

Hodnocení jakosti povrchu polymerních výrobků po vstřikování

Bc. Radek Mikel

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radek Mikel**
Osobní číslo: **T13529**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Hodnocení jakosti povrchu polymerních výrobků po vstřikování**

Zásady pro vypracování:

1. Popište technologii vstřikování a polymerní materiály
2. Popište integritu povrchu a základní dokončovací operace
3. Proveďte výrobu experimentálních vzorků
4. Hodnoťte jednotlivé vlivy 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: **30. ledna 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2015**

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: MIKEL RADEK


VÝROBA /
Obor: 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 obhajoby¹⁾;
- 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. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ 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 § 60³⁾ 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 30.4. 2015

.....


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 nevdělečně 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 vzdělávacímu 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). Odpírá-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 přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Předkládaná diplomová práce se zabývá vlivem jakosti povrchu dutiny formy na jakost polymerního výrobku.

Teoretická část práce obsahuje postup při výrobě vstřikovací formy a její následné zkoušení, integritu povrchu a způsoby měření drsnosti, rozdělení polymerních materiálů, základy technologie vstřikování a také vstřikovacího stroje.

Praktická část se zabývá postupem výroby tvarových vložek vstřikovací formy a způsobem dokončení funkčních ploch. Poté byly vložky použity ke vstřikování a na výsledných výrobcích provedené měření drsnosti. Nakonec byly vyhodnoceny vlivy vstřikovacího tlaku, vstřikovací rychlosti a dotlaku na jakost povrchu výrobku.

Klíčová slova: vstřikování, dokončovací operace, jakost povrchu.

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on influence of mold surface quality on the surface quality of polymer products.

The theoretical part includes a process for producing injection mold and subsequent testing, integrity and surface roughness measurement methods, the distribution of polymer materials, basic technology and injection molding machine.

The practical part deals with the procedure for producing shaped inserts into the injection mold and method of completing functional surfaces. Then the inserts were used to inject and above the ex-post-producer the roughness measurement. Finally, the effects were evaluated by the injection pressure, injection speed and pressure on the surface quality of the product.

Keywords: injection molding, finishing operations, surface quality.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jiřímu Čopovi za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytl při řešení diplomové práce a za čas věnovaný realizaci praktické části. Také bych chtěl poděkovat panu Ing. Františku Vavříkovi za pomoc při vstřikování polymerních vzorků.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 VÝROBA VSTŘIKOVACÍCH FOREM	12
1.1 TECHNICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY	12
1.2 MATERIÁLY VSTŘIKOVACÍ FORMY	14
1.2.1 Oceli	14
1.2.2 Slitiny mědi	18
1.2.3 Slitiny hliníku	18
1.3 ZKOUŠENÍ, OPRAVA A ÚDRŽBA FOREM	19
1.3.1 Zkoušení forem	19
1.3.2 Opravy forem	21
1.3.3 Údržba forem	22
1.4 DOKONČOVACÍ OPERACE	22
1.4.1 Třískové dokončovací operace.....	23
1.4.2 Beztrískové dokončovací metody	28
1.4.3 Nekonvenční metody obrábění	30
2 INTEGRITA POVRCHU	34
2.1 SLOŽKY INTEGRITY	34
2.1.1 Drsnost povrchu	34
2.1.2 Geometrická přesnost.....	36
2.1.3 Změny tvrdosti v povrchové vrstvě.....	37
2.1.4 Změna struktury	37
2.1.5 Opaly a trhliny.....	37
2.1.6 Zbytková napětí.....	38
2.2 ZPŮSOBY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU	38
2.2.1 Měření drsnosti povrchu dotykovým profilometrem	39
2.2.2 Měření povrchu bezdotykovým způsobem	40
3 POLYMERNÍ MATERIÁLY	43
3.1 ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	43
3.1.1 Termoplasty.....	45
3.1.2 Reaktoplasty	46
3.1.3 Elastomery.....	46
4 VSTŘIKOVÁNÍ	47
4.1 PRINCIP VSTŘIKOVÁNÍ.....	47
4.2 TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY VSTŘIKOVÁNÍ.....	48
4.2.1 Vstřikovací rychlost	48
4.2.2 Vstřikovací tlak	48
4.2.3 Tvářecí tlak.....	48
4.2.4 Dotlak	48
4.2.5 Teplota materiálu	48
4.2.6 Teplota formy.....	49
4.2.7 Doba vstřikovacího cyklu	49

4.3	VSTŘIKOVACÍ STROJ.....	49
4.3.1	Vstřikovací a plastikační jednotka	50
4.3.2	Uzavírací jednotka	50
4.3.3	Ovládání a řízení stroje	51
II	PRAKTICKÁ ČÁST	53
5	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	54
6	NÁVRH A VÝROBA VLOŽEK.....	55
6.1	MATERIÁL TVAROVÝCH VLOŽEK.....	56
6.2	POSTUP VÝROBY VLOŽKY.....	57
6.3	VÝROBA FUNKČNÍCH PLOCH	58
6.3.1	Stroje použité při výrobě funkčních ploch tvarových vložek	60
7	VSTŘIKOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	64
7.1	VSTŘIKOVANÝ MATERIÁL ABS.....	65
7.2	STROJE POUŽITÉ PŘI VSTŘIKOVÁNÍ.....	66
7.2.1	Sušička granulátu Arburg Thermolift 100-2.....	66
7.2.2	Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470H 1000-400.....	66
8	MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU.....	68
8.1	PROFILOMĚR TAYLOR HOBSON FORM TALYSURF 50	69
9	VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT	70
9.1	VLIV VSTŘIKOVACÍHO TLAKU	70
9.1.1	Parametr drsnosti Ra	70
9.1.2	Parametr drsnosti Rz	73
9.2	VLIV VSTŘIKOVACÍ RYCHLOSTI.....	77
9.2.1	Parametr drsnosti Ra	77
9.2.2	Parametr drsnosti Rz	79
9.3	VLIV DOTLAKU.....	82
9.3.1	Parametr drsnosti Ra	82
9.3.2	Parametr drsnosti Rz	85
	ZÁVĚR	89
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	91
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	94
	SEZNAM OBRÁZKŮ	95
	SEZNAM TABULEK.....	97

ÚVOD

Výhodou polymerních materiálů je poměrně jednoduchá zpracovatelnost, kdy se dá vyrobit velmi složitá součást poměrně jednoduchým způsobem, odolnost proti korozi, nízká hmotnost, vysoká chemická odolnost aj. Nevýhodami plastů jsou hlavně omezená tepelná použitelnost a tvarová deformovatelnost. Největší využití mají polymerní materiály na technické účely, především ve strojírenství.

Plasty se zpracovávají řadou různých technologií. Způsob zpracování plastů je závislý na technologických vlastnostech plastu, na tvaru a funkci výrobku, kterou má plnit. Technologie zpracování plastů se dají rozdělit na tvářecí, tvarovací a doplňkové. Tvářecí technologie probíhají za působení tepla a tlaku a dochází ke značnému přemístění částic materiálu. Patří sem vstřikování, vytlačování, lisování, apod. Tvarovací technologií nedochází k velkému přemístění částic a patří sem tvarování desek, výroba dutých těles, ohýbání trubek, obrábění plastů. Doplňkové technologie se používají před zpracováním, jako míchání, hnětení, sušení, ale také ke konečné úpravě výrobků, jako potiskování a natírání. Volbu technologie ovlivňují tvar výrobku, velikost výrobku, materiál, nástroj a stroj.[2]

V dnešní době je však velmi důležité, aby byly produkty vyrobeny co nejlevněji a zároveň dosahovaly požadované kvality. Tyto požadavky nutí firmy optimalizovat již výrobní procesy výroby samotného plastikářského nástroje, jehož cena se přímo odráží v ceně budoucího polymerního výrobku. Vyšší kvalita povrchu plastikářského nástroje vyžaduje použití přesnějších dokončovacích operací, které mohou při výrobě zabírat i více než 70% celkového výrobního času vstřikovací formy. Je tedy nezbytné tyto technologie optimalizovat a volit s ohledem na výslednou jakost povrchu a cenu budoucího polymerního výrobku. Jakost povrchu výrobku může být také silně ovlivněna použitými technologickými podmínkami při vstřikování, a proto je rovněž nezbytné určit jejich vliv.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝROBA VSTŘIKOVACÍCH FOREM

Výrobu vstřikovacích forem tvoří:

- Technická příprava výroby (TPV)
- Vlastní metody výroby forem
- Výroba tvarových dutin tvářením
- Zkoušení forem
- Opravy forem
- Údržba forem
- Manipulace a skladování forem.

Vstřikovací forma je složena z rámu, tvarových dílů a dalšího příslušenství. Postup výroby forem je ustálený proces, kde je každá činnost vyjádřena časovou náročností jednotlivých etap:

- | | |
|--|-----------|
| • Jednání se zákazníkem a konstrukční projekt | 5 - 10 % |
| • Konstrukce vstřikovací formy | 10 - 20 % |
| • Technická příprava výroby | 5 - 15 % |
| • Výroba formy | 40 - 70 % |
| • Zkoušení, úprava a předání vstřikovací formy | 5 - 15 %. |

Lze tyto etapy zrychlit a to využitím automatizačních systémů. Doba výroby jde zkrátit využitím typizovaných dílů, použitím technologických novinek, a důsledným také uplatňováním technologičnosti konstrukce. Dále také využitím moderní výpočetní techniky jako softwarové aplikace. [3]

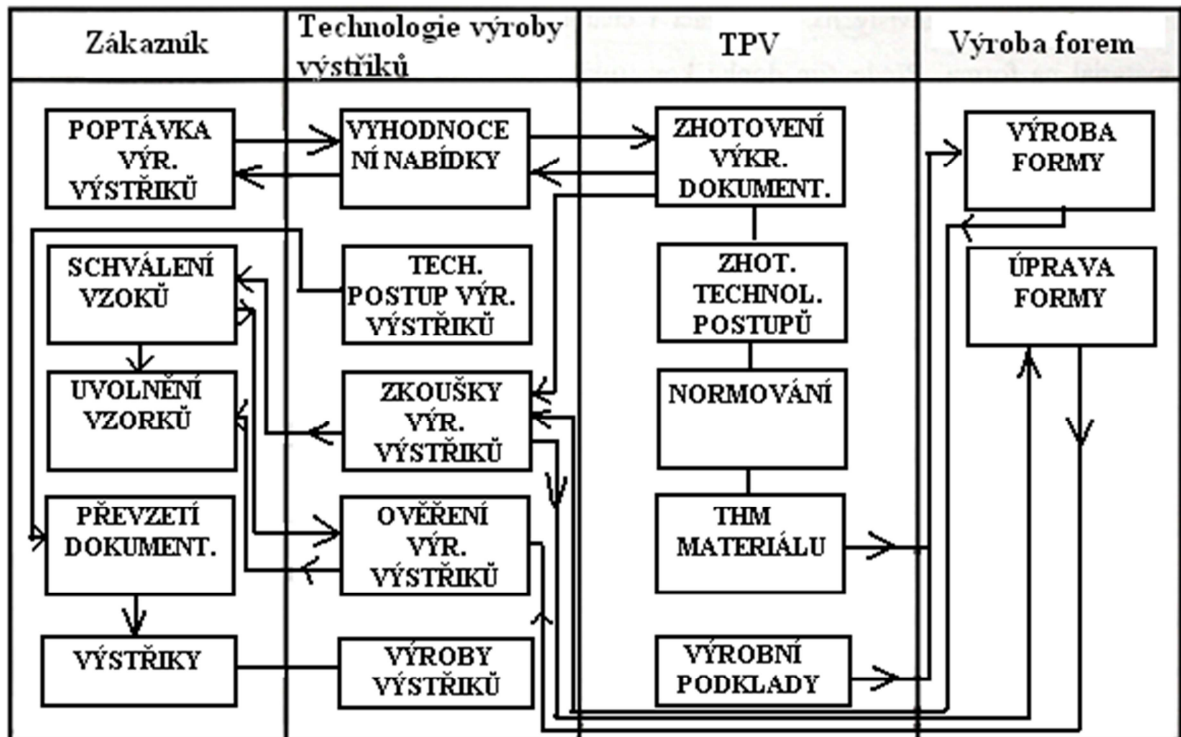
1.1 Technická příprava výroby

Představuje to kompletní vyhotovení všech potřebných výrobních podkladů včetně zajištění materiálu a všeho příslušenství pro výrobu a kompletaci vstřikovací formy. Organizace technické přípravy výroby bývá nejednotná a podřízena potřebám a stavu jednotlivých výrobců (způsob výroby, strojní vybavení apod.).

Technicko-výrobní podklady jsou zdrojem organizace a řízení výroby formy a zpracovávají v jednotlivých střediscích technické přípravy. Mezi podklady patří hlavně:

- Kompletní výkresová dokumentace vstřikovací formy i s rozpiskou
- Jednotlivé technologické postupy výroby dílů, celků a montáže

- Časové rozhraní výrobních operací
- Výdejky materiálu (podle rozpisky). [3]



Obr. 1. Schéma nejčastější organizace výroby forem [3]

Mezi činnosti v technologické přípravě výroby patří vytvoření technologického postupu jednotlivých součástí, větších celků i celé montáže. Provádí se rámcově a odkazuje na konstrukční dokumentaci. Mají obsahovat:

- Úkony prováděných operací
- Prováděcí střediska
- Číslo pracoviště
- Technolog uvede, pokud je potřeba speciální stroj nebo úkon.

Metoda výroby dutin vstřikovacích forem je založena na vlačování tvarového tlačného trnu do připraveného polotovaru. Vyrobená dutina je negativem tvaru výrobku a odpovídá tvaru tlačného trnu. K úspěšné výrobě dutiny je potřeba vybrat ideální materiál na tvárník i polotovar. Během toho sledovat jejich dokonalé tepelné zpracování, dodržení vhodného opracování povrchu. Výrobní postup se skládá z těchto operací:

- Výroba tlačného trnu – vyrábí ze z kvalitních ocelí, zakalených s tvrdostí,
- Příprava polotovaru pro tváření,

- Vlastní tvářeni. [3]

1.2 Materiály vstřikovací formy

Formy se skládají z funkčních a pomocných dílů. Při výrobě výstřiků se od všech dílů formy vyžaduje dosažení požadované kvality, živostnosti a co nejnižších pořizovacích nákladů. Materiál je ovlivněn provozními podmínkami výroby, které určují:

- Druh vstřikovaného plastu,
- Přesností a jakosti výstřiku,
- Podmínkami vstřikování.
- Vstřikovacím strojem.

Musí je proto volit vhodné materiály, které vyhovují daným podmínkám. Přednost ve výběru materiálů se dává univerzálním typům s širokým rozsahem vlastností. Těmto podmínkám nejvíce vyhovují:

- Oceli vhodných jakostí,
- Neželezné slitiny (Cu, Al ...),
- Ostatní materiály (izolační, nevodivé ...).[3]

1.2.1 Oceli

Každý díl formy musí plnit jinou funkci. Proto se volí různé druhy ocelí na jednotlivé díly. Od použitého typu oceli se vyžaduje především dostatečná mechanická pevnost a dobrá obrobiteľnosť. Z hlediska technologie výroby výstřiků má zajišťovat požadované vlastnosti na kvalitu struktury. Požadované vlastnosti výroby a provozu forem jsou dány mechanickou pevností materiálu, obrobiteľnosť (hospodárne obrobení do tvaru, jakosti povrchu), tváriteľnosť, dobrá lešiteľnosť (má vliv na kvalitu výstřiku), ošetrovateľnosť, korozivzdornost a odolnosť vůči chemickému působení plastu, stálost rozměrů, tepelná vodivost, roztažnosť, koeficient tření apod.

Ze širokého výběru jakosti ocelí se pro výrobu forem používají následující skupiny:

- Konstrukční oceli k použití v přírodním zušlechťeném stavu,
- Oceli k snadnému opracování a tvářeni, pro cementování a zušlechťování,
- Oceli uhlíkové k zušlechťování,

- Oceli nástrojové legované se sníženou i velkou prokalitelností a odolností proti otěru,
- Oceli k nitridování,
- Antikorozní oceli, používané při zpracování plastů,
- Martenziticky vytvrditelné oceli s malou deformací při tepelném zpracování a velkou stálostí rozměrů. [3,5]

Tab. 1. Materiály jednotlivých dílů forem a jejich tepelné zpracování [3]

Název dílu	Materiál	Tvrdost (HRC)	Zušlecht. (Mpa)	Poznámka
Základní kotevní a upínací deska	11373			
	11375			
	11500			
	11523			
	11600			
Běžné opěrné desky a vložky	12061	58-50		Cem. kal. z vložky
	12050	54-50		Kaleno
	12060			
Desky tvárnice pro vložkování	11500			Normal. žíhání pro odstranění vnitřního pnutí
	11600			
Vodící stírací desky	11500			
	11600			
	12060			
Stírače	12060		850-700	Zušlechtěno
Vodící lišty	11600			
	12050			
Pruž. vodící lišty, palce	14220	62-60		Funkční plochy cem. do hl. 0,5 mm
Upínací hlavice	12060		850-700	Zušlechtěno
	12061			
	12050		800-650	
Závěsná pouzdra (hlavice) a závěsné stopky	12060		850-700	Zušlechtěno
	12061			
Stopky a středící čepy	11500			
	11600			
Klíny, pera , přenášeči čepy	11600			
Pružiny šroubové	12090	48-43	1620-1400	Kal. pero popuštěno
	12093			
velmi namáhané	14260	48-45	1620-1480	
Pružiny listové	12090	48-43	1620	Kal. pero popuštěno
	13180	47 min	1600 min	
Pružiny talířové	12090	46-45	1520-1480	Kal. 2x popuštěno
	15260			
Součástky s velmi tvrdou cem. vrstvou	14220	63-60		Cem. kal. popuštěno
	14221			
Drobné součásti	11107		650-470	Hodnoty v přír.stavu
	11110		620-450	
Vodící sloupky	14220	63-61		Cem.do hl.0,8-1 mm
	12010	62-60		Cem.do hl.0,6 mm

Tab. 2. Mat. jednotlivých dílů forem a jejich tepelné zprac. (pokračování Tab. 3) [3]

Název dílu	Materiál	Tvrdost (HRC)	Zušlecht. (Mpa)	Poznámka
Vodící pouzdra	14220	63-61		cem.do hl. 0,8-1 mm
	14120			cem.do hl. 0,6-0,8 mm
	12010	62-60		cem.do hl. 0,6-0,8 mm
Kotevní pouzdra	14120	62-58		
Tvárnice	14220	57-55		
	14221			
Tvárníky	19486	57-55		
	19487			
	19436			
Vyhadzovače, zpětné kolíky	19421	57-55		
	19422			
Vyhaz. čepy	14220	57-55		
Středící kruhy	11500			
Náústky	11107			
Vstřík. trysky	19436	57-55		
Dorazy	19422	60-58		
Čelisti pohyblivé	19192	63-60		
Pohybové klíny	19221	62-58		
	19436			
Opěrné čelisti	19312	60-56		
Čelisti pevné	19192	63-61		
	19221			
	19436			
Průtlačníky	19221	63-60		
	19423	62-60		
	19436			
	19437			
Průtlačníky	19800	63-60		Standardní ocel na protlačování 194-36 snese tlak 2700 Mpa
	19810			
	19824			
Průtlačnice	19191	63-60		
Zděře, nadáže	13180	49-45		Vykováno
	14160			
	14260			
	19452			
	19642			
	19650			
Trny	19436	62-58		
	19421			
	19191			
	19423			
	19312			
Pomocné části a svařované konstrukce	11375			
	11353			
	11373			
	11423			
	11523			

1.2.2 Slitiny mědi

Nejpoužívanějším materiálem na výrobu forem jsou oceli. V dnešní době se však stále více začínají prosazovat slitiny mědi. Používají se především na chladicí trny tenkých tvárníků, tvarové vložky, vytáčecí matice a šrouby, vyhazovací kolíky, vodící a středící pouzdra, různé vedení apod. Oproti ocelím mají určité 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 nejdůležitějších vlastností slitin mědi je tepelná vodivost, která je cca 4x vyšší než u ocelí. Využitím slitin Cu se dosáhne rychlejšího procesu chlazení, zkrácení celého cyklu a tím i snížení ceny výstřiku. Chlazení totiž zabírá největší část vstřikovacího cyklu. Nevýhodou těchto slitin je špatná opracovatelnost elektroerozivními metodami, ale zase snazší opracování běžnými třískovými metodami. Výhodou je nízký koeficient tření při použití na pohyblivé díly. Čistá měď se v praxi používá málo. Pro funkční díly se používají různé slitiny mědi s jinými kovy. V běžné praxi se nejčastěji využívají slitiny mědi uvedené v následující tabulce. [5]

Tab. 3. Používané slitiny mědi [3]

užití	ČSN	složení	poznámka
díly vtoku	42 3004	Cu99	malá pevnost, podřadné použití
	42 3213	Cu63Zn	střední pevnost
	-	CuCoBe10	vysoká pevnost (beryl, bronz)
součásti chlazení	42 3004	Cu99	chladicí kanály, trubky, čepy
	42 3213	Cu63Zn	zhoršená chladitelnost
izolace	-	Ti70Fe	vysoká pevnost a tepelný odpor

1.2.3 Slitiny hliníku

Formy, které mají své díly ze slitin hliníku a některých dalších kovů, mají své speciální využití. Vyznačují se menší pevností a odolností proti opotřebení než oceli. Využíva-

jí se především pro jejich dobré vlastnosti jako je velká tepelná vodivost a korozivzdornost, které lze s výhodami u forem použít.

Tyto slitiny se využívají především u forem na strukturní pěny. Je zde požadován intenzivní chladicí účinek, dobrá chemická odolnost proti korozi a ostatním činidlům. Vstřikovací tlaky jsou nižší (až 10x) oproti formám na vstřikování kompaktních plastů a nevyžadují proto takovou pevnost.

Nejvíce využívaná je válcová slitina 424203.6 (AlCuMg), která po vytvrzení dosáhne vysoké pevnosti. Odlévané materiály se už tolik nevyžívají. U nich je těžké docílit hladký a bezporézní povrch. Poréznost se projevuje u materiálu i u temperačních kanálů, a proto sem do odlitek zalévají nebo vkládají měděné chladicí trubky. [5]

1.3 Zkoušení, oprava a údržba forem

1.3.1 Zkoušení forem

Největší vliv na správnou funkčnost formy mají poslední úpravy a následná montáž. Zkoušení patří mezi hodně důležité součásti výroby formy. Kvalita a způsob zkoušení formy se následně projevuje v sériové výrobě. Množství reklamací u předaných forem do výroby odráží její kvalitu i kvalitu provedených zkoušek.

Zkouškám se podrobují nejenom nové formy, ale také formy po úpravách, po rekonstrukci a z důvodů zjištění technologických parametrů.

Nejčastější systém zkoušení forem je rozdělen na následující etapy:

- Dílenská kontrola
- Funkční zkoušky formy
- Technologické zkoušky formy. [3]

Dílenská kontrola

Většinou se provádí přímo v nástrojárnách. Forma bývá dodávána k dílenské zkoušce kompletně smontovaná, včetně výkresové dokumentace a všeho dalšího zařízení, které patří k formě. Kontroluje se:

- Úplnost formy – srovnání s výkresovou dokumentací, včetně příslušenství
- Těsnost temperačního systému vodou (nejlépe pokud je prováděna tlakem vody z vodovodního potrubí)

- Rozměry tvarové dutiny a její povrchová jakost
- Řádný popis formy a závěsy pro bezpečnou manipulaci.

Jakmile je zkouška provedena je forma předána k dalším zkouškám. [3]

Funkční zkoušky

Tento typ zkoušky se už provádí na zkušebnách pracovníky, kteří jsou k tomu určeni a zaškolení. Spolupracují spolu s konstruktérem formy, nástrojářem a technologem.

Zkušebny bývají vybaveny vstřikovacím strojem, temperačními jednotkami, sušárnou na plast a nářadí potřebné k drobným úpravám formy jako třeba vrtačka. U forem, u kterých je potřeba speciální vstřikovací stroj, se zkoušky provádí přímo ve výrobě z důvodů ekonomičnosti.

Základními body funkčních zkoušek jsou:

- Vizuální kontrola formy a porovnání s výkresovou dokumentací
- Kontrola funkčních rozměrů vstřikovací formy v porovnání s možnostmi stroje, na kterém bude vstřikování probíhat
- Upnutí formy na vstřikovací stroj, seřízení zdvihu, přítlaku, vyhazovačů, trysky apod.
- Zkoušení jednotlivých systémů formy na prázdko (zjišťujeme tím funkční závady formy)
- Ověření funkce přípravků, zástřiků apod. [3]

Technologické zkoušky

Přímo navazují na funkční zkoušky formy.

Mezi základní body zkoušky:

- Odkonzervování dutin formy
- Nastavení předpokládaných parametrů stroje
- Vstříknutí do studené formy a podle výsledku se upraví technologické parametry jako vstřikovací tlak, teplota, rychlost apod.
- Zapojení temperačního systému, temperování formy na požadovanou teplotu a postupné upřesňování technologických parametrů do doby, než výstřiky přestanou vykazovat viditelné vady

- Vstřikování v poloautomatickém nebo plně automatickém režimu vstřikovacího stroje. Během toho odstraňování vad výstřiků upřesňováním technologických parametrů.

Pokud se neprojeví v průběhu zkoušek žádné funkční chyby a výstřiky nemají žádné tvarové ani vzhledové vady a nedostatky, provede se vzorkování:

- Zhotoví se referenční vzorky ve trojím vyhotovení a jejich označení (název a číslo výrobku, materiál, jeho barva, číslo formy,...)
- Kontrola výstřiků na technické kontrole a zhotovení zkušebních protokolů, které budou obsahovat výrazné označení rozměrů neodpovídajících výkresu.

Během zkoušek je důležité vést řádné záznamy o technologických parametrech a změnu je potřeba stabilizovat, aby se předešlo k nepřesným výsledkům. Přesná rozměrová kontrola se provádí 24 hod po vyrobení výstřiků. [3]

Vyhodnocení zkoušek

Po úspěšném zhotovení referenčních vzorků a zkušebních protokolů se výsledky posílají zákazníkovi. Jestliže zákazník schválí vzorky i protokoly, pracovník zkušebny vyhotoví skladovou kartu formy se všemi náležitostmi a předá do skladu.

Výsledkem úspěšné zkoušky je:

- Podchycení a upřesnění technologických parametrů vstřikování
- Vyhotovení rozměrových protokolů výstřiků
- Vyhotovení referenčních vzorků výstřiků
- Odeslání referenčních vzorků a zkušebních protokolů zákazníkovi ke schválení

Výsledkem neúspěšné zkoušky vstřikovací formy je:

- Vyhotovení protokolu o vadách
- Vyjádření zkušebny o závadách jak na formě, tak na výstřiku
- Vrácení formy na opravu nebo úpravu. [3]

1.3.2 Opravy forem

Při vstřikování plastů dochází u forem k opotřebením především vlivem abrazí a chemickým působením plastů. Stupeň opotřebením závisí na:

- Materiálu formy, jakosti obrábění a tepelném zpracování

- Druhu plastu
- Parametrech vstřikování
- Náročnosti a členitosti funkčního tvaru
- Provedení a koncepci formy
- Kvalitě údržby.

Opotřebením formy závisí však také na nevhodném chování, nepozornosti obsluhy nebo i kvůli nedostatkům v konstrukci nebo výrobě forem. Dochází tak k poškození jednotlivých součástí formy jako vodících kolíků, pouzder, vyhazovačů apod. Takto poškozené díly se opravují:

- Nanášením kovu na místa chybějícího tvaru (navarováním) a jejich úprava
- Vložkováním poškozených částí, nebo jejich celková výměna. [3]

1.3.3 Údržba forem

Pravidelnou údržbou dosáhneme dobré provozuschopnosti a dostatečné živostnosti forem. To znamená pečlivě sledovat formu a snažit se ji udržet v optimálních podmínkách. Toho lze dosáhnout:

- Čištěním formy od zbytků plastů a jiných chemických produktů při vstřikování
- Dobrým promazáním všech pohyblivých dílů
- Dokonalou konzervací při odstavené formě
- Při zvětšeném opotřebením nebo jiném poškození dílů zajistit úpravu a náhradu.

Vlastní údržba formy se rozděluje do dvou fází:

- Stálá údržba během provozu
- Periodická údržba.

Obě dvě činnosti jsou velmi důležité. Jejich pečlivým dodržováním dosáhneme požadovaného výsledku. [3]

1.4 Dokončovací operace

Slouží ke zlepšení vlastností povrchů. K odstranění nepřesností vlivem předchozích operací s předpokladem, že dojde k dodržení tvarových, rozměrových, kvalitativních a ekonomických požadavků na výrobek. Pro dokončovací operace se nechává přírůstek na

dokončování. Jeho velikost se liší podle použité dokončovací metody. Cílem dokončovací operací je zlepšení jakosti povrchu, rozměrové přesnosti a geometrické přesnosti.

Dokončovací operace funkčních ploch dělíme na:

- Třískové dokončovací operace
- Beztřískové dokončovací operace
- Nekonvenční dokončovací operace. [2]

1.4.1 Třískové dokončovací operace

Při použití těchto metod se předpokládá dostatečně velký přírůstek na dokončování. Přírůstek se odebere při dokončovací operaci s minimálním tepelným ovlivněním. Musí zajistit odebrání narušené povrchové vrstvy (trhlínky, vady, změny struktury atd.), která vznikla předchozím zpracováním. [2]

Broušení

Broušení (*Obr. 2*) je nečastější způsob dokončovací operace kovů. Lze tak obrábět všechny kovové i nekovové materiály, rovinné i rotační tvary, vnější i vnitřní. Břity broušícího kotouče jsou po obvodu rozmístěny nepravidelně a mají různou geometrii. Velikost zrn bývá v rozmezí 0,003 až 0,3 mm. Zrna brusiva mívají většinou záporné úhly čela a velké úhly hřbetu. Řezná rychlost bývá od 10 do 80 m/s. Tím vzniká velké množství tepla a teplota třísek dosahuje teploty až 1200°C. Při broušení přechází do obrobku 70 – 80 % tepla.

Přesnost broušení je závislá na tuhosti brusné soustavy, velikosti zrn, druhu pojiva a řezných podmínkách. Drsnosti R_a dosahujeme broušením obvodem kotouče 0,4 až 1. Jemným broušením je možné dosáhnout drsnosti $R_a = 0,025$ až 0,4.

Velikost řezných sil je ovlivněna především tvrdostí řezného kotouče. Při velkých silách se volí tvrdší kotouče a při malých měkčí kotouče. Tvrdší kotouče tak mají vyšší výkonnost. Obvodová rychlost brusného kotouče je mnohem větší než obrobku, a proto se považuje za řeznou rychlost.

Řezným nástrojem je brusný kotouč. Vyrábí se lisováním nebo litím směsí brusných zrn vhodné zrnitosti, pojiva a případně dalších přísad. Brusné zrna mají nespecifikovatelný tvar řezné části, která se odlomí po opotřebení a umožní tak dalším zrnům pod ním obrábět dál. Broušení se provádí na bruskách, které se dělí podle toho, jaké plochy na nich lze ob-

rábět: brusky na broušení ploch vnitřních nebo vnějších, brusky na rovinné plochy, na ozubení, závitové brusky. [29]

Charakteristiky		Způsob broušení
směr posuvu		<p>podélné broušení příčné broušení</p>
aktivní plocha brusného nástroje (kotouče)		<p>obvodové broušení čelní broušení</p>
broušení ploch	poloha	vnější broušení, vnitřní broušení
	tvar	<p>profilové broušení tvarové broušení</p>
řezná rychlost		běžné broušení, vysokorychlostní broušení
přísuv		kyvadlové broušení, hluboké broušení
drsnost plochy		hrubování, hlazení, jemné broušení

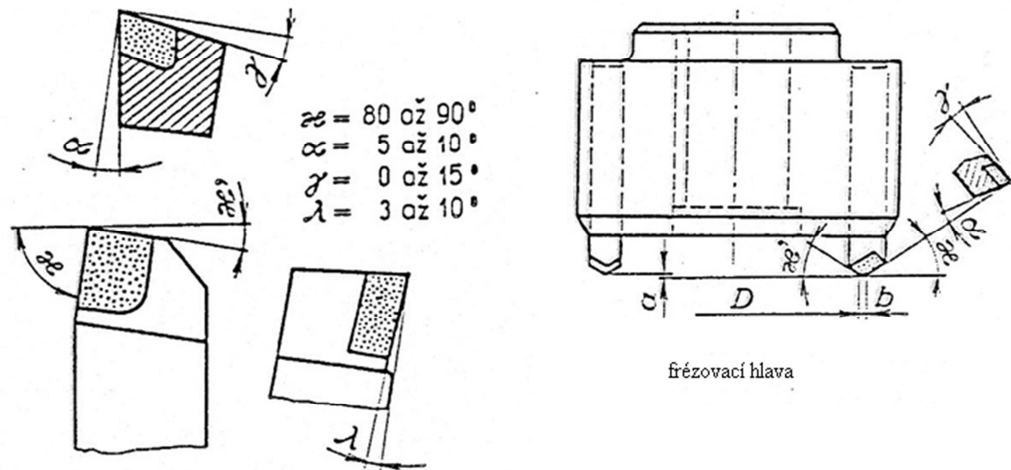
Obr. 2. Způsoby broušení [29]

Jemné soustružení a jemné frézování

Jde o zvláštní druhy třískového obrábění, většinou jednobřitým nástrojem ze slinutého karbidu nebo diamantu. Provádí se na zvláštních strojích s vysokou tuhostí, vysokou řeznou rychlostí a vyvážením všech částí stroje, aby se předešlo chvění. Operace se vyznačují vysokou řeznou rychlostí, malým posuvem a malou hloubkou řezu.

Výhodami těchto metod je čistý povrch (bez vtlačených brusných zrn, zejména u měkkých materiálů), malý průřez třísky => minimální deformace povrchové vrstvy. Vzniká malé množství tepla a tím stálý tvar a rozměry obrobenej plochy. Přídavek na dokončování bývá pro SK 0,15 až 0,25 mm, pro diamantové nástroje 0,02 až 0,2 mm. Nástroje (Obr. 3) mívají pro jemné dokončování velkou tuhost, aby nevznikalo chvění. Úhly nastavení ostří mívají nástroje 80 až 90°. Pro jemné frézování se používají čelní frézy s jedním nebo několika noži a s destičkou ze SK. Nejlepší jakosti obráběné plochy dosáhneme jed-

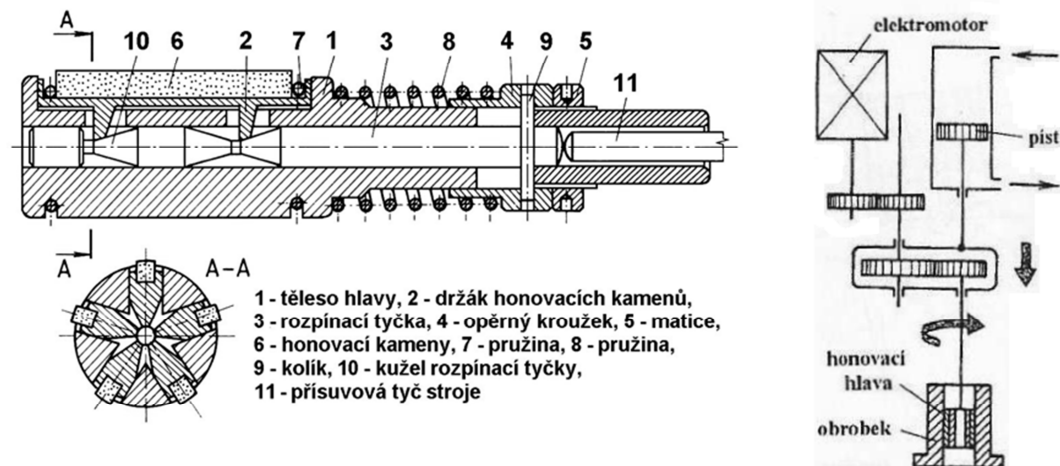
ním nožem (více nožů nenastavíme do stejné polohy). Jemným soustružením dosáhneme drsnosti povrchu $R_a = 0,2$ až $0,8$ a jemným frézováním $R_a = 1$. [7]



Obr. 3. Soustružnický nůž a frézovací hlava [3]

Honování

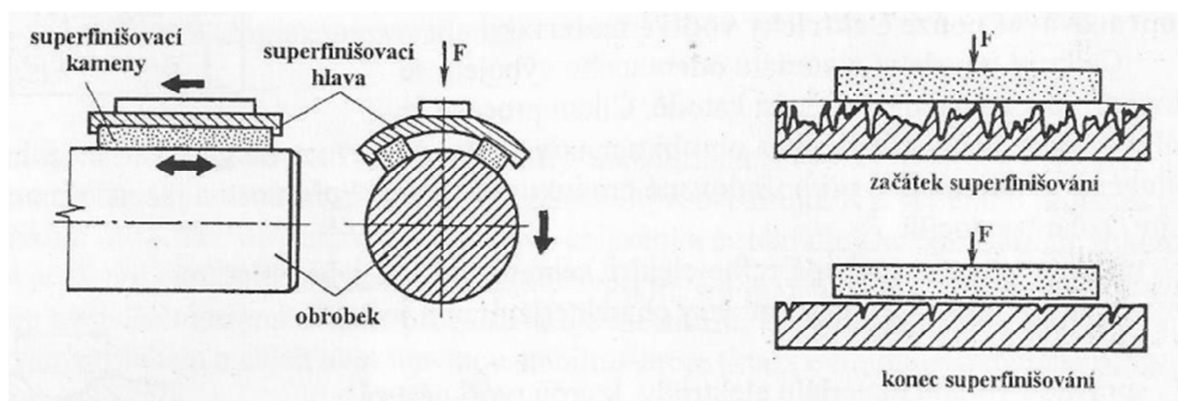
Honování je v podstatě broušení honovacími kameny, které jsou upnuté v honovací hlavě (Obr. 4) a přitlačovány na obráběnou plochu. Honovací hlava vykonává při práci složený pohyb – otáčivý a přímočarý ve směru své osy. Nastavení rozměrů a přitlačné síly se provádí za pomoci rozpínacích kuželů. Příklad na honování bývá v rozmezí $0,02$ až $0,08$ mm. Ke chlazení a odpalování brusiva se používá olej s parafínem nebo sířený olej. Brousících kamenů bývá 3 až 12, záleží na průměru broušené díry. Kameny bývají různé podle obráběného materiálu. Na litinu karborundum, na ocel se používá umělý korund a na SK diamant. Pomocí honování dosahujeme drsnosti povrchu $R_a = 0,1$ až $0,2$, potom také vysoké geometrické přesnosti tvaru, odstraňuje se ovalita, kuželovitost a vlnitost ploch. [24]



Obr. 4. Honovací hlava a schéma honovacího stroje [28]

Superfinašování

Využívá se především na dokončování válcových ploch, nejčastěji vnějších. Na broušení se používají brousící kameny, které jsou upnuty ve zvláštní superfinašovací hlavě. Hlava (Obr. 5) je přitlačována k obrobku malou silou a vykonává kmitavý pohyb o frekvenci až 1200 dvojjzdvihů/min. Zároveň se také posouvá podél obráběné plochy. Obráběný materiál se otáčí vysokou rychlostí. Mezi styčné plochy se přivádí kapalina (petrolej a vřetenový olej). Před superfinašováním se materiál brousí s přídavkem 0,005 až 0,02 mm. Dosahuje se drsnosti $R_a = 0,025 - 0,1$ mm. Využívá se k broušení konců hřídelů, čepů pro kluzná ložiska, valivé prvky ložisek a další. [24]

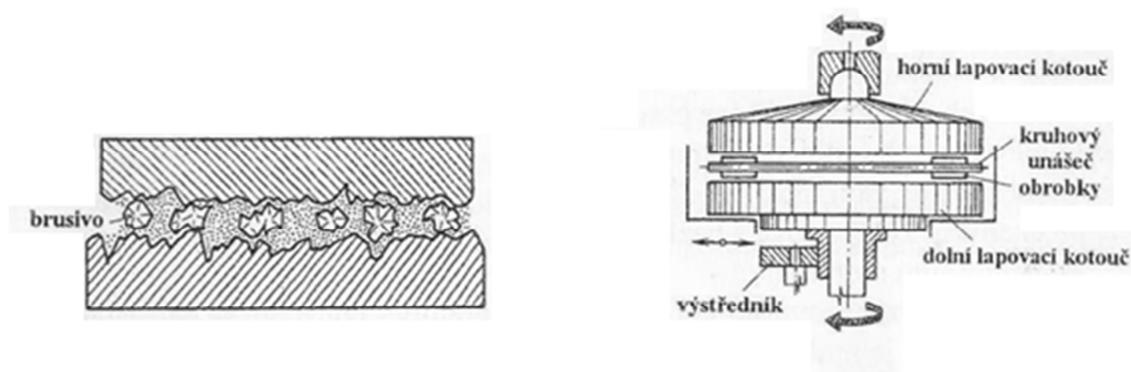


Obr. 5. Superfinašování [27]

Lapování

K úběru materiálu dochází volným brusivem, které je rozptýlené v kapalině nebo brusné pastě (Obr. 6). To je dodáváno do prostoru mezi obráběný materiál a lapovací stroj. Lapovací nástroj je negativem obráběné plochy a vykonává nepravidelný pohyb vůči obráběné

ploše. Brusivo se tak pohybuje po stále se měnících drahách a zanikají tím stopy po předěšlém obrábění. Lapovací nástroje (*Obr. 6*) bývají z mědi, litiny, měkké nebo kalené oceli nebo plastu. Jako brusivo se používá karborundum a pro hrubování korund. Pro jemné lapování oxid chromu a oxid železitý, pro SK karbid bóru nebo diamant. Kapalina je směs oleje a petroleje. Pomocí lapování dosahuje nejlepší přesnosti a drsnosti ze všech způsobů obrábění. Dosahuje se drsnosti $Ra = 0,02$ až $0,05$. Před lapováním se provádí jemné broušení s přídavkem $0,005$ až $0,03$ mm. [2]



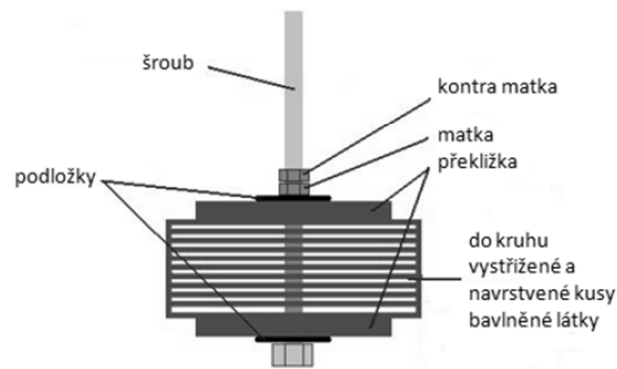
Obr. 6. Lapování [28]

Leštění

Dokončovací operace, kterou docílíme zrcadlového lesku a vysoké kvality obrobek. Leštěním (*Obr. 7*) se odstraňují drobné nerovnosti a dochází pouze k malým úběrům materiálu.

Jsou tři základní typy leštění:

- **Mechanické** – materiál je odebírán působením zrn tvrdých brousících materiálů. Zrna jsou pevně přichycena na leštícím nástroji nebo nanesena mezi nástroj a obrobek. Existují bavlněné leštící kotouče, sisalové kotouče (využívají se ke kartáčování a jemnému předleštění), vlněné a plastové stěrky využívané na odstranění emulzí a zbytkových nečistot. Leštěním lze dosáhnout drsnosti $Ra = 0,1 - 0,4 \mu\text{m}$.



Obr. 7. Schéma leštícího kotouče [24]

- **Chemické** – dochází k úběru materiálu vlivem roztoku. Vzniklou chemickou reakcí dojde k odebírání materiálu z vrcholků nerovností povrchu. Používá se k obrábění složitých tvarů a pro jednoduchost a rychlost procesu se využívá v sériové a hromadné výrobě. Chemickým leštěním se může dosáhnout přesnosti $R_a = 0,1 - 0,4 \mu\text{m}$.
- **Elektrochemické** – vrcholky nerovností jsou elektrochemicky rozpuštěny. Obrobek tvoří anodu, je ponořen do elektrolytu a umístěn mezi katody. Leští se tak rovinné, vnější i vnitřní rotační a tvarové plochy. Takto lze obrábět slitiny hliníku, korozivzdorné oceli, kalené nástrojové oceli, konstrukční oceli, mosaz, atd. Lze dosáhnout tímto způsobem leštění drsnosti $R_a = 0,1 - 0,8 \mu\text{m}$. [24]

1.4.2 Beztřískové dokončovací metody

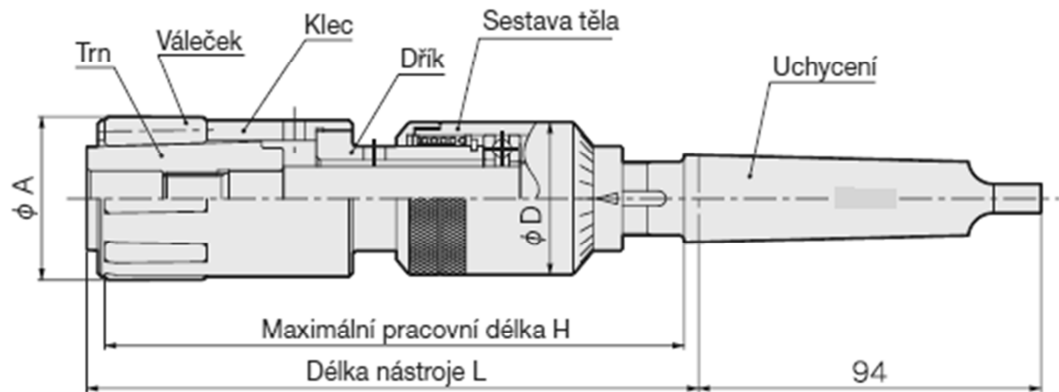
Při beztřískovém dokončování dochází k úpravě povrchu plastickou deformací. Deformace probíhá do několika setin až desetin milimetrů a tím dochází ke zlepšení parametrů povrchu.

Při dokončování za studena dojde ke zlepšení mechanických vlastností obrobku vyvoláním zbytkových pnutí do větší hloubky pod povrchem. Součást má potom vyšší únavovou pevnost, odolnost proti otěru a korozi, vyšší tvrdost apod. Za tepla má plastická deformace opačný účinek. Ohřátím dojde k snadnějšímu rozleštění vrcholků nerovností a dosáhne se lesklého povrchu, ale vzniknou pnutí, případně strukturní změny v povrchové vrstvě. Tím se zvýší šance na vznik trhlin a sníží se životnost součásti. [23]

Válečkování

Při válečkování působí váleček na dokončovanou plochu a odvaluje se. Výsledek závisí na průměru aktivního povrchu válečku. Menší průměr zvyšuje hloubku zpevnění,

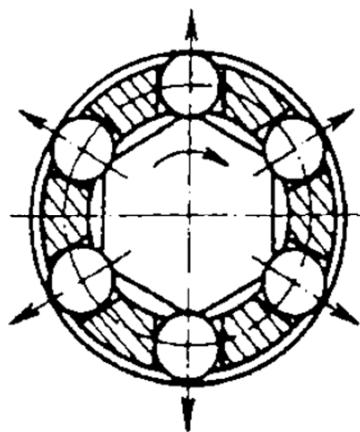
větším průměrem se dosáhne nižší hodnoty Ra. Používá se pro dokončování obrobených povrchů s hodnotou Ra 1,6 – 3,2 μm . Válečkují se vnitřní i vnější válcové a kuželové plochy. Výhodami válečkování je vysoká hospodárnost, krátké časy obrábění, spolehlivost procesu, vysoká hospodárnost, vysoká ekologičnost. [24]



Obr. 8. Válečkovácí hlava [25]

Existují dva základní způsoby válečkování:

- **Statické válečkování** – dochází k odvalování po dokončované ploše. Dosahuje se drsnosti Ra = 0,1 – 0,4 μm .
- **Dynamické válečkování** – charakterizuje silový impulz vyvozený na váleček pomocí rotujícího trnu nebo kroužkem s válečkovými plochami uvnitř nástroje (Obr. 9). Dosahovaná drsnost Ra = 0,2 – 0,8 μm . [24]



Obr. 9. Princip dynamického válečkování [24]

Vyhlazování

Tento způsob dokončování využívá nejjednodušší způsob vyvolání plastické deformace za studena v povrchové vrstvě. Pevný tvářecí element je přitlačován tlakem na plochu součásti za jejich vzájemného pohybu. Dochází tak ke smyku nástroje po obrobku. Nástroj bývá nejčastěji z kalené oceli (nástrojová, rychlořezná), slinutého karbidu, diamant, spékaný korund. Konečnou drsnost povrchu a hloubku zpevnění ovlivňuje hlavně materiál a tvar tvářecího tělíska, přitlačná síla, posuv, rychlost pohybu, chlazení a mazání. Dosažitelná drsnost povrchu je $R_a = 0,1 - 0,4 \mu\text{m}$ a hloubka zpevněné vrstvy dosahuje hodnot od 0,1 do 0,5 mm. [23]

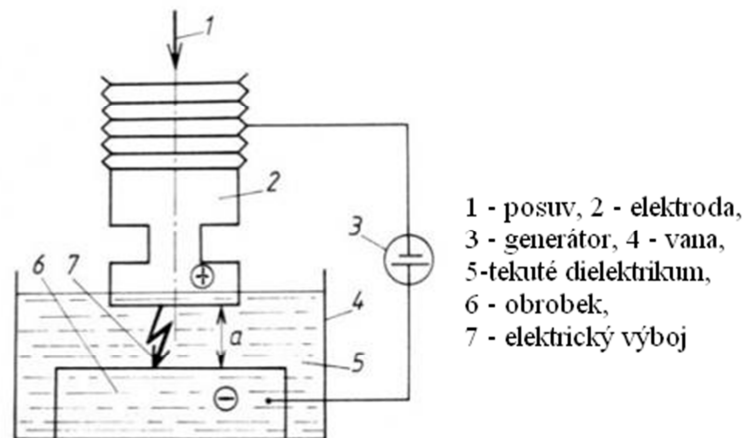
1.4.3 Nekonvenční metody obrábění

Tyto metody jsou založené na využití fyzikálního nebo chemického principu úběru materiálu. Ve většině případů jde o bezsilové působení na obráběný materiál a nevzniká tříska. Nekonvenční metody se začaly využívat především kvůli zvýšeným požadavkům na pevnost, tvrdost, houževnatost, odolnosti na opotřebení a standartními metodami toho nelze hospodárně dosáhnout.

Hlavními výhodami nekonvenčních metod je rychlost a výkonnost obrábění, která není závislá na mechanických vlastnostech obráběného materiálu, materiál nástroje nemusí být tvrdší než obráběný materiál, možnost provádět i technologicky složité operace nebo možnost úplné mechanizace a automatizace. [22]

Elektroerozivní obrábění

Jde o elektrotepelný proces, kde se dosahuje úběru materiálu elektrickými výboji mezi katodou (nejčastěji nástrojová elektroda) a anodou (nejčastěji obrobek) ponořenými do tekutého dielektrika (*Obr. 10*), které bývá většinou kapalina s vysokým elektrickým odporem. Základem úběru materiálu je elektroeroze. Materiál taje vlivem vysoké koncentrace energie (teplota se pohybuje v rozmezí od 3 000 do 12 000°C) a tím se odpařuje. Tuhle metodou lze zpracovávat pouze materiály, které jsou elektricky vodivé.



Obr. 10. Schéma elektroerozivního obrábění [22]

Cílem této metody je dosáhnout opakovanými výboji na obrobku maximálního úběru materiálu a na nástroji minimálního opotřebení a to při vyžadované produktivitě, tvarové přesnosti a jakosti obrobenej plochy. Docílit toho lze:

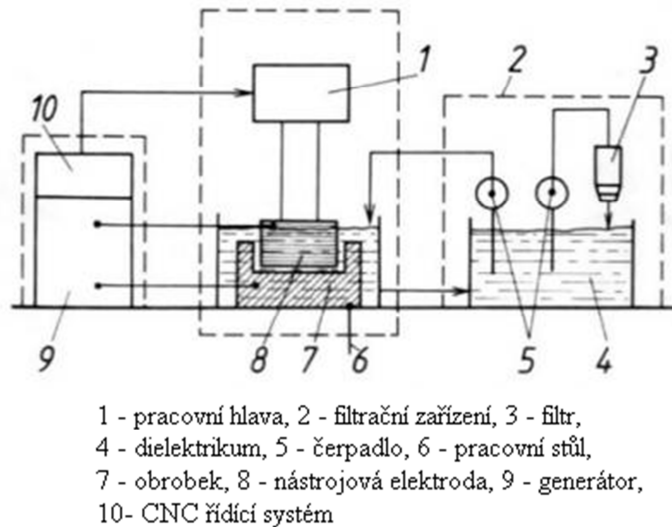
- Vhodným zapojením napájecího elektrického obvodu
- Vhodnými elektrickými parametry charakterizujícími jednotlivé výboje
- Četností výbojů
- Správnou volnou materiálu elektrody, kterou tvoří nástroj
- Správnou volbou dielektrika.

Velikost a tvar kráteru, který vznikne výbojem, jsou závislé na energii výboje a na době trvání. Velikost kráteru má vliv na účinnost procesu obrábění, jakost opracovaného povrchu a na přesnost rozměrů obrobku. Celkové množství odebraného materiálu závisí na energii výboje a na frekvenci výbojů. [22]

- **Hloubení dutin zápusťek a forem** – základní části stroje pro hloubení dutin zápusťek a forem viz Obr. 11. Moderní stroje jsou řízeny CNC řídicím systémem. Používají závislé elektrojiskrové generátory, které jsou založeny na opakovaném nabíjení a vybíjení kondenzátoru ze zdroje stejnosměrného napájení. Mechanické kolektorové a bezkolektorové generátory, kde pulzy vznikají roztáčením dynamu asynchronním motorem. Nezávislé tranzistorové širokorozsahové generátory, které nejčastěji používají multivibrátor vysílající impulzy, které jsou zesilovány v tranzistorovém zesilovači.

K dosažení ideálních pracovních podmínek mezi elektrodami je důležité přesné nastavení čelní pracovní mezery mezi nástrojovou elektrodou a obrobkem a její přes-

né dodržování po celou dobu pracovního cyklu. Elektrody jsou ponořeny v dielektriku, které plní funkci izolátoru mezi elektrodami, odvádí teplo z pracovního prostředí, ohraničuje místo výboje, odstraňuje odebraný materiál z místa výboje a zabraňuje usazování částic odebraného materiálu na nástrojové elektrodě. [22]



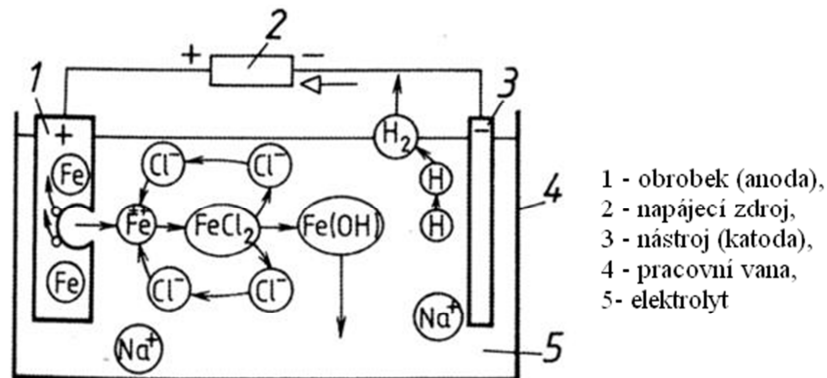
Obr. 11. Základní části stroje pro hloubení dutin zápustek a forem [22]

Elektrochemické obrábění

Elektrochemické obrábění je beztržisková metoda obrábění elektricky vodivých materiálů. Využívá působení elektrického proudu na elektrolyt (viz *Obr. 12*) a podstatou této metody je fyzikální jev elektrolýza.

Obrobek (anoda) i s nástrojovou elektrodou (katoda) jsou ponořeny v elektrolytu a dochází na něm k reakci. Kationty elektrolytu se slučují s anionty kovu na povrchu a postupně rozrušují (ubírají) kov z anody. Obrobek jako anoda kopíruje tvar nástrojové elektrody. Množství ubraného materiálu závisí na minimální pracovní mezeře mezi elektrodami, na teplotě, rychlosti proudění a složení elektrolytu.

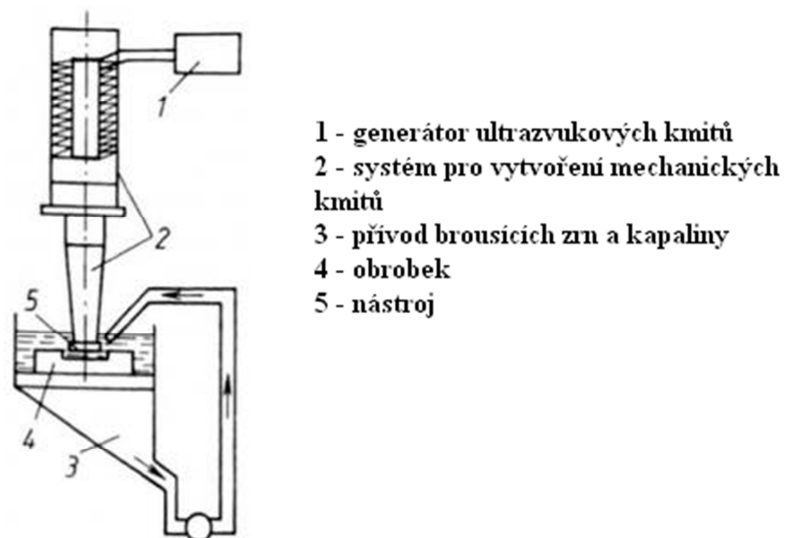
Elektrochemické obrábění se využívá k hloubení tvarů a dutin zápustek a forem, hloubení otvorů malých průměrů, odstraňování otřepů, dělení materiálů. [21]



Obr. 12. Princip elektrochemického obrábění [21]

Obrábění ultrazvukem

Jde o řízené rozrušování materiálu obrobku účinkem pohybu zrn abrazivního materiálu a působením kavitační eroze viz Obr. 13. Zrna abrazivního materiálu jsou přiváděna mezi obráběný povrch a nástroj. Ten kmitá v kolmém směru na obráběný povrch. Frekvence kmitů se pohybuje od 18 do 25 kHz. Zrna jsou přitlačována nástrojem stálou a řízenou silou na obráběný povrch a tím dochází k překopírování tvaru nástroje do obrobku. Nástroj kromě kmitavého pohybu může ještě vykonávat přímočarý posuvný pohyb, nebo jejich kombinaci. [30]



Obr. 13. Zařízení pro obrábění ultrazvukem [30]

2 INTEGRITA POVRCHU

Integrita povrchu je vztah mezi geometrickými vlastnostmi povrchu a fyzikálními vlastnostmi jako jsou zbytková pnutí, mikrostruktura materiálu, tvrdost. Všechny změny, ke kterým dochází v povrchové vrstvě součásti, se dají posuzovat jako změny jakosti. Změny, ke kterým dojde, se mohou potom dávat do vztahu s budoucí funkcí dokončené plochy a využívají se k hodnocení její integrity.

Je odrazem podmínek, za kterých funkční plocha vzniká, v úvahu se berou důsledky působení technologických metod na jakost obrobené plochy a dává je do vztahu k funkčním požadavkům na celý výrobek. Funkčnost povrchu lze ovlivnit výrobními metodami.

Do dneška neexistuje žádný způsob, jak lze komplexním způsobem ohodnotit novou vytvořenou plochu z hlediska její integrity. Hodně údajů, které souvisí s obrobenou plochou, se už běžně zjišťují a pro jiné jsou zpracovávány a navrhovány potřebné zařízení. Proto je zatím nejspolehlivější způsob pro zkoušku integrity vlastní provoz. [11,13]

Integrita povrchu se skládá z několika složek, které se využívají k popisu vlastností daného materiálu, jeho kvality a předpovídat vhodné využití dané součásti za různých podmínek.

2.1 Složky integrity

Mezi složky integrity povrchu patří:

- Drsnost povrchu
- Geometrická přesnost
- Změny tvrdosti v povrchové vrstvě
- Změny struktury
- Tepelné změny
- Trhliny
- Zbytková napětí [12]

2.1.1 Drsnost povrchu

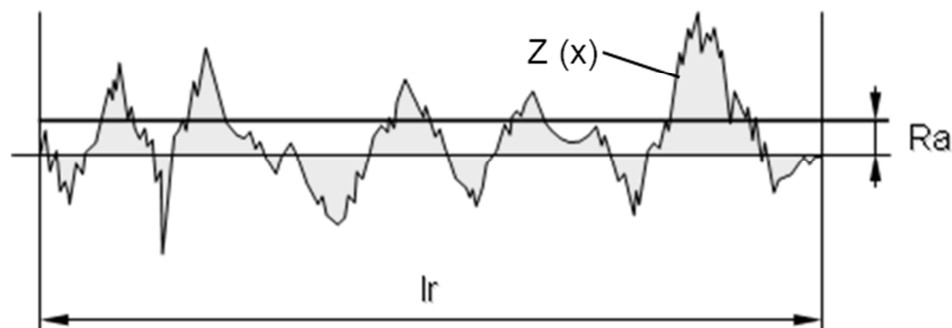
Drsnost vyjadřuje prostorové uspořádání (textura, morfologie) povrchu. Má podstatný vliv na jakost funkčních ploch. Pozorování, vyhodnocování a využívání drsnosti povrchu pro zvýšení jakosti je jeden ze základních úkolů.

Zásadní vlivy na drsnost povrchu má:

- nástroj – druh materiálu zrn a jejich velikost, ostrost a počet břitů, pevnost, geometrie zrna, křehkost a tepelná vodivost zrna, vlastnostmi složek a stavbou nástroje, vazba, druh a pevnost vazby zrna a pojiva, počet zrn na jednotkové ploše, tepelná vodivost brousícího kotouče,
- materiál obrobku – pevnost a plasticita, tvrdost povrchu, tepelná vodivost, rozměr a způsob zpracování,
- řezné podmínky a řezné prostředí – důležitou roli drsnosti hraje vlastní nástroj svojí konstrukcí a možnostmi vytvoření potřebných podmínek procesu. [18]

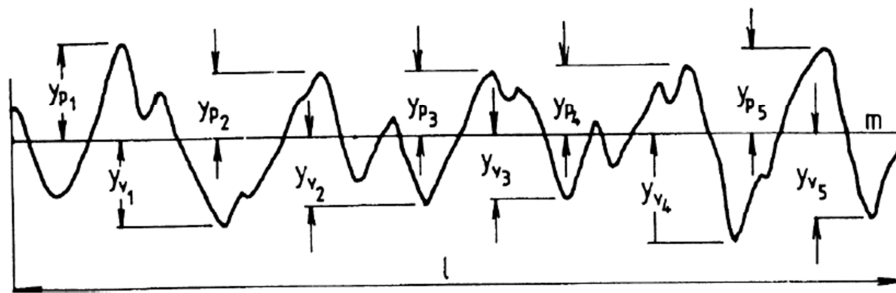
Drsnost povrchu je definována normou ČSN EN ISO 4287. Podle této normy je v současné době nejvíce využívány parametry:

- **R_a - střední aritmetická úchylka daného profilu:** je přednostní výškovou charakteristikou drsnosti povrchu. Je to střední aritmetická hodnota absolutních úchylek profilu v rozsahu základní délky, kde $Z(x)$ je funkce popisující profil a l_r základní délka viz *Obr 14*. [18]



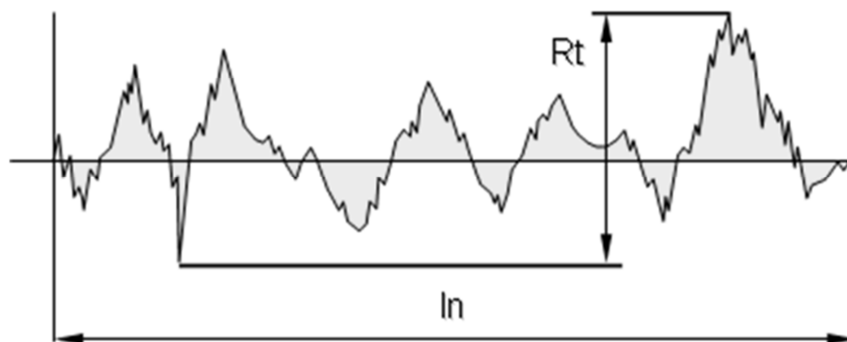
Obr 14. Průměrná aritmetická úchylka daného profilu [19]

- **R_z – výška nerovnosti profilu:** R_z je střední vzdálenost mezi pěti nejvyššími a pěti nejnižšími body zjištěného profilu od jeho střední čáry v délce měřeného úseku viz *Obr 15*.



Obr 15. Výška nerovností profilu [20]

- **R_t – celková výška profilu:** je to výšková charakteristika drsnosti povrchu, která je určena vzdáleností mezi čarou výstupků profilu a čarou prohlubní profilu v rozsahu základní délky l_n viz Obr 16. [18]



Obr 16. Celková výška profilu [19]

- **S_m – střední rozteč nerovností profilu:** je charakteristikou drsnosti povrchu v podélném směru povrchu. Je dán jako střední hodnota roztečí nerovností profilu v rozsahu základní délky.
- **S – střední rozteč místních výstupků profilu:** je udávána jako střední hodnota roztečí místních výstupků, ležících v rozsahu základní délky.
- **t_p – nosný podíl:** v %, číselné hodnoty polohy řezu profilu p vyjádřené podílem z R_m (%). [18]

2.1.2 Geometrická přesnost

Geometrická přesnost je dána odchylkami tvaru, jde především o souosost, válcovitost, kruhovitost, rovinnost a kolmost. Z pohledu ovlivňování přesnosti vlastním obrábě-

ním jde hlavně o kruhovitost, rovinnost a válcovitost. Parametry geometrické přesnosti mohou být ovlivněny kmitáním soustavy, nehomogenitou obráběného materiálu, proměnlivou tuhostí nástroje nebo proměnlivou tuhostí jeho upnutí. Míra odchylky od geometrické přesnosti je udávána rozdílem mezi nejvyššími a nejnižšími hodnotami profilu. [20]

2.1.3 Změny tvrdosti v povrchové vrstvě

Tvrdost povrchové vrstvy ovlivňuje vznik a množství tepla, schopnost snížit teplo a odvádět teplo z řezného prostředí. Při obrábění vzniká teplo, a pokud není žádná procesní kapalina, tak neustále narůstá množství tepla. Tím dochází k druhotnému zakalení povrchové vrstvy součásti. Pod touto vrstvou leží popouštěná vrstva a pod ní vrstva, která má hodnotu tvrdosti jádra. Pro zjištění tvrdosti v povrchové vrstvě se používá diamantový jehlan a ten se vtiskuje do hloubky 0,3 mm. Poté se určí nejvyšší, nejnižší a průměrná tvrdost z minimálně 60-ti vtisků a je stanovena směrodatná odchylka měření. [20]

2.1.4 Změna struktury

Změny ve struktuře materiálu mohou vzniknout působením vysokého mechanického zatížení a vznikajícího tepla při dokončovacích operacích. Tyto negativní změny můžou mít nežádoucí vliv na užité vlastnosti materiálu. Mezi ovlivněné vlastnosti patří např. kratší doba životnosti z důvodů trhlin v materiálu. [20]

2.1.5 Opaly a trhliny

Vliv na opaly má:

- Stav nástroje
- Volba nástroje
- Množství procesní kapaliny a její vlastnosti

Při dokončovacích operacích vzniká teplo, které neovlivňuje jenom strukturu materiálu, ale může také způsobit vznik opalu nebo trhlin. Pokud jde o opaly jedná se o změnu strukturálního charakteru. Pro odhalení opalů musíme nejdříve odleptat povrch materiálu. Opaly vypadají jako různě zbarvené oxidy a můžou mít plošnou nebo lokální rozlohu. Trhliny se mohou tvořit po dokončení obráběcího procesu v povrchové vrstvě a jsou důsledkem objemové změny při ochlazování. Mohou se také vyskytnout na okraji opalů. Trhliny se můžou rozšiřovat v průběhu využívání součásti a dochází k jejich rozšiřování a vznik nových trhlin. Což je vysoce nežádoucí. [20]

2.1.6 Zbytková napětí

Zbytková napětí jsou velmi důležitým prvkem integrity povrchu vytvořená v povrchové vrstvě během vlastního procesu a zároveň ovlivněna superpozicí předcházejících způsobů zpracování povrchu. Během obrábění jsou vyvolávána zbytková napětí tepelným a mechanickým zatížením povrchu jednotlivých působících složek procesu.

Tyto napětí působí nejen na dynamickou únosnost povrchu, ale také na životnost a jakost konstrukčních celků, ovlivňují korozivzdornost, odolnost proti opotřebení a rozměrovou stálost součástí.

Hlavními příčinami vzniku zbytkových napětí jsou:

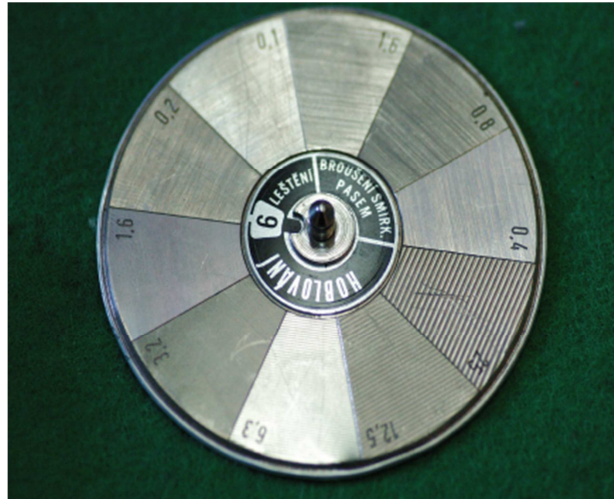
- Nerovnoměrná plastická deformace v obrobeném povrchu,
- Nerovnoměrný ohřev a ochlazování materiálu,
- Nerovnoměrné změny struktury – které jsou vyvolány působícím teplem a mechanickými silami,
- Chemické procesy – spojené s reakcí částic pronikajících do povrchové vrstvy. [17]

2.2 Způsoby měření drsnosti povrchu

Metody měření drsnosti povrchu se dělí na dva základní způsoby:

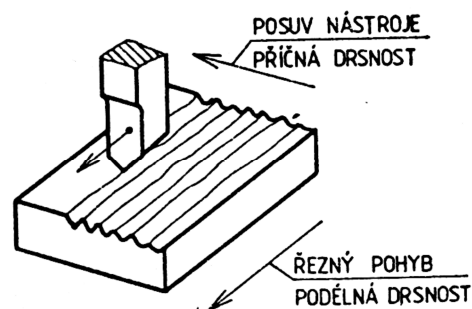
- Kvalitativní
- Kvantitativní

Kvalitativní metody jsou založené na porovnávání kontrolovaného povrchu s povrchem vzorovým pomocí zraku, případně hmatu, případně jednoduchými optickými pomůckami jako je lupa. Porovnávat lze povrchy opracované stejným nebo podobným způsobem obrábění a zjištění jestli je výsledná plocha hladší nebo hrubší než vzorová. K porovnávání slouží vzorkovnice drsnosti povrchu (viz *Obr. 17*). Jsou obrobené různými druhy opracování v různých stupních drsnosti. Vzorkovnice má tvar kotouče a obsahuje vždy 10 vzorových ploch ve tvaru kruhových výsečí.



Obr. 17. Vzorkovnice drsnosti povrchu [20]

Kvalitativní metody vyjadřují číselně drsnost povrchu a to v parametrech Ra, Rz. Měříme příčnou a podélnou drsnost. Výsledkem kvantitativní metody je soubor odchylek povrchu od nulové hodnoty komparátoru. [20]



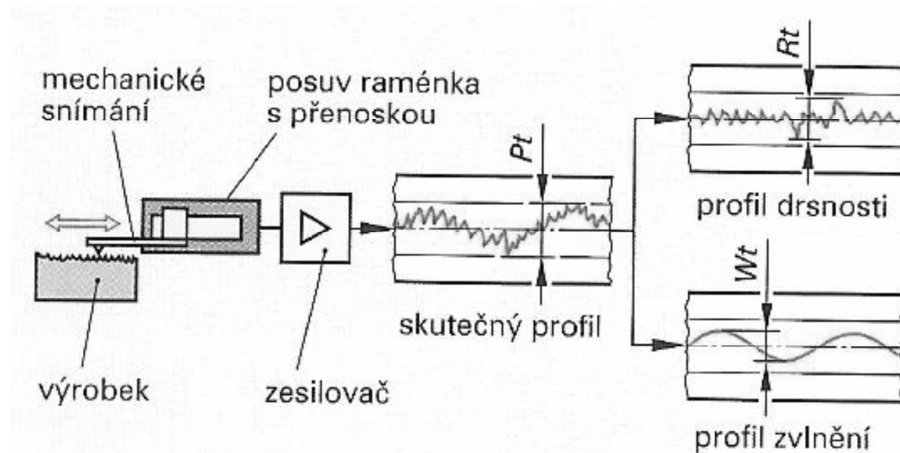
Obr. 18. Příčná a podélná drsnost [20]

Podle způsobu kontaktu mezi měřícím zařízením a vyhodnocovaným povrchem se dají metody měření:

- Dotykové - např. dotykové přístroje s diamantovým hrotem
- Bezdotykové – optické bezdotykové přístroje. [18]

2.2.1 Měření drsnosti povrchu dotykovým profilometrem

Dotykové profilometry pracují na principu změny pohybu snímacího diamantového hrotu na elektrický signál, ze kterého jsou určovány parametry povrchu (hloubka Pt, hloubka vln Wt a hloubka jakosti povrchu Rt) viz Obr. 19. K tomu slouží snímací přenoska.



Obr. 19. Princip měření jakosti povrchu [4]

Snímací hrot je umístěn na posuvném raménku, které je posouváno po povrchu. Pomocí tohoto hrotu získáváme úchytky povrchu ve formě jejich profilu. Z těchto údajů jsou poté získávány parametry drsnosti povrchu a zaznamenán měřený profil. Snímací diamantový hrot má tvar kuželu s vrcholovým úhlem 90° nebo 60° a je zaoblen na 2,5, 10 μm . Výhodou je schopnost překonat zbytky materiálu a olejový film, schopnost měřit strojírenské povrchy. [18]

2.2.2 Měření povrchu bezdotykovým způsobem

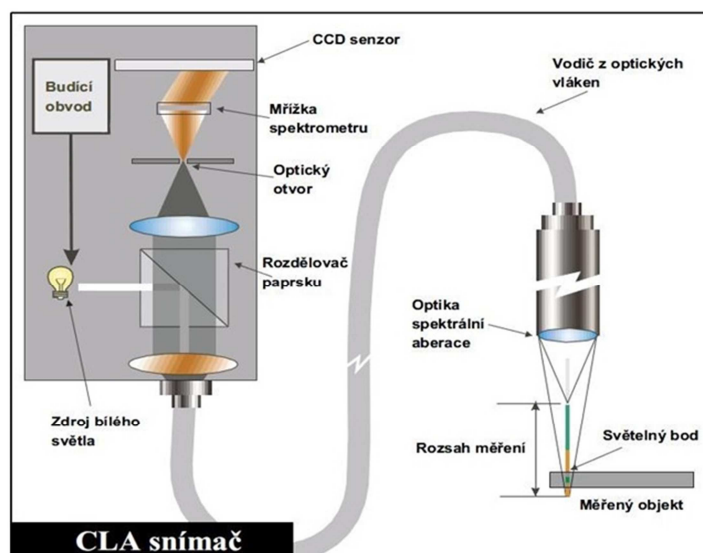
Bezdotykové metody měření (optické metody) drsnosti povrchu, jsou moderní způsoby vyhodnocování struktury povrchu. Mezi bezdotykové metody měření patří optický profiloměr, CLA snímač, Laserový snímač.

- **Optický profiloměr** (viz Obr. 20) – kontroluje profil pomocí bezkontaktního snímače, který rozkládá a směřuje světlo na daný povrch za pomoci optiky. Optika rozkládá světlo podle vlnových délek. V každém bodě je zaostřena jen určitá vlnová délka. Odražené světlo z povrchu prochází otvorem, který propustí jen světlo zaostřené vlnové délky. [8]



Obr. 20. Optický profiloměr[8]

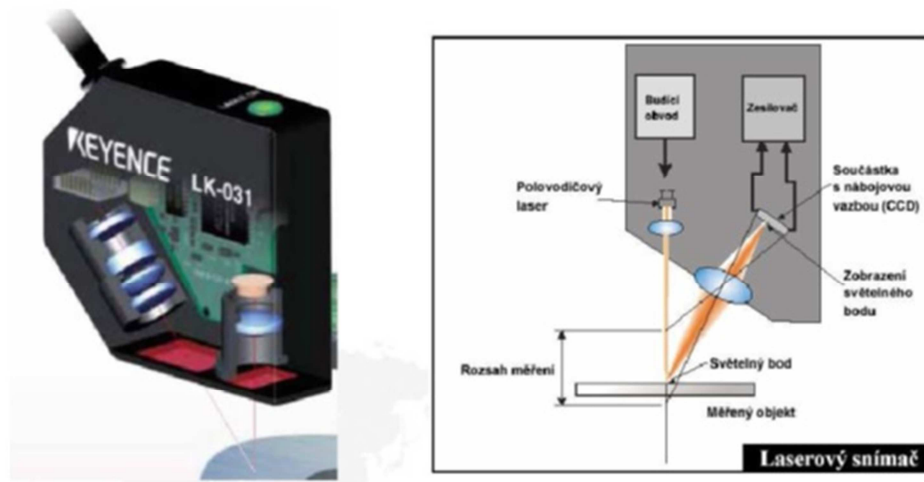
- **CLA snímač** – spočívá v rozkladu bílého světla. Světlo je rozloženo dle vlnových délek a v každém bodě povrchu dochází k zaostření pouze určité vlnové délky. Odražené světlo od objektu prochází otvorem zpátky. Otvor propouští pouze světlo zaostřené vlnové délky. Propuštěné světlo je vychýleno na CCD senzor a tam je mu přisouzena prostorová poloha. Schéma optického snímače lze vidět na Obr. 21. [8]



Obr. 21. Schéma optického snímače CLA [8]

- **Laserový snímač** – snímá povrch pomocí laserového snímače, který vysílá paprsek z polovodičového laseru. Paprsek se odráží od měřeného povrchu do přijímacího optického systému. Paprsek je zaostřen na CCD snímacím poli, kde je zajištěno rozdělení množství světla v bodě paprsku. Podle CCD obrázkových prvků na ploše

paprsku jsou určeny polohy zaměřeného bodu. Schéma laserového snímače lze vidět na *Obr. 22.* [8]



Obr. 22. Schéma laserového snímače [8]

3 POLYMERNÍ MATERIÁLY

Jsou to přírodní nebo syntetické látky, které jsou tvořeny makromolekulárními látkami, kde se mnohonásobně opakuje základní monomerní jednotka. Pomocí polyreakcí (polymerace, polykondenzace, polyadice) získáváme vysokomolekulární látky polymery.

Důvodem k rychlému a všestrannému rozšíření výroby a zpracování polymerních materiálů je:

- Polymer může nahradit klasický materiál (kov, sklo, dřevo, přírodní kaučuk), můžou mít jiné vlastnosti na rozdíl od klasických surovin, takže se dají využít i u odlišných aplikací,
- Mnoho polymerů se vyrábí z poměrně levných a snadno dostupných surovin
- Polymery se dají velmi snadno zpracovat a tvářet z taveniny nebo roztoku a umožňují tak rychlou a levnou hromadnou výrobu,
- Mají nízkou hustotu, většinou dobré elektroizolační vlastnosti a vysokou odolnost proti korozi.

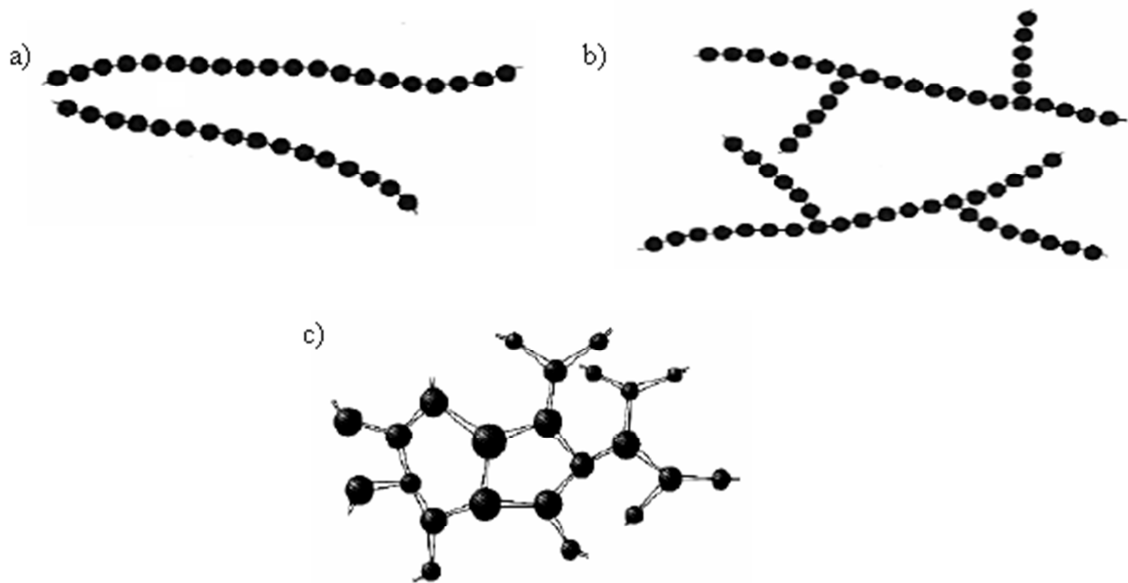
Existují také nějaké nedostatky u polymerních materiálů a tím jsou:

- Použitelnost je omezená teplotou a tvarovou deformovatelností,
- Jsou problémy s regenerací odpadu,
- Některé polymery mají sklon k elektrostatickému nabíjení,
- Oprava polymerů je poměrně obtížná,
- Většina plastů má nízkou tuhost. [7]

3.1 Rozdělení polymerů

Polymerní materiály se mohou dělit podle:

- Tvaru makromolekul:
 - Lineární (tvořeny jedním přímým řetězcem monomerních molekul),
 - Rozvětvené (mají hlavní řetězec a také boční větve),
 - Zesíťené (několik lineárních nebo rozvětvených makromolekul spojených mezi sebou vazbami). [9]

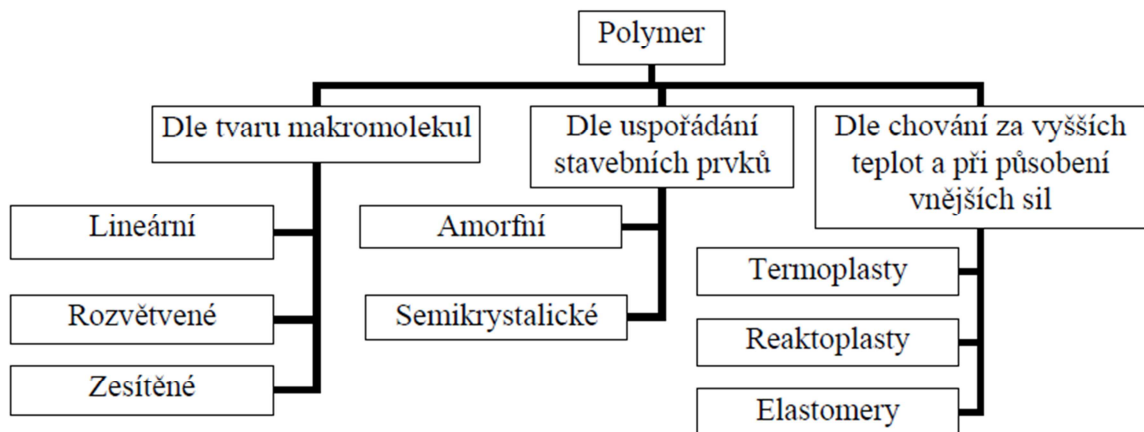


Obr. 23. Tvary makromolekul a) lineární, b) rozvětvené, c) zesíťené [9]

- Uspořádání nadmolekulární struktury
 - Amorfní (nepravidelně uspořádaná struktura),
 - Semikrystalické (pravidelně uspořádaná struktura).

Polymery lze obecně rozdělit podle mnoha hledisek. Příklad dělení polymerů je vidět na Obr 24. Nejčastěji se rozdělují podle toho, na jaké výrobky jsou určeny a berou se v potaz mechanické, optické, elektrické a další vlastnosti. Základní rozdělení je tedy:

- Termoplasty,
- Reaktoplasty,
- Elastomery. [9]



Obr 24. Rozdělení polymerů [9]

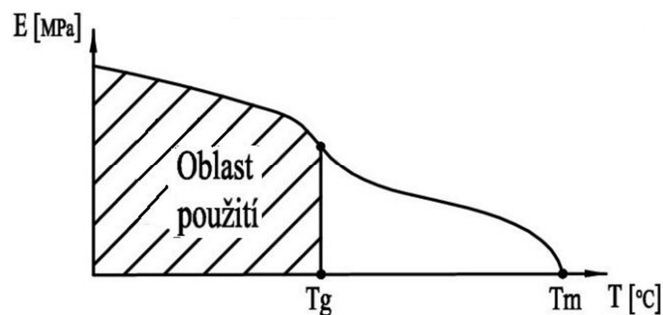
3.1.1 Termoplasty

Většinou jde o viskomolekulární plasty. Materiál jde opakovaně zahřát a poté plastic-ky tvářet. Po ochlazení se opět převede to tuhého stavu. Proces se dá provádět opakovaně, ale dochází přitom k mírné degradaci materiálových vlastností. Mezi nejvěžnější termo-plasty patří polyethylen, polyester, polystyren, polyvinylchlorid, ABS, polymethylme-thakrylát (plexisklo) nebo polyamidy. [1]

Termoplasty lze rozdělit podle:

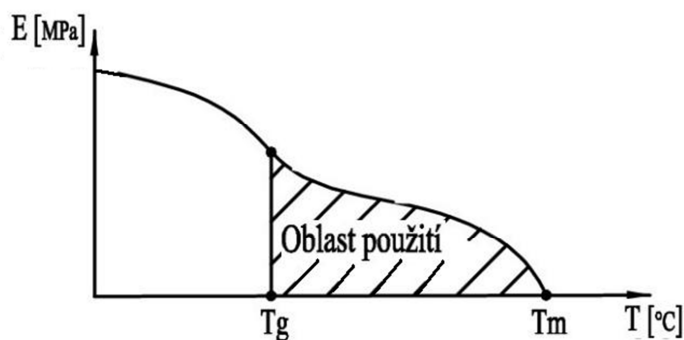
- **Amorfní** - obsahují nepravidelně uspořádané řetězce. Mezi charakteristické vlastnosti patří například tvrdost, křehkost, vysoká pevnost nebo vysoký modul pružnosti. Amorfní termoplasty jsou použitelné do teploty zeskelnění T_g viz

Obr 25. Nejznámější a nejvíce používané jsou PS, ABS, PC, PMMA. [1]



Obr 25. Oblast využití amorfních plastů [1]

- **Semikrystalické** – většina řetězců je pravidelně a těsně uspořádána a vytváří tak semikrystalické útvary. Zbytek řetězců je amorfně uspořádán. Charakteristickou vlastností semikrystalických polymerů je houževnatost. Pevnost a modul pružnosti se zvyšuje se stupněm krystalinity. Jsou použitelné do teploty tání T_m viz Obr. 26. Nejčastější a nejpoužívanější jsou PE, PP, PA6. [1]



Obr. 26. Oblast využití semikrystalických plastů [1]

3.1.2 Reaktoplasty

Tento druh polymeru je označován také jako termoset, duromer nebo duroplast. Je to plast, který je teplem vytvrditelný, ale pouze jednou. Je převeden do netavitelného a nerozpustného stavu účinkem tepla, zářením nebo katalyzátorem. Při této reakci se vytváří kovalentní vazby mezi makromolekulami polymeru a vzniká struktura prostorové sítě. Sítování reaktoplastů se v technické praxi nazývá vytvrzováním. [10]

3.1.3 Elastomery

Jsou to makromolekulární látky, pružné a syntetické, které se vlivem zatížení elasticky deformují a po odlehčení se vrátí opět do původního tvaru a podoby. Hlavní vlastnosti elastomerů je vysoká úroveň pružné deformace, nejlepší schopnost reprodukce, objemová stabilita. [10]

4 VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikování je nejrozšířenější technologický proces zpracování plastu. Pomocí vstřikování se vyrábějí výrobky, které jsou buď konečné, nebo jsou to polotovary či díly ke zkompletování celku. Vstřikováním plastů se vyrábí výrobky s velkou rozměrovou i tvarovou přesností, vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. [1]

4.1 Princip vstřikování

Vstřikování je proces, během kterého se roztavený materiál vstříkne vysokou rychlostí do dutiny formy, kterou zaplní a poté ztuhne a vytvoří výrobek s požadovanými vlastnostmi a tvarem. Metoda vstřikování je velmi progresivní s vysokou opakovatelností a umožňuje zhotovení velkého počtu výrobků za jednu operaci. Vstřikovací cyklus můžeme vidět na *Obr. 27*. [6]



Obr. 27. Vstřikovací cyklus [6]

Vstřikování probíhá tak, že plastový granulát je dávkován do násypky stroje. Odtud je odebírán pracovní částí stroje (pístem nebo šnekem) a dopravován do tavící komory. V tavící komoře je díky působení tepla a tření natavován. Poté je tavenina pomocí pístu nebo šneku vstříknuta do formy. Vstřikovací cyklus začíná v momentě uzavření vstřikovací formy, kdy je vstřikovací jednotka ve výchozí poloze. Následuje přisunutí vstřikovací jednotky a dosednutí na uzavřenou formu a začíná vstřikování taveniny do dutiny formy.

V momentě kdy je dutina naplněna začne tuhnutí taveniny a po určitém čase doplnění formy (dotlak). Uvnitř formy nadále pokračuje tuhnutí bez tlaku. Poté dojde k odjezdu vstřikovací jednotky do výchozí polohy. Po zatuhnutí výstřiku dojde k otevření formy a vyhození výstřiku. Během toho probíhá ve vstřikovací jednotce příprava taveniny. Forma a vstřikovací jednotka jsou ve výchozí poloze a celý proces se může opakovat. [6]

4.2 Technologické parametry vstřikování

4.2.1 Vstřikovací rychlost

Rychlost proudění taveniny do dutiny formy (objem/jednotka času) vztažená k otvoru trysky. [31]

4.2.2 Vstřikovací tlak

Vstřikovací síla vztažená na jednotku plochy čela vstřikovacího šneku nebo pístu. Ovlivňuje rychlost plnění, vnitřní pnutí, uzavírací sílu, smrštění, orientaci (narovnání makromolekul do směru toku). [31]

4.2.3 Tvářecí tlak

Je to tlak ve tvarové dutině formy, je vždycky nižší než vstřikovací tlak vlivem tlakových ztrát. [31]

4.2.4 Dotlak

Tlak, který působí po zaplnění dutiny formy na materiál do momentu zatuhnutí výstřiku nebo vtokového systému. Většinou bývá nižší než vstřikovací tlak, výjimečně může být stejný. Dotlak se rozděluje na izobarický a izochorický. Aby mohl působit dotlak, musí být před čelem šneku určitý objem plastu (polštář), na který působí šnek svým čelem. Objem nesmí být moc velký (většinou bývá 10-15%, méně než jednonásobek průměru šneku D), aby nedošlo k teplotní degradaci hmoty. [31]

4.2.5 Teplota materiálu

Teplota, na kterou se materiál vytemperuje v průběhu fáze zvané plastikace při otáčení šneku, kdy se požadovaný objem množství taveniny shromáždí před čelem šneku. Přesná teplota je závislá na typu polymeru a ovlivňuje tekutost plastu, dobu chlazení, vstřikovací tlak a potom také dobu cyklu, smrštění, tlakové ztráty, dotlak, atd. [31]

4.2.6 Teplota formy

Hodnota, na kterou se vstřikovací forma vytemperuje teplem, které je přivedeno z temperačního zařízení a většinou je vyšší než 60°C. Pokud je forma vytemperována na méně než 60°C, tak se považuje za netemperovanou. Konkrétní teplota formy závisí na typu plastu a charakteru výrobku, ovlivňuje tekutost plastu, lesk a povrch výrobku, rychlost plnění, dobu chlazení, teplotu taveniny, dotlak, vnitřní pnutí, smrštění, atd. Z pohledu technologického by měla být teplota co nejvyšší, hlavně u semikrystalických polymerů. [31]

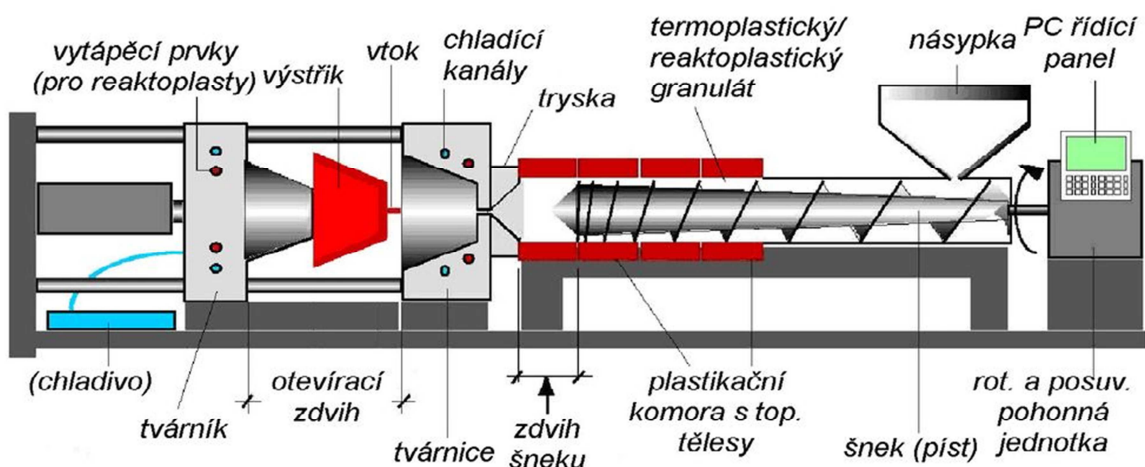
4.2.7 Doba vstřikovacího cyklu

Časový interval, ve kterém proběhnou po sobě všechny fáze vstřikovacího cyklu. [31]

4.3 Vstřikovací stroj

Vstřikovací stroj (*Obr. 28*) se používá k tavení plastového granulátu a poté k dopravě do dutiny formy. Různých provedení konstrukcí vstřikovacího stroje existuje spousta a odlišují se provedením, obsluhou, rychlostí výroby, stupněm řízení nebo cenou. Vstřikovací stroj se skládá ze tří základních částí:

- Vstřikovací jednotka
- Uzavírací jednotka
- Ovládaní a řízení stroje [3]



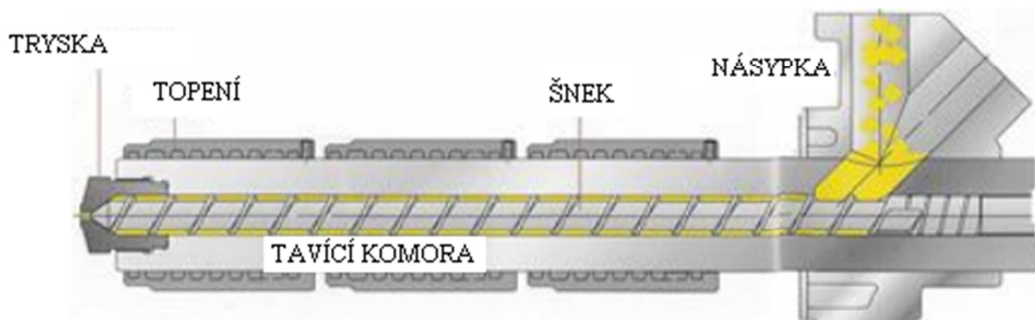
Obr. 28. Schéma vstřikovacího stroje [9]

4.3.1 Vstřikovací a plastikační jednotka

Do plastikační jednotka se dopravuje plastový granulát, který se v ní přeměňuje na taveninu o viskozitě, kterou potřebujeme a vstřikovací jednotka následně dopraví pod velkým tlakem a vysokou rychlostí taveninu do dutiny formy.

U prvních vstřikovacích strojů se používaly pístové vstřikovací jednotky. V dnešní době už se využívají šnekové jednotky (viz *Obr. 29*), díky kterým dochází k lepší homogenizaci taveniny, zajišťují přesné dávkování a ohřívají jenom požadované množství materiálu na tavící teplotu, díky čemuž nedochází k tepelné degradaci taveniny působením tepla příliš dlouhou dobu.

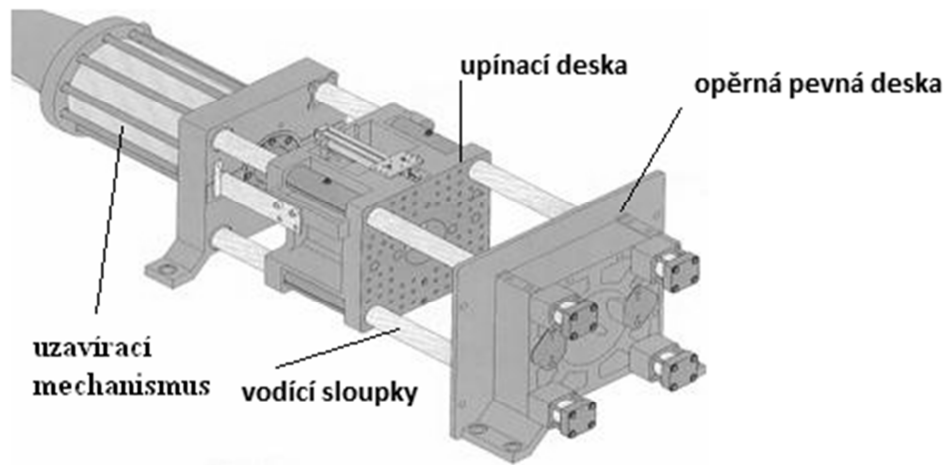
Při plastikaci se otáčí šnek a nabírá plastový granulát z násypky, který stlačuje a následně ho dopraví do vytápěné části komory. Tam materiál taje a nahromaduje se před čelem šneku jako tavenina. Když je zplatikované potřebné množství zastaví se otáčivý pohyb šneku a poté se šnek pohybuje pouze dopředu a vstříkne taveninu do dutiny formy. [6]



Obr. 29. Řez vstřikovací jednotkou [15]

4.3.2 Uzavírací jednotka

Uzavírací jednotka (*Obr. 30*) slouží k otevření, zavření a případně i vyprázdnění formy. Zajišťuje také uzavření formy takovou silou, aby se při vstříknutí tlakem taveniny forma neotevřela. Dnešní moderní stroje mají programovatelnou rychlost a uzavírací sílu vstřikovací formy. [1]



Obr. 30. Uzavírací jednotka [15]

Uzavírací jednotka je tvořena čtyřmi hlavními částmi:

- Opěrná deska pevná
- Upínací deska
- Vodící sloupky
- Uzavírací mechanismus

Uzavírací mechanismus může být v několika různých provedeních:

- Hydraulický
- Hydraulicko – mechanický
- Elektromechanický. [1]

4.3.3 Ovládání a řízení stroje

Stupeň řízení a jednoduchost obsluhy stroje jsou charakteristickými znaky jeho kvality. Velmi význačným a důležitým faktorem technologických parametrů je stálá reprodukovatelnost. Pokud tyto parametry nepřiměřeně kolísají, projeví se tato nerovnoměrnost na kvalitě a přesnosti výstřiků. Řízení stroje proto musí být zajištěno vhodnými řídicími a regulačními prvky.

V dnešní době se využívají u vstřikovacích strojů výkonné procesorové techniky. Řídicím systémem je také kontrolováno nastavování technologických parametrů. Nevyužívá se klasická textová forma při nastavování parametrů, ale nejrůznější grafické formy řízení pracovního cyklu na displeji. Pracovní cyklus je tak lehce kontrolovatelný a případně upravitelný.

Nastavení stroje kontroluje řídicí jednotka se zpětnou vazbou. Úpravu programu lze snadno provést za pomoci dotykového displeje. Řízení stroje má zásadní vliv na přesnosti a jakosti výrobků.

Přesnost určuje a dodržuje:

- Nastavení velikosti a délky vstřikovacího tlaku, dotlaku, rychlosti vstřiku a chlazení. Tyto parametry mají vliv hlavně na přesnost a toleranci výstřiků.
- Nastavením teploty taveniny. Správnou homogenitou taveniny jsou určeny fyzikální a mechanické vlastnosti výrobků. [1]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo porovnat vliv procesních parametrů na jakost povrchu polymerních vzorků při použití různých tvarových vložek pro vstřikovací formu. Každá tvarová vložka měla jinou drsnost funkční plochy.

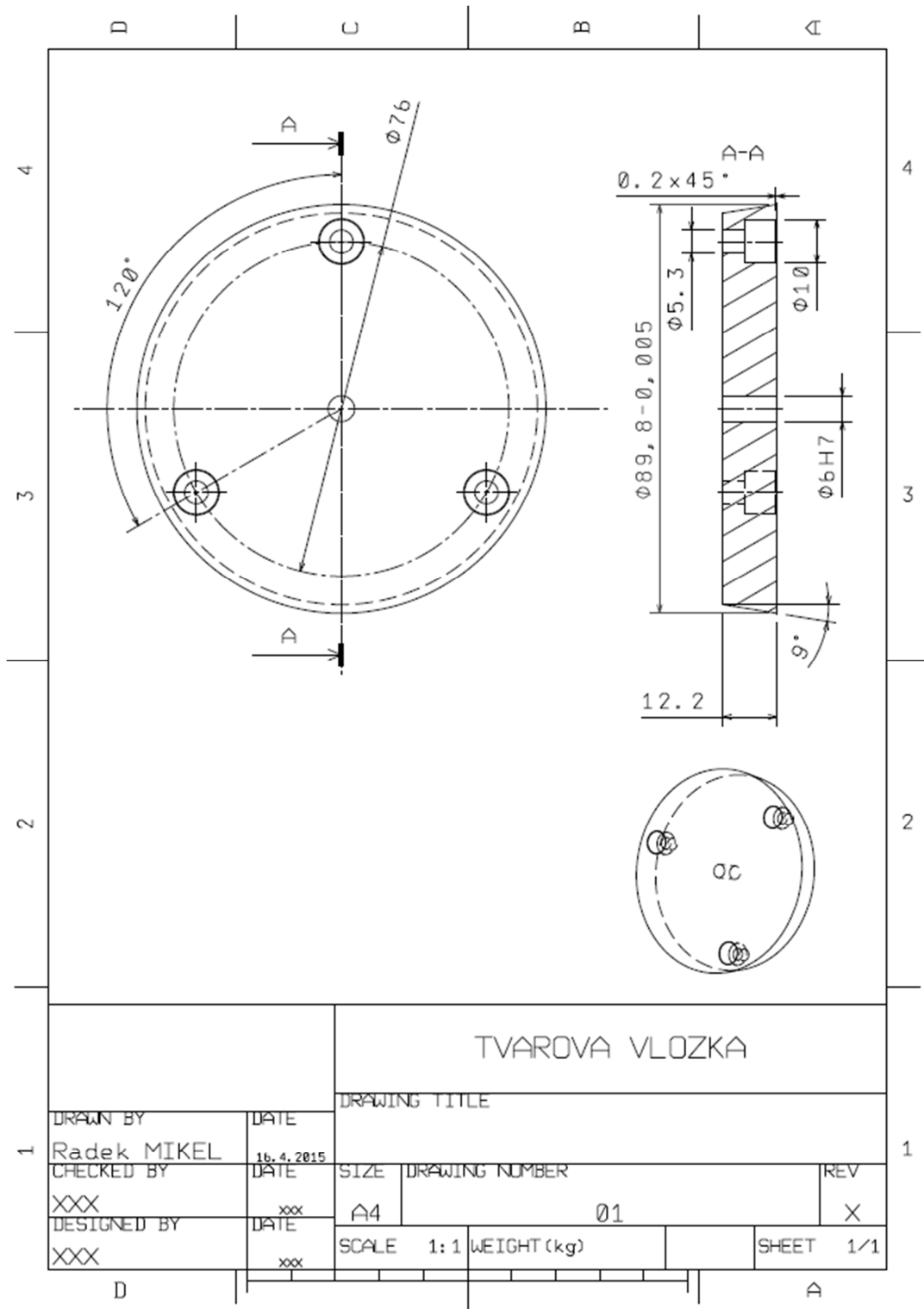
Výzkum byl prováděn z těchto důvodů:

- Zjistit, který procesní parametr má největší vliv na jakost povrchu
- Vyhodnotit podle výsledných naměřených drsností jaká vložka je nejvýhodnější z ekonomického hlediska

Každá tvarová vložka byla použita jako část formy na vstřikování polymeru akrylonitril-butadien-styrenu (ABS). Z procesních parametrů se měnily vstřikovací tlak, vstřikovací rychlost a dotlak. Každá vložka byla použita na všechny pracovní parametry. Všechna naměřená data byla zpracována a z nich následně vytvořeny grafy.

6 NÁVRH A VÝROBA VLOŽEK

Pro vstřikování zkušebních vzorků bylo nutné vyrobit tvarové vložky. Každá z daných vložek se lišila jakostí povrchu funkční plochy. Tvar a rozměry vložky viz *Obr. 31*.



Obr. 31. Výkres tvarové vložky vstřikovací formy

Všechny vložky byly vyrobeny z oceli EN 1.2343 (ČSN 19 552). Celkem bylo vyrobeno 10 tvarových vložek, které se liší drsností funkční plochy. Funkční plocha přichází do styku s vstříkovaným materiálem a má hlavní podíl na drsnosti výstřiku. Vložky byly očíslovány od 1 do 10. Nejhorší jakost povrchu má tvarová vložka č. 10 a postupně se jakost povrchu zvyšuje až k vložce č. 1, která má nejlepší kvalitu obrobené plochy.

Funkční plochy tvarových vložek č. 10 až 6 byly zhotoveny soustružením a liší se pouze tím, za jakých pracovních podmínek byly vyrobeny (otáčky, hloubka řezu, přísuv, řezná kapalina). Vložky č. 5 až 1 byly také vyrobeny soustružením, ale poté ještě následovaly další povrchové úpravy jako broušení a další dokončovací metody. Soustružení probíhalo na soustruhu TOS Žebrák S32, broušení na brusce BRH 20.03F.

6.1 Materiál tvarových vložek

Pro výrobu tvarových vložek byl použitý materiál ocel EN 1.2343 (ČSN 19 552). Jde o chrom – molybden – křemíkovou středně legovanou ocel ke kalení v oleji a na vzduchu s velice dobrou prokalitelností. Vyznačuje se vysokou pevností za tepla, odolností proti popuštění, velice dobrou houževnatostí a plastickými vlastnostmi při normálních i zvýšených teplotách. Ocel má také velmi dobrou odolnost proti vzniku trhlinek tepelné únavy a malou citlivost na prudké změny teploty. Má dobrou tvárnost za tepla a dobrou obrobitelnost ve stavu žíhaném na měkko. [32]

Chemické složení oceli ČSN 19 552 je uvedeno v následující tabulce:

Tab. 4. Chemické složení oceli ČSN 19 552

Značka oceli	Chemické složení v %								Tvrдость ve stavu	
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	P max.	S max.	Žíh. na měkko	HRC min.
ČSN 19 552	0,32-0,42	0,20-0,50	0,80-1,20	4,50-5,50	1,10-1,60	0,35-0,60	0,030	0,030	HB max.	HRC min.
									240	50

Tab. 5. Tepelné zpracování oceli EN 1.2343

Způsob	Teplota [°C]	Postup
Kování	850-1110	Pomalou ochlazovat v suchém popelu nebo silné průřezy v peci
Žhání na měkko	760-780	Několik hodin prohřát (podle velikosti předmětu), většinou stačí 4 hodiny a pomalu ochlazovat v peci
Žhání ke snížení pnutí	600-650	1 až 2 hodiny prohřát a pomalu ochlazovat
Kalení v oleji nebo na vzduchu	1000-1030	Menší a jednodušší nástroje ochlazovat v oleji asi do 100°C, větší a členitější nástroje je lepší ochlazovat na vzduchu
Popuštění	550-650	Ochlazovat na vzduchu, stupeň popuštění se řídí tvrdostí a houževnatostí nástroje dle popouštěcího diagramu

Ocel se používá pro formy na pevné i pohyblivé díly jádra a jiné části forem pro tlakové lití slitin hliníku a velké série odlitků slitin zinku a hořčíku. Na nástroje pro tváření za tepla (velmi namáhané malé a středně velké zápustky a vložky zápustek). Potom také na lisovací matrice, trny, čelisti, šneky pro zpracování umělých hmot, nitrídané vyhazovače a razníky s vysokou pevností. Na hodně namáhané průtlačníky a další pomocné nástroje pro protlačování neželezných kovů za tepla, na nástroje pro stříhání za tepla. [32]

Tab. 6. Vybrané fyzikální vlastnosti oceli ČSN 19 552

Vlastnosti	Hodnota
Modul pružnosti E při 20°C	215 000 MPa
Hustota	7850 kg/m ³
Měrná tepelná kapacita při teplotě 20°C	460 J.kg ⁻¹ .K ⁻¹
Tepelná vodivost při teplotě 20°C	25 W.m ⁻¹ .K ⁻¹
Teplotní vodivost	0,05 m ² /s
Mez pevnosti Rm po zušlechtění	1200 MPa
Součinitel teplotní vodivosti při teplotě 20°C	6,97.10 ⁻⁶

6.2 Postup výroby vložky

1. Z tyče kruhového průřezu byl upíchnutý na soustruhu materiál, který měl tloušťku tvarové vložky s přídavkem 1 mm. Přídavek zde byl pro následné dokončení funkční plochy povrchu vložky.
2. Poté bylo na soustruhu srovnáno čelo tvarové vložky.
3. Následovalo vyvrtání díry Ø6H7.

4. Obráběný materiál byl upnut do přípravku na frézku a vyfrézovány 3 otvory o $\varnothing 3,5\text{mm}$ i se zahloubením
5. Poté byl obrobek upnut do přípravku na soustruh a vyrobeno zkosení po obvodu vložky.

6.3 Výroba funkčních ploch

Tvarové vložky jsou z oceli EN 1.2343 (ČSN 19 552) a funkční plochy na nich byly vytvořeny následujícím způsobem:

Vložka č. 10 až č. 6

Vyrobena soustružením za následujících technologických parametrů:

Tab. 7. Technologické parametry soustružení tvarových vložek

	Vložka č. 10	Vložka č. 9	Vložka č. 8	Vložka č. 7	Vložka č. 6
Hloubka řezu [mm]	0,10	0,30	0,10	0,10	0,10
Přísuv [mm/ot]	0,32	0,15	0,16	0,04	0,01
Otáčky [1/min]	125	125	125	125	250
Řezná kapalina	Ne	Ne	Ne	Ne	Ano

Vložka č. 5

Tab. 8. Technologické parametry výroby vložky č. 5

Dokončovací metoda	Technologické podmínky
Broušení s vyjiskřováním + procesní kapalina	Hloubka řezu 0,005 mm Posuv 7 m/min Řezná rychlost 29,4 m/s
Broušení na soustruhu brusným papírem Klingspor P2000 + procesní kapalina	Otáčky 3200 ot/min po dobu 5 min

Vložka č. 4

Tab. 9. Technologické parametry výroby vložky č. 4

Dokončovací metoda	Technologické podmínky
Broušení s vyjiskřováním + procesní kapalina	Hloubka řezu 0,005 mm Posuv 7 m/min Řezná rychlost 29,4 m/s
Leštění na soustruhu plstí s leštící pastou Novapax 20 μ m + procesní kapalina	Otáčky 3200 ot/min po dobu 10 min

Vložka č. 3

Tab. 10. Technologické parametry výroby vložky č. 3

Dokončovací metoda	Technologické podmínky
Broušení s vyjiskřováním + procesní kapalina	Hloubka řezu 0,005 mm Posuv 7 m/min Řezná rychlost 29,4 m/s
Broušení na soustruhu brusným papírem Klingspor P2000 + procesní kapalina	Otáčky 3200 ot/min po dobu 5 min
Leštění na soustruhu plstí s leštící pastou Novapax 20 μ m + procesní kapalina	Otáčky 3200 ot/min po dobu 115 min

Vložka č. 2

Tab. 11. Technologické parametry výroby vložky č. 2

Dokončovací metoda	Technologické podmínky
soustruženo + procesní kapalina	Hloubka řezu 0,1 mm Přísuv 0,01 mm/ot Otáčky 250 ot/min
Leštění brousícími kameny + petrolej	zrnitost kamenů 600, 900 a 1200
Leštění plstí s diamantovou pastou	Velikost zrna 2,5 μ m

Vložka č. 1

Tab. 12. Technologické parametry výroby vložky č. 1

Dokončovací metoda	Technologické podmínky
soustruženo + procesní kapalina	Hloubka řezu 0,1 mm Přísuv 0,01 mm/ot Otáčky 250 ot/min
Leštění brousícími kameny + petrolej	zrnitost kamenů 600, 900 a 1200
Leštění plstí s diamantovou pastou	Velikost zrna 2,5 μ m a 1 μ m
Leštění vatou s diamantovou pastou	Velikost zrna 0,5 μ m

6.3.1 Stroje použité při výrobě funkčních ploch tvarových vložek

- Soustruh TOS Žebrák S32

Univerzální soustruh TOS žebrák S32 (viz Obr. 32) byl použitý při většině prováděných operací při výrobě tvarových vložek i jejich funkčních ploch pro vstřikovací formu, pomocí které se vstřikovaly zkušební vzorky. Následně na něm byl upravován i středící kroužek vstřikovací formy. Během práce na tomto soustruhu byla použita procesní kapalina 5% emulze Anc Fod Microtrend 217M.

Základní parametry soustruhu jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 13:

Tab. 13. Základní parametry soustruhu

Základní parametry	
Otáčky [ot/min]	20-3200
Počet rychlostí	3x18
Vzdálenost hrotů [mm]	750
Oběžný průměr nad ložem [mm]	320
Oběžný průměr nad suportem [mm]	190



Obr. 32. Univerzální soustruh TOS žebřák S32

- **Univerzální frézka FHV-50PD**

Univerzální frézka FHV-50PD (viz Obr. 33) pro široký rozsah běžných i přesných frézovacích a vrtacích operací. Tyto operace na frézce lze provádět v poloze vertikální, horizontální i úhlové a posuv je možno řídit ručně nebo strojně. Stroj se používá pro frézování kovových i nekovových materiálů.

Na frézce se provádělo vrtání a zahlubování otvorů tvarových vložek, úprava středícího kroužku vstřikovací formy a provedeny vrypy na všech tvarových vložkách.



Obr. 33. Frézka FHV-50PD [34]

Základní parametry frézky FHV-50PD jsou uvedeny v následující *Tab. 14*:

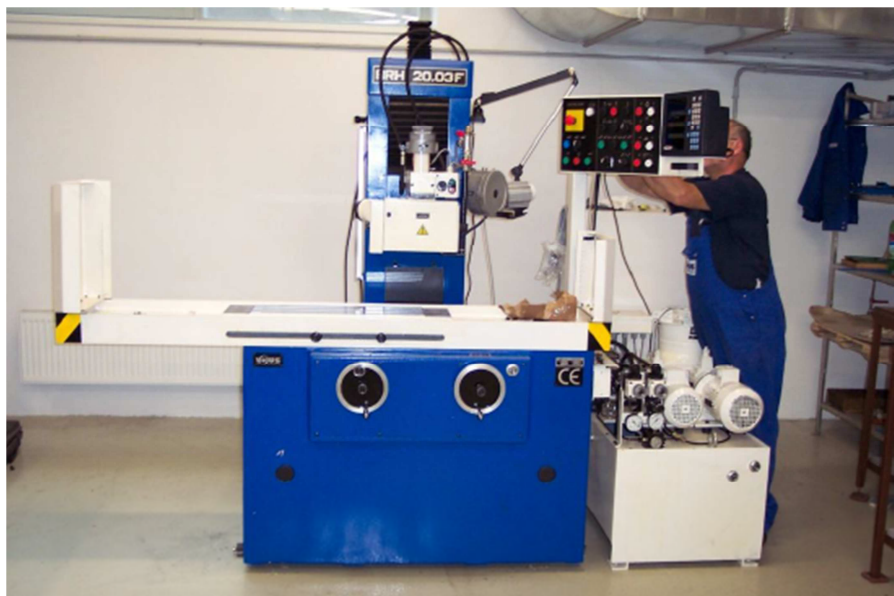
Tab. 14. Základní vlastnosti frézky [33]

Základní parametry	
Zdvih vřetene [mm]	120
Max. průměr vrtání [mm]	50
Max. průměr frézovací hlavy [mm]	100
Rozměr stolu [mm]	800x240
Otáčky vertikálního vřetene [ot/min]	115-1750
Otáčky horizontálního vřetene [ot/min]	60-1350
Rozsah rychlosti posuvu [mm/min]	18-300
Pracovní zdvih v ose Z [mm]	380

- **Rovinná bruska BRH 20.03F**

U této rovinné brusky BRH 20.03F (viz *Obr. 34*) stůl vykonává podélný posuvný pohyb a příčný pohyb koná vřeteník spolu se stojanem. Vřeteník se stojanem vykonávají také ještě vertikální pohyby.

Bruska byla použita při broušení funkčních ploch tvarových vložek vstříkovací formy, s nejlepší jakostí povrchu, před finálními dokončovacími operacemi. Při broušení byl použitý kotouč 98A60K9V01 o vnějším průměru 220 mm. Kotouč byl složen se světle růžového umělého korundu v keramickém pojivu. Tento typ kotouče je vhodný pro broušení oceli. Jako procesní kapalina byla použita 5% emulze Anc Fod Microtrend 217M.



Obr. 34. Rovinná bruska BRH 20.03F [34]

Základní parametry rovinné brusky jsou uvedeny v *Tab. 15*:

Tab. 15. Základní vlastnosti brusky BRH 20.03F [35]

Základní parametry brusky	
Pracovní plocha stolu [mm]	200x630
Rozměry brusného kotouče [mm]	250x20-50x76
Rychlost stolu [m/min]	1-30
Otáčky brousícího vřeten [ot/min]	2550
Výška stroje [mm]	2240
Hmotnost stroje [kg]	1860

7 VSTŘIKOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

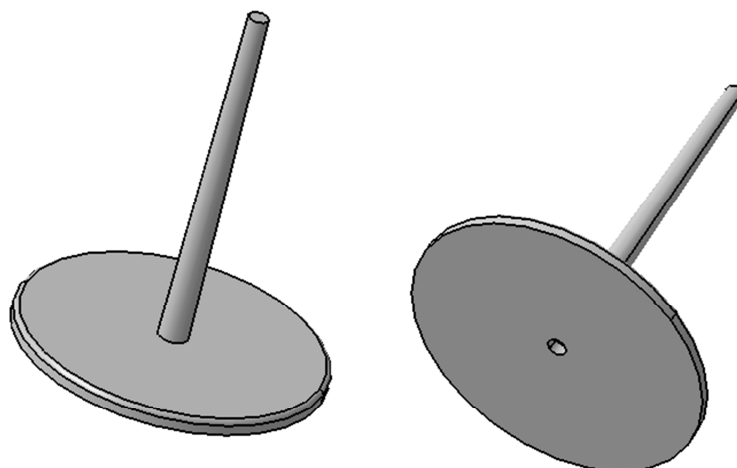
Pro vstřikování zkušebních vzorků byl použitý stroj Arburg Allrounder 470H 1000-400. Materiál na vstřikování byl použitý ABS a navážené požadované množství bylo nejdříve vysušeno v sušičce Arburg Thermolift 100-2 po dobu 3 hodin za teploty 80°C podle materiálového listu. Po vysušení byl materiál nasypán do násypky na vstřikovacím stroji.

Podmínky, za jakých byl materiál ABS vstřikován, jsou uvedeny v následující *Tab. 16*:

Tab. 16. Technologické parametry vstřikování ABS

Technologické podmínky	ABS
Vstřikovací rychlost [mm.s ⁻¹]	120,45,20
Vstřikovací tlak [MPa]	60,45,30
Doba vstřikování [s]	0,21
Doba chlazení [s]	30
Dráha dávkování [mm]	18
Dráha přepnutí [mm]	16
Uzavírací síla [kN]	950
Doba dotlaku [s]	10
Velikost dotlaku [MPa]	60,45,30
Doba cyklu [s]	56
Teplota pod násypkou [°C]	40
Teplota zóny 2 [°C]	190
Teplota zóny 3 [°C]	200
Teplota zóny 4 [°C]	205
Teplota zóny 5 [°C]	210
Teplota zóny 6 [°C]	220
Teplota trysky [°C]	230

Bylo vyrobeno pro každou tvarovou vložku 10 výstřiků pro každé jednotlivé nastavení technologických podmínek. Po změně podmínek vstřikování byly vždycky první vzorky vyhozeny, aby došlo k ustálení procesních podmínek a minimalizovaly se tak nepřesnosti vlivem jednotlivých parametrů vstřikování. Poté bylo vystříknuto 10 vzorků, na kterých proběhlo měření drsnosti. Tvar vystříknutých vzorků včetně kuželového vtoku lze vidět na *Obr. 35*.



Obr. 35. 3D model vzorku s kuželovým vtokem

7.1 Vstříkovaný materiál ABS

Pro vstříkování byl zvolen amorfní termoplast akrylonitril-butadien-styren (ABS). Má vysokou pevnost v tahu, rozměrovou stálost, tvrdost povrchu a tuhost v širokém rozsahu teplot (-30°C až 80°C). Je chemicky odolný, s lesklým povrchem a poměrně nízké výrobní náklady. ABS je nasáklavý, a proto je nutné ho před vstříkováním, které je nejčastější způsob zpracování tohoto plastu, sušit. Používá se v automobilovém průmyslu, části domácích spotřebičů, elektrotechnický průmysl, hračky (LEGO). [36]

V našem případě byl použit polymer s obchodním názvem Magnum 3453 ABS Resin, který vyrábí firma Styron.

Vstříkovaný materiál má základní vlastnosti uvedené v následující Tab. 17:

Tab. 17. Vlastnosti Magnum 3453 ABS

Vlastnosti materiálu ABS	
Hustota (23°C) [g/cm^3]	1,05
Index toku taveniny ($220^{\circ}\text{C}/10.0\text{kg}$) [$\text{g}\cdot 10\text{min}^{-1}$]	15
Mez pevnosti v tahu (3.2mm) [MPa]	45
Mez pevnosti v ohybu (3.2mm) [MPa]	68
Modul pružnosti v tahu (3.2mm) [MPa]	2300
Tvrдость [HB]	114

7.2 Stroje použité při vstřikování

7.2.1 Sušička granulátu Arburg Thermolift 100-2

Na vstřikování byl použit materiál ABS, který je před zpracováním nutné vysušit, abychom dosáhli kvalitních výstřiků. Pro vysušení polymeru byla použita sušárna Arburg Thermolift 100-2 viz *Obr. 36*. Sušení probíhalo po dobu 3 hodin za teploty 80°C.



*Obr. 36. Sušička Arburg
Thermolift 100-2*

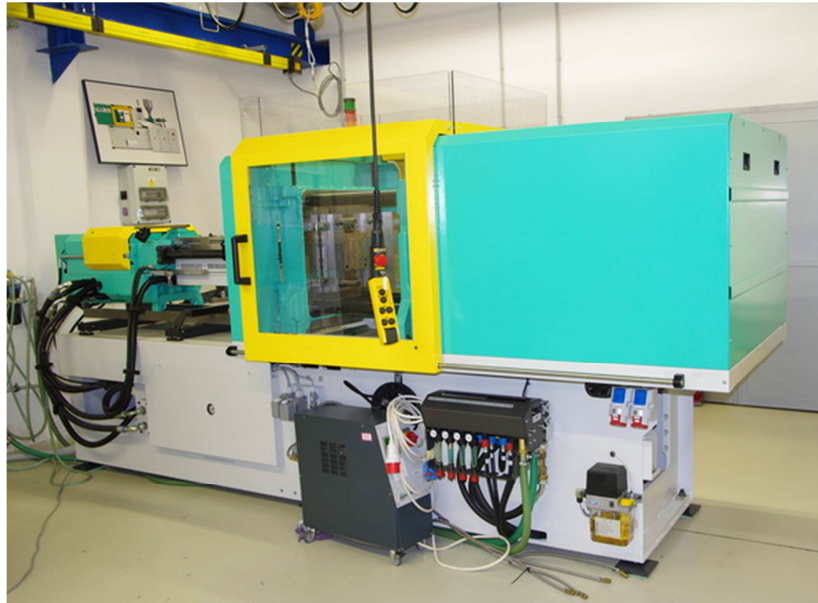
Základní parametry sušárny Arburg Thermolift 100-2 jsou uvedeny v *Tab. 18*:

Tab. 18. Základní vlastnosti sušárny

Základní parametry sušárny	
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

7.2.2 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470H 1000-400

K výrobě zkušebních vzorků byl použit vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470H 1000-400 viz *Obr. 37*. Stroj je zapůjčený firmou Arburg, umístěný v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství, pro podporu studentských prací a vědecké činnosti.



Obr. 37. Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470H 1000-400

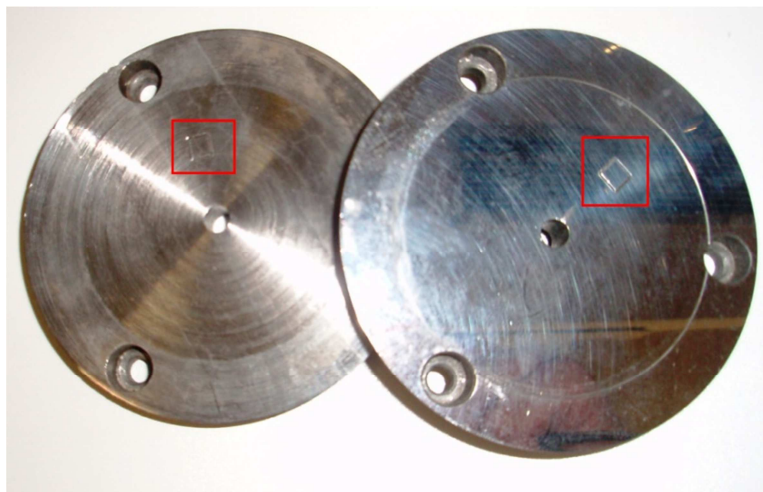
Základní parametry stroje Arburg Allrounder 470H 1000-400 viz Tab. 19:

Tab. 19. Základní vlastnosti vstřikovacího stroje

Základní parametry vstřikovacího stroje	
Rozměry vstřikovacího stroje (d x š x v) [mm]	4030x1645x2050
Hmotnost stroje (bez oleje) [kg]	4900
Uzavírací jednotka	
Uzavírací síla [kN]	1000
Vzdálenost mezi sloupky [mm]	470x470
Otevření max [mm]	500
Vyhazovací síla maximální [kN]	40
Maximální zdvih vyhazovače [mm]	175
Vstřikovací jednotka	
Průměr šneku [mm]	45
Poměr šneku L/D	18
Maximální zdvih šneku [mm]	160
Maximální vstřikovací tlak [MPa]	158
Maximální objem vstřikované dávky [cm ³]	254
Maximální hmotnost vstřikované dávky [g]	232
Maximální krouticí moment šneku [Nm]	700

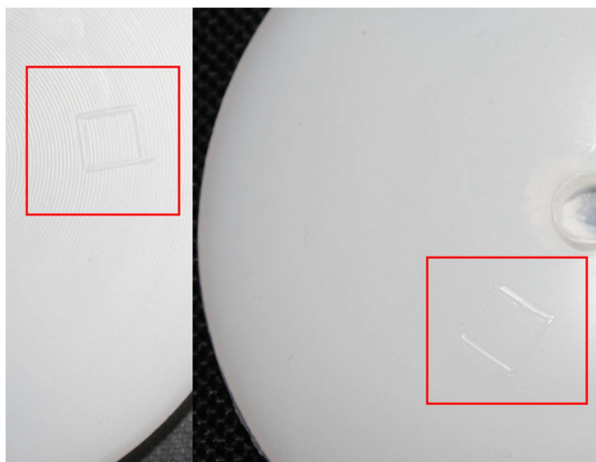
8 MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU

Měření jakosti povrchu probíhalo na profiloměru Taylor Hobson Form Talysurf 50. Měření drsnosti povrchu tvarových vložek probíhalo v okolí místa, které bylo vyznačeno vrypem do povrchu vložky viz *Obr. 38*. Na všech vložkách byl vryp proveden ve stejné vzdálenosti od středu vložky, aby nedocházelo ke zkreslení údajů o drsnosti. Drsnost každé vložky byla měřena desetkrát z důvodu statistického vyhodnocování.



Obr. 38. Označená místa na měření drsnosti vložek

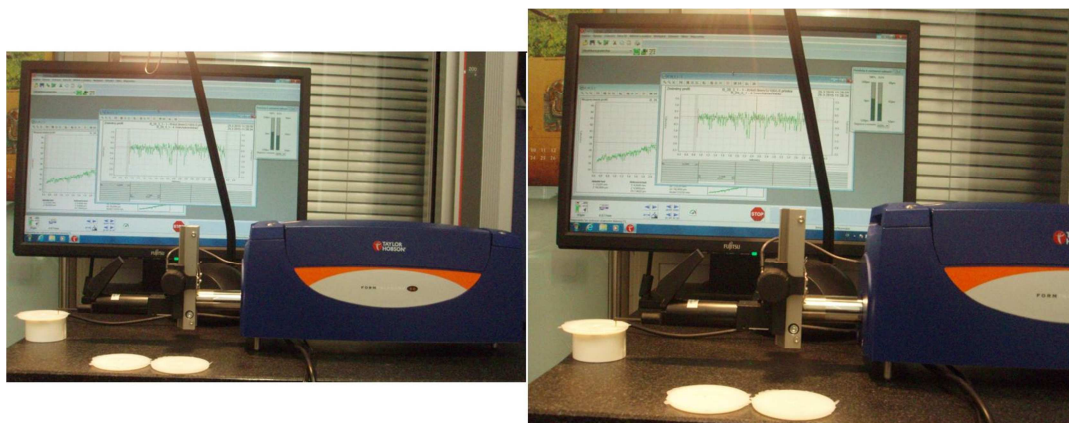
Pro každou vložku bylo vyrobeno deset zkušebních vzorků pro každé jednotlivé nastavení vstříkovacích parametrů. Měření na každém vystříknutém vzorku proběhlo pouze jednou. Drsnost se měřila v okolí místa vyznačeného pomocí vrypu, a to bylo na zkušebních vzorcích velmi dobře rozpoznatelné viz *Obr. 39*.



Obr. 39. Označení místa měření drsnosti

8.1 Profiloměr Taylor Hobson Form Talysurf 50

Přístroj Taylor Hobson Form Talysurf 50 (viz *Obr. 40*) byl použitý při měření drsnosti tvarových vložek vstřikovací formy, a také zkušebních vzorků vyrobených vstřikováním. Tímto přístrojem lze měřit základní parametry drsnosti (R_a , R_z , apod) a vlnitosti, analýzy úchylek tvaru, které měří a vyhodnocuje poloměry, úhly, sklony a rozměry. Talysurf 50 má horizontální délku snímání 50mm.



Obr. 40. Měření drsnosti pomocí profiloměru Taylor Hobson

Technická specifikace přístroje Taylor Hobson Form Talysurf 50 viz *Tab. 20*:

Tab. 20. Technická specifikace profiloměru Taylor Hobson

Horizontální charakteristika	
Délka snímání	0,1mm až 50mm
Rychlost snímání/měření	10mm/s max - 0,25mm/s
Datová rozteč v X	0,5 μ m
Úchylka přímosti	0,4 μ m na 50mm
	0,2 μ m na libovolných 20mm
Vertikální charakteristika	
Nominální rozsah měření	1mm
Rozlišení	16nm v rozsahu 1mm
Poměr rozsahu k rozlišení	65.536 : 1
Charakteristika přístroje	
Rozměry L x D x H	Posuvová jednotka 343x116x160 mm
Hmotnost	4,9 kg
Parametry drsnosti	R3y, R3z, R_a , R_c , R_{da} , R_{dc}^* , R_{dq} , R_z ,
	RHSC*, R_{ku} , R_{ln} , R_{lo} , R_{lq} , $R_{mc(c)}^*$, $R_z(DIN)$
	R_{mr}^* , R_p , R_{p1max} , R_{pc}^* , R_q , R_S , $R_z(JIS)$
	R_{sk} , R_{Sm} , R_t , R_v , R_{vo}^* , R_{v1max} , R_{z1max}

9 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Všechna naměřená data byla statisticky zpracována a uvedena v následujících tabulkách. Z výsledných dat byly vytvořeny grafy, které vyjadřují závislost průměrných drsností Ra a Rz vzorků ABS a tvarových vložek. Pro všechny data vložek a polymerních vzorků ABS jsme vypočítali tyto hodnoty:

- **Odhad středního aritmetického průměru \bar{x}** podle vztahu:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

\bar{x} odhad středního aritmetického průměru

x_i jednotlivé hodnoty měřených veličin

n počet hodnot (měření)

- **Směrodatnou odchylku výběrovou** podle vztahu:

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

- **Standartní nejistotu typu A** podle vztahu:

$$\bar{u}_A = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

9.1 Vliv vstřikovacího tlaku

9.1.1 Parametr drsnosti Ra

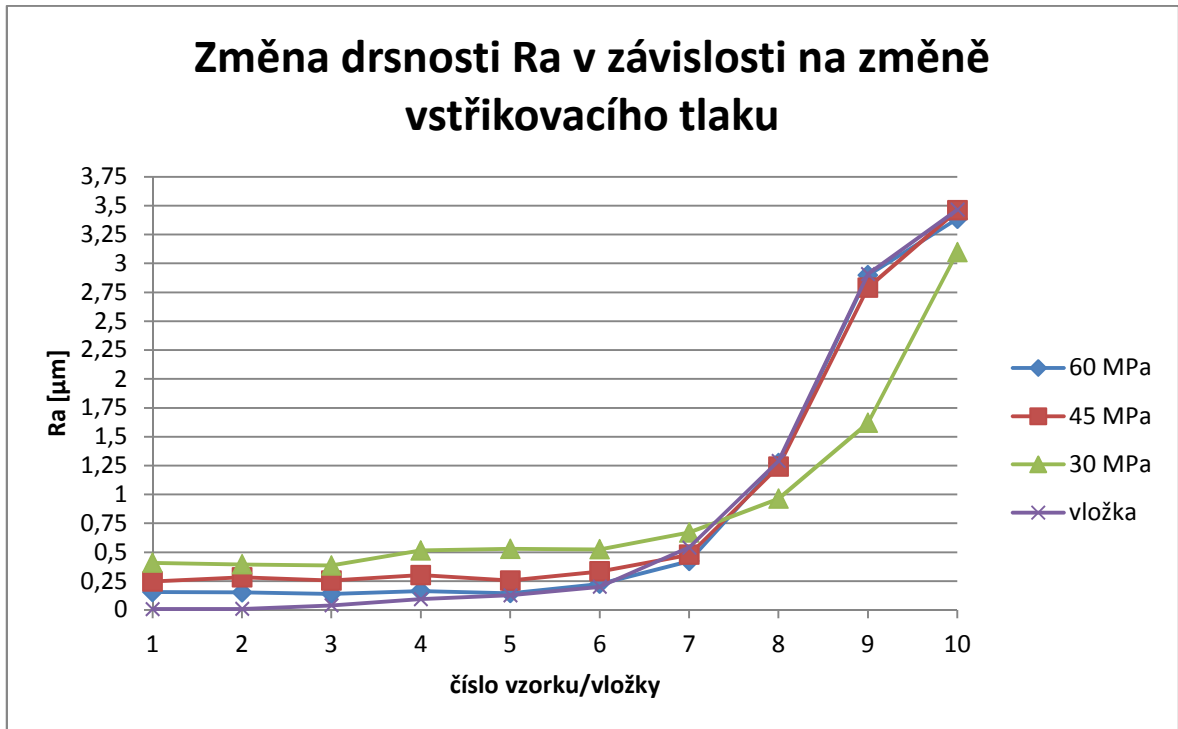
Data parametru drsnosti Ra tvarové vložky a polymerního vzorku ABS jsou vyhodnocena a zaznamenána v následujících tabulkách *Tab. 21* a *Tab. 22*. A graficky zobrazena na *Obr. 41* a *Obr. 42*.

Tab. 21. Vyhodnocená data drsnosti Ra ocelových vložek

Ocelová vložka			
Číslo vložky	Průměrná drsnost Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,0074	0,0008	0,0003
2	0,0095	0,0010	0,0003
3	0,0400	0,0075	0,0025
4	0,0934	0,0194	0,0065
5	0,1270	0,0087	0,0023
6	0,200	0,0109	0,0036
7	0,5393	0,0311	0,0104
8	1,2898	0,0470	0,0157
9	2,9079	0,0385	0,0128
10	3,4646	0,0833	0,0278

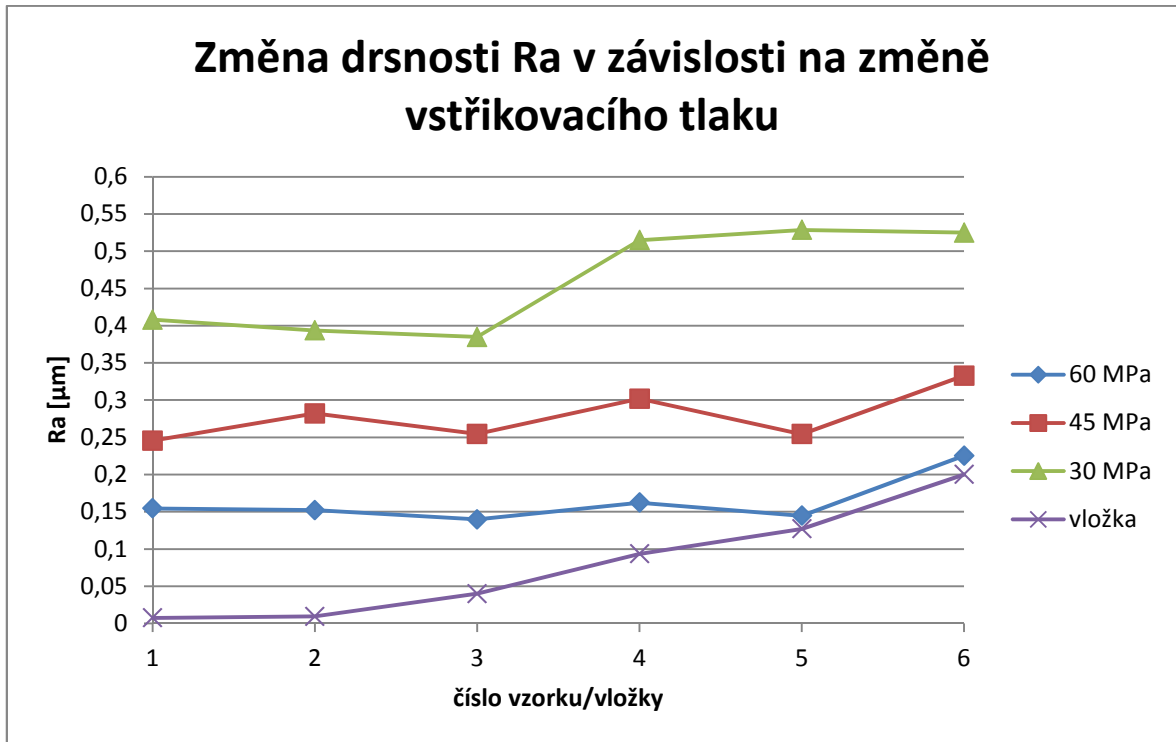
Tab. 22. Vyhodnocená data drsnosti Ra vzorků ABS

Vzorky ABS									
Číslo vložky	Tlak 60 MPa			Tlak 45 MPa			Tlak 30 MPa		
	Průměrná drsnost Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměrná drsnost Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměrná drsnost Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,1546	0,0075	0,0025	0,2455	0,0309	0,0103	0,408	0,0310	0,0103
2	0,1521	0,0284	0,0095	0,282	0,0337	0,0112	0,3936	0,0648	0,0216
3	0,1396	0,0277	0,1822	0,2545	0,0393	0,0131	0,3848	0,0200	0,0067
4	0,1623	0,0200	0,0067	0,3017	0,0267	0,0089	0,5149	0,0735	0,0245
5	0,1447	0,0177	0,0059	0,2542	0,0231	0,0077	0,5286	0,0502	0,0167
6	0,2252	0,0247	0,0082	0,3328	0,0392	0,0131	0,5249	0,0263	0,0088
7	0,4217	0,0253	0,0084	0,4779	0,0447	0,0149	0,6693	0,0486	0,0162
8	1,2719	0,0470	0,0157	1,2401	0,0602	0,0201	0,9626	0,0648	0,0216
9	2,8962	0,0477	0,0159	2,7899	0,2664	0,0888	1,6184	0,1049	0,0350
10	3,386	0,0854	0,0285	3,4591	0,0789	0,0263	3,0966	0,1125	0,0375



Obr. 41. Změna drsnosti Ra v závislosti na změně vstřikovacího tlaku

Z grafu závislosti průměrné drsnosti Ra vstřikovaného vzorku z materiálu ABS a průměrné drsnosti ocelové tvarové vložky z Obr. 41 vyplývá, že v případě tlaku 60 a 45 MPa u vložek č. 10 až 7 odpovídá drsnost tvarových vložek drsnosti výstřiků. U tlaku 30 MPa v případě vložek č. 10 až 8 mají vystříknuté vzorky výrazně nižší drsnost než vložky. K tomu nejspíše dochází kvůli tomu, že tlak je až příliš nízký, tavenina chladne blíže od vtokového ústí než u tlaků 45 a 60 MPa a dojde k snížení viskozity, což má za následek nevyplnění profilu drsnosti uvedených tvarových vložek.



Obr. 42. Detail změny drsnosti Ra v závislosti na změně vstřikovacího tlaku

Na detailním grafu na Obr. 42 jsou znázorněny pouze vložky č. 1 až č. 6. Tedy tvarové vložky s nejvyšší jakostí povrchu plochy. Z grafu lze vyčíst, že nejlepší jakosti povrchu povrchu bylo dosaženo při použití tlaku 60 MPa a nejhorší jakosti povrchu tlakem 30 MPa. Z toho nám jasně vyplývá, že tlak má velký význam na jakost povrchu a čím je tlak vyšší tím se zlepšuje výsledná kvalita povrchu. U tlaku 60 MPa a 45 MPa je vidět, že drsnost u tvarových vložek č. 1 až č. 5 se téměř neliší a tím pádem stačí pouze broušení, které bylo použito na úpravu funkční plochy u vložky č. 5 a leštění a lapování, které byly použity u vložek č. 4 až 1a jsou finančně náročné a zdlouhavé, už není potřeba provádět. Protože vstřikovaný materiál již není schopen dosáhnout lepší jakosti povrchu než u vložky č. 5.

9.1.2 Parametr drsnosti Rz

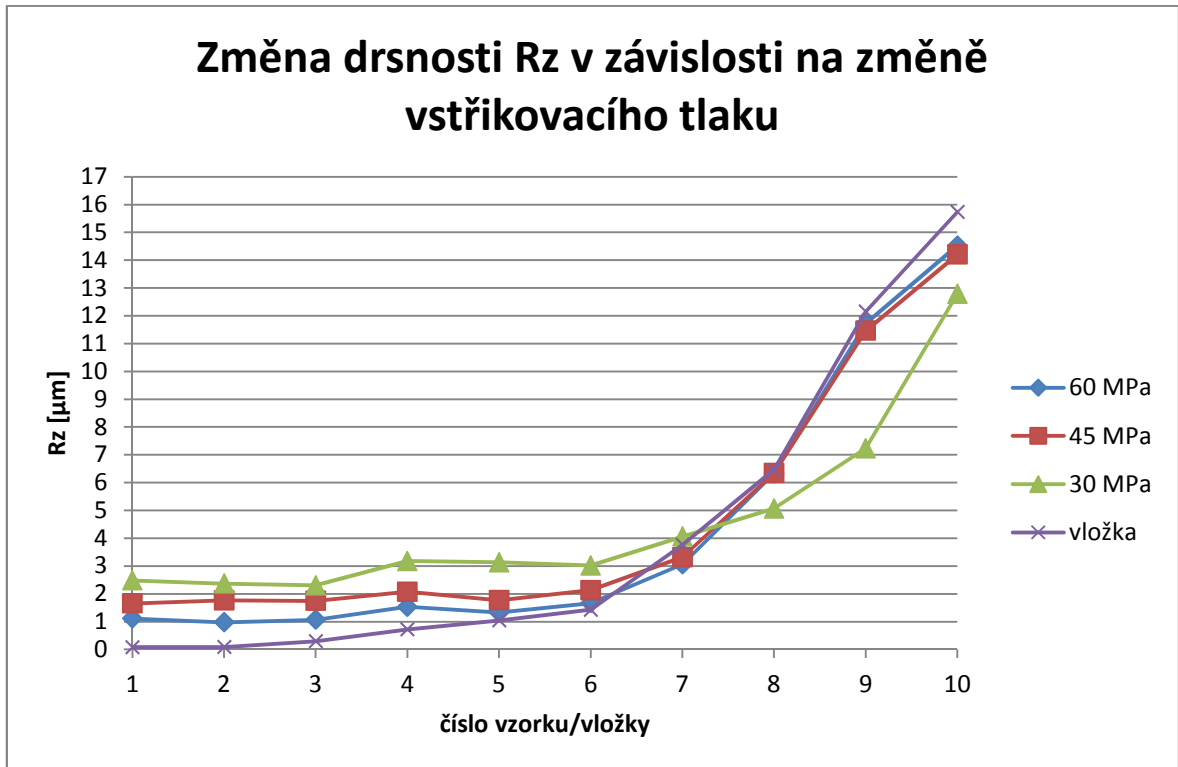
Data drsnosti Rz tvarové vložky a polymerního vzorku ABS jsou vyhodnocena a zaznamenána v následujících tabulkách Tab. 23 a Tab. 24. A graficky zobrazena na Obr. 43 a Obr. 44.

Tab. 23. Vyhodnocená data drsnosti Rz ocelových vložek

Ocelová vložka			
Číslo vložky	Průměrná drsnost Rz [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,0806	0,0168	0,0056
2	0,0855	0,0110	0,0037
3	0,2940	0,0604	0,0201
4	0,7198	0,0528	0,0176
5	1,0420	0,1507	0,0502
6	1,4266	0,1058	0,0353
7	3,7608	0,3327	0,1109
8	6,4577	0,3618	0,1206
9	12,1560	0,4163	0,1388
10	15,7344	0,5451	0,1817

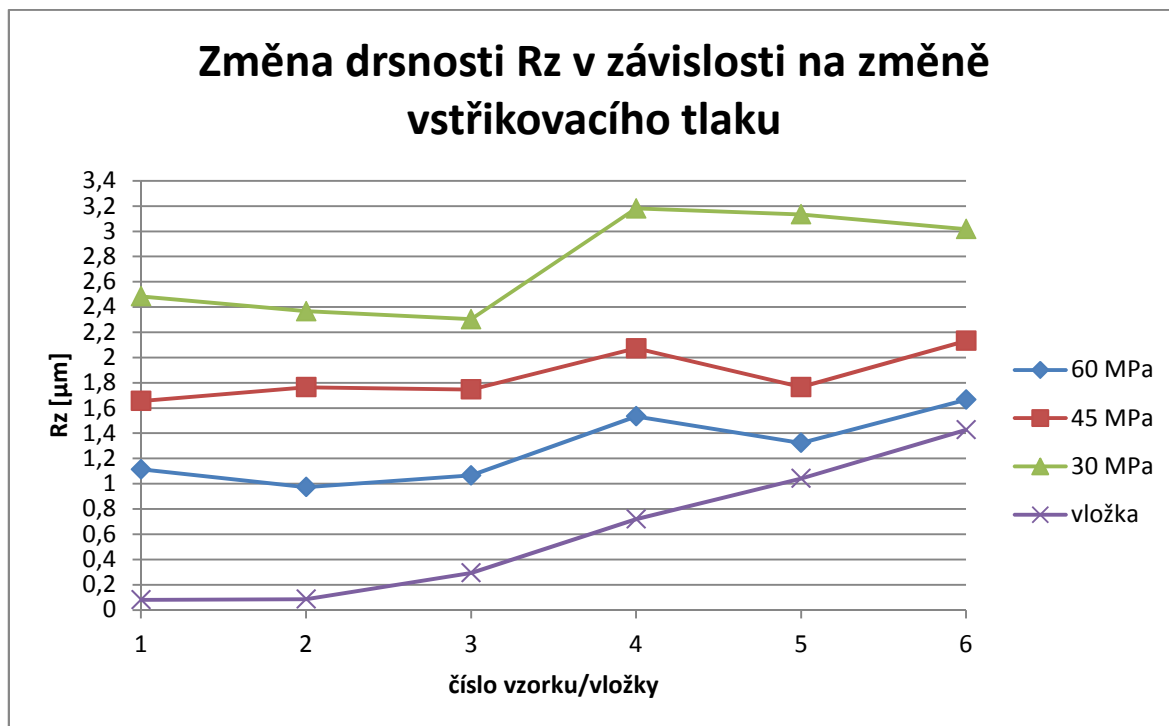
Tab. 24. Vyhodnocená data drsnosti Rz vzorků ABS – změna vstřikovacího tlaku

Vzorky ABS									
Číslo vložky	Vstřikovací tlak 60 MPa			Vstřikovací tlak 45 MPa			Vstřikovací tlak 30 MPa		
	Průměrná drsnost Rz [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměrná drsnost Rz [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměrná drsnost Rz [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	1,1145	0,1427	0,0476	1,6556	0,3224	0,1075	2,4850	0,4311	0,1437
2	0,9727	0,1444	0,0481	1,7648	0,3008	0,1003	2,3667	0,3610	0,1203
3	1,0660	0,1822	0,0607	1,7470	0,2252	0,0751	2,3031	0,2399	0,0800
4	1,5338	0,4610	0,1537	2,0725	0,1292	0,0431	3,1807	0,4830	0,1610
5	1,3228	0,2488	0,0829	1,7660	0,1452	0,0484	3,1335	0,3006	0,1002
6	1,6652	0,2078	0,0693	2,1320	0,3007	0,1002	3,0171	0,2422	0,0807
7	3,0601	0,3129	0,1043	3,3183	0,7517	0,2506	4,0572	0,4540	0,1513
8	6,3276	0,4025	0,1342	6,3408	0,6562	0,2187	5,0687	0,4397	0,1466
9	11,7199	0,1557	0,0519	11,4622	0,2291	0,0764	7,2297	0,7436	0,2479
10	14,5191	0,7581	0,2527	14,2021	0,3320	0,1107	12,7837	0,6193	0,2064



Obr. 43. Graf změny drsnosti Rz v závislosti na změně vstřikovacího tlaku

Z grafu závislosti průměrné drsnosti Rz polymerního vzorku a průměrné drsnosti tvarových vložek na Obr. 43 lze vidět, že průběh drsnosti Rz je velmi podobný jako u drsnosti Ra. Stejně jako v případě drsností Ra i u drsností Rz dochází k tomu, že drsnost povrchu výrobků u vložek č. 10 až 8 při vstřikovacím tlaku 30 MPa je nižší než průměrná drsnost tvarových vložek. To může být způsobeno příliš nízkým tlakem, který má vliv na rychlost plnění formy a tedy i viskozitu taveniny v měřeném místě od ústí vtoku. Viskozita tavenina, klesá ve vzdálenějších místech od ústí vtoku při nízkém tlaku rychleji a materiál tak není schopen dostatečně zatéct a kopírovat profil drsnosti tvarových vložek. Z tohoto důvodu by měl být, v případě vstřikování materiálu ABS, volen vstřikovací tlak vyšší než 30 MPa.



Obr. 44. Detail změny drsnosti Rz v závislosti na změně vstřikovacího tlaku

Z detailního grafu drsností Rz na Obr. 44 můžeme vidět v podstatě totožný výsledek jako u drsností Ra. Čím je vstřikovací tlak vyšší tím lépe vstřikovaný polymer kopíruje povrch tvarových vložek a dosahuje lepších drsností. Nejlepších výsledků tak bylo dosaženo při vstřikovacím tlaku 60 MPa, kterým bylo dosaženo drsnosti Rz v rozmezí od 0,97 μm do 1,6 μm v případě vložek č. 6 až 1 s nejlepší drsností jejich funkčních ploch. Zvolením tlaku 60 MPa by mohlo jít dosáhnout ještě lepších výsledků, ale také už by mohlo docházet ke vzniku nežádoucích přetoků a tak se jevil vstřikovací tlak 60 MPa jako ideální horní hranice. Stejně jako u drsností Ra i u drsností Rz se od vložky č. 6 až po vložku č. 1 příliš neliší průměrná drsnost povrchu výrobků při tlaku 60 MPa a 45 MPa. V obou případech kolísá drsnost v rozmezí několika desetin μm . Z toho nám opět plyne, že je neekonomické, a také časově nežádoucí provádět jakékoliv dodatečné dokončovací operace, které byly provedeny navíc od vložky č. 6 a pouze by zvyšovali cenu vstřikovací formy a samotného výrobku.

9.2 Vliv vstřikovací rychlosti

9.2.1 Parametr drsnosti Ra

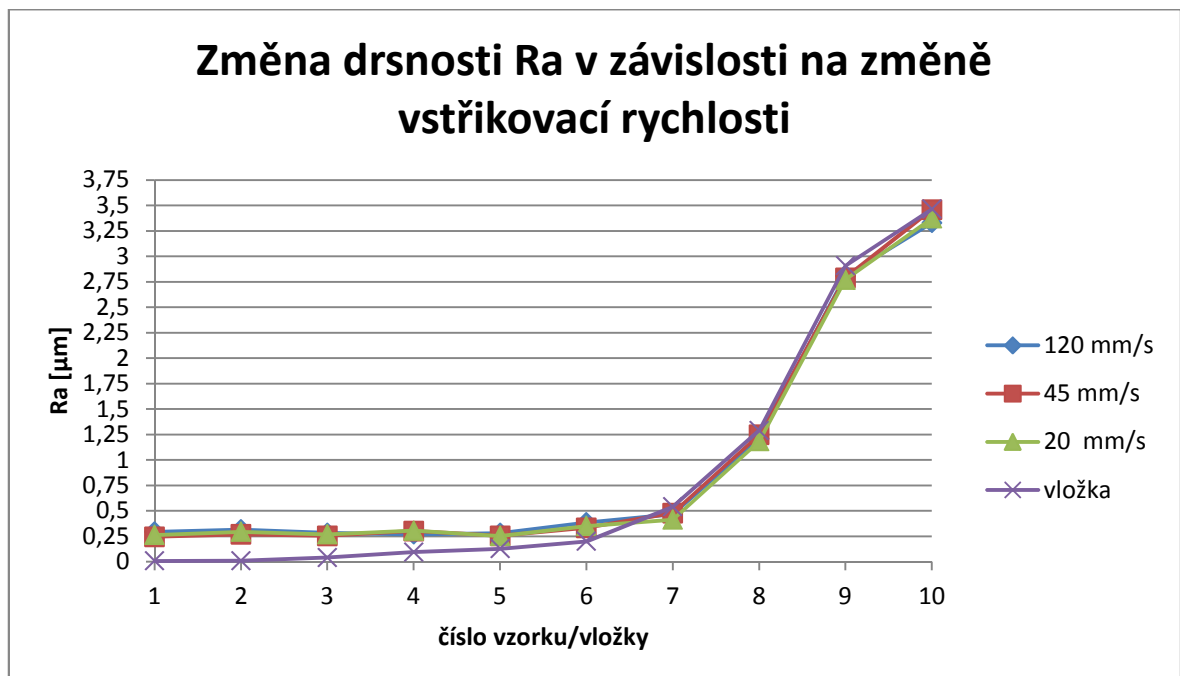
Data drsnosti Ra tvarové vložky a polymerního vzorku ABS jsou vyhodnocena a zaznamenána v následujících tabulkách *Tab. 25* a *Tab. 26*. A graficky zobrazena na *Obr. 45* a *Obr. 46*.

Tab. 25. Vyhodnocená data drsnosti Ra ocelových vložek

Ocelová vložka			
Číslo vložky	Průměrná drsnost Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,0074	0,0008	0,0003
2	0,0095	0,0010	0,0003
3	0,0400	0,0075	0,0025
4	0,0934	0,0194	0,0065
5	0,1270	0,0087	0,0023
6	0,200	0,0109	0,0036
7	0,5393	0,0311	0,0104
8	1,2898	0,0470	0,0157
9	2,9079	0,0385	0,0128
10	3,4646	0,0833	0,0278

Tab. 26. Vyhodnocená data drsnosti Ra vzorků ABS

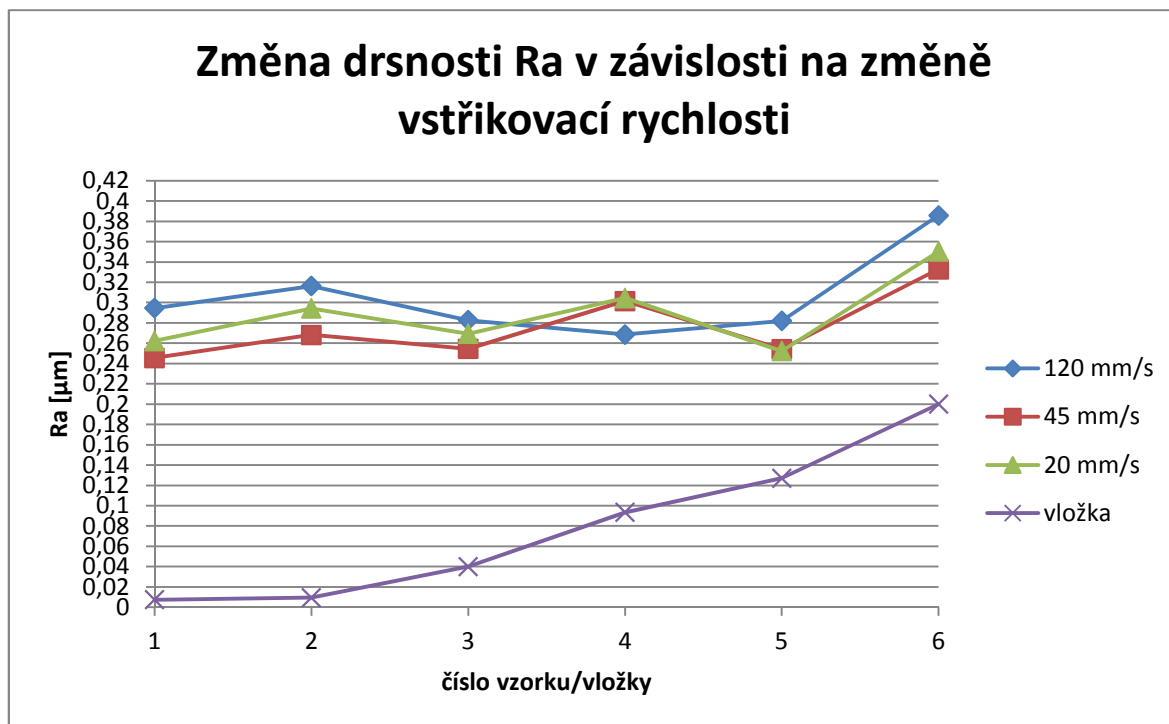
Vzorky ABS									
Číslo vložky	Vstřikovací rychlost 120 mm/s			Vstřikovací rychlost 45 mm/s			Vstřikovací rychlost 20 mm/s		
	Průměrná drsnost Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměrná drsnost Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměrná drsnost Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,2955	0,0237	0,0079	0,2455	0,0309	0,0103	0,2622	0,0344	0,0115
2	0,3163	0,0487	0,0162	0,2820	0,0337	0,0112	0,2943	0,0502	0,0167
3	0,2826	0,0228	0,0076	0,2545	0,0393	0,0131	0,2693	0,0373	0,0124
4	0,2686	0,0148	0,0049	0,3017	0,0267	0,089	0,3045	0,0264	0,0088
5	0,2820	0,0368	0,0123	0,2542	0,0231	0,0077	0,2523	0,0312	0,0104
6	0,3858	0,0321	0,0107	0,3328	0,0392	0,0131	0,3504	0,0396	0,0132
7	0,4661	0,0218	0,0073	0,4779	0,0447	0,0149	0,4130	0,0563	0,0188
8	1,2112	0,0640	0,0213	1,2401	0,0602	0,0201	1,1831	0,0499	0,0166
9	2,8075	0,0623	0,0208	2,7899	0,2664	0,0888	2,7705	0,0786	0,0262
10	3,3292	0,0527	0,0176	3,4591	0,0789	0,0263	3,3725	0,0813	0,0271



Obr. 45. Graf změny drsnosti Ra v závislosti na změně vstřikovacího tlaku

Z grafu na Obr. 45 je patrné, že v případě vložek č. 10 až 7 se drsnost tvarových vložek shoduje s drsností vzorků z polymerního materiálu ABS. Od vložky č. 6 až po

vložku č. 1 se drsnost vzorků mírně zhoršuje oproti tvarovým vložkám. Křivky závislosti parametru drsnosti Ra polymerního výrobku na čísle tvarové vložky, který se lišil jakostí povrchu, pro všechny zvolené vstřikovací rychlosti jsou téměř totožné a ze statistického hlediska je vliv vstřikovací rychlosti na jakost povrchu drsnosti polymerního výrobku zanedbatelný v porovnání se vstřikovacím tlakem.



Obr. 46. Detail změny drsnosti Ra v závislosti na změně vstřikovací rychlosti

Z detailního pohledu na Obr. 46 lze vypožorovat, že dochází k určitým rozdílům v naměřených drsnostech povrchu Ra oproti tvarovým vložkám. Pro zvolené vstřikovací rychlosti se drsnost polymerních výrobků u vložek č. 5 až č. 1 se příliš neliší a pohybuje se v rozmezí od 0,24 μm do 0,32 μm . Lze tedy říci, že všechny další použité dokončovací operace od tvarové vložky č. 5 nejsou pro výslednou drsnost příliš důležité a jsou ekonomicky a časově nevýhodné.

9.2.2 Parametr drsnosti Rz

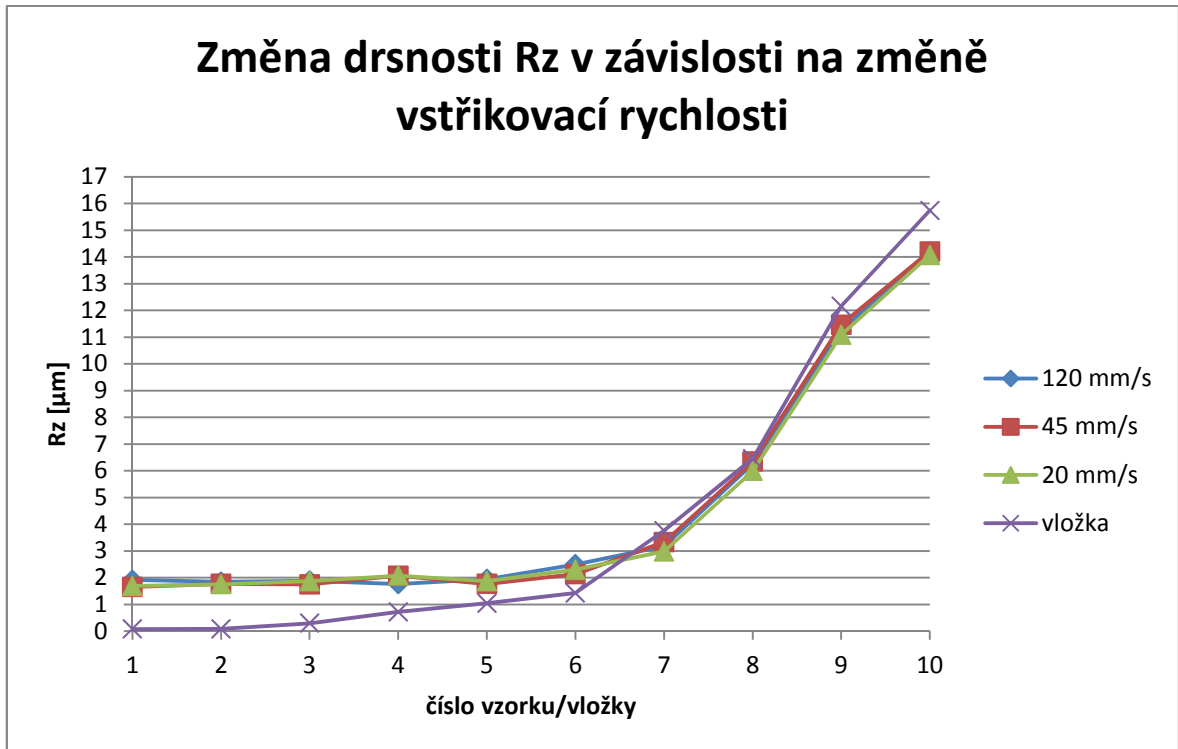
Data drsnosti Rz tvarové vložky a polymerního vzorku ABS jsou vyhodnocena a zaznamenána v následujících tabulkách Tab. 27 a Tab. 28. A graficky zobrazena na Obr. 47 a Obr. 48.

Tab. 27. Vyhodnocená data drsnosti Rz ocelových vložek

Ocelová vložka			
Číslo vložky	Průměrná drsnost Rz [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,0806	0,0168	0,0056
2	0,0855	0,0110	0,0037
3	0,2940	0,0604	0,0201
4	0,7198	0,0528	0,0176
5	1,0420	0,1507	0,0502
6	1,4266	0,1058	0,0353
7	3,7608	0,3327	0,1109
8	6,4577	0,3618	0,1206
9	12,1560	0,4163	0,1388
10	15,7344	0,5451	0,1817

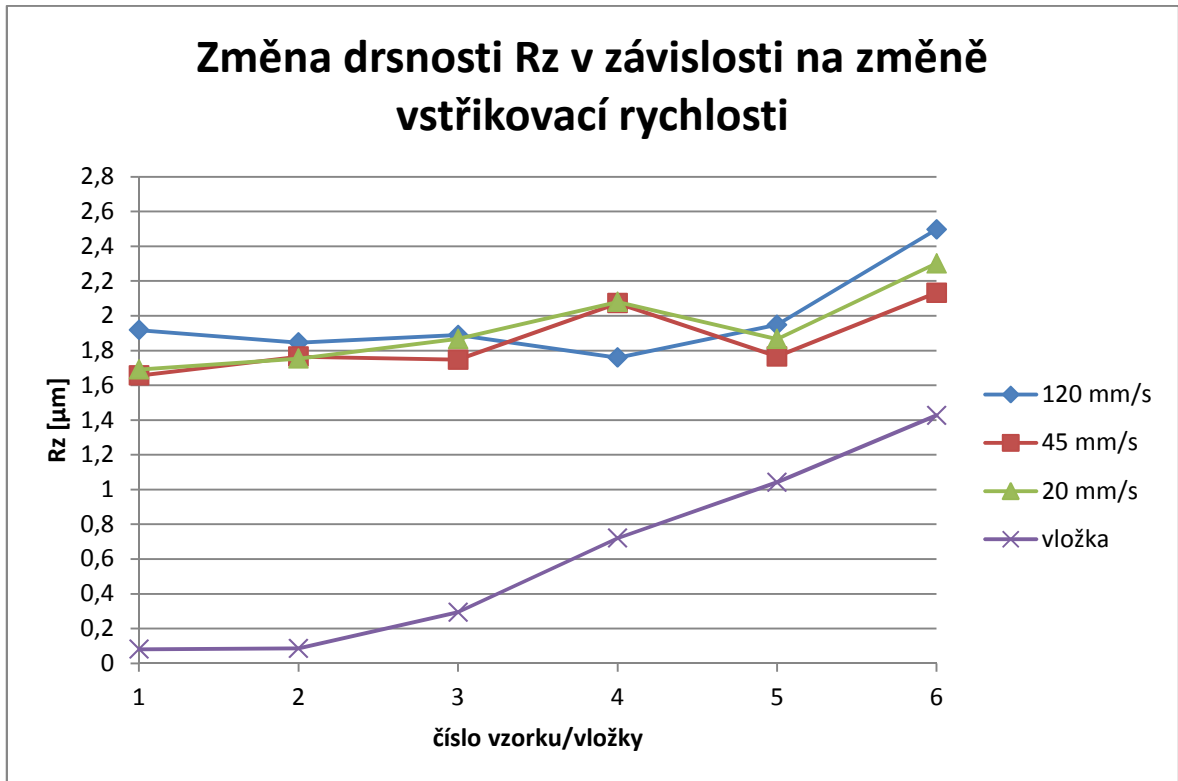
Tab. 28. Vyhodnocená data drsnosti Rz vzorků ABS – změna vstřikovací rychlosti

Vzorky ABS									
Číslo vložky	Vstřikovací rychlost 120 mm/s			Vstřikovací rychlost 45 mm/s			Vstřikovací rychlost 20 mm/s		
	Průměrná drsnost Rz [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměrná drsnost Rz [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměrná drsnost Rz [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	1,9174	0,2079	0,093	1,6556	0,3398	0,1133	1,6906	0,2445	0,0815
2	1,8455	0,1840	0,0613	1,7648	0,3171	0,1057	1,7539	0,2920	0,0973
3	1,8888	0,2465	0,0822	1,7470	0,2374	0,0791	1,8671	0,2416	0,0805
4	1,7595	0,1749	0,0583	2,0725	0,1362	0,0454	2,0799	0,1587	0,0529
5	1,9476	0,2123	0,0708	1,7660	0,1531	0,0510	1,8656	0,4049	0,1350
6	2,4969	0,2262	0,0754	2,1320	0,3169	0,1056	2,3018	0,4309	0,1436
7	3,1789	0,2268	0,0756	3,3183	0,7924	0,2641	2,9842	0,5031	0,1677
8	6,2516	0,5056	0,1685	6,3408	0,6917	0,2306	5,9953	0,4144	0,1381
9	11,2465	0,2019	0,0673	11,4622	0,2415	0,0805	11,0826	0,2705	0,0902
10	14,1889	0,2269	0,0756	14,2021	0,3499	0,1166	14,0730	0,4074	0,1358



Obr. 47. Graf změny drsnosti Rz v závislosti na změně vstřikovací rychlosti

Na základě porovnání vstřikovacích rychlostí podle dosažených hodnot drsnosti Rz z Obr. 47 můžeme vypořádat, že v případě všech tří rychlostí u vložek č. 9 až č. 7 dochází k tomu, že tvarové vložky mají téměř shodnou jakost povrchu jako vyrobené vzorky. U tvarové vložky č. 10, v případě všech tří rychlostí, je hodnota drsnosti povrchu lepší než u tvarové vložky. To znamená, že tavenina není schopna dostatečně rychle vyplnit dutinu formy a kopírovat povrch vložky s nejhorší jakostí. Z výsledků je patrné, že výsledné drsnosti v případě všech vstřikovacích rychlostí, které byly použity u tvarových vložek, mají v podstatě totožnou jakost povrchu měřené plochy vstřikovaných vzorků. Z toho plyne, že vstřikovací rychlost nemá příliš vliv na kvalitu povrchu výstřiků.



Obr. 48. Detail změny drsnosti Rz v závislosti na změně vstřikovací rychlosti

U vložek č. 6 až č. 1 lze vidět na Obr. 48, že v případě vyšší kvality povrchu tvarové vložky dosahují vstřikované polymerní vzorky horší jakosti povrchu než tvarové vložky. Stejně jako u drsností Ra i u Rz je možné vidět, že vstřikovací rychlost nemá příliš velký vliv na výslednou drsnost Rz, protože hodnoty drsností polymerních výrobků jsou pro všechny vstřikovací rychlosti velmi podobné. Od vložky č. 5 jejich hodnota kolísá v rozmezí asi čtyř desetin μm . Z tohoto pohledu platí také v tomto případě, stejně jako u všech předchozích, že při vstřikování polymeru ABS je zcela zbytečné provádět více dokončovacích operací, pro dosažení lepší jakosti povrchu, než u vložky č. 5, protože materiál není schopen dosáhnout lepší drsnosti.

9.3 Vliv dotlaku

9.3.1 Parametr drsnosti Ra

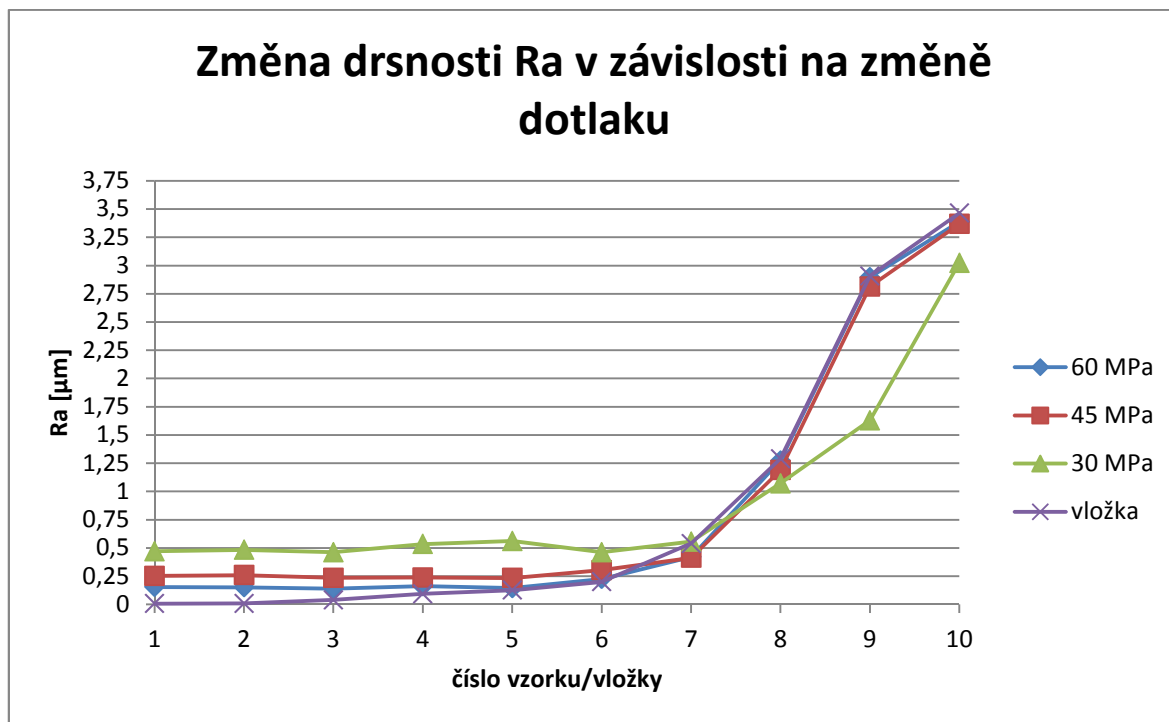
Data drsnosti Ra tvarové vložky a polymerního vzorku ABS jsou vyhodnocena a zaznamenána v následujících tabulkách Tab. 29 a Tab. 30. A graficky zobrazena na Obr. 49 a Obr. 50.

Tab. 29. Vyhodnocená data drsnosti Ra ocelových vložek

Ocelová vložka			
Číslo vložky	Průměrná drsnost Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,0074	0,0008	0,0003
2	0,0095	0,0010	0,0003
3	0,0400	0,0075	0,0025
4	0,0934	0,0194	0,0065
5	0,1270	0,0087	0,0023
6	0,200	0,0109	0,0036
7	0,5393	0,0311	0,0104
8	1,2898	0,0470	0,0157
9	2,9079	0,0385	0,0128
10	3,4646	0,0833	0,0278

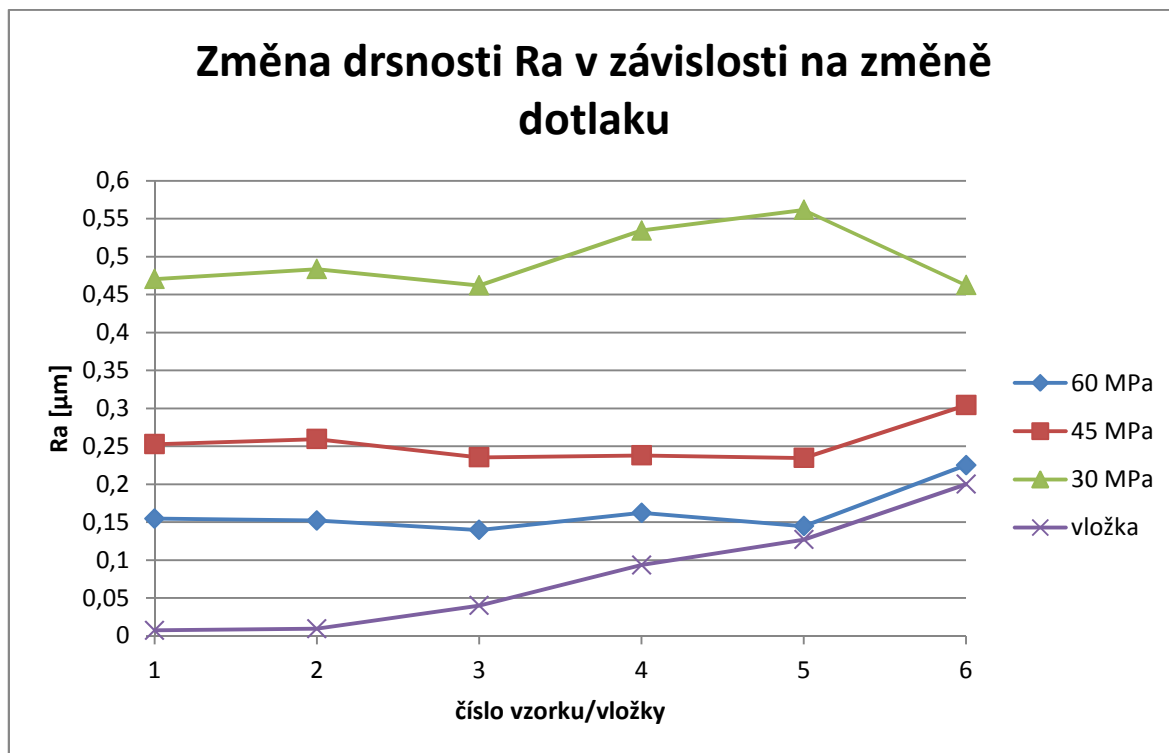
Tab. 30. Vyhodnocená data drsnosti Ra vzorků ABS

Vzorky ABS									
Číslo vložky	Dotlak 60 MPa			Dotlak 45 MPa			Dotlak 30 MPa		
	Průměrná drsnost Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměrná drsnost Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměrná drsnost Ra [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,1546	0,0075	0,0025	0,2527	0,0166	0,0055	0,4704	0,0350	0,0117
2	0,1521	0,0284	0,0095	0,2594	0,0183	0,0061	0,4835	0,0373	0,0124
3	0,1396	0,0277	0,0092	0,2354	0,0209	0,0070	0,4620	0,0368	0,0123
4	0,1623	0,0200	0,0067	0,2380	0,0255	0,0085	0,5345	0,0399	0,0133
5	0,1447	0,0177	0,0059	0,2346	0,0284	0,0095	0,5617	0,0311	0,0104
6	0,2252	0,0247	0,0082	0,3042	0,0240	0,0080	0,4625	0,0527	0,0176
7	0,4217	0,0253	0,0084	0,4133	0,0193	0,0064	0,5552	0,0727	0,0242
8	1,2719	0,0470	0,0157	1,1897	0,0484	0,0161	1,0721	0,2190	0,0730
9	2,8962	0,0477	0,0159	2,8137	0,0544	0,0181	1,6298	0,0638	0,0213
10	3,3860	0,0854	0,0285	3,3674	0,0664	0,0221	3,0232	0,0979	0,0326



Obr. 49. Graf změny drsnosti Ra v závislosti na změně dotlaku

Z Obr. 49 plyne, že dotlak má podobný vliv jako vstříkovací tlak. Průběh drsnosti podle parametru Ra v případě tlaku 60 a 45 MPa u vložek č. 10 až 5 se téměř shoduje s jakostí povrchu tvarových vložek vstříkovací formy. K dosažení lepšího zatečení materiálu a kopírování povrchu lze dosáhnout i změnou ostatních procesních parametrů a nejenom zvýšením dotlaku. Při dotlaku 30 MPa dochází ke stejnému jevu jako při použití vstříkovacího tlaku 30 MPa. Vystříknuté výrobky mají lepší drsnost povrchu než vložky. Profil funkční plochy tvarové vložky tak není polymerní taveninou dostatečně kopírován. Materiál ztrácí svou viskozitu rychleji, než stihne tavenina dostatečně vyplnit dutinu formy a tímto nízkým dotlakem už nedosáhneme dostatečného vyplnění dutiny. Z toho vyplývá, že buď byla zvolena krátká doba dotlaku nebo velikost dotlaku 30 MPa je nedostatečná, což je pravděpodobnější.



Obr. 50. Detail změny drsnosti Ra v závislosti na změně dotlaku

Z detailního pohledu na vložky č. 6 až č. 1 vyplývá, že čím je nižší dotlak, tím se také zhoršuje drsnost povrchu Ra polymerního výrobku. Nejhorší drsnost Ra je dosažena při použití dotlaku 30 MPa. Dotlakem 60 MPa dosahuje v průměru o 0,3 μm lepší drsnosti než dotlakem 30 MPa. Dotlak při vstřikování se ovšem nemůže zvyšovat až příliš. V potaz se musí brát možnosti vstřikovací stroje, možný vznik přetoků do dělicí roviny, ale také velikost vstřikovacího tlaku, který musí být vyšší nebo roven dotlaku. Z tohoto pohledu se jako ideální velikost jeví dotlak 60 MPa jehož drsnost Ra se pohybuje od vložky č. 5 okolo 0,15 μm a jde o nejlepší dosaženou drsnost. Zajímavé je pozorovat, především u dotlaků 60 MPa a 45 MPa, že od vložky č. 5 je drsnost Ra téměř totožná u všech tvarových vložek, a proto se nám z ekonomického hlediska nevyplatí u polymeru ABS žádné další dokončovací operace, které byly od vložky č. 5 provedeny.

9.3.2 Parametr drsnosti Rz

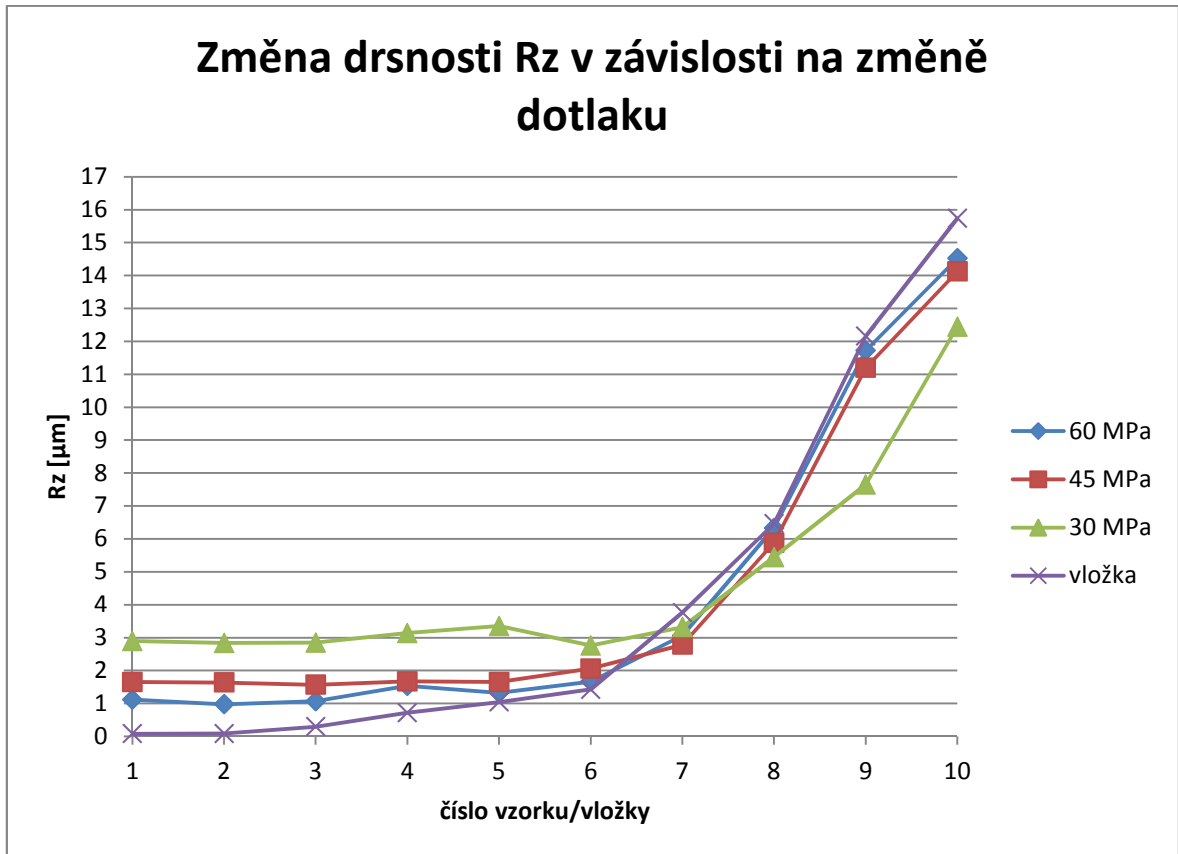
Data drsnosti Rz tvarové vložky a polymerního vzorku ABS jsou vyhodnocena a zaznamenána v následujících tabulkách Tab. 31 a Tab. 32. A graficky zobrazena na Obr. 51 a Obr. 52.

Tab. 31. Vyhodnocená data drsnosti Rz ocelových vložek

Ocelová vložka			
Číslo vložky	Průměrná drsnost Rz [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	0,0806	0,0168	0,0056
2	0,0855	0,0110	0,0037
3	0,2940	0,0604	0,0201
4	0,7198	0,0528	0,0176
5	1,0420	0,1507	0,0502
6	1,4266	0,1058	0,0353
7	3,7608	0,3327	0,1109
8	6,4577	0,3618	0,1206
9	12,1560	0,4163	0,1388
10	15,7344	0,5451	0,1817

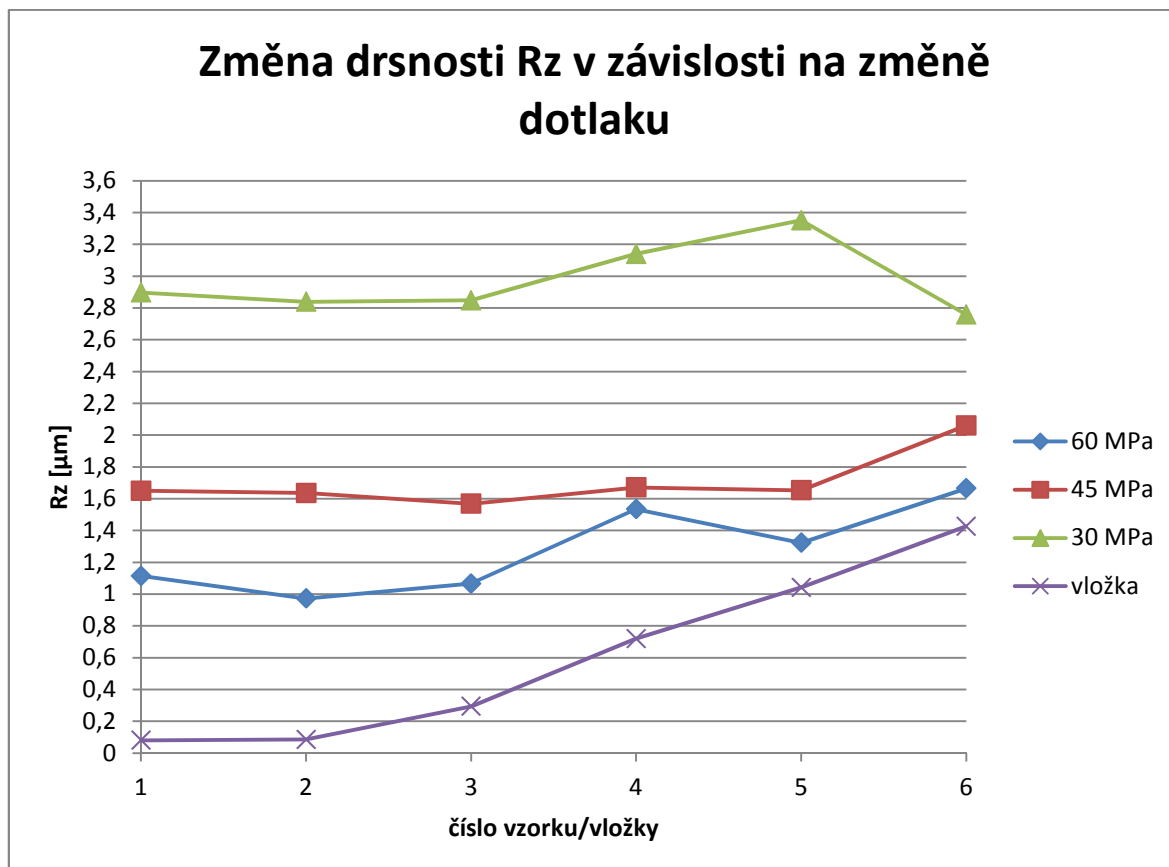
Tab. 32. Vyhodnocená data drsnosti Rz vzorků ABS – změna dotlaku

Vzorky ABS									
Číslo vložky	Dotlak 60 MPa			Dotlak 45 MPa			Dotlak 30 MPa		
	Průměrná drsnost Rz [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměrná drsnost Rz [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A	Průměrná drsnost Rz [μm]	Směrodatná odchylka	Nejistota typu A
1	1,1145	0,1504	0,0501	1,6503	0,1494	0,0498	2,8968	0,3061	0,1020
2	0,9727	0,1522	0,0507	1,6358	0,1504	0,0501	2,8384	0,2844	0,0948
3	1,0660	0,1920	0,0640	1,5682	0,3410	0,1137	2,8480	0,4713	0,1571
4	1,5338	0,4859	0,1620	1,6708	0,2658	0,0886	3,1402	0,2391	0,0797
5	1,3228	0,2623	0,0874	1,6526	0,2487	0,0829	3,3514	0,3256	0,1085
6	1,6652	0,2191	0,0730	2,0608	0,2183	0,0728	2,7587	0,2295	0,0765
7	3,0601	0,3298	0,1099	2,7834	0,2586	0,0862	3,3209	0,3915	0,1305
8	6,3276	0,4243	0,1414	5,8831	0,3852	0,1284	5,4415	0,4885	0,1628
9	11,7199	0,1642	0,0547	11,1969	0,2161	0,0720	7,6509	0,3967	0,1322
10	14,5191	0,7991	0,2664	14,1211	0,3662	0,1221	12,4464	0,2856	0,0952



Obr. 51. Graf změny drsnosti Rz v závislosti na změně dotlaku

Hodnoty průměrné drsnosti Rz vstříkovaných vzorků a tvarových vložek jsou v podstatě totožné jako u drsností Ra. Pouze v případě vložek č. 10 je drsnost výrobků nižší než drsnost tvarových vložek. Tavenina tak nebyla schopna kopírovat povrch tvarové vložky s nejhodnější jakostí funkční plochy, ani při použití nejvyššího dotlaku 60 MPa. Hodnota drsnosti povrchu vstříků u vložek č. 9 až 6 je téměř totožná jako u tvarových vložek.



Obr. 52. Detail změny drsnosti Rz v závislosti na změně dotlaku

Z detailního grafu na Obr. 52 lze vyčíst, že nejvíce se jakostí povrchu funkční plochy tvarových vložek přibližují vzorky vyrobené za dotlaku 60 MPa. Naopak nejhorších výsledků dosáhneme při nejnižším dotlaku 30 MPa. Díky nízkému dotlaku nedosahuje potřebné zatékavosti a u horších drsností nedokáže kopírovat hrubý profil povrchu vložek a při lepších drsnostech nedokáže kopírovat velmi dobrou jakost povrchu dutinu formy a tím dosáhnout lepších výsledků. Zajímavé je sledovat výsledné jakosti povrchu při dotlaku 45 MPa od vložky č. 5. Drsnost se pohybuje kolem 1,6 μm a u všech vložek je téměř totožná. Podobný jev by mohlo jít sledovat i u dotlaku 60 MPa, tam ovšem vybočuje z křivky hodnota průměrné drsnosti Rz u vložky č. 4. Příčinou by mohlo být měření parametrů drsností v mírně vzdálenější oblasti než u polymerních výrobků vyrobených při použití ostatních vložek. Pomineme-li tuhle nepřesnost, tak lze říct jako u všech předchozích případů, že u vložek od č. 5, především u dotlaků 60 MPa a 45 MPa, se drsnost pohybuje v minimálním rozmezí a u polymeru ABS nevyužijeme lepší jakosti povrchu vložek č. 4 až 1.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo hodnotit jakosti povrchu polymerních výrobků po vstřikování, a jaký vliv na to mají jednotlivé procesní parametry.

V teoretické části jsou základy výroby vstřikovacích forem a především popsány dokončovací operace, které se využívají na dokončování funkčních ploch vstřikovacích forem. Řešena problematika integrity povrchu, popsány způsoby měření jakosti povrchu a parametry zjišťované při měření drsnosti povrchu. Na závěr je uvedeno rozdělení polymerních materiálů a popsána technologie vstřikování a jednotlivé základní části vstřikovacího stroje.

V praktické části muselo nejprve dojít k návrhu a výrobě ocelových tvarových vložek do vstřikovací formy. Jako materiál pro výrobu vložek byla zvolena nástrojová ocel EN 1.2343 (ČSN 19 552). Ocel 19 552 je jeden z nejčastěji používaných materiálů při výrobě forem, především kvůli jejím vlastnostem jako dobrá mechanická pevnost a tuhost, je dobře obrobitelná, má vysokou tepelnou vodivost, odolná proti opotřebení, dobře obrobitelná, leštitelná a brousitelná. Je vhodná pro hromadnou a sériovou výrobu. Jako další musely být upraveny funkční plochy tvarových vložek. Jednotlivé tvarové dutiny byly vyrobeny pomocí odlišných dokončovacích operací při různých technologických podmínkách tak, aby vložka č. 10 měla nejhorší jakost povrchu a postupně se zlepšovala drsnost ploch až k vložce č. 1, která měla nejlepší jakost. Na každé tvarové vložce byl vyznačen pomocí vrypu čtverec o rozměru 5x5 mm. Ten byl umístěn na všech vložkách ve stejné vzdálenosti od středu a poté probíhalo u této oblasti měření parametrů drsností. Na vstřikování byl využit amorfní termoplast ABS, především pro svou tvrdost povrchu a rozměrovou stálost. Po vstřikování byly měřeny vybrané parametry drsnosti povrchu Ra a Rz na přístroji Taylor Hobson. Data byla zaznamenána, statisticky vyhodnocena a vložena do grafů.

Z výsledných dat při změně vstřikovacího tlaku lze vypožorovat, že nejlepších výsledků je dosaženo při nejvyšším tlaku 60 MPa, kdy se drsnost Ra a Rz vzorků nejvíce přibližuje drsnosti funkčních ploch tvarových vložek. Při volbě vysoké tlaku je však potřeba dát pozor, aby nebyl až příliš vysoký a nedošlo ke vzniku nežádoucích přetoků. Nejhorších výsledků bylo dosaženo při vstřikovacím tlaku 30 MPa. Při změně vstřikovací rychlosti a za konstantních hodnot ostatních parametrů vyplývá, že rychlost nemá v tomto případě příliš velký vliv na kvalitu jakosti povrchu vzorků z ABS. Ve všech případech je v grafu vidět podobný průběh drsností. U změny dotlaků dosahujeme podobných výsledků

jako u změny vstřikovacího tlaku. Nejpřesnější a nejlepší výsledky jsou při dotlaku 60 MPa a nejhorší u dotlaku 30 MPa.

Z výsledků plyne, že nejefektivnější a nejekonomičtější, při vstřikování polymeru ABS, je výroba vložky č. 5, která má drsnost povrchu $R_a = 0,127 \mu\text{m}$, $R_z = 1,042$. Další dokončovací úpravy funkčních ploch, jako leštění či lapování, které byly použity u tvarových vložek č. 1,2 a 3, nejsou při výrobě těchto malých rovinných a tenkostěnných výrobků potřebné, protože polymerní materiál není schopen kopírovat povrch s takto vysokou kvalitou jakosti povrchu. Od vložky č. 5 už tak v podstatě nedochází u vzorků k dosahování lepší jakosti povrchu než u následujících vložek, což bylo potvrzeno při použití jakýchkoliv pracovních podmínek.

V tomto experimentu byl použit pouze jeden amorfní termoplast. Pro hlubší analýzu řešené problematiky by bylo vhodné navázat tento výzkum vlivu technologických podmínek při vstřikování na jakost povrchu polymerního výrobku o určení možných dalších vlivů jako je druh polymerního materiálu, reologické vlastnosti, materiál vstřikovací formy či teplota vstřikovací formy, které nemohli být v této diplomové práci určeny z důvodu velmi vysokého počtu měření a následném zdlouhavém vyhodnocení dat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BOBČÍK a kolektiv. *Formy pro zpracování plastů, I-DÍL – Vstřikování termo-plast.* 2. vyd. BRNO: Uniplast, 1999. 134s
- [2] KREBS, J. *Teorie zpracování nekovových materiálů* 2. vyd. Technická univerzita v Liberci. 2001. 250s. ISBN 80-7083-449-8
- [3] BOBČÍK, L a kol. *Formy pro zpracování plastů: II.díl – Vstřikování termoplastů.* 2.vydání – Brno: Uniplast, 1999. 214s.
- [4] DILLINGER, J., a kol. *Moderní strojírenství pro školu i praxi.* 1. vydání. Praha : Europa-Sobotáles cz. s.r.o., 2007. 612 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [5] MENGES, G.MICHAELI, W., MOHREN, P. *How to Make Injection Molds* 3. vyd. HANSER, Munich. 2007. 612s. ISBN 1-56990-282-8
- [6] MAŇAS, M., HELŠTÝN, J. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikářské stroje II.* 1.vyd. Brno: VUT, 1990.199 s. ISBN 80-214-0213-X
- [7] J. Mleziva: *Polymery.* Sobotáles, Praha, 1993
- [8] Jurena, P.: *Snímání a hodnocení jakosti broušeného povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem: Diplomová práce.* Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta Technologická, 13.5.2011.
- [9] Fyzikální základy vědy o materiálu: Polymery. Pedagogická fakulta MU. 2009. [online]. Dostupné z WWW: [http:// www.ped.muni.cz/wphy/FyzVla/FMkomplet3.htm](http://www.ped.muni.cz/wphy/FyzVla/FMkomplet3.htm)
- [10] VOJTĚCH, D. *Materiály a jejich mezní stavy* 1. vyd. VŠCHT Praha. 2010. 212s. ISBN 978-80-7080-471-5
- [11] BUMBÁLEK, B., *Integrita povrchu a její význam pro posouzení vhodnosti dané plochy pro její funkci*
- [12] PATA, V., *Přednáškové materiály předmětu Počítačová podpora zpracování dat*
- [13] KOČMAN, K., BUMBÁLEK, B. A kol.: 2002, *Typologie povrchu ploch dokončených vysoce přesnými metodami obrábění.* VZ ÚST-FSI, VUT Brno.
- [14] www.ksp.tul.cz [online]. Dostupný z WWW: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04-vstrikovani%20plastu/06-vstrikovaci%20stroj%20schema.jpg
- [15] www.ksp.tul.cz [online]. Dostupný z WWW:

- http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [16] AFJEHI-SADAT, A., *Meranie drsnosti, vlnitosti a primárneho profilu*.
- [17] *Frézování III: odborná konference FSI VUT v Brně Ústavu strojírenské technologie ve spolupráci s PRAMET TOOLS, s.r.o., ZPS - FRÉZOVACÍ NÁSTROJE, a.s., Zlín a dalšími společnostmi*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, 178 s. ISBN 80-214-2436-2.
- [18] BUMBÁLEK, B., ODVODY, V., OŠŤÁDAL, B., *Drsnost povrchu*, Praha 1989, SNTL – nakladatelství technické literatury
- [19] utopm.fsid.cvut.cz [online]. Dostupný z WWW:
<http://www.google.cz/url?url=http://utopm.fsid.cvut.cz/podklady/STO/Progres%20520technologie%2520I.ppsx&rct=j&q=&esrc=s&sa=U&ei=oEodVc2RMs6saY7vgZgE&ved=0CBQQFjAA&sig2=Xg48M94vafe94nTIRdIx9Q&usg=AFQjCNEdOI2D3o0CDmZhHbazETnsy5g7kw>
- [20] <http://sps.watzke.cz> [online]. Dostupný z WWW:
http://sps.watzke.cz/dl/KOM/ULOHA_3.1.4_MERENI_DRSNOSTI_POVRCHU.pdf
- [21] ŘASA, J., KEREČANINOVÁ, Z., *Nekonvenční metody obrábění 2*. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-2-2.html>
- [22] ŘASA, J., KEREČANINOVÁ, Z., *Nekonvenční metody obrábění*. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni.html>
- [23] HANZLÍK, V., *Technologie a metody dokončování rovinných ploch*. Dostupný z WWW:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40068
- [24] KOČMAN, K., *Technologické procesy obrábění*. 1st ed. Brno: Akademického nakladatelství cerm, 2011. 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2
- [25] <http://www.sugino.cz> [online]. Dostupný z WWW:
<http://www.sugino.cz/pdf/Sugino%20SUPEROLL%20L2215CZ.pdf>
- [26] <http://www.spssol.cz> [online]. Dostupný z WWW:
<http://www.spssol.cz/~vyuka/tridy/3.D/STT/Dokončovací%20operace.pdf>
- [27] <http://techstroj.g6.cz> [online]. Dostupný z WWW: <http://techstroj.g6.cz/T/T21.pdf>

- [28] files.prumyslovak.webnode.cz [online]. Dostupný z WWW:
<http://www.google.cz/url?url=http://files.prumyslovak.webnode.cz/200000069-5076f5170e/7.%2520Dokon%25C4%258Dovac%25C3%25AD%2520metody%2520obr%25C3%25A1b%25C4%259Bn%25C3%25AD.docx&rct=j&q=&esrc=s&sa=U&ei=hVsdVdTKLcbgaNaxgOAG&ved=0CEMQFjAH&sig2=xHWqvtUNfR0PtWNUwaXESQ&usg=AFQjCNHcThamSFbGxfnBJO6P7bhtza9LGA>
- [29] JANÍČKOVÁ, P., *Broušení*. Dostupný z WWW:
http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2445
- [30] ŘASA, J., KEREČANINOVÁ, Z., *Nekonvenční metody obrábění 3*. Dostupný z WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-3-dil.html>
- [31] <http://www.ksp.tul.cz> [online]. Dostupný z WWW:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [32] <http://jkz.cz> [online]. Dostupný z WWW: <http://jkz.cz/node/33>
- [33] Proma FHV-50PD univerzální frézka, Návod k použití.
- [34] <http://www.utb.cz> [online]. Dostupný z WWW:
http://www.utb.cz/file/40095_1_1/download/
- [35] BRH 20.03F, Rovinná horizontální bruska, Návod k použití.
- [36] <http://tiefziehen.com> [online]. Dostupný z WWW:
<http://tiefziehen.com/cz/ABS/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABS	Akrilonitril-butadien-styren
R _a	Střední aritmetická úchylka
R _z	Výška nerovnosti profilu
Cu	Měď
Al	Hliník
Ti	Titan
Zn	Zinek
Mg	Hořčík
SK	Slinutý karbid
PS	Polystyren
ISO	Mezinárodní norma, Mezinárodní organizace pro standardizaci
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
PC	Polykarbonát
PMMA	Polymethylmethakrylát
PE	Polyethylén
PP	Polypropylén
PA6	Polyamid 6
P _t	Hloubka povrchu
R _t	Hloubka jakosti povrchu
x _i	I-tá hodnota měřené veličiny
W _t	Hloubka vln povrchu

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Schéma nejčastější organizace výroby forem [3].....</i>	13
<i>Obr. 2. Způsoby broušení [29]</i>	24
<i>Obr. 3. Soustružnický nůž a frézovací hlava [3].....</i>	25
<i>Obr. 4. Honovací hlava a schéma honovacího stroje [28].....</i>	26
<i>Obr. 5. Superfinišování [27]</i>	26
<i>Obr. 6. Lapování [28].....</i>	27
<i>Obr. 7. Schéma leštícího kotouče [24]</i>	28
<i>Obr. 8. Válečkovací hlava [25]</i>	29
<i>Obr. 9. Princip dynamického</i>	29
<i>Obr. 10. Schéma elektroerozivního obrábění [22]</i>	31
<i>Obr. 11. Základní části stroje pro hloubení.....</i>	32
<i>Obr. 12. Princip elektrochemického obrábění [21]</i>	33
<i>Obr. 13. Zařízení pro obrábění ultrazvukem [30]</i>	33
<i>Obr. 14. Průměrná aritmetická úchylka daného profilu [19]</i>	35
<i>Obr. 15. Výška nerovností profilu [20].....</i>	36
<i>Obr. 16. Celková výška profilu [19]</i>	36
<i>Obr. 17. Vzorkovnice drsnosti povrchu [20]</i>	39
<i>Obr. 18. Příčná a podélná drsnost [20]</i>	39
<i>Obr. 19. Princip měření jakosti povrchu [4]</i>	40
<i>Obr. 20. Optický profiloměr[8]</i>	41
<i>Obr. 21. Schéma optického snímače CLA [8]</i>	41
<i>Obr. 22. Schéma laserového snímače [8].....</i>	42
<i>Obr. 23. Tvary makromolekul a) lineární, b) rozvětvené, c) zesíťené [9]</i>	44
<i>Obr. 24. Rozdělení polymerů [9]</i>	45
<i>Obr. 25. Oblast využití amorfních plastů [1].....</i>	45
<i>Obr. 26. Oblast využití semikrystalických plastů [1].....</i>	46
<i>Obr. 27. Vstřikovací cyklus [6].....</i>	47
<i>Obr. 28. Schéma vstřikovacího stroje [9].....</i>	49
<i>Obr. 29. Řez vstřikovací jednotkou [15].....</i>	50
<i>Obr. 30. Uzavírací jednotka [15]</i>	51
<i>Obr. 31. Výkres tvarové vložky vstřikovací formy</i>	55
<i>Obr. 32. Univerzální soustruh TOS žebrák S32.....</i>	61

<i>Obr. 33. Frézka FHV-50PD [34]</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 34. Rovinná bruska BRH 20.03F [34]</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 35. 3D model vzorku s kuželovým vtokem</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 36. Sušička Arburg</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 37. Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470H 1000-400</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 38. Označená místa na měření drsnosti vložek</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 39. Označení místa měření drsnosti</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 40. Měření drsnosti pomocí profiloměru Taylor Hobson.....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 41. Změna drsnosti Ra v závislosti na změně vstřikovacího tlaku.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 42. Detail změny drsnosti Ra v závislosti na změně vstřikovacího tlaku</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 43. Graf změny drsnosti Rz v závislosti na změně vstřikovacího tlaku</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 44. Detail změny drsnosti Rz v závislosti na změně vstřikovacího tlaku.....</i>	<i>76</i>
<i>Obr. 45. Graf změny drsnosti Ra v závislosti na změně vstřikovacího tlaku.....</i>	<i>78</i>
<i>Obr. 46. Detail změny drsnosti Ra v závislosti na změně vstřikovací rychlosti</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 47. Graf změny drsnosti Rz v závislosti na změně vstřikovací rychlosti</i>	<i>81</i>
<i>Obr. 48. Detail změny drsnosti Rz v závislosti na změně vstřikovací rychlosti.....</i>	<i>82</i>
<i>Obr. 49. Graf změny drsnosti Ra v závislosti na změně dotlaku</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 50. Detail změny drsnosti Ra v závislosti na změně dotlaku</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 51. Graf změny drsnosti Rz v závislosti na změně dotlaku.....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 52. Detail změny drsnosti Rz v závislosti na změně dotlaku</i>	<i>88</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Materiály jednotlivých dílů forem a jejich tepelné zpracování [3]</i>	16
<i>Tab. 2. Mat. jednotlivých dílů forem a jejich tepelné zprac. (pokračování Tab. 3) [3]</i>	17
<i>Tab. 3. Používané slitiny mědi [3]</i>	18
<i>Tab. 4. Chemické složení oceli ČSN 19 552</i>	56
<i>Tab. 5. Tepelné zpracování oceli EN 1.2343</i>	57
<i>Tab. 6. Vybrané fyzikální vlastnosti oceli ČSN 19 552</i>	57
<i>Tab. 7. Technologické parametry soustružení tvarových vložek</i>	58
<i>Tab. 8. Technologické parametry výroby vložky č. 5</i>	58
<i>Tab. 9. Technologické parametry výroby vložky č. 4</i>	59
<i>Tab. 10. Technologické parametry výroby vložky č. 3</i>	59
<i>Tab. 11. Technologické parametry výroby vložky č. 2</i>	59
<i>Tab. 12. Technologické parametry výroby vložky č. 1</i>	60
<i>Tab. 13. Základní parametry soustruhu</i>	60
<i>Tab. 14. Základní vlastnosti frézky [33]</i>	62
<i>Tab. 15. Základní vlastnosti brusky BRH 20.03F [35]</i>	63
<i>Tab. 16. Technologické parametry vstřikování ABS</i>	64
<i>Tab. 17. Vlastnosti Magnum 3453 ABS</i>	65
<i>Tab. 18. Základní vlastnosti sušárny</i>	66
<i>Tab. 19. Základní vlastnosti vstřikovacího stroje</i>	67
<i>Tab. 20. Technická specifikace profiloměru Taylor Hobson</i>	69
<i>Tab. 21. Vyhodnocená data drsnosti Ra ocelových vložek</i>	71
<i>Tab. 22. Vyhodnocená data drsnosti Ra vzorků ABS</i>	71
<i>Tab. 23. Vyhodnocená data drsnosti Rz ocelových vložek</i>	74
<i>Tab. 24. Vyhodnocená data drsnosti Rz vzorků ABS – změna vstřikovacího tlaku</i>	74
<i>Tab. 25. Vyhodnocená data drsnosti Ra ocelových vložek</i>	77
<i>Tab. 26. Vyhodnocená data drsnosti Ra vzorků ABS</i>	78
<i>Tab. 27. Vyhodnocená data drsnosti Rz ocelových vložek</i>	80
<i>Tab. 28. Vyhodnocená data drsnosti Rz vzorků ABS – změna vstřikovací rychlosti</i>	80
<i>Tab. 29. Vyhodnocená data drsnosti Ra ocelových vložek</i>	83
<i>Tab. 30. Vyhodnocená data drsnosti Ra vzorků ABS</i>	83
<i>Tab. 31. Vyhodnocená data drsnosti Rz ocelových vložek</i>	86
<i>Tab. 32. Vyhodnocená data drsnosti Rz vzorků ABS – změna dotlaku</i>	86

