důvodu až 4x nižší pořizovací hodnoty nahradit ocel.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl výzkum vlivu materiálu vstřikovací formy na jakost povrchu polymerního výrobku.

V teoretické části diplomové práce byly uvedeny, rozděleny a popsány základní dokončovací metody, základní rozdělení polymerů. Dále byla popsána technologie vstřikování a jednotlivé části vstřikovacího stroje. Byly zde také zmíněny materiály vstřikovacích forem. Teoretická část je zakončena vysvětlenými pojmy z hlediska integrity povrchu.

V praktické části diplomové práce bylo prvním cílem vyrobit ze tří různých materiálů tvarové dutiny vstřikovací formy. V našem případě se jednalo pouze o dokončení měděných a duralových tvarových dutin s označením č. 1 a č. 5, které byly vyrobeny ve firmě zabývající se obráběním a dokončováním těchto materiálů. Ostatní tvarové dutiny, a také ocelové, byly již vyrobené a postup jejich výroby je popsán v praktické části. Tvarové dutiny byly vyrobeny z nástrojové oceli ČSN 19552.4, duralu ČSN 424222 a mědi ČSN 423001. Dalším z úkolů bylo vytvořit drsnost povrchu tvarových dutin tak, aby se tvarové dutiny z odlišných materiálů daly mezi sebou vzájemně porovnat. Toho se podařilo docílit použitím rozdílných technologických podmínek. Dále byla měřena drsnost Ra a Rz všech materiálů a tvarových dutin. Další postup spočíval v aplikaci tvarových dutin ve vstřikovací formě při výrobě vstřikovaných vzorků. Po vystříknutí vzorků proběhlo měření námi požadovaných parametrů Ra a Rz . Obdobné měření bylo provedeno i u tvarových dutin. Získaná data byla staticky vyhodnocena a graficky znázorněna. Pro hromadnou a sériovou výrobu se volí jako materiál vstřikovací formy nástrojová ocel, a to hlavně kvůli jejím vlastnostem jako jsou např.: dobrá obrobiteľnosť, odolnosť proti korozi, dostatečná mechanická pevnost a tuhosť, odolnosť proti opotrebeniu, dobrá leštiteľnosť a brousiteľnosť. V malosériovej výrobe jsou využívány zejména duralové formy, i když jejich životnost není tak vysoká jako u ocelových forem. Tuto nevýhodu vyvažuje především téměř čtyřikrát nižší cena než u oceli, lepší teplotní vodivost, menší měrná hmotnost, menší řezné síly při obrábění. Dural se používá také jako chladicí prvek ve formě. Měď se využívá jen velmi zřídka, a to převážně kvůli jejím fyzikálním vlastnostem a vysoké ceně. Měď je téměř dvakrát dražší než ocel a dokonce šestkrát dražší než dural. Přednosti mědi spočívají v její velké teplotní vodivosti. Díky velké teplotní vodivosti se měď využívá k místnímu ochlazení taveniny uvnitř dutiny formy.

Z vyhodnocených dat můžeme vidět, že vlastnosti povrchu zhotovených na ocelových, duralových a měděných tvarových dutinách jsou u polymerního materiálu PC velmi podobné. Měď a dural vedou velmi dobře teplo, tím pádem se zkrátí výrobní časy. Dural je levnější a u polymerního materiálu PC je tedy dobré jej použít. Pro prvních pět tvarových dutin byl vždy sestrojen detailní graf. Z těchto grafů vidíme, a to zejména u polymerního materiálu PC, že dokončení povrchu tvarové dutiny na menší hodnoty drsnosti (leštění, lapování) se jeví z hlediska jakosti povrchu jako neekonomické. Použití dalších dokončovacích operací může vést k velkému nárůstu výrobního času a s tím spojené vyšší náklady. Např. ocelovou tvarovou dutinu č. 1 s jakostí povrchu $Ra=0,008\mu\text{m}$ trvalo dokončit 4 hodiny, ale doba potřebná k dokončení tvarové dutiny č. 3 s jakostí povrchu $Ra=0,040\mu\text{m}$ byla už jen 1 hodina.

Při použití ocelových tvarových dutin byly polymerní vzorky PP z pohledu drsnosti Ra a Rz nejlepší. Použitím duralových a měděných tvarových dutin se drsnost povrchu Ra a Rz zhoršila, což může být zapříčiněno tepelnou vodivostí, která rychle odvedla teplo z polymerní taveniny a tak nemohl polymerní materiál přesně kopírovat profil povrchu tvarové dutiny a vytvářel si povrch nezávisle na kvalitě tvarových dutin.

Tvarové dutiny č. 1 (leštěné) a č. 2 (lapované) jsou velmi nákladné a na jejich výrobu je potřeba spousta času. Důležité je zvážit přínos velmi drahých dokončovacích operací, neboť při použití polymerního materiálu PP dosahují podobných hodnot jako broušená dutina č. 5.

Tento výzkum by bylo vhodné rozvést o vliv teploty vstřikovací formy, díky které by bylo umožněno vyrábět polymerní vzorky vyšší kvality. Celý výzkum by tak měl větší vypovídající hodnotu. Dále by bylo vhodné použít více polymerních nebo nástrojových materiálů, zaměřit se na reologické vlastnosti polymerního materiálu, či index toku taveniny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DILLINGER, J. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007, 608 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [2] LOYDA, M. *Svařování termoplastů*. 2. vyd. Praha: UNO Praha, 2011, 530 s. ISBN 978-80-904949-0-9.
- [3] *Technologie2: Vstřikování plastů*. [online]. [cit.2016-2-29]. Dostupné z WWW: <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm>
- [4] RYBNÍKÁŘ, F. *Makromolekulární chemie*. VUT ve Zlíně: Fakulta technologická, 2000.
- [5] ŠVORČÍK. *Polymery*. [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z WWW: <<http://old.vscht.cz/ipl/osobni/svorcik/Polymery.pdf>>
- [6] PÖTSCH, G., MICHAELI W. *Injection molding: an introduction*. Cincinnati: Hanser/Gardner Publications, 1995, 195 s. ISBN 15-699-0193-7.
- [7] ŠTĚPEK, J., KUTA, A., a ZELINGER, J. *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. 637s.
- [8] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů: I. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 134 s.
- [9] *Vstřikovací stroj* [online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupné z WWW: <<http://gadabinausaha.wordpress.com>>
- [10] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1990. 199 s.
- [11] *Vstřikovací cyklus* [online]. [cit. 2014-11-2]. Dostupné z WWW: <<http://www.intechopen.com/books/computational-fluid-dynamics-technologies-and-applications/modelling-and-simulation-for-micro-injection-molding-process>>

- [12] Odborná skupina Uniplast Brno: *Formy pro zpracování plastů – 1. díl*, Vstřikování termoplastů, 2. vydání, Brno, 1999
- [13] BOBČÍK, L. a kol. *Formy pro zpracování plastů: II. díl – Vstřikování termoplastů*. 2. vyd. Brno: Uniplast, 1999.
- [14] MENGES, G., MICHAELI, W., a MOHREN, P. *How to Make Injection Molds*. 3. vyd. Cincinnati: Hanser/Gardner Publications, 2001. 612s. ISBN 1-56990-282-8.
- [15] ČSN EN 10027-2: *Definice a rozdělení ocelí*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [16] ČSN EN 573-1: *Hliník a slitiny hliníku - Chemické složení a druhy tvářených výrobků*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [17] ČSN 1412: *Měď a slitiny mědi*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [18] BUMBÁLEK, B., ODVODY, V., OŠŤÁDAL, B. *Drsnost povrchu*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. 338s.
- [19] *Polymery* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z WWW: <<https://publi.cz/books/180/04.html>>
- [20] ČSN EN ISO 4287:1999. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: ÚNMZ, 1999.
- [21] BURAKOWSKI, T., WIERZCHOŃ, T. *Surface Engineering of Metals: Principles, Equipment, Technologies*. London: CRC Press, 1999. 628s.
- [22] GRIFFITHS, B. *Manufacturing Surface Technology: Surface Integrity and Functional Performance*. London: Penton Press, 2001.
- [23] HOBSON, T. *Exploring Surface Texture: A Fundamental Guide to the Measurement of Surface Finish*. Leicester: Taylor Hobson Limited, 2003. 100s.
- [24] COTELL, C. M., SPRAGUE, J. A., a SMIDT, F. A. *ASM Handbook-Volume 5: Surface Engineering*. ASM International, 1994. ISBN 978-0871703842.

- [25] HOMMEL CS s.r.o. [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z WWW:
<<http://www.hommel-etamic.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/>>
- [26] *Technologie vstřikování plastů*. [online]. [cit. 2016-03-21]. Dostupné z WWW:
<<https://publi.cz/books/184/03.html>>
- [27] *Dokončovací operace*. [online]. 2006 [cit. 2016-03-23]. Dostupné z:
<http://jhamernik.sweb.cz/Dokoper.htm>
- [28] AFJEHI-SADAT, A. *Meranie drsnosti, vlnitosti a primárneho profilu*.
- [29] WHITEHOUSE, D. J. *Comparison between stylus and optical methods for measuring surfaces*. Annals of CIRP, Vol. 37/2, 1988.
- [30] LEONARDO, P. M., TRUMPOLD, H., DE CHIFFRE, L. *Progress in 3D surface microtopography characterization*. Annals of CIRP, Vol. 45/2, 1996.
- [31] BUMBÁLEK, L. *Vlastnosti povrchové vrstvy a jejich vliv na únavu*. Brno: CERM, 2004.
- [32] *CALIBRE™ 303EP-22: Polycarbonate Resin*. Styron LLC, Styron HoldCo B. V., 2010.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Poly	mnoho
Mer	jednotka
creep	tečení
PE	polyethylen
PVC	polyvinylchlorid
PA	polyamid
PP	polypropylen
PS	polystyren
POM	polyoximetylén
PMMA	polymethylmetakrylát
PBI	polybenzenimid
PEI	polyetherimid
PSU	polysulfon
PPS	polyfenylénsulfid
PTFE	tetrafluoretylén
PI	polyimid
NH ₃	amoniak
t _{s1} , t _{s2} ,	strojní časy
t _v	doba vstřikování
t _{ch}	doba chlazení
t _{p1}	časový úsek
p _z	zbytkový tlak
P	profil základního profilu
W	profil vlnitosti

R	profil drsnosti
ln	měřená délka
Pt	hloubka profilu
Wt	hloubka vln
Rt	největší hloubka drsnosti
Ra	aritmetický průměr absolutních hodnot
Rp	nejvyšší výška výstupku profilu
Rv	nejvyšší hloubka prohlubně profilu
Rz	výška nerovnosti
IT	stupně přesnosti
Cp	měrná tepelná kapacita
Rm	mez pevnosti
PC	polykarbonát
f	posuv
a _p	hloubka řezu
V _c	řezná rychlost
n	otáčky
E	modul pružnosti v tahu
t _{s3}	strojní čas
t _m	manipulační doba

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Základní schéma rozdělení polymerů [19]	12
<i>Obr. 2</i> Příklad aplikace reaktoplastu [19]	13
<i>Obr. 3</i> Příklady aplikací termoplastů [19]	13
<i>Obr. 4</i> Příklady aplikací reaktoplastů [19]	14
<i>Obr. 5</i> Tvar makromolekulárních řetězců [3]	15
<i>Obr. 6</i> Rozdělení polymerů podle jejich aplikace a nadmolekulární struktury [3]	17
<i>Obr. 7</i> Vstřikovací stroj [4]	21
<i>Obr. 8</i> Vstřikovací jednotka [5]	22
<i>Obr. 9</i> Hydraulická uzavírací jednotka [7]	23
<i>Obr. 10</i> Vstřikovací cyklus [8]	23
<i>Obr. 11</i> Průběh vstřikovacího cyklu [9]	24
<i>Obr. 12</i> Porovnání volného a laminárního toku [10]	25
<i>Obr. 13</i> Průběh tlaku při vstřikování [26]	26
<i>Obr. 14</i> Průběh teploty polymeru [12]	28
<i>Obr. 15</i> Složky integrity povrchu [24]	41
<i>Obr. 16</i> Parametry P , R , W na profilu povrchu [25]	45
<i>Obr. 17</i> Schéma měřicí dráhy snímače [25]	46
<i>Obr. 18</i> Prvek profilu [28]	47
<i>Obr. 19</i> Přehled dokončovacích metod [27]	50
<i>Obr. 20</i> Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470 H	56
<i>Obr. 21</i> Sušička granulátu Arburg Thermolift.....	58
<i>Obr. 22</i> Profiloměr Taylor Hobson Form Talysurf 50	59
<i>Obr. 23</i> Výkres tvarové vložky vstřikovací formy	60
<i>Obr. 24</i> Porovnání drsnosti R_a , R_z u ocelové tvarové dutiny.....	63
<i>Obr. 25</i> Porovnání drsnosti R_a , R_z u duralové tvarové dutiny.....	66
<i>Obr. 26</i> Porovnání drsnosti R_a , R_z u měděné tvarové dutiny.....	68
<i>Obr. 27</i> Porovnání drsnosti R_a u tvarových dutin	69
<i>Obr. 28</i> Porovnání drsnosti R_z u tvarových dutin	70
<i>Obr. 29</i> Závislost drsnosti R_a polymerních vzorků z PP na materiálu tvarové dutiny.....	72
<i>Obr. 30</i> Detail závislosti drsnosti R_a polymerních vzorků z PP na materiálu tvarové dutiny.....	72

<i>Obr. 31 Závislost drsnosti Rz polymerních vzorků z PP na materiálu tvarové dutiny</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 32 Detail závislosti drsnosti Rz polymerních vzorků z PP na materiálu tvarové dutiny</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 33 Závislost drsnosti Ra polymerních vzorků z PC na materiálu tvarové dutiny</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 34 Detail závislosti drsnosti Ra polymerních vzorků z PC na materiálu tvarové dutiny</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 35 Závislost drsnosti Rz polymerních vzorků z PC na materiálu tvarové dutiny</i>	<i>77</i>
<i>Obr. 36 Detail závislosti drsnosti Rz polymerních vzorků z PC na materiálu tvarové dutiny</i>	<i>78</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Materiály jednotlivých dílů forem a jejich tepelné zpracování [13]</i>	34
<i>Tab. 2. Materiály jednotlivých dílů forem a jejich tepelné zpracování (pokrač. Tab.1) [13].....</i>	35
<i>Tab. 3. Význam 3. až 6. místa [5]</i>	39
<i>Tab. 4. Dosahované drsnosti Ra a stupně přesnosti IT [27]</i>	50
<i>Tab. 5. Dosahované drsnosti Ra a stupně přesnosti IT [27]</i>	51
<i>Tab. 6 Vybrané vlastnosti oceli ČSN 19552.4 (EN 1.2343) [18]</i>	53
<i>Tab. 7 Vybrané vlastnosti duralu ČSN 424222 (EN AW-7075) [20]</i>	54
<i>Tab. 8 Vybrané vlastnosti mědi ČSN 423001 (EN CW004A) [19]</i>	54
<i>Tab. 9 Vlastnosti materiálu PP SYNTEGUM 1020 [32].....</i>	55
<i>Tab. 10 Vlastnosti materiálu polycarbonate resin calibre 303EP-22 [32].....</i>	55
<i>Tab. 11 Základní vlastnosti vstříkovacího stroje</i>	56
<i>Tab. 12 Technologické podmínky při vstříkování</i>	57
<i>Tab. 13 Základní vlastnosti sušičky granulátu</i>	58
<i>Tab. 14 Technická specifikace profiloměru Taylor</i>	59
<i>Tab. 15 Technologické podmínky použité při dokončování funkční ploch soustružením</i>	62
<i>Tab. 16 Ocelová tvarová dutina</i>	62
<i>Tab. 17 Technologické podmínky soustružení tvarových dutin z duralu</i>	65
<i>Tab. 18 Duralová tvarová dutina</i>	65
<i>Tab. 19 Technologické podmínky soustružení tvarových dutin z mědi</i>	67
<i>Tab. 20 Měděná tvarová dutina</i>	67
<i>Tab. 21 Porovnání parametru drsnosti Ra u tvarových dutin</i>	69
<i>Tab. 22 Porovnání parametru drsnosti Rz u tvarových dutin.....</i>	70
<i>Tab. 23 Vyhodnocená data parametrů drsnosti Ra polymerních vzorků z PP</i>	71
<i>Tab. 24 Vyhodnocená data parametrů drsnosti Rz polymerních vzorků z PP.....</i>	73
<i>Tab. 25 Vyhodnocená data parametrů drsnosti Ra polymerních vzorků z PC.....</i>	75
<i>Tab. 26 Vyhodnocená data parametrů drsnosti Rz polymerních vzorků z PC</i>	77