

# Vliv technologických podmínek dokončovacích metod na jakost funkčních ploch zrcadel

Lubomír Cink

Diplomová práce  
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

Zde patří oficiální zadání diplomové práce.

**Tato strana se ze šablony netiskne. Je to výstup z IS STAG.**

Děkuji tímto vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Imrichu Lukovicsovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytl během řešení mé diplomové práce. Dále firmě Automotive Lighting, s.r.o. Jihlava, za poskytnutí materiálů, podkladů a technologického zázemí pro vznik této práce.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 24. 05. 2005

---

podpis diplomanta

## ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na technologii dokončování povrchů forem. Na prověření jaký vliv má kvalita povrchu formy na plochu výrobku pro různé výrobní postupy a různé drsnosti povrchu formy, dále při použití odlišných plastů a parametrů nastavení vstřikovacího stroje.

V teoretické části je přehled běžně používaných nástrojových ocelí forem, dokončovacích technologií jejich povrchů, způsoby vyhodnocování kvality, proces vstřikování a částečně i o povrchových úprav výrobků.

V praktické části je rozbor výsledků drsností pro jednotlivé povrchy, jejich grafické zpracování, porovnání použitých plastů a nastavení vstřikovacího stroje.

This diploma work is focused on technologies of final finishing works of tools. Clarifying an influence on quality of tool surfaces to part surfaces for different manufacturing process and different roughness of tools, further to use of different plastics and injection moulding parameters.

The first part is an overview of used steels for injection molds, finishing technologies their surfaces, methods for quality evaluation, theory of injection moulding process and partly also surface treatments of products.

The second part is an analyse of measured results of roughness for individual surfaces, their graphic elaboration, comparing of used plastics and setting of injection moulding machine.

**OBSAH**

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| OBSAH.....                                                       | 5  |
| ÚVOD.....                                                        | 7  |
| I. TEORETICKÁ ČÁST.....                                          | 8  |
| 1. MATERIÁLY PRO VÝROBU FOREM.....                               | 8  |
| 1.1. Hlediska pro výběr materiálu formy a jejich vlastnosti..... | 8  |
| 1.2. Přehled používaných ocelí.....                              | 13 |
| 1.3. Tepelné zpracování materiálů.....                           | 15 |
| 2. DOKONČOVACÍ ZPŮSOBY OBRÁBĚNÍ.....                             | 16 |
| 2.1. Jemné obrábění.....                                         | 19 |
| 2.1.1. Jemné soustružení.....                                    | 20 |
| 2.1.2. Vyvrtávání.....                                           | 20 |
| 2.1.3. Vystružování.....                                         | 22 |
| 2.1.4. Jemné frézování.....                                      | 23 |
| 2.1.5. Zaškrabávání.....                                         | 24 |
| 2.2. Jemné broušení.....                                         | 24 |
| 2.3. Honování.....                                               | 27 |
| 2.4. Superfinišování.....                                        | 30 |
| 2.5. Lapování.....                                               | 31 |
| 2.5.1. Mechanické lapování.....                                  | 35 |
| 2.5.2. Chemicko-mechanické lapování.....                         | 35 |
| 2.5.3. Elektro-chemicko-mechanické lapování.....                 | 36 |
| 2.6. Leštění.....                                                | 36 |
| 2.6.1. Mechanické leštění.....                                   | 37 |
| 2.6.2. Chemické leštění.....                                     | 39 |
| 2.6.3. Elektro-chemické leštění.....                             | 42 |
| 2.6.4. Leštění rotujícími kefami.....                            | 45 |
| 2.6.5. Omílání.....                                              | 46 |
| 2.6.6. Leštění pásy.....                                         | 46 |
| 2.6.7. Leštění rovinných ploch.....                              | 47 |
| 2.7. Dokončování povrchů tvářením.....                           | 48 |
| 3. HODNOCENÍ KVALITY POVRCHU.....                                | 50 |
| 3.1. Makrogeometrie obrobených ploch.....                        | 51 |

|        |                                                      |    |
|--------|------------------------------------------------------|----|
| 3.2.   | Mikrogeometrie .....                                 | 51 |
| 3.2.1. | Hodnotící kritéria drsnosti povrchu .....            | 52 |
| 3.2.2. | Metody a zařízení na měření drsnosti povrchu .....   | 55 |
| 4.     | VSTŘIKOVÁNÍ.....                                     | 57 |
| 4.1.   | Vstřikovací cyklus .....                             | 58 |
| 4.2.   | Materiály pro vstřikování.....                       | 60 |
| 4.3.   | Vstřikovací stroje .....                             | 62 |
| 5.     | KVALITA POVRCHU VSTŘIKOVANÝCH DÍLCŮ .....            | 64 |
| 6.     | POVRCHOVÉ ÚPRAVY PLASTŮ .....                        | 65 |
| 6.1.   | Barevné úpravy povrchu .....                         | 65 |
| 6.2.   | Pokovování .....                                     | 66 |
| 6.3.   | Popisování laserem .....                             | 68 |
| II.    | PRAKTICKÁ ČÁST .....                                 | 69 |
| 7.     | STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE .....                 | 69 |
| 8.     | PRAKTICKÁ ČÁST .....                                 | 70 |
| 8.1.   | Příprava vzorků.....                                 | 70 |
| 8.2.   | Parametry vstřikovacího stroje ENGEL ES 330/80 ..... | 72 |
| 8.3.   | Použité materiály pro vstřikování vzorků .....       | 73 |
| 8.4.   | Pokovení vzorků .....                                | 75 |
| 9.     | DISKUZE VÝSLEDKŮ .....                               | 76 |
| 9.1.   | Měření drsnosti .....                                | 76 |
| 9.2.   | Vizuální posouzení vzorků .....                      | 83 |
|        | ZÁVĚR .....                                          | 86 |
|        | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....                      | 88 |
|        | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....             | 89 |
|        | SEZNAM TABULEK .....                                 | 90 |
|        | SEZNAM OBRÁZKŮ .....                                 | 91 |
|        | SEZNAM PŘÍLOH.....                                   | 92 |

## ÚVOD

První makromolekulární látky jsou známy již od konce 19.století, ale jejich rozsáhlé uplatnění se aplikovalo až od konce druhé světové války. Již tehdy existovaly otázky jejich povrchové úpravy, ať už se jednalo o dekorační vzhled nebo technické problémy s jejich lepením, opatřováním nátěry, pokovením či antistatickou úpravou, leštěním apod. S rozvojem a aplikacemi plastů v současném průmyslu přicházejí i otázky o úpravách plastů k získání požadovaných vzhledů od barevných odstínů až k úpravám povrchů například pokovení.

V celosvětovém měřítku stále vzrůstá požadavek na náhradu dílců z oceli, litiny či jiných slitin za díly z plastů a jejich kompozitů. Toto je výrazně ovlivněno výrobní cenou, která je způsobena jak nižší cenou výchozí suroviny, tak dále pozitivními vlastnostmi plastů jako nižší hustota, odolnost vůči korozi, jednoduchá zpracování i složitějších dílů.

Pokud se zaměříme na minulost výroby světlometů, které jsou vyráběny ve firmě Automotive Lighting s.r.o., byly v minulosti hlavní díly, jako například reflektory, dříve lisovány z plechů a dále povrchově upravovány pro dosažení reflexních vlastností pro dobrou odrazivost světla. V současné době jsou tyto díly nahrazeny materiály jako jsou termosety či technické termoplasty a dle typu plastu pak přicházejí odlišné metody zpracování a povrchových úprav.

V současné době je mnoho firem pro zpracování plastů dodavateli automobilového průmyslu, který ovšem klade na jeho dodavatele vysoké požadavky na kvality těchto dílců, dále schopnosti výroby a zajištění bezproblémových dodávek. S požadavky na kvalitu dílů rostou i požadavky na plochy forem, ze kterých se tyto díly vyrábějí, lépe řečeno kopírují jejich povrch. Tyto plochy musí splňovat jak nároky pro jednotlivé typy materiálů pro které jsou určeny, tak i požadavky pro životnost forem, případně garantování stejné kvality povrchu po celou dobu životnosti forem. Toto klade zvýšené nároky na finální opracování jejich povrchů stejně tak jako na volbu materiálu ocelí.

Z těchto důvodů jsem se rozhodl porovnat závislost kvality ploch forem na povrch výrobků při odlišné kvalitě ploch, použití odlišných parametrů nastavení lisu a plastů. Pokusit se najít hodnoty drsnosti ploch, při kterých je dokončení povrchu efektivní a kdy již dochází ke zbytečným nákladům na lepší opracování.

## I. TEORETICKÁ ČÁST

### 1. MATERIÁLY PRO VÝROBU FOREM

#### 1.1. Hlediska pro výběr materiálu formy a jejich vlastnosti

Formy na tváření plastů sestavené z funkčních a pomocných dílů jsou většinou výrobně pracné a proto i drahé nástroje. Přáním jejich uživatele proto je, aby byly co nejlevnější, dosahovaly požadovanou kvalitu a co největší životnost. Až na výjimky se vyrábějí z ušlechtilých ocelí. Pro hospodárný výběr materiálů je nezbytné znát:

- provozní namáhání nástrojů,
- předpokládanou technologii jejich výroby včetně možné renovace,
- ekonomické a organizační aspekty jejich výroby a využití.

K provozním podmínkám namáhání nástrojů řadíme velikost tlaku, tahu, míru otěru a též výši teploty zpracovávaného plastu, včetně jeho chemických účinků na funkční plochy. Tyto jsou ovlivňovány:

- druhem zpracovávaného plastu,
- velikostí výrobku, jeho členitostí a přesností,
- teplotou a tlakem lisování nebo vstřikování plastu. [14]

Oceli jsou nejvýznačnějším druhem používaných materiálů na výrobu forem. Svou pevností a dalšími mechanickými vlastnostmi se dají jen obtížně nahradit. Účelné konstrukce, vhodné vložkování, celková dimenze jednotlivých dílů, tepelné zpracování i způsob zacházení z formou, to všechno má vliv na kvalitu forem.

Dále i způsob výroby a tepelné zpracování materiálu může celý výsledek ovlivnit. Nedostatečná kvalita povrchu zhoršuje vyjímání, vyleštěný povrch je rovněž prostředkem k ochraně proti korozi, atd. Z těchto požadavků vyplývají i nároky na čistotu oceli.

Některé materiály, především vlivem ekonomických aspektů při jejich výrobě se vyznačují kolísavou jakostí dodávaných materiálů, hlavně tuzemských. Zvolená běžná jakost tak v některých případech nevyhoví (dezénované, transparentní plochy, ...) a musí se využít ocele vakuově nebo elektrostruskově přetavované (nákladněji vyráběné).

Zahraniční ocelárny vyrábí přes 75 % objemu ocelí na formy technologií struskového přetavování nebo řízenými metalurgickými procesy. Takto vyrobené oceli zlepšují čistotu

jak chemickou, tak i strukturní homogenitu. Zvýší se mechanické i technologické vlastnosti oceli. Takto připravený materiál se v praxi projevuje jednodušší a bezpečnější výrobou nástrojů a v provozu vyšší životností i kvalitou výstřiků.

Jednotlivé díly forem nemají stejnou funkci. Proto vyžadují i svoje specifické požadavky na volbu materiálu, z kterého budou vyrobeny. Jejich výběr a doporučená řada má odpovídat požadované funkci součásti, s ohledem na opotřebení a životnost.

### ***Pracovní podmínky forem***

Plasty členěné zhruba na vytvrditelné reaktoplasty a tepelně zpracované termoplasty, jsou tvářeny nebo vstřikovány do formy v širokém spektru tlaků a teplot. Tak např. nejběžnější druhy reaktoplastů (např. bakelit s plnidly) jsou lisovány tlakem 35 až 100 MPa, a to při teplotě cca 160 až 165 °C. Naproti tomu termoplasty (např. polyethylén) se lisují při menších tlacích a převážně v mezích teplot 120 až 220 °C; při vstřikování až při teplotách 250 až 300 °C.

Velký důraz je kladen také na vysokou odolnost funkčních částí proti otěru, zejména při zpracování plastů s abrazivními plnidly. Proto se funkční části forem zušlechťují na poměrně vysoké pevnosti, převážně přes 1800 MPa (cca 51 HRC), nebo se povrchově upravují cementací, popř. nitridují.

### ***Mechanické zatížení forem***

Mechanický ráz je u forem velmi malý, nebo žádný, proto se neklade u oceli zvláštní důraz na houževnatost. Dobrá plasticita materiálu na druhé straně umožňuje vysokou odolnost proti tvorbě trhlinek tepelné únavy. Ohřev funkčních částí nástrojů je relativně nízký a proto pro výrobu postačují převážně oceli uhlíkové a nízkolegované, zařazené do skupiny ocelí pro práci za studena.

Přesnost výlisků však vyžaduje oceli s nízkým sklonem ke změnám rozměrů a deformacím jak při kalení, tak při provozním namáhání. Větší formy vyžadují dobrou prokalitelnost oceli, aby byla v celé tloušťce stěn dosažena co největší tvrdost (pevnost) po zakalení.

### ***Chemické zatížení forem***

Kvůli omezení chemických účinků zpracovávaných plastů se preferují oceli se zvýšenou odolností proti korozi. Z hlediska technologických aspektů je zapotřebí, aby oceli měly dobrou obrobitelnost a obrusitelnost.

### ***Technologické aspekty***

Zvýšené nároky na jakost povrchu výlisků splňují oceli s dobrou leštitelností. Výroba tvárnic forem vtačováním tvarů vyžaduje oceli s dobrou tvářitelností za studena.

Výše uvedené aspekty výroby a provozu forem lze shrnout do těchto hlavních požadavků na vlastnosti ocelí:

- dostatečná pevnost v tahu i v tlaku,
- zvýšená odolnost proti otěru,
- vyhovující kalitelnost a prokalitelnost,
- malé rozměrové i tvarové deformace při kalení,
- co nejlepší korozivzdornost,
- dobrá obrobitelnost, popř. tvařitelnost za studena,
- dobrá obrusitelnost a leštitelnost v zušlechtěném stavu.

Je zřejmé, že splnění všech požadavků u jedné nástrojové oceli, je pro jejich protichůdnost nereálné. Při volbě materiálů je nutno se řídit kompromisem a stanovit 2 až 3 rozhodující požadavky na vlastnosti a technologii vstřikovaného plastu. Důsledkem rozličných výrobních a provozních podmínek nástrojů je pak i větší počet vyráběných či doporučovaných značek ocelí.

### ***Pevnost***

Pevnost, odolnost v tlaku a do značné míry i otěruvzdornost ocelí je daná obsahem uhlíku, resp. charakterem struktury a její tvrdostí po zakalení a popuštění.

### ***Obrobitelnost***

Obrobitelnost polotovarů uváděná obvykle ve stavu žíhaném na měkko, závisí rovněž na pevnosti (tvrdosti) i na charakteru struktury, včetně druhu a množství karbidů. Zvýšená koncentrace uhlíku i ostatních legujících přísad se obvykle projevuje vyšší

pevností matrice a tím i zhoršenou obrobitelností a obrusitelností oceli. Nemenší technický i ekonomický význam má obrusitelnost oceli v zakaleném a popouštěném stavu.

Čím tvrdší je ocel a čím větší má podíl karbidických částic ve struktuře, zejména pak velmi tvrdých karbidů vanadu, tím větší jsou potíže s broušením nástrojů.

### ***Tvářitelnost***

Také tvařitelnost ocelí, resp. výroba dutin tvárnic vtačováním, je závislá na pevnosti a charakteru struktury v žíhaném stavu na měkko. Proto jsou pro tuto výrobní technologii nejvhodnější měkčí oceli, tj. s co nejnižším obsahem uhlíku i dalších legujících přísad, včetně feriticko-perlitické struktury s globulárním perlitem. Tyto podmínky nejlépe splňují cementační oceli.

### ***Leštitelnost***

Dobrá leštitelnost se vyžaduje zvláště při výrobě forem k lisování transparentních hmot. Je také jedním z význačných požadavků na materiál pro funkční díly. Negativně na leštitelnost působí vysoký podíl karbidů a jejich nerovnoměrné rozdělení v matrici. K důležitým faktorům patří také čistota oceli. V obou případech se s výhodou uplatňují např. kvalitnější, elektrostruskově přetavené oceli. Pokud se jedná o chemické složení, pak se dobře leští zušlechťené oceli s nižším obsahem uhlíku a vyšší koncentrací niklu.

### ***Otěruvzdornost***

Otěruvzdornost, kromě tvrdosti, dále pozitivně ovlivňuje rostoucí množství karbidů legovacích prvků Cr, Mo, W a zejména vanadu. Naproti tomu účinek výše uvedených faktorů na houževnatost, tvařitelnost, deformace i obrusitelnost je nepříznivý. Příkladem mohou být ledeburitické oceli na bázi 2% C a 12% Cr.

### ***Kalitelnost a prokalitelnost***

Kalitelnost, tj. schopnost oceli vytvrdit se zakalením, je závislá hlavně na obsahu uhlíku v matrici, resp. na jeho rozpuštění v austenitu při ohřevu nad teplotu strukturní přeměny  $A_{c3}$  ( $A_{1,2}$ ), a na rychlosti ochlazování z kalící teploty, a tím i na podílu tvrdého martenzitu ve struktuře. To znamená, že oceli s nízkým obsahem uhlíku, cca pod 0,25 % (např. cementační) budou mít podstatně nižší tvrdost než oceli eutektoidní (např. uhlíkové oceli s cca 0,86 % C).

Prokalitelnost je důležitá u rozměrnějších nástrojů, neboť určuje hloubku jejich zakalení, tj. požadovanou tvrdost na průřezu jednotlivých stěn nástroje. Prakticky všechny legující prvky stabilizují austenit v oblasti perlitické reakce (pod teplotou  $A_{c1}$ ,  $A_{1,1}$ ) a při kalení umožňují zakalení či prokalení větších tloušťek nástrojů i při pozvolnějším ochlazování z austenitizační teploty, např. na vzduchu nebo v teplé lázni. Nejúčinněji v tomto směru spolu s uhlíkem působí přísady Cr, Ni, Mo nebo také mangan. Vysokou prokalitelností se vyznačují např. Cr-Ni nebo Cr-Ni-Mo oceli.

### ***Korozivzdornost***

Korozivzdornost společně s chemickou odolností vůči působení plastu v oxidačním prostředí se vyznačují oceli s minimálním obsahem Cr nad 12 %. K dosažení nejlepší korozivzdornosti a chemické odolnosti je třeba, aby ocel měla nízký obsah C a chrom byl dokonale rozpuštěn v ocelové matici, tím lépe ocel odolává účinkům chemických látek, včetně účinku tvářených plastů, např. s přísadou chlóru..

### ***Deformace***

Nežádoucí rozměrové, ale i tvarové deformace po kalení jsou závislé na chemickém složení oceli jako stálost rozměrů. Dále jsou ovlivňovány strukturou oceli a způsobem ochlazování (rychlost a rovnoměrnost ochlazování) nástrojů z kalící teploty. Největší deformace vykazují oceli s vysokým obsahem uhlíku a dále oceli se zvýšenou koncentrací karbidotvorných prvků, tj. Cr, W, Mo a V. Čím větší je podíl tvrdého martenzitu nebo karbidické fáze v zakalené struktuře, tím větší mohou být i deformace.

Mimo to rozměrové změny jsou větší ve směru karbidické řádkovitosti (válcované nebo jednosměrně tvářené polotovary) než ve směru příčném. Naproti tomu zvýšený obsah zbytkového austenitu deformace snižuje. Výhodnost vlivu zbytkového austenitu na menší deformace lze však využít jen u nástrojů pracujících za normálních teplot, nebo max. do 250 °C. Pozitivní účinek v tomto směru mají např. prvky Mn a Ni. Dokončovací obrábění elektroerozivními metodami zakalených ocelí poněkud snižuje význam deformací při kalení.

### ***Tepelné vlastnosti***

Tepelná vodivost, roztažnost, koeficient tření apod. jsou fyzikálními vlastnostmi kovů, které u forem umožňují dosáhnout požadované funkční parametry. [8]

## 1.2. Přehled používaných ocelí

Úspěšný vývoj univerzálních typů ocelí s širokým rozsahem užitečných vlastností, může plnit v maximální míře funkční požadavky výroby na materiál. Takový trend stále pokračuje. Z širokého sortimentu jakosti ocelí se současně pro výrobu forem používají následující skupiny:

- oceli konstrukční k použití v přírodním i zušlechtěném stavu
- oceli k snadnému opracování a tváření, pro cementování a zušlechtování
- oceli uhlíkové k zušlechtování
- ocelí nástrojové se sníženou i velkou prokalitelností a odolností vůči otěru
- oceli k nitridování
- oceli antikorozi, používané při zpracování plastů, které chemicky ovlivňují ocel
- oceli martenziticky vytvrditelné s malou deformací při tepelném zpracování a velkou stálostí rozměrů [8]

V tabulce (Tab. 1) je porovnání vybraných vlastností nástrojových ocelí na formy pro tváření plastů a dále (Tab. 2) je přehled doporučených ocelí pro různé části forem dle ČSN.

Tab. 1. Porovnání vybraných vlastností ocelí na formy pro tváření plastů

| ocel   | obrobitelnost ve stavu žháném na měkko (%) |    |     | houževnatost ve stavu kaleném a popuštěném |  |  |                     |  |  |            |  |  | odolnost proti abrazivnímu otěru ve stavu kaleném a popuštěném (%) |    |     | mez trvalé deformace v tlaku 0,2 % ve stavu kaleném a popuštěném (%) |    |     | mez trvalé deformace v tlaku 60 % ve stavu žháném na měkko (%) |    |     |
|--------|--------------------------------------------|----|-----|--------------------------------------------|--|--|---------------------|--|--|------------|--|--|--------------------------------------------------------------------|----|-----|----------------------------------------------------------------------|----|-----|----------------------------------------------------------------|----|-----|
|        | 20                                         | 60 | 100 | vrubová houževnatost (%)                   |  |  | pevnost v ohybu (%) |  |  | průhyb (%) |  |  | 20                                                                 | 60 | 100 | 20                                                                   | 60 | 100 | 20                                                             | 60 | 100 |
| 19 015 |                                            |    |     | 445 %                                      |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |
| 19 312 |                                            |    |     |                                            |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |
| 19 314 |                                            |    |     |                                            |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |
| 19 315 |                                            |    |     |                                            |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |
| 19 436 |                                            |    |     |                                            |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |
| 19 452 |                                            |    |     |                                            |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |
| 19 486 |                                            |    |     | 178 %                                      |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |
| 19 487 |                                            |    |     | 178 %                                      |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |
| 19 550 |                                            |    |     |                                            |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |
| 19 572 |                                            |    |     |                                            |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |
| 19 574 |                                            |    |     |                                            |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |
| 19 581 |                                            |    |     |                                            |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |
| 19 614 |                                            |    |     |                                            |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |
| 19 665 |                                            |    |     |                                            |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |
| 19 901 |                                            |    |     |                                            |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |
| 19 902 |                                            |    |     |                                            |  |  |                     |  |  |            |  |  |                                                                    |    |     |                                                                      |    |     |                                                                |    |     |

(Etalony = 100 % )

Tab. 2. Doporučené oceli na funkční a pomocné části forem

| Části forem a lisů                           | Oceli nástrojové                 |                                                  |                                                   | Oceli nástrojové a konstrukční |               |              | Vlastnosti     |                   |                              |
|----------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------|---------------|--------------|----------------|-------------------|------------------------------|
|                                              | Uhlíkové s malou prokalitelností | Legované k zušlechťování s malou prokalitelností | Legované k zušlechťování s velkou prokalitelností | K cementování                  | K nitridování | Anti-korozní | Tvrдость [HRC] | Zušlechťeno [MPa] | Poznámka                     |
| Tvárnice a tvárníky forem, vložky nebo jádra | 19191                            | 19312                                            | 19436                                             | 19015                          | 19550         | 19435        | 55-57          |                   |                              |
|                                              | 19083                            | 19314                                            | 19550                                             | 19486                          | 14340         | 17024        |                |                   |                              |
|                                              | 12060                            | 19452                                            | 19573                                             | 19487                          | 15340         | 17029        |                |                   |                              |
|                                              |                                  |                                                  | 19614                                             | 12010                          | 19436         |              |                |                   |                              |
|                                              |                                  |                                                  | 19665                                             | 14220                          | 19573         |              |                |                   |                              |
|                                              |                                  |                                                  | 19902                                             | 14221                          |               |              |                |                   |                              |
| Vtokové vložky, písky a komory               |                                  | 19312                                            | 19573                                             | 19486                          | 14340         |              | 56-58          |                   |                              |
|                                              |                                  | 19314                                            | 19581                                             | 19487                          | 15340         |              |                |                   |                              |
| Vyhazovače                                   | 19191                            | 19312                                            |                                                   |                                |               |              | 55-57          |                   |                              |
|                                              |                                  | 19421                                            |                                                   |                                |               |              |                |                   |                              |
|                                              |                                  | 19452                                            |                                                   |                                |               |              |                |                   |                              |
|                                              |                                  | 19732                                            |                                                   |                                |               |              |                |                   |                              |
| Vodící sloupky a pouzdra                     | 19083                            | 19312                                            |                                                   | 14220<br>19486                 |               |              | 60-62          |                   | cementováno do hloubky 0,6-1 |
|                                              | 19191                            | 19314                                            |                                                   | 19487                          |               |              |                |                   |                              |
| Desky ráků a objímky                         | 19083                            | 19550                                            |                                                   | 11373*<br>12060*               |               |              | 50-54          |                   |                              |
|                                              |                                  | 19663                                            |                                                   | 11523*                         |               |              |                |                   |                              |
|                                              |                                  | 15260                                            |                                                   | 11600*                         |               |              |                |                   |                              |
| Dorazy                                       | 19083                            | 19312                                            |                                                   | 12060*                         |               |              | 50-54          |                   |                              |
|                                              |                                  | 19550                                            |                                                   |                                |               |              |                |                   |                              |
| Opěrné desky, vložky                         | 12050                            |                                                  |                                                   |                                |               |              | 50-54          |                   |                              |
|                                              | 12060                            |                                                  |                                                   | 12060                          |               |              |                |                   |                              |
|                                              | 12061                            |                                                  |                                                   | 12061                          |               |              |                |                   |                              |
| Pružiny šroubové                             | 12090                            |                                                  |                                                   |                                |               |              | 43-48          | 1400-1620         | kaleno, povrchově            |
|                                              | 12093                            |                                                  |                                                   |                                |               |              |                |                   |                              |
| listové                                      | 12090<br>13180                   |                                                  |                                                   |                                |               |              | 43-48          | 1400-1680         |                              |
| talířové                                     | 12090<br>15260                   |                                                  |                                                   |                                |               |              | 45-46          | 1480-1520         | kaleno, povrchově            |

### 1.3. Tepelné zpracování materiálů

Tepelné zpracování představuje souhrn takových operací, kterými se získávají požadované vlastnosti materiálu. Průběh je provázen změnou jejich struktury, ovlivňující především mechanické vlastnosti. Nejdůležitějšími způsoby tepelného zpracování jsou:

- žíhání (odstranění vnitřního pnutí, měkké, ...)
- kalení (zvýšení tvrdosti a pevnosti)
- popouštění v návaznosti na kalení
- chemicko-tepelná zpracování (cementace, nitridování, ...)

Jednotlivé způsoby tepelného zpracování svým průběhem i dosaženými vlastnostmi nejsou stejné. Výše požadované teploty je také rozdílná. Všeobecně platí, že ohřev má být pozvolný, ale přitom ekonomický. Prodleva na jednotlivých stupních umožňuje docílit stejnou teplotu v celém průřezu součásti, i vyrovnání její rozdílné teploty. Tím se dosáhne snížení pnutí (deformací) materiálu.

Ochlazování a jeho průběh závisí na požadavcích kritické rychlosti a daného způsobu tepelného zpracování. Rychlost odvodu tepla (intenzita chlazení) je dána prostředím, ve kterém pracuje. Obvykle to bývá vzduch, voda, olej a jiné prostředky.

Volba materiálu na jednotlivé díly formy a jejich tepelné zpracování má značný vliv na jejich funkci. Kalení a cementování, případně nitridace zvyšuje jakost i životnost formy. Žíhání zase umožňuje snadnější opracování. Tyto technologie jsou však drahé a dochází u nich k velkým časovým ztrátám, proto je potřeba pečlivě zvážit jejich nutnost.

Vzniklý opal a deformace při běžném kalení způsobují změnu rozměrů a tvaru. Snížení, případně odstranění těchto nedostatků umožňuje kvalitnější kalení ve vakuu nebo ochranné atmosféře. Jejich částečné odstranění umožňuje také vhodný tepelný režim i při běžném kalení.

Pracovní atmosféra inertního plynu nebo vakua v peci u moderních kalících zařízení umožňuje zpracovat součásti bez opalu povrchu (lesklé kalení) a tím získat značnou úsporu práce na jeho odstranění. Takové pece umožňují provádět lesklé kalení, žíhání, popouštění i cementování. Vysoký stupeň její automatizace zajišťuje stejnou jakost, reprodukovatelnost i hygienu práce. [8]

## 2. DOKONČOVACÍ ZPŮSOBY OBRÁBĚNÍ

Kvalita obrobeného povrchu, který požaduje konstruktér, je jedním z rozhodujících vstupních údajů životnosti a spolehlivosti strojů i samotného výrobního procesu. Horší drsnost ohrožuje kvalitu výrobku, trvanlivost a provozuschopnost strojů, neúměrně vysoká kvalita povrchu neúčelně a zbytečně zvyšuje výrobní náklady. Podle Odvodyho se výrobní náklady se zvyšováním kvality hyperbolicky zvyšují. Pokud je například pracnost plochy obroušené na  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$  jen  $800 \text{ minut m}^{-2}$ , vzrůstá tato pracnost při drsnosti  $R_a = 0,1 \mu\text{m}$  na  $2200 \text{ minut m}^{-2}$  a při drsnosti  $R_a = 0,05 \mu\text{m}$  dokonce až na  $4500 \text{ minut m}^{-2}$ . Proto je třeba předepisovat jen takovou drsnost povrchu, která je potřebná na správnou a spolehlivou funkci uvažované plochy.

Drsnost obrobené plochy je základním ukazatelem kvality povrchu. Určená je stopami, které na ni zanechá řezná hrana nástroje. Teoreticky by měla být stanovená tvarem řezné hrany (např. při soustružení) anebo tvarem dráhy špičky nástroje v odřezávané vrstvě materiálu (např. při úběru brusnými zrny). Ve skutečnosti vlivem deformací, které zanechává hrot nástroje, celkem odlišný charakter, který jen přibližně sleduje teoretický profil. Drsnost plochy bývá obvykle v příčném a podélném směru odlišná. Příčný směr je kolmý na řezný pohyb, podélný je rovnoběžný s hlavním řezným pohybem. Při soustružení, je drsnost v příčném směru větší, při frézování je horší kvalita povrchu v podélném směru. Při dokončovacích operacích bývá drsnost v obou směrech obvykle stejná. Stupeň drsnosti zásadně určíme ve směru největší drsnosti (Tab. 3).

Nejkvalitnější plochy vznikají při dokončovacích způsobech obrábění s nízkým specifickým tlakem brusných nástrojů a s poměrně malou řeznou rychlostí, jako je honování, superfinišování, lapování a leštění.

Přesnost součástky je možno definovat jako určitý stupeň její shodnosti s ideální součástkou danou výkresem, předpisem anebo vzorem. Přesnost udává hodnotu odchylek rozměrů, tvarů a vzájemné polohy ploch. Odchyly od ideálního tvaru a rozměrů součástí, které vznikají při obrábění musí být menší nebo v krajním případě se rovnat dovoleným odchylkám.

Odchyly rozměrů označujeme určité přípustné toleranční nepřesnosti od předepsaných jmenovitých mír. Rozmezí přípustných odchylek nazýváme tolerancí. V ní se může rozměr součástky pohybovat bez toho, že by byla ohrožena funkce nebo vyměnitelnost součástky.

Na nepřesnosti tvaru a polohy vyrobené součástky mají vliv nepřesnosti stroje, nástroje a přípravků, tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek, teplotní deformace soustavy, rozměrové opotřebení nástroje, přesnost nastavení nástroje, ale i upínací síly a vnitřní napětí způsobené obráběním.

Přesnost tvaru zhotovené součásti je funkcí přesnosti polotovaru. Tvarové odchylky polotovaru (křivost, oválnost, kuželovitost) způsobují změnu sil v soustavě stroj-nástroj-obrobek, pružnou deformaci soustavy a tím se tvarové odchylky polovýrobku do určité míry překopírují i na hotovou součástku. [5]

Výsledkem dokonalého způsobu dokončovacího obrábění je:

- vysoká kvalita povrchu
- velká přesnost geometrických tvarů
- dodržování rozměrů s úzkými tolerancemi
- nízká nákladovost
- vysoká vyrobiteľnosť

První tři výsledky určují technologickou úroveň daného způsobu, zbylé dva přihlížejí na hospodárnosť výrobního procesu. Proto vhodný způsob dokončování za konkrétních podmínek hraje významnou roli.

Tab. 3. Orientační hodnoty drsnosti povrchu dosažené jednotlivými způsoby obrábění

| Č. | Druh obrábění     | Drsnost povrchu Ra [ $\mu\text{m}$ ] | Stupeň přesnosti IT | Rychlost obrábění [ $\text{m min}^{-1}$ ] | Specifický tlak nástroje [MPa] | Teplota povrchu [ $^{\circ}\text{C}$ ] | Přídavek na průměr [ $\mu\text{m}$ ] |
|----|-------------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|
| 1  | Soustružení       | 0,4-1,6                              | 7-9                 | 80-270                                    | 20-300                         | 300-600                                | do 2000                              |
| 2  | Jemné soustružení | 0,2-0,8                              | 5-7                 | 30-300                                    | 10-150                         | 100-300                                | 40-300                               |
| 3  | Vyvrtávání        | 0,2-0,8                              | 4-6                 | 10-250                                    | 10-100                         | 50-250                                 | 30-300                               |
| 4  | Vystružování      | 0,2-0,8                              | 5-7                 | 3-18                                      | 10-200                         | 40-150                                 | 50-250                               |
| 5  | Frézování         | 0,4-1,6                              | 7-8                 | 50-700                                    | 15-300                         | 50-300                                 | do 2000                              |
| 6  | Zaškrabávání      | 0,4-1,6                              | 3-6                 | 5-30                                      | 10-40                          | 30-50                                  | do 300                               |
| 7  | Běžné broušení    | 0,4-1,6                              | 5-7                 | 900-2400                                  | 40-400                         | 400-1200                               | do 800                               |
| 8  | Jemné broušení    | 0,1-0,4                              | 3-5                 | 900-4200                                  | 30-200                         | 200-900                                | 10-320                               |
| 9  | Klasické honování | 0,1-0,8                              | 3-5                 | 15-40                                     | 0,2-1,4                        | 30-150                                 | 20-200                               |
| 10 | Diamantové hon.   | 0,2-0,8                              | 2-4                 | 40-80                                     | 0,3-2,0                        | 30-80                                  | 10-150                               |
| 11 | Vibrační honování | 0,1-0,4                              | 2-4                 | 10-50                                     | 0,2-0,8                        | 30-60                                  | 10-300                               |
| 12 | Elektrochem.hon.  | 0,2-0,8                              | 3-5                 | 10-40                                     | 0,2-1,2                        | 30-40                                  | 20-500                               |
| 13 | Superfinišování   | 0,1-0,2                              | 1-3                 | 5-30                                      | do 30                          | do 30                                  | 10-50                                |
| 14 | Lapování          | 0,005-0,2                            | 1-3                 | 5-30                                      | 0,5-1,6                        | 20-40                                  | 20-300                               |
| 15 | Leštění kotouči   | 0,1-0,4                              | 4-7                 | 600-1800                                  | 0,1-0,4                        | 30-80                                  | 20-100                               |
| 16 | Leštění pásy      | 0,1-0,4                              | 3-6                 | 600-2400                                  | do 0,1                         | 30-70                                  | 10-50                                |
| 17 | Chemické leštění  | 0,1-0,4                              | 5-8                 | -                                         | -                              | 20-150                                 | 20-200                               |
| 18 | Elektrochem.lešt. | 0,1-0,8                              | 6-9                 | -                                         | -                              | 30-90                                  | 30-300                               |
| 19 | Kefování          | 0,2-0,8                              | 6-10                | 600-3000                                  | 0,3-1,2                        | 30-60                                  | 50-150                               |
| 20 | Vibrační leštění  | 0,2-1,6                              | 6-10                | 10-80                                     | do 0,15                        | 30-50                                  | 50-150                               |
| 21 | Omýlání           | 0,4-1,6                              | 7-11                | 40-60                                     | do 0,25                        | 30-50                                  | 10-200                               |
| 22 | Válečkování       | 0,1-0,4                              | 6-7                 | 10-30                                     | 200-1400                       | 30-50                                  | 5-20                                 |
| 23 | Kuličkování       | 0,2-0,8                              | 7-9                 | 15-45                                     | 200-1200                       | 30-50                                  | 5-30                                 |
| 24 | Protlačování      | 0,2-0,8                              | 5-7                 | 2-7                                       | 200-1500                       | 30-50                                  | 7-40                                 |

## 2.1. Jemné obrábění

Jemné obrábění je dokončovací způsob obrábění nástroji s pevně stanovenou geometrií řezné hrany. Jeho charakteristickým znakem je malý odběr třísky, odebíraný velkou řeznou rychlostí. Jemně opracovávat je možno téměř všemi způsoby obrábění, nejčastěji jsou však jemné soustružení, vyvrtávání, vystružování, frézování a zaškrabávání. Na jemné obrábění se obvykle používají nástroje s destičkami ze spékaných karbidů nebo diamantu.

Drsnost jemně obrobeného povrchu dosahuje velmi malé hodnoty ( $R_a = 0,8$  až  $0,2 \mu\text{m}$ ), povrch je rovnoměrný bývá až zrcadlově lesklý. Jemným obráběním dosáhneme

i dokonalou přesnost rozměrů při dodržení geometrického tvaru (oválnost, kuželovitost, souosost, kolmost, přímost apod.)

Vysoká řezná rychlost má příznivý vliv na jakost povrchu, protože svým dynamickým účinkem umožňuje hladké odřezávání krystalů materiálu při malé hloubce deformované vrstvy. Malý posuv na otáčku zvyšuje kvalitu povrchu, malá hloubka řezu vylučuje vznik větších řezných odporů, které by mohli způsobit geometrické nepřesnosti. Tím se též omezuje i vznik tepla v procesu řezání.

Geometrie řezného nástroje se má při jemném obrábění řešit tak, aby nástroj umožňoval správný vznik třísky malého průřezu a aby pracoval bez nebezpečí chvění. Obvykle nebývá jeho hrot zaoblený, ale zakončený malou ploškou. Zaoblený hrot má sklon ke chvění, proto se mu při jemném obrábění vyhýbáme. Lapované řezné plochy nástroje zabezpečují dokonalou ostrost řezné hrany, její vysokou řeznost a lepší kvalitu povrchu. Volíme takové řezné úhly, aby kolmo na obráběnou plochu působili malé řezné síly (např. velký úhel nastavení  $\chi$ ), které natolik nevychylují nástroj z předpokládaného přímočarého pohybu a vytvoří tak plochu přesného geometrického tvaru.

Tvar nástroje a řezné podmínky volíme tak, aby každé místo na obráběném povrchu přišlo do styku s nástrojem jen jednou a to při vytváření třísky. Když dodržíme tuto podmínku, tak povrch se po oddělení třísky nepodrobuje dalším mechanickým vlivům (tlakům, deformacím, škrábnutím) a nezůstávají na něm žádné nežádoucí stopy.

Stroje na jemné obrábění musí být dostatečně tuhé, protože pracují při vysokých otáčkách za stížených kinematických poměrů. Jejich nedostatečná tuhost by se kromě zhoršení tvaru vlivem rušivých vibrací projevila i nižší kvalitou povrchu.

Jemné obrábění je dokončovací operace pro kluzné a točivé uložení. Když se použije v některých případech ještě další dokončovací operace, např. honování, tento postup se podstatně zkrátí. Výhodně nahrazuje např. drahé broušení. Proces se vyznačuje vysokou trvanlivostí nástrojů, dostatečnou produktivitou, reprodukovatelností, stabilitou a poměrně nízkými výrobními náklady. Úspěšně je ho možno používat při kusové i hromadné výrobě. [5]

### 2.1.1. Jemné soustružení

Patří mezi dokončovací technologie. Tímto pracovním procesem je možno dosáhnout povrchy 6. až 7. třídy přesnosti ISO a drsnosti  $R_a = 0,1 \div 1,5 \mu\text{m}$ . Při velmi vysokých požadavcích je možné opakovaným jemným soustružením s hloubkami řezu 0,1 až 0,25 mm a 0,003 až 0,005 mm dosáhnout přesnost vyjádřenou odchylkou rozměrů 0,001 až 0,005  $\mu\text{m}$ . Proto se jemné soustružení považuje za ekonomicky výhodnou a produktivní metodu dokončovacího obrábění. Přídavek se při jemném soustružení obvykle odstraňuje na jeden záběr a proto se dosahuje vysoká rozměrová a tvarová přesnost a kvalita povrchu při minimálních výrobních nákladech.

Při jemném soustružení používáme nástroje z rychlořezných ocelí, nože s destičkami ze slinutých karbidů, keramických materiálů, případně diamantů.

Jemným soustružením odebíráme přídavek 0,3 až 0,5 mm na průměr, hloubka řezu má tedy maximální hodnotu 0,25 mm. Posuv podle druhu obráběného materiálu bývá od 0,05 do 0,2 mm, řezná rychlost od 150 do 1200 m/min. Nože s destičkami ze slinutých karbidů se vyžadují řeznou rychlost do 250 m/min, s diamantovými nástroji můžeme pracovat při řezné rychlosti 800 až 1000 m/min. Keramické materiály snesou řeznou rychlost až 1200 m/min. Trvanlivost nástrojů bývá 60 až 180 minut čistého strojního času. [5]

### 2.1.2. Vyvrtávání

Vyvrtávání je obrábění předvrtaných, tvářených anebo předlitých otvorů na zvětšení průměru otvoru, vyrovnaní nekulatosti, snížení odchylek tvaru a polohy nebo zlepšení jakosti obrobeného povrchu.

Při vyvrtávání pracuje nástroj v otvoru a pohybuje se šroubovicí, vznikající pohybem nástroje a obrobku. Vyvrtávat můžeme na hrotových soustruzích (revolvery, automaty), svislých soustruzích (karusely), vodorovných vyvrtávacích strojích (horizontky), otočných vrtačkách, jemných vyvrtávačkách, souřadnicových vyvrtávačkách, stavebnicových,

jednouúčelových a speciálních strojích. Produktivní vyvrtávací stroje jsou obvykle mnohovřetenové, které umožňují obrábět několik otvorů najednou, z více stran anebo společně několik obrobků.

Nástroje jsou vyvrtávací nože z řezným klínem z RO, SK nebo diamantu. Jsou to vlastně upravené soustružnické nože. Upínají se do nožové hlavy, pracovního vřetená nebo vyvrtávací tyče. Vyvrtávací tyč může být uložena letmo (na krátké součásti) nebo vedená opěrným ložiskem přestavitelného stojanu, případně vodícím pouzdrem, které se vkládá do předem připraveného otvoru obrobku.

Vyvrtávací tyč nahrazuje výhrubník a výstružník. Předností vyvrtávacího nože jsou menší náklady a možnost jeho použití na opracování většího rozsahu otvorů s rozličnými průměry. Proto se vyvrtávání namísto vyhrubování, zahlubování a vystružování používá tam, kde by se vyráběl velký počet výhrubníků, záhlubníků a výstružníků neekonomicky. Na vyvrtávání nožem potřebujeme však zkušenějšího pracovníka, protože přesnost rozměrů není stanovena nástrojem, ale je závislá na nastavení stroje, stupně přesnosti nastavení vyvrtávacího nože a kvality obsluhy. Nástroje s jednou řeznou hranou jsou osvědčené a v práci spolehlivé, ale při práci s nimi se musí přesně nastavovat nože a přesně měřit vyvrtané otvory.

Jemné vyvrtávání se používá na opracování předběžně opracovaných otvorů, které mají toleranci odpovídající 6. a 7. třídě přesnosti a požaduje se přesnost povrchu lepší jako  $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ . Přídavky na obrábění se volí malé, maximálně 0,3 až 0,6 mm na průměr, které se při požadavcích vysoké přesnosti tvaru a malé drsnosti povrchu odebírají na víc záběrů (2 až 4). Pracuje se vysokými rychlostmi (do 300 m/min) malou hloubkou řezu (0,5 až 0,1 mm) a s malým posuvem (0,02 až 0,08 mm).

V praxi je možno jemným vyvrtáváním dosáhnout vysokou přesnost rozměrů v soustavě IT 4 a IT 5 a drsnost povrchu  $R_a < 0,8 \mu\text{m}$ . Možno však dosáhnout drsnost povrchu  $R_a = 0,1 \mu\text{m}$  a při vyvrtávání ložiskových kovů diamantem až  $R_a = 0,025 \mu\text{m}$ . Ekonomicky dosažitelná přesnost rozměrů je v mezích 5 až 8  $\mu\text{m}$ , oválnost 3 až 5  $\mu\text{m}$ , kolmost čela na osu otvoru od 10 do 30  $\mu\text{m}$  na 100 mm délky. Osově vzdálenosti možno dodržovat s přesností 20  $\mu\text{m}$  (nastavování podle kontrolních trnů anebo vyvrtávání v přípravech) až 5  $\mu\text{m}$  (nastavení podle souřadnic). [5]

### 2.1.3. Vystružování

Obvyklý postup při výrobě přesných otvorů se skládá z vrtání, vyhrubování nožem a nebo výhrubníkem, hrubovacího a dokončovacího vystružování, případně ještě i honování, strojního nebo ručního lapování.

Při vystružování odebíráme výstružníkem materiál v malých vrstvách a tak dosáhneme na převrtaných nebo předhrubovaných válcových nebo kuželových otvorech přesný rozměr, správný geometrický tvar a hladký povrch. Část výstružníku za řeznou hranou nástroj jen vede a kalibruje díru. Proto má úzkou válcovou fazetku. V zadní části výstružníku se průměr zužuje o úhel 2 až 5°, aby nástroj nezvětšoval otvor a nezhoršoval povrch. Ruční výstružníky mají řezné hrany na protáhnutém kuželu s úhlem asi 30°. Sraženou čelní hranou je možné lehčí zavádění do vystružované díry. Tato zavádějící část se však na řezném procesu nezúčastňuje. Pokud má protáhnutý řezný kužel i strojní výstružník, získává obvykle velmi hladký povrch vystružované díry.

Výstružníky mají obvykle párový počet zubů. Při jejich rovnoměrném rozdělení po obvodě vzniká však někdy hranatý otvor. Proto se na zhotovení přesných otvorů vyrábějí výstružníky s nerovnoměrným rozestupem zubů po obvodě, případně i s nepárovým počtem zubů. Zuby bývají přímé, s levou šroubovicí (nejčastější) anebo pravou šroubovicí. Bývají konstruované jako pevné nebo nastavitelné. Vyrábějí se z RO anebo s destičkami z SK. Je možné s nimi dokončovat válcové i kuželové otvory.

Velikost přídavek na vystružování závisí na průměru otvoru a pohybuje se od 0,1 do 0,4 mm. Výstružníky s jedním řezným klínem mají přídavek až 0,8 mm. Řeznou rychlost vystružování volíme v rozmezí 3 až 30 m/min, posuv 0,15 až 2 mm/ot podle druhu obráběného i řezného materiálu. Vystružováním zhotovujeme otvory o přesnosti 7. a 8. třídy. Při větší preciznosti můžeme dosáhnout toleranci i IT 5 – IT 6. Drsnost povrchu po normalizovaných výstružnících bývá  $R_a = 0,4$  až  $0,8 \mu\text{m}$ . Výstružníky s jednou řeznou hranou se získá drsnost  $R_a = 0,15$  až  $0,2 \mu\text{m}$ .

Vystružování je rovnocenná operace s vyvrtáváním. Volbu vhodného způsobu ovlivňuje sériovost výroby a rozměry otvoru. V kusové výrobě obvykle převládá vyvrtávání, v hromadné vystružování. Na dokončování otvorů s průměrem nad 100 mm je neohospodárné vyrábět nástroje s více řeznými hranami (výhrubníky a výstružníky), protože výroba by byla velmi nákladná a údržba značně pracná. [5]

#### 2.1.4. Jemné frézování

Frézování je nejpoužívanější způsob třískového obrábění, kterým získáme rovinné plochy, drážky, osazení, vačky, nekruhové kotouče, tvarové součástky, ozubení i závity. Okružným frézováním můžeme vyrábět i rotační součástky. Proces je jednoduchý, nevyžaduje si složité výrobní zařízení a vysoce kvalifikované pracovníky. Někdy je frézování jediný způsob na uskutečnění požadované operace.

Při frézování odebíráme materiál z obrobku otáčejícím se víceklínovým řezným nástrojem – frézou. Obrobek je přitom upnutý na stole, pohybujícím se rychlostí posuvu. Pro frézování je charakteristické, že každý řezný klín nástroje (zub frézy) odebírá část materiálu ve formě čárkovité třísky a to jen po malé dráze a potom běží naprázdno. Podmínky ochlazování řezného klínu jsou tedy výhodnější než při jiných způsobech třískového obrábění. Otáčivý pohyb frézy je hlavní pohyb. Výsledný řezný pohyb je cykloida. Nepříznivým průvodním znakem frézování je přerušovaný záběr jednotlivých řezných klínů, což způsobuje kolísání řezných tlaků, nerovnoměrné zatížení nástroje a sklon k chvění. Proto po frézování bývá podstatně drsnější povrch než po jiných třískových způsobech obrábění.

Známe dva druhy frézování, čelní a válcové. Při válcovém hloubku řezu nastavujeme kolmo na osu frézy, při čelním frézování ve směru osy frézy. Kvalitnější povrch získáme čelním frézováním, při kterém materiál odebírají obvodové zuby a řezné klíny na čele hladí obráběný povrch. Průřez třísky je obdélníkový (ne čárkovitý), proto je i zatížení rovnoměrnější.

Jemné frézování si vyžaduje rovnoměrný chod nástroje i stroje. Proto je třeba eliminovat nepříznivý vliv nárazů, způsobených přerušovaným záběrem řezných klínů. Proto na pracovní vřeteně frézky umístíme vhodný setrvačnick.

Kvalita povrchu při jemném frézování závisí od tuhosti stroje, obráběného materiálu, geometrie nástroje, řezného materiálu a řezných parametrů. Osobité jakostní povrchy zhotovíme při vyšších řezných rychlostech, malých hloubkách řezu a malých posuvech. Střední aritmetická odchylka u jemně frézovaných ploch má hodnotu  $R_a = 0,4$  až  $1,6 \mu\text{m}$ . Přesnost geometrického tvaru je  $0,01$  až  $0,04 \text{ mm}$ . Jemným frézováním můžeme zhotovit součástky, odpovídající stupni přesnosti IT 7 až IT 8. Trvanlivost nástrojů  $40$  až  $480$  minut. Litinu a neželezné kovy obvykle frézujeme za sucha, u ostatních materiálů používáme  $4$  až  $5 \%$  emulzi nebo aditivovaný olej. Řezná kapalina zlepšuje jakost i přesnost a zvyšuje trvanlivost nástroje.

### 2.1.5. Zaškrabávání

Zaškrabávání je dokončovací ruční obrábění, kterým se postupně odstraňují vyvýšeniny a nerovnosti obráběné plochy. Dokončují se s ním vodící plochy obráběcích strojů, důležité plochy upínacích zařízení, měřidel apod. Tento způsob patří k nejpřesnějším způsobům obrábění, je však zdoluhavé a drahé. Nahrazuje se přesným broušením nebo jiným strojním jemným obráběním, případně lapováním. Nejčastěji se používá jen na rovinné plochy, protože u rotačních ploch se obvykle poruší přesnost tvaru. Nástrojem jsou ploché, lžícové, zahnuté nebo trojhranné škrabáky. Jejich řezné hrany jemně brousíme a lapujeme.

Nerovnosti po předcházejícím opracování zjišťujeme průměrovými deskami a hranoly, případně průměrovými trny, válci a čepy. Přesně obrobená plocha průměrového nářadí se natírá tenkou vrstvou barviva (berlínská modř) rozptýleného v oleji, přiloží se na zaškrabávanou plochu a jemným krouživým pohybem se nabarví nosné plochy. Vyvýšené místa postupně škrabákem odstraníme. Toto opakujeme do té doby, než dosáhneme požadovanou jakost plochy. Po každém nabarvení změníme směr škrabání. Tím dostaneme charakteristický vzhled zaškrabávané plochy. Jakost plochy určuje počet nosných plošek (dotykových bodů) na ploše čtvercového palce. Jednotlivé třídy jakosti jsou určeny počtem dotykových bodů mezi zaškrabávanou a kontrolní plochou průměrového nářadí. Dotykové plochy musí být rovnoměrně rozloženy po celé ploše čtverce.

## 2.2. Jemné broušení

Broušení je nejrozšířenější způsob dokončování kovů. Podíl brusek z celkového strojového parku představuje v našich strojírenských podnicích asi 25 %. V některých závodech a dílnách až 60 % všech obráběcích strojů.

Brusné zrna jsou z technologického hlediska malé řezné zuby, rozložené nepravidelně s rozličným převýšením po obvodě a čele kotouče. Jejich velikost při jemném broušení se pohybuje od 60 do 300  $\mu\text{m}$  (zrnitost 6 až 25). Zásadní rozdíl mezi broušením a frézováním je kromě jiných odlišností ve velikosti průřezu odebírané třísky a neurčité geometrii řezného klínu převážně se záporným úhlem čela. Průřez třísky při broušení kolísá mezi 0,0001 až 0,002  $\text{mm}^2$ . Střední hloubka třísky při použití kotouče zrnitosti 25 je 0,6 až 10  $\mu\text{m}$ .

Výsledný řezný pohyb při broušení je obvykle výslednicí pohybu brusného kotouče a obrobku. Protože obvodová rychlost brusného kotouče je oproti rychlosti obrobku značně

vyšší, považujeme za řeznou rychlost obvodovou rychlost kotouče  $v_k$ . Tato rychlost v porovnání s řeznými rychlostmi používanými při řezání je však vyšší 20 až 60 krát. Proto je průřez třísky, odřezávaný jedním brusným zrnem velmi malý. Velká řezná rychlost do určité míry eliminuje i nepříznivý vliv velkého úhlu řezu brusných zrn.

Velká tvrdost brusných zrn a velké řezné rychlosti umožňují brousit všechny známé kovové i nekovové materiály. Broušení je jediným hospodárným způsobem obrábění kalených ocelí. Je možné jím dosáhnout poměrně lehce jakostní povrch a vysokou geometrickou přesnost tvaru i rozměru.

V důsledku vysokých řezných rychlostí a negativních úhlů čela se v místě řezu vyvíjí mnoho tepla a odřezávané třísky se ohřívají na vysoké teploty 800 až 1200 °C. Část vyvinutého tepla přechází do mikroskopické vrstvy materiálu obrobku a zahřívá ho. Obrobený povrch se proto do určité hloubky rozruší a na kalených součástech mohou vznikat jemné trhlinky. Tepelným ovlivněním vznikají na povrchu součástky poměrně značné napětí (500 až 2000 MPa). Při broušení přechází do obrobku 70 až 80 % vyvinutého tepla, zatímco při řezání vysokými řeznými rychlostmi přechází do obrobku jen asi 5 % vzniklého tepla. Toto je nepříznivá tepelná bilance broušení.

Nástroji na broušení jsou brusné kotouče, vyráběné lisováním anebo litím ze směsi brusných zrn elektritu nebo karborundu vhodné zrnitosti, pojiva, pórotvorných a jiných přísad.

Přesnost broušení závisí od tuhosti brusy, velikosti zrn brusného kotouče, druhu pojiva a řezných podmínek. Při broušení načisto čelem brusného kotouče dosahujeme tolerance přesnosti v rozsahu IT 5 až IT 7, drsnost povrchu  $R_a = 0,2$  až  $1,6 \mu\text{m}$ , při broušení načisto obvodem brusného kotouče bývá přesnost v rozsahu IT 5 až IT 7 a drsnost povrchu  $R_a = 0,4$  až  $1,0 \mu\text{m}$ . Při jemném broušení můžeme dosáhnout stupeň přesnosti IT 3 až IT 4 a drsnost povrchu  $R_a = 0,025$  až  $0,4 \mu\text{m}$ .

Velikost řezných sil ovlivňuje hlavně volbu tvrdosti brusného kotouče. Při větších silách volíme tvrdší kotouče, při menších silách měkčí kotouče. Proto tvrdšími kotouči obvykle dosahujeme vyšší výkonnost broušení. [5]

Jemným broušením na dobrém stroji můžeme dosáhnout přesnost rozměrů a přesnost tvaru na 0,001 mm, při běžných podmínkách na 0,003 mm. Dosažitelná drsnost povrchu je až  $R_a = 0,05 \mu\text{m}$ , běžná drsnost povrchu  $R_a = 0,1$  až  $0,4 \mu\text{m}$ . Dosažitelná drsnost a přesnost je závislá od tuhosti stroje a soustavy, druhu nástrojů, jejich vyvážení a orovnění, kvality a přesnosti středících jamek a hrotů, přesnosti nastavení stroje, způsobu a stupně přesnosti

měření, tepelné deformaci součástky i uzlů stroje, řezných parametrů a vibrací systému. V důsledku vibrací a chvění vznikají mezi kotoučem a součástkou horizontální kmity, které zhoršují drsnost obráběného povrchu a vytvářejí vlnitost povrchu.

Podle kinematiky procesu můžeme broušení rozdělit na broušení rotačních ploch tradičními brusnými kotouči na běžných bruskách, které se dále dělí na broušení podélné, zapichovací, tvarové, bezhroté, vnitřní podélné a vnitřní zapichovací broušení a broušení rovinných ploch, které se dělí na broušení obvodem a čelem kotouče. Přidáním přídatný oscilačního pohybu mluvíme o oscilačním broušení. Dále se ještě použitím elektrochemického úběru materiálu hovoří o elektrochemickém broušení vhodné pro broušení velmi tvrdých a těžkoobrobitelných materiálů. Pokud použité rychlosti kotouče jsou vyšší než 40 m/s (60-120 m/s) jedná se o rychlostní broušení. Broušení, při kterém místo kotouče z elektritu nebo karborundu pracujeme s vysokoproduktivními a přesnými diamantovými kotouči se označuje jako diamantové broušení (používá se pro broušení nástrojů s keramickými nebo tvrdokovovými řeznými destičkami apod.).

Jemně brousit můžeme všemi uvedenými způsoby, ale je třeba přitom zachovat všeobecně platné podmínky pro přesné broušení. Typickými příklady jemného broušení jsou oscilační a rychlostní broušení. Při stejných podmínkách vytvářejí v porovnání s ostatními způsoby povrchy, jejichž kvalita je až o 1 stupeň porovnatelně lepší. [5]

Podle toho, jaké plochy a součástky brousíme, můžeme taky brusky rozdělovat na několik skupin:

- brusky na vnější rotační plochy
- brusky na vnitřní rotační plochy a čela
- brusky na rovinné plochy
- nástrojové brusky
- závitové brusky
- brusky na ozubení
- jednoúčelové brusky

### 2.3. Honování

Honování je jemné řezání mnohoklínovým nástrojem z brusných zrn přesně určených tvarů a geometrie, pevně udržovaných v pojivu, kterým se dosahuje vysoká i nejvyšší jakost povrchu a rozměrová i tvarová přesnost předběžně opracovaných součástek. Je to proces hromadného mikrořezání materiálu tisíci brusných zrn při vydatném mazání a chlazení řeznou kapalinou, která zároveň vyplachuje z honovacího kamene částičky broušeného materiálu. Plocha obrobku je ve stálém kontaktu s nástrojem, přičemž vzniká periodická změna směru přímočarého vratného axiálního pohybu za současného otáčivého pohybu nástroje nebo i obrobku. Charakteristickým znakem honovaného povrchu jsou jemné, křížující se stopy po řezném nástroji.

Honováním se dokončují obvykle válcovité otvory spojových součástí, na kterých konstruktér požaduje vyšší jakost povrchu a užší tolerance přesnosti tvaru a rozměrů.

Řezným nástrojem jsou jemnozrnné brusné tyčinky, nazývané honovací kameny, připevněné na rozpínacích držácích honovací hlavy a přitlačované na stěnu opracovaného povrchu v případě vnitřního honování. Při honování vnějších rotačních ploch je nástrojem namísto hlavy nastavitelné pouzdro, které obepíná honovanou plochu a přitlačuje na ni honovací kameny. Pouzdro bývá obvykle nehybné a rotační axiální pohyb koná samotná součást. Nástrojem pro rovinné honování je nastavitelný přípravek, který se kinematikou vlastní honování pohybuje po rovinné ploše a odebírá jemné vrstvy materiálu.

Honováním možno obrábět kalené i nekalené oceli, měkké oceli, litinu, mosaz, bronz, lehké kovy, spékané karbidy, tvrdý chrom, grafit, sklo a jiné materiály. Oblast využití honování je tedy velmi široká.

Podle jednotlivých hledisek můžeme způsoby honování rozdělit na:

- podle tvaru a polohy obráběné plochy na honování vnitřní, vnější a rovinné
- podle pracovních režimů na honování klasické, elektrolytické, vibrační a kapalinové
- podle stanovených záměrů, které sledujeme obráběním, na hrubovací a dokončovací, jednostupňové a dvojstupňové honování
- podle druhu používaných nástrojů, které při honování používáme, na honování brusnými, diamantovými, grafitovými, borovokarbidovými a borovonitridovými kameny
- podle štíhlostního poměru součástí na honování krátkých, středních a dlouhých součástí

Elektrolytické honování, nazývané i elektrochemické honování, je jedním z nejmladších dokončovacích způsobů a využívá všeobecně známý princip elektrochemického obrábění anebo elektrochemického broušení. Podstatná část přídatku se při elektrochemickém obrábění odebírá anodickým rozpouštěním materiálu a menší část (asi 10 %) mechanickým řezným procesem honovacích kamenů. Tím dosáhneme vysokých odběrů a dobré jakosti honovaného povrchu.

Pokud do kinematiky honování ještě přidáme přídatný vibrační (oscilační) pohyb nástroje nebo součástky, hovoříme o vibračním honování. Proces vytváří lepší řezné podmínky, proto se s ním dosahují oproti klasickému honování vyšší úběrové hodnoty při zvýšené jakosti povrchu. Patří mezi dokončovací opracování a tvoří přechod mezi honováním a superfinišováním.

Kapalinové honování, nazývané též honováním proudem kapaliny, zavedla firma Extrude Hone Corporation, Irwin, Pa, USA. Jeho podstata spočívá v tom, že proud kapaliny (obvykle antikorozní) s přimíchaným zrnitým brusivem se dýzou usměřňuje proti obráběnému povrchu. Jakost povrchu přitom závisí na zrnitosti brusiva, tlaku kapaliny a úhlu dopadu proudu. Uvádí se, že kapalinovým honováním můžeme dosáhnout drsnost povrchu  $R_a = 0,2$  až  $0,005 \mu\text{m}$  a přesnost rozměrů 3 až  $5 \mu\text{m}$ . Tímto způsobem je možno honovat bez tradičních honovacích strojů. Povrchy jsou přitom odolnější vůči opotřebení, protože jsou do určité míry zpevněny úderem brusných zrn.

Pokud chceme při honování odebrat maximální přírůstek a dosáhnout hlavně stanovenou přesnost otvoru a požadovaný geometrický tvar bez vlastních požadavků na kvalitu povrchu, honujeme obvykle hrbozrnějšími honovacími kameny a větším specifickým tlakem. Tomuto procesu říkáme hrubovací honování.

Při honování brusnými kameny se používají běžné brusné materiály jako syntetický korund a karbid křemíku, kterými můžeme hrubovat i dokončovat, honovat jednostupňově i dvoustupňově, vibračně i elektrolyticky a provádět všechny honovací práce. Mimo tyto nejběžněji používané materiály se mohou použít i diamantové destičky, které mají větší životnost i vyšší řeznost než honovací kameny z SiC nebo  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Na průběh a efektivnost honování, konečnou přesnost tvaru a drsnost honované plochy mají vliv následující činitelé: velikost přídatku, přesnost tvaru předcházejícího obrobení, druh materiálu, druh brusiva, tvrdost a zrnitost honovacích kamenů, specifický tlak, řezná rychlost a její složky, úhel překřížení honovacích stop, složení kamenů a druh honování.

Přídavky volíme podle druhu a stavu honovaného materiálu, průměru a délky honované díry, druhu výroby, způsobu předcházejícího opracování, předepsané tolerance a požadované drsnosti povrchu (Tab. 4.). Přídavky platí pro sériovou výrobu, v případě kusové je třeba volit hodnoty asi dvakrát vyšší, případně 1 až 2 mm.

Tab. 4. Honovací přídavky na průměr otvoru dle druhu materiálu

| Materiál        | Průměr otvoru [mm] |             |             |             |
|-----------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|
|                 | 2 - 30             | 30 - 100    | 100 - 200   | 200 - 500   |
| Litina          | 0,02 – 0,03        | 0,03 – 0,05 | 0,05 – 0,08 | 0,08 – 0,30 |
| Měkká ocel      | 0,01 – 0,03        | 0,03 – 0,04 | 0,04 – 0,10 | 0,08 – 0,30 |
| Kalená ocel     | 0,005 – 0,01       | 0,01 – 0,02 | 0,02 – 0,05 | 0,05 – 0,07 |
| Tvrký chrom     | 0,01 – 0,02        | 0,02 – 0,03 | 0,03 – 0,05 | 0,05 – 0,06 |
| Spékaný karbid  | 0,05 – 0,10        | 0,10 – 0,15 | -           | -           |
| Mosaz           | 0,02 – 0,03        | 0,03 – 0,04 | 0,04 – 0,06 | -           |
| Bronz           | 0,02 – 0,03        | 0,03 – 0,04 | 0,04 – 0,06 | -           |
| Legovaná měď    | 0,01 – 0,02        | 0,02 – 0,03 | 0,03 – 0,05 | -           |
| Legovaný hliník | 0,02 – 0,04        | 0,04 – 0,07 | 0,07 – 0,12 | 0,12 – 0,30 |
| Plasty          | 0,04 – 0,06        | 0,06 – 0,08 | 0,08 – 0,10 | -           |
| Sklo            | 0,02 – 0,04        | 0,04 – 0,06 | -           | -           |

Přesnost tvaru a rozměrů předcházejícího opracování může být asi o 2 stupně horší proti žádané konečné přesnosti po honování. Drsnost po operaci, která předchází honování má být v rozmezí asi 2 až 6  $\mu\text{m}$ . Součástky z kalených ocelí mají mít lepší kvalitu povrchu, drsnost by měla být v rozmezí 0,6 až 1  $\mu\text{m}$ . menší drsnost se už nedoporučuje z důvodu procesu samoostření honovacích kamenů.

Honovat můžeme ručně a strojně. Ručně se honuje obvykle na vrtačkách, přičemž honovací nástroj se otáčí vřetenem vrtačky a ruční pohyb vřetenem nebo součástíou nahrazuje axiální strojový posuv. Nejdokonalejší, strojní honování, se provádí na speciálních strojích určených na honování, honovačkách, kde jsou všechny pohyby a dynamika procesu zaručeny samotným strojem. Podle polohy honovací hlavy rozlišujeme honovačky na horizontální a vertikální. [5]

## 2.4. Superfinišování

Jedná se o způsob jemného dokončování povrchů strojových součástek jemnozrnnými kameny při nízké řezné rychlosti (asi do 15 m/min) a malých specifických tlaků nástroje na obráběnou plochu (asi 0,05 až 0,3 MPa). Patří k nejdokonalejším způsobům dokončovacího řezání brusnými nástroji, který umožňuje dosáhnout povrchu  $R_a = 0,025 \mu\text{m}$ , ve zvláštních případech i lepší kvalitu. Nosný podíl povrchu takto opracované plochy tvoří 70 až 95 %. Předcházející operací bývají jemné soustružení nebo broušení s drsností  $R_a = 0,2$  až  $0,6 \mu\text{m}$ . Zvláštností procesu je pracovní pohyb nástrojů, který se skládá z rychlého kmitání, obvodové i axiální rychlosti, případně jiných dalších pohybů.

Superfinišování je vlastně jemné honování s dalšími přídavnými kmity řezného nástroje. V porovnání s klasickým honováním pracuje však s menšími specifickými tlaky a řeznými rychlostmi, v důsledku čeho je nižší úběr materiálu. Superfinišováním proto obvykle neodstraňujeme neokrouhlost a odchylky od válcovitosti. Na geometricky správném předběžném tvaru dosáhneme jím však dokonalý povrch zrcadlového lesku.

Při klasickém superfinišování nástroj často mění směr relativního pohybu. Tím se mění i řezná hrana, což tvoří přednost pro superfinišování, protože se procesu zúčastňuje velké množství brusných zrn a kmitáním se vytvářejí výhodnější podmínky odstranění třísek i příznivější podmínky pro řezání a úběr materiálu.

Superfinišovat můžeme nástroji z běžných brusných materiálů, syntetických diamantů a z nových vývojových materiálů, vyvinutých na broušení (sloučeniny boru apod.). Superfinišovacími nástroji jsou držáky samonastavitelných hlavíc s přilepenými brusnými kameny. Tyto držáky vykonávají kmitavý pohyb způsobený mechanickým, pneumatickým, hydraulickým, elektromagnetickým, případně jiným zdrojem kmitů.

K úběru materiálu může docházet mimo působením řeznými kameny i elektrochemicky, v takovém případě mluvíme o elektrochemickém superfinišování. Proces se značně zlepší, pokud nástrojem přidáme ještě další jemné ultrazvukové kmitání. Takový způsob pak považujeme za ultrazvukové superfinišování.

Superfinišovací stroje je možno rozdělit na dvě skupiny a to na univerzální a speciální. Univerzální stroje jsou vhodné na dokončování více součástek jednoho typu, speciální stroje jsou obvykle dodávány na základě speciální objednávky na dokončení určité součástky v podmínkách sériové a hromadné výroby. Nejčastěji se jedná o stroje na bezhroté superfinišování drobných rotačních součástek, čepů klikových hřídelí, na vačkové hřídele atd.

Podle principu práce se stroje rozdělují na:

- hrotové superfinišovací stroje
- bezhroté superfinišovací stroje
- stroje pracující čelem nebo obvodem kotouče

Pracovní proces je velmi krátký, trvá jen 20 až 60 sekund. Přídavek nechaný na úběr superfinišováním bývá 3 až 10  $\mu\text{m}$  na průměr.

Superfinišování je speciální způsob dokončovacího obrábění strojových součástí se složitou kinematikou řezného procesu. Získáváme s ním dokonale rovný nosný válcový, kuželový, kulovitý i rovinný povrch. Strojové časy jsou velmi krátké, proto se superfinišování používá při dokončování součástí, provozně pracujících v podmínkách tření, na jejichž povrch se kladou vysoké požadavky z hlediska drsnosti, přesnosti rozměrů a tvaru i kvality povrchové vrstvy.

Superfinišovaný povrch výborně vzdoruje korozi, opotřebení třením i dynamickému zatížení. Často bývá lacinější než povrch dokončený jiným způsobem, protože práce je velmi rychlá. Obvykle nehrozí žádné nebezpečí zmetků, proces je reprodukovatelný, získané povrchy jsou rovnoměrné. Superfinišované součásti jsou v provozu spolehlivější a mají větší životnost. Nahrazuje v mnohých případech drahé zabíhání nosných povrchů součástí. [5]

## 2.5. Lapování

Lapování je proces dokončovacího obrábění rovinných nebo zakřivených ploch, při kterém se po sobě obrobek i nástroj vzájemně pohybují společně s volným brusivem a brusné zrna odebírají velmi malé třísky. Brusné zrna nejsou vázané do určitého tvaru brusného nástroje, ale jsou volně rozptýlené v kapalině nebo tvoří spolu s jinými přísadami měkkou pastu. Zmenšování drsnosti povrchu lapované plochy a do určité míry i zvyšování přesnosti jejího geometrického tvaru dosahujeme postupným odřezáváním vrcholků nerovností brusnými zrny.

Lapováním je možno zhotovit opticky přesné plochy se zrcadlovým leskem a drsností až 0,001  $\mu\text{m}$ . Jeho nevýhodou je poměrně vysoká cena a potřeba velmi přesného předcházejícího opracování. Tímto způsobem dokončujeme rovinné, válcové a tvarové plochy z tvrdých i měkkých materiálů, s vysokou přesností tvaru a rozměrů a nároků na stupeň lícování.

Materiál se v průběhu procesu odebírání velmi pomalu, proto se musí povrch před lapováním pečlivě opracovat s co nejmenším přídatkem na lapování. Běžná hodnota přídatků bývá 5 až 20  $\mu\text{m}$  na průměr. Při jemném leštícím lapování dosahujeme úběr do 10  $\mu\text{m}$  na průměr, při dvojstupňovém lapování na hotovo jsou úběry až 100  $\mu\text{m}$  na průměr a při předběžném hrubovacím lapování až 200  $\mu\text{m}$ .

Lapovací nástroj není řezný nástroj, ale má negativní tvar lapované plochy, vede v tenké vrstvě mezi styčnými plochami lapovací prostředek s volně uloženými řeznými zrnami, ale sám třísky neodebírání.

Důležitým činitelem při lapování je velikost mezery mezi součástkou a lapovacím nástrojem. Čím je rozměr zrna menší, tím menší musí být i mezera mezi součástkou a nástrojem. Na její velikost má vliv i viskozita pasty. Tvrdší pasta vytváří větší mezeru, hrubší vrstvu pasty. Maximální úběr dosahujeme pastou s takovou viskozitou, při které nastává přilepování na nástroj a mezera je tak velká jako střední velikost zrn. Pokud jsou zrna lapovacího prostředku menší jako mezera tvořená vrstvou pasty, nástroj začne prokluzovat po povrchu součástky a úběr materiálu prudce klesá. Proto je třeba při lapování jemným brusivem používat řidší oleje.

Důležitou otázkou zabezpečení optimálních podmínek lapování je kontrola nasycení obráběného povrchu pastou nebo suspenzí. Míru nasycení je možno úspěšně kontrolovat mikroskopicky (polarizované světlo, luminiscence), pomocí elektronového mikroskopu, radioaktivních izotopů, spektrální analýzy anebo ultrazvukových kmitů.

Řezný pohyb brusných zrn vyvolává lapovací nástroj, který se se zřetelem na lapovanou plochu pohybuje v neustále se měnících drahách a je přitlačován tlakem 0,12 až 0,4 MPa. Pohybující se zrna s rozličně orientovanými řeznými hranami odebírají z povrchu velmi malé třísky. Tyto třísky i stopy po jejich úběru na povrchu se dají dobře pozorovat po mikroskopem.

Lapovat můžeme ručně nebo strojně. Ruční lapování má v kusové výrobě svoje opodstatnění. Docílíme jím velmi jemné a přesné plochy. Je však drahé a únavné, proto ho nahrazujeme strojním lapováním. Strojní lapování s částečnou nebo úplnou mechanizací pomocných prací je v porovnání s ručním mnohem výkonnější. Lapovací stroje mohou dokončovat najednou až 100 součástek za stejný čas, který je potřeba na lapování ručním způsobem.

Lapováním dosahujeme nejkvalitnější výsledky ze všech metod obrábění. Dosahované hodnoty jakosti lapovaných ploch (Tab. 5). Nevýhodou lapování je jeho

vysoká náročnost dokončování, vysoké porovnatelné náklady na jednotku dokončené plochy.

Tab. 5. Dosahované hodnoty jakosti lapovaných ploch

| Ukazatel jakosti      | Přesnost rozměrů |        |        | Tvarová přesnost [ $\mu\text{m}$ ] |          |         | Drsnost povrchu $R_a$ [ $\mu\text{m}$ ] |             |            |
|-----------------------|------------------|--------|--------|------------------------------------|----------|---------|-----------------------------------------|-------------|------------|
| Způsob lapování       | velmi jemné      | jemné  | normál | velmi jemné                        | jemné    | normál  | velmi jemné                             | jemné       | normál     |
| Vnější válcové plochy | IT 1÷2           | IT 3÷4 | IT 5÷6 | 0,05÷0,1                           | 0,1÷0,5  | 0,6÷1,0 | 0,025 až 0,05                           | 0,05 až 0,1 | 0,1 až 0,2 |
| Otvory                | IT 1÷3           | IT 3÷4 | IT 4÷6 | 0,05÷0,1                           | 0,1÷0,5  | 0,5÷1,0 | 0,005 až 0,005                          | 0,05 až 0,1 | 0,1 až 0,4 |
| Rovinné plochy        | IT 1÷3           | IT 3÷4 | IT 4÷6 | 0,03÷0,05                          | 0,05÷0,5 | 0,6÷1,0 | 0,005 až 0,005                          | 0,05 až 0,1 | 0,1 až 0,4 |

Lapovat je prakticky možno všechny vnější a vnitřní rovinné, rotační plochy z ocelí, bronzů, mosazí a lehkých kovů. Lapují se ložiskové čepy hřídelů a díry v kluzných ložiskách obzvláště přesných strojů, oběžné dráhy valivých ložisek, povrchy valivých tělísek ložisk (válečky, jehly, kuželíky, kuličky), plochy měřidel apod. Lapují se i přesné závity, boky ozubených kol, dosedací plochy součástí, které mají těsnit proti pronikání plynů nebo kapalin (válce a písty vstřikovacích čerpadel), řezné hrany nástrojů a jiné důležité strojní součásti.

Zvláštní případ lapování je zabrušování dvou navzájem souvisejících součástí bez lapovacího nástroje, například lícování ventilu do sedla, kohoutu do tělesa, při zabíhání ozubených kol apod. Tento způsob je výhodný a přesný, vyžaduje však dokonalé očištění součástí po lapování, aby na nich nezůstali částice brusného materiálu, které by v provozu mohli podstatně zkrátit jejich životnost a spolehlivost.

Strojovým lapováním se zvyšuje produktivita práce a získává se povrch s vyšší kvalitou. Ručně se lapuje jen tehdy, pokud se vyrábí malý počet kusů nebo povrch tak složitý, že neumožňuje strojové lapování.

Z hlediska dosahované jakosti lapované plochy je důležité, aby použité zrna brusného materiálu měly rozměr příslušný dané zrnitosti.

Kromě zrnitosti je dalším limitujícím činitelem drsnosti povrchu i tvrdost a houževnatost materiálu nástroje. Materiál nástroje má být měkkší než je materiál lapované součástky. Proto se někdy vyrábějí nástroje z bronzu, mědi, zinku, případně cínu. Protože tyto materiály jsou drahé a deficitní, vyrábíme nástroje, pokud možno, bimetalické, plátované. Dále se používají i měkké oceli, litina, sklo, olovo, dřevo nebo plasty.

Nejvhodnějším materiálem je litina, lze v některých případech používat i za sucha, protože obsahuje grafit. Měkká ocel má větší výkon než litina, ale nedrží dobře geometrický tvar. Kalené a někdy i pochromované nástroje používáme na lapování velmi tvrdých materiálů nebo pokud chceme dosáhnout velmi jemné povrchy. Olovo a jiné měkké kovy (cín, Woodův kov, antimon, literina apod.) jsou vhodným materiálem na profilové lapovací nástroje (závity, otvory), protože profil je poměrně lehké zhotovit odléváním. Tvrdé dřevo a plasty (fenolové rezináty plněné celulózou) jsou vhodným materiálem na mimořádně těžké hrubovací práce.

Tvrdými lapovacími nástroji se při procesu lapování ve větší míře uskutečňuje plastická deformace vyvýšením obrobeného povrchu a v menší míře jejich odřezávání. Při použití měkkých nástrojů převládá řezný proces.

Lapování našlo široké uplatnění ve strojírenství při výrobě měřících a řezných nástrojů jako i dokončování součástek se zakalenými, nitridovanými a tvrdolitinovými povrchy, na které se kladou super přesné požadavky tvaru a vysoké nároky na hladkost povrchu.

Podle principu odběru materiálu dělíme lapování na

- mechanické
- chemicko-mechanické
- elektro-chemicko-mechanické (elektrolytické)

Podle literárních údajů je trvanlivost lapovaných nástrojů asi o 20 % vyšší než broušených nelapovaných nástrojů. Při hrubovacích pracích má vliv drsnost aktivních ploch nástroje na trvanlivost jen částečně, ale důležitá je vysoká hladkost povrchu aktivních ploch při dokončovacích operacích tvarových nástrojů, kde má výrazný vliv na trvanlivost. Racionální drsnost nástroje je drsnost aktivních ploch nástroje, která zabezpečí nejefektivnější plnění funkce řezného klínu nástroje, proto je třeba vycházet ze stupně přesnosti výroby nástroje a hladkosti jeho ploch. Tato drsnost aktivních ploch by se měla pohybovat o stupeň vyšší než požadovaná drsnost obráběné plochy.

Při lapování řezných nástrojů používáme mechanické, diamantové a elektrolytické lapování.

Výhodné je lapování v magnetickém poli, protože v jedné lapovací rovině zalapujeme současně hřbet a čelo a souběžně i poloměr špičky ubíracího nože. Tento způsob lapování je tedy rychlejší a mnohem produktivnější. [5]

### 2.5.1. Mechanické lapování

K úběru materiálu ve formě jemných třísek dochází převážně mechanickým působením řezných hran zrn lapovacího prostředku, které se pohybují lapovacím nástrojem. Použité lapovací prostředky mohou obsahovat zrna běžných brusných materiálů nebo diamantový prášek, který je vysoce efektivní, protože má výborné řezné vlastnosti. Podle toho mluvíme o lapování s brusnými pomůckami nebo diamantovém lapování.

Ke zvláštním případům mechanického lapování patří lapování v střídavém magnetickém poli, ultrazvukové lapování, lapování proudem kapaliny a lapování ozubených kol. Strojové mechanické lapování rozdělujeme zpravidla na lapování rovinné, planparalelní, vnějších a vnitřních válcových ploch.

### 2.5.2. Chemicko-mechanické lapování

Základem tohoto procesu je působení aktivních látek lapovacího prostředku, na součásti vzniká tenká méně odolná povrchová vrstva materiálu a pohybem lapovacího nástroje dojde k odstranění této chemicky ovlivněné vrstvy. Na čistý kovový povrch opět začnou působit chemické látky lapovacího prostředku, proces tvorby tenké vrstvy se obnovuje, její stírání a opětovné vytváření se neustále opakuje až se dosáhne požadovaná přesnost a drsnost povrchu.

Lapovací nástroje musí být odolné vlivu chemicky aktivních látek jinak dojde ke ztrátě tvaru a tím přesnosti.

Takovými aktivními chemickými látkami v lapovacích prostředcích bývají obvykle oxid chromitý, oxid železitý, vídeňské vápno, silikagel a molekuly kyseliny stearanové i olejové.

Tento způsob našel uplatnění při dokončování strojových součástí z ocelových, měděných a hliníkových slitin.

Působením chemicky aktivních látek je možno dosáhnout vysoký stupeň přesnosti povrchu (několik setin  $\mu\text{m}$ ) s podstatně menším počtem přechodů lapovacího nástroje.

### 2.5.3. Elektro-chemicko-mechanické lapování

Využívá známý princip elektrolytického obrábění. Jde přitom o anodické rozpouštění povrchových vrstev materiálů, působením elektrického proudu, chemickým působením elektrolytu a dále mechanické odstranění produktů tohoto rozkladu působením brusných nebo diamantových zrn. Proces zabezpečuje vysokou jakost povrchu a několikrát zkracuje jeho trvání. Osvědčuje se při lapování velmi tvrdých a těžkoobrobitelných materiálů, spékaných karbidů, tvrdokovových řezných nástrojů apod.

Nástroje na lapování jsou obvykle z nevodivých materiálů, nejčastěji z lipového dřeva. Nástroj odebírá anodickou vrstvu nejvíce z vrcholků mikronerovností. Po jejím odstranění znovu intenzívně probíhá anodický rozklad povrchu, dokud se v prohlubních, kde se vrstvička nenarušila, se tento proces zpomaluje. Po několikanásobném opakování tohoto procesu dostaneme hladkou, rovnou a přesnou plochu.

Lapování řezných nástrojů tvoří poslední fázi ostření a snižuje opotřebení řezné hrany. Provádí se na modernizovaných bruskách nebo ostříčkách. Nástroji jsou elektricky vodivé kotouče s kovovou (měděnou nebo hliníkovou), případně grafitovou vazbou, které se vyrábějí práškovou metalurgií. Tvrdokovové nástroje se doporučuje lapovat diamantovými kotouči s kovovou vazbou.

## 2.6. Leštění

Leštění je dokončovací operace povrchu, při které se odstraní drobné nerovnosti, docílí vysoký lesk a jakost povrchu ( $R_a = 1,6$  až  $0,1 \mu\text{m}$ ).

Volba vhodného způsobu leštění konkrétních součástí v praxi a výběr nejvhodnějších režimů zvoleného způsobu leštění závisí od materiálu součásti, stavu povrchu před leštěním, tvaru, rozměrech a hmotnosti součásti, početnosti série, požadavků na kvalitu vyleštěného povrchu, potřebného zařízení apod.

Součástky leštíme na zlepšení vzhledu povrchu anebo před přípravou na další povrchovou úpravu, například pokovením. Někdy leštíme i galvanické povlaky, které se vylučují obyčejně v matné formě. Pracovní pomůckou při mechanickém leštění bývá jemná brusná nebo leštící pasta, vídeňské vápno, leštící zeleň (kysličník chromitý) apod. Při vysokých nárocích na kvalitu povrchu leštíme dvojstupňově a to tak, že součást nejprve předleštíme a potom dokončíme doleštěním. Na rozdíl od broušení je při leštění jen nepatrný úběr na zahladění stop po předcházejícím mechanickém opracování. Leštit můžeme buď jednoduchými univerzálními leštičkami, pomocí rozličných podávacích

přípravků nebo speciálními většinou jednoúčelovými stroji. Leštící kotouče bývají z plsti, látky, kůže, gumy, dřeva, korku, papíru apod. Rychlost kotoučů bývá 30 až 35 m/s.

Mechanické leštění vlivem deformací jemné povrchové vrstvičky mění strukturu povrchu, zpevňuje ji, zvyšuje tvrdost a pevnost, deformuje krystalickou stavbu, zanechává zbytkové pnutí. Vliv chemického a elektrochemického leštění na vlastnosti a strukturu povrchových vrstev není tak výrazný jako při mechanickém leštění.

### 2.6.1. Mechanické leštění

Mechanickým leštěním dosahujeme vysokou jakost povrchu, která se někdy vyznačuje až zrcadlovým leskem. Podstatou procesu je mechanické působení leštícího nástroje na obráběný povrch. Leštit můžeme kotouči, kefami, pásy, speciálními leštícími nástroji, v bubnech, vibračních, dýzových a odstředivých zařízeních.

Leštění kotouči je nejrozšířenější způsob leštění, který je možno vykonávat ručně, ale i strojově s určitým stupněm mechanizace či plně automatizovaným cyklem procesu. Při leštění součást tlakem přitlačujeme na obvod rychle se otáčejícího kotouče, na který jsme předtím nanесли leštící materiál (brusný prášek nebo pasta). Po styku leštícího kotouče s povrchem součásti a rychlým pohybem jeho elementů s částicemi leštících materiálů po mikronerovnostech kovového povrchu a jejich jemného úběru nastává vyhlazení až na zrcadlový lesk.

Leštící kotouče bývají z rozličných materiálů a rozličných konstrukcí. Všeobecně je možno je rozdělit na tyto hlavní skupiny:

- lisované bavlněné kotouče
- skládané sešíváné látkové kotouče
- široké, z jednotlivých elementů složené látkové kotouče
- lístkové látkové kotouče
- plstěné kotouče
- kotouče na bázi celulózy nebo dřeviny
- ohybné kotouče na bázi kaučuku

Při leštění musíme nasytit povrch kotouče leštícím materiálem. Tento požadavek je možné splnit několika způsoby a to:

- nanesením brusných zrn na vhodný podklad
- namazáním brusnou olejovou směsí
- přimícháním brusných zrn do základní masy (kaučuk, celulóza, dřevina)
- namazáním tukovými leštícími pastami
- poléváním během leštění brusnými emulzemi

Nejvhodnější je nanesení brusných zrn do olejové vrstvy nebo namazání brusnou olejovou směsí. Takové kotouče méně špiní povrch součásti a nevyžadují si pracné čištění leštěných povrchů od zbytků past a suspenzí.

Hlavními faktory, ovlivňujícími pracovní schopnost a efektivnost kotouče jsou: druh a zrnitost naneseného brusného prášku nebo jiného leštícího materiálu, obvodová rychlost kotouče, tlak součásti na kotouč, základní materiál kotouče a jeho vlastnosti, druh a množství maziva nebo chladící kapaliny.

V nanesené brusné vrstvě se používá obvykle prášek umělého korundu a karbidu křemíku se zrnitostí 8, 6, 5 a 3 a mikroprášky M 14, M 10 a M 7. Tyto materiály se používají i v leštících pastách. Kromě brusných materiálů se v pastách používají i vysokodisperzní přírodní materiály minerálního původu (tripolit, anglická červeň – caput mortuum, křída) jako i některé chemicky připravované látky (oxid chromitý, vídeňské vápno, oxid železitý apod.).

Leštící pasty mají rozličné složení. Návodů na jejich složení je velké množství. Pasty na leštění hliníkových slitin obvykle obsahují oxid chromitý, tripolit, stearan, vídeňské vápno, vosk, elektrokorund, parafín, lůj, křidu, kyselinu olejnou, ceresín a vazelínu.

Pasty na leštění nerezavějících ocelí obsahují elektrokorund, oxid chromitý, kaolín, stearan, parafín, vazelínu, kyselinu olejnou apod. V pastách na leštění mosazí se používá elektrokorund, ceresín, vídeňské vápno, oxid chromitý, anglická červeň, oxid olovnatý, stearan, lůj. V pastách na leštění uhlíkových ocelí bývá anglická červeň, oxid chromitý, stearan, včelí vosk, oxid olovnatý, lůj, kaolín, vazelína, ceresín, kyselina olejná, tripolit, parafín.

Příklad některých past na leštění hliníkových slitin, mosazí, uhlíkových a nerezových ocelí (Tab. 6).

Tab. 6. Složení past

| Název složky               | Na hliníkové slitiny |    |    |    | Na mosaze |    |    |    | Na uhlíkové oceli |    |    |    | Na nerez oceli |    |    |    |
|----------------------------|----------------------|----|----|----|-----------|----|----|----|-------------------|----|----|----|----------------|----|----|----|
|                            | číslo pasty          |    |    |    |           |    |    |    |                   |    |    |    |                |    |    |    |
|                            | 1                    | 2  | 3  | 4  | 5         | 6  | 7  | 8  | 9                 | 10 | 11 | 12 | 13             | 14 | 15 | 16 |
| Elektrokorund              | -                    | 80 | -  | -  | -         | -  | -  | 70 | -                 | -  | 70 | -  | -              | -  | -  | 72 |
| Oxid chromitý              | -                    | -  | -  | 74 | -         | 70 | -  | -  | 64                | -  | -  | 35 | 37             | 46 | 60 | -  |
| Vídeňské vápno             | 68                   | -  | -  | -  | -         | -  | 73 | -  | -                 | -  | -  | -  | -              | -  | -  | -  |
| Anglická červeň            | -                    | -  | -  | -  | 71        | -  | -  | -  | -                 | -  | -  | 36 | -              | -  | -  | -  |
| Tripolit                   | -                    | -  | 68 | -  | -         | -  | -  | -  | -                 | 65 | -  | -  | -              | -  | -  | -  |
| Vazelína                   | 26                   | 2  | -  | 20 | -         | -  | -  | -  | -                 | -  | -  | -  | 13             | -  | -  | -  |
| Stearan                    | 2                    | 5  | -  | 2  | 18        | 25 | 23 | -  | 16                | 2  | -  | 23 | 13             | 17 | 30 | -  |
| Vosk                       | 4                    | -  | 10 | -  | -         | -  | -  | -  | 10                | -  | -  | -  | -              | -  | -  | -  |
| Parafin                    | -                    | 8  | 18 | -  | -         | -  | -  | -  | -                 | -  | -  | 2  | -              | 33 | -  | -  |
| Lůj                        | -                    | 5  | -  | -  | 9         | 5  | 2  | -  | 5                 | -  | -  | -  | -              | -  | -  | -  |
| Kyselina olejnová          | -                    | -  | 4  | 4  | -         | -  | -  | -  | -                 | -  | -  | 4  | -              | 4  | 10 | -  |
| Oxid olovnatý              | -                    | -  | -  | -  | 2         | -  | -  | -  | 5                 | -  | -  | -  | -              | -  | -  | -  |
| Cerezín                    | -                    | -  | -  | -  | -         | -  | 2  | -  | -                 | 33 | -  | -  | -              | -  | -  | -  |
| Syntetické mastné kyseliny | -                    | -  | -  | -  | -         | -  | -  | 30 | -                 | -  | 30 | -  | -              | -  | -  | 28 |
| Kaolín                     | -                    | -  | -  | -  | -         | -  | -  | -  | -                 | -  | -  | -  | 37             | -  | -  | -  |

K mechanickému leštění patří i leštění pásy, rotujícími kefami, leštění v bubnech, vibračních, dýzových a odstředivých zařízeních.

### 2.6.2. Chemické leštění

Chemické leštění je nový způsob dokončování kovových povrchů, který se principiálně odlišuje od mechanického leštění. Kvalitní, hladké a lesklé plochy dosahujeme při tomto způsobu působením aktivních chemických látek.

Při chemickém leštění součást ponoříme na určitý čas do nádrže s chemicky aktivním roztokem. Po ponoření začnou probíhat chemické a místní elektrochemické procesy, kov se začne rozpouštět a kvalita povrchu se postupně zlepšuje. Součást přitom získává vysoký lesk.

Chemickým leštěním dosahujeme lesklý povrch rozrušováním krystalické mřížky kovu. Proces je velmi jednoduchý, součástku stačí ponořit na několik minut do příslušného roztoku, který ihned začne aktivně působit na povrch. V důsledku probíhajících chemických a místy elektrochemických procesů nastává rozpouštění kovu a snižuje se drsnost povrchu. Kvalita povrchu se zlepšuje tím, že chemické rozpouštění probíhá nejintenzivněji na mikrovývšeninách a pomaleji v mikroprohlubních. Jednou z hlavních předností chemického leštění je jeho jednoduchost. Proto se tímto způsobem leští obvykle součástky složitějšího tvaru, které by se těžko leštily mechanicky.

Typový technologický postup chemického leštění se skládá z několika operací a to:

- odmaštění povrchu
- promývání v tekoucí chladné vodě
- chemické leštění v příslušném roztoku
- promývání v tekoucí chladné vodě
- promývání v teplé (60 až 90 °C) vodě
- sušení

Na chemické leštění se používají roztoky rozličného složení. Každá skupina kovů si vyžaduje roztok rozličného složení. Nejčastější používané leštící roztoky (Tab. 7). Z tabulky je vidno, že většina roztoků se tvoří na bázi silných kyselin, menší část na bázi zásaditých roztoků.

Tab. 7. Složení roztoků na chemické leštění

| Složky roztoku a<br>režim práce | Jednotka<br>koncen-<br>trace | Leštěné kovy a slitiny |       |              |        |       |       |       |       |             |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------|-------|--------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------------|
|                                 |                              | uhlíková ocel          |       | chromniklová |        | mosaz |       | nikl  | měď   |             |
|                                 |                              | číslo roztoku          |       |              |        |       |       |       |       |             |
|                                 |                              | 1                      | 2     | 3            | 4      | 5     | 6     | 7     | 8     | 9           |
| Kyselina sírová                 | g/l                          | -                      | 230   | 230          | 90     | 790   | -     | -     | 100   | 250-<br>270 |
| Kyselina dusičná                | g/l                          | 15-30                  | 40    | 40           | 180    | 20    | 100   | 180   | 300   | 250-<br>270 |
| Kyselina<br>chlorovodíková      | ml/l                         | 16-40                  | 70    | 70           | 725    | 1     | -     | 5     | -     | -           |
| Kyselina octová                 | ml/l                         | -                      | -     | -            | 56     | -     | 400   | 230   | 500   | -           |
| Kyselina<br>fosforečná          | ml/l                         | 90-150                 | -     | -            | -      | -     | 500   | 585   | 100   | 400         |
| Peroxid vodíku<br>30%           | ml/l                         | -                      | -     | -            | -      | 190   | -     | -     | -     | -           |
| Chlorid sodný                   | g/l                          | -                      | 6     | 6            | -      | 20-40 | -     | -     | -     | -           |
| Kostní olej                     | g/l                          | -                      | -     | 10-12        | -      | -     | -     | -     | -     | -           |
| Nitrid sodný                    | g/l                          | -                      | -     | -            | -      | -     | -     | -     | -     | 10-12       |
| Teplota roztoku                 | °C                           | 80                     | 50-80 | 70-75        | 80-150 | 20-40 | 20-40 | 55-80 | 85-95 | 30-40       |
| Čas leštění                     | min                          | 1-10                   | 3-30  | 5-30         | 3-20   | 1-2   | 3-10  | 5     | 1     | 1-3         |

Během leštění se složení roztoků mění, protože se nasycují solemi rozpouštěného kovu a tím se snižuje jejich aktivita. Proto se musí během leštění periodicky kontrolovat složení roztoku a korigovat ho přidáváním aktivních látek nebo roztok vyměnit za nový. Aktivní látky v roztoku se mohou měnit bez zhoršení leštící schopností jen po určité koncentraci. Na obr. 1 je příklad trojúhelníkového diagramu přípustných a optimálních

koncentrací chemických složek roztoku na leštění chromniklové oceli. Na diagramu je vyznačená oblast koncentrací, které dávají zrcadlově lesklý povrch. To je pole optimálních koncentrací. Dále jsou vyznačené i oblasti s matovým povrchem i koncentrace, při kterých leštění vůbec neprobíhalo a povrch zůstal nevyleštěný, tmavý. Z diagramu dále vyplývá, že oblast optimálních koncentrací pro danou ocel se nachází v mezích, vyjádřených poměrem  $4 : 6 : 16 = \text{HNO}_3 : \text{HCl} : \text{H}_2\text{SO}_4$

Leštící roztok připravujeme tak, že do daného množství vody nalijeme tenkým proudem za stálého míchání vypočítané množství kyseliny sírové a po ochladnutí na 30 až 40 °C doplníme potřebné množství kyseliny chlorovodíkové a dusičné i ostatní přísad, rozpuštěné ve vodě. Při ohřátí směsi na 70 až 75 °C je roztok vhodný na chemické leštění.

Průběh a čas leštícího procesu a jeho výsledky závisí na mnohých faktorech, ze kterých jsou nejdůležitější složení a koncentrace roztoku, jeho teplota, čas leštění, množství rozpuštěného kovu apod.

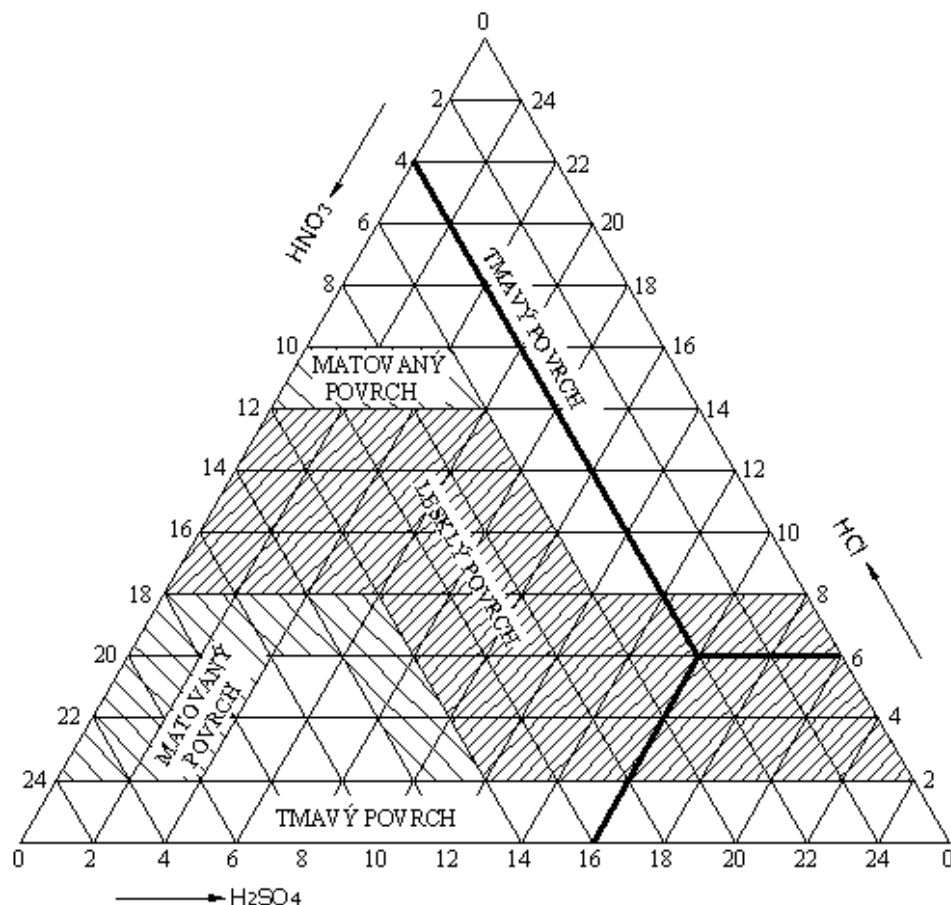
Chemicky leštit se nejprve začali hliníkové slitiny. Po dobrých výsledcích se přešlo i na jiné materiály. Hliníkové slitiny se výhodně leští roztokem, kterého složení (v hmotnostních procentech) je: kyselina fosforečná 78 %, kyselina sírová 15 %, kyselina dusičná 7 %.

Optimální teplota roztoku je 95 °C. Chemickým leštěním hliníkových slitin je možno dosáhnout drsnost povrchu  $R_a = 0,2$  až  $0,4 \mu\text{m}$ . Větší obsah kyseliny dusičné a vody zvětšuje intenzitu rozpouštění, větší obsah rozpuštěného hliníku snižuje intenzitu rozpouštění. Při vhodném složení roztoku dosahujeme chemickým leštěním úběr  $1 \mu\text{m}/\text{min}$ . Dekorativní leštění, při kterém úběr materiálu není podstatný, trvá jen krátce, v čerstvém roztoku asi 2 minuty.

Chemické leštění se používá hlavně jako vhodná a levná povrchová úprava obrobků z oceli, neželezných kovů a slitin. Výrobní náklady na regeneraci leštících roztoků, na výrobní a bezpečnostní zařízení jsou však vysoké. Proto se tyto postupy uplatňují hlavně v sériové a hromadné výrobě při součástech složitých anebo členitých tvarů. Při leštění vznikají na povrchu součástky plynné zplodiny chemických reakcí. Proto musí být obrobek v koupeli umístěn tak, aby se plyny nehromadili v dutinách a roztok mohl nerušeně působit na celý leštěný povrch. Při leštění se materiál rozpouští rovnoměrně ve všech směrech. Úběr do hloubky i do stran je přibližně stejný. Proto chemickým leštěním obvykle nemůžeme zlepšovat geometrický tvar obrobku. Stejně tak je nemožné vytvářet

ostré hrany a přechody dvou ploch. Při chemickém leštění se obvykle vytvoří hrany a přechody se zaoblením, kterého poloměr se rovná hloubce odebrané plochy.

Výhodou chemického leštění je rychlost a jednoduchost procesu. Pracnost operace tvoří jen čtvrtinu normočasu, potřebného na mechanické leštění. Proto je chemické leštění výhodným způsobem racionalizace výrobního procesu. [5]



Obr. 1. Trojúhelníkový diagram koncentrací  $\text{HNO}_3 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{SO}_4$  pro chemické leštění ocelí.

### 2.6.3. Elektro-chemické leštění

Jedná se o dokončovací proces povrchu kovů, kterým se dosahuje vysoká jakost povrchu a zrcadlový lesk elektrochemickým úběrem materiálu.

Přechodem jednosměrného proudu se elektrochemicky rozpouštějí povrchové vrstvy materiálu. Rozpouštění je nejintenzivnější na výstupcích mikronerovností, pomalejší v mikrojámkách. V důsledku toho se drsnost pomalu zlepšuje, mikronerovnosti se vyrovnávají a povrch součásti se stává hladký a lesklý. Tento proces ovlivňuje různá

hloubka anodické vrstvy oxidů, která klade odpor přechodu proudu. Vrstva v mikrojamkách je hrubší na mikrovýváženinách jemnější.

Kromě anodické vrstvy na průběh procesu elektroleštění má vliv i mechanické promíchání elektrolytu a teplota leštícího roztoku. Promíchání pomáhá narušovat anodickou vrstvu a urychluje tím proces leštění. Některé elektrolyty aktivně působí jen při ohřívání. Všeobecně platí, že vyšší teplota roztoku snižuje rychlost neutralizace a zvyšuje rychlost rozpouštění anodické vrstvy. Postup leštění ovlivňuje i proudová hustota a napětí zdroje.

Používané elektrolyty možno rozdělit na skupiny s neohrazeným a ohrančeným časem použití. V elektrolytech první skupiny se vznikající soli usazují v odkalovacím prostoru nádrže, v elektrolytech druhé skupiny zůstávají rozpuštěné v elektrolytu. Složení nejběžnějších elektrolytů na leštění kovů a režimy leštění uvádí (Tab. 8). Elektrolyty č. 1 až 13 se používají na leštění uhlíkových a legovaných ocelí, elektrolyty č. 14 až 17 jsou vhodné na leštění hliníkových slitin. Elektrolyty připravujeme tak, že nejdříve do nádrže nalijeme kyselinu ortofosforečnou, potom roztok oxidu chromového, příslušnou dávku vody a nakonec nalijeme tenkým proudem příslušné množství kyseliny sírové.

Čerstvě připravený elektrolyt není ještě schopný dobře leštit. Před jeho prvním použitím ho musíme nahřát na teplotu 70 až 75 °C. Pomocí olověných katod a anody projde přes elektrolyt elektrický proud v množství 5 až 15 A hod / dm<sup>3</sup>. Celková plocha katód má být troj- až čtyřnásobek plochy anody. Při leštění legovaných ocelí takovou předpřípravu elektrolytu nemusíme provádět.

Během leštění je třeba kontrolovat složení elektrolytu. Kontrolujeme jeho hustotu (má být 1,6 až 1,7 kg / dm<sup>3</sup>), dynamickou viskozitu (v mezích 0,01 až 0,02 N s / m<sup>2</sup>) anebo chemické složení.

Po skončení leštění je třeba součásti promýt v proudu vody. Obvykle promýváme nejprve v teplé a potom ve studené vodě. Pokud po leštění následuje galvanické pokovení musíme součást opláchnout v kyselém, případně alkalickém roztoku a znovu promýt ve vodě, do které jsou přidány některé antikorozní přípravky.

Odlévané nebo třískovým způsobem obráběné mají mít drsnost o 2 třídy nižší než je drsnost požadovaná po leštění. Běžně dosahovaná drsnost povrchu po leštění je 0,4 až 0,2 μm. Při speciálně upraveném procesu může však dosáhnout až R<sub>a</sub> = 0,05 μm. Součástky válcované nebo tvářené za studena nemusíme před leštěním opracovat třískovým způsobem, pokud jejich drsnost není horší jak 2 až 3 třídy konečné požadované drsnosti.

Elektrochemické leštění se s výhodou používá na leštění rezných nástrojů jako jsou vrtáky, frézy, výstružníky, závitníky a jiné vícebřité nástroje. Používáme přitom elektrolyt č. 1, 3 a 5.

Tab. 8. Složení nejběžnějších elektrolytů

| Složky elektrolytu a režimy leštění    | Číslo elektrolytu |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------------------------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                                        | 1                 | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Kyselina ortofosforečná                | 70                | 76 | 76 | 70 | 90 | 80 | 50 | 80 | 42 | 40 | 70 | 50 | 60 | -  | 40 | 10 | 60 |
| Kyselina sírová                        | 15                | 5  | 10 | -  | -  | 12 | 50 | 11 | 45 | 40 | -  | -  | 15 | -  | -  | 60 | -  |
| Oxid chromový                          | 12                | 12 | 8  | 14 | 10 | 6  | -  | -  | 4  | -  | 16 | -  | 10 | -  | -  | -  | -  |
| Glycerol                               | -                 | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | 43 | -  | -  | 35 | -  | -  |
| Uhličitan sodný                        | -                 | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | 15 | -  | -  | -  |
| Trinatriumfosfát                       | -                 | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | 5  | -  | -  | -  |
| Kyselina dusičná                       | -                 | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | 1  | -  |
| Kyselina boritá                        | -                 | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | 5  |
| Kyselina šřavelová                     | -                 | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | 3  |
| Voda                                   | 3                 | 7  | 6  | 16 | -  | 2  | -  | 9  | 9  | 20 | 14 | 7  | 15 | 80 | 25 | 29 | 32 |
| Proudová hustota [ $A \cdot dm^{-2}$ ] | 30                | 40 | 45 | 50 | 40 | 40 | 80 | 40 | 35 | 50 | 2  | 10 | 25 | 30 | 10 | 50 | 50 |
| Teplota elektrolytu [ $^{\circ}C$ ]    | 75                | 80 | 80 | 75 | 85 | 80 | 35 | 75 | 70 | 80 | 70 | 95 | 80 | 70 | 90 | 70 | 80 |
| Čas leštění [min]                      | 15                | 6  | 6  | 7  | 6  | 7  | 6  | 7  | 10 | 5  | 2  | 7  | 6  | 15 | 12 | 8  | 10 |

Technologický proces se skládá z těchto operací:

- odmaštění organickým rozpouštědlem (benzín, aceton) nebo alkalických rozpouštědlem
- připevnění nástroje na závěs
- elektroodmaštění
- promytí v horké a studené vodě
- elektroleštění
- promytí v chladné tekoucí vodě
- neutralizace v alkalickém roztoku
- promytí v chladné a horké vodě
- sušení
- kontrola jakosti
- konzervace

Elektrochemické leštění je další rozšíření principů elektrochemického úběru materiálu v strojírenské technologii. Má mnoho společného s elektrochemickým nebo elektrolytickým broušením, ostřením, honováním, superfinišováním i lapováním. Výborně se uplatňuje hlavně při obrábění těžce obrobitelných a velmi tvrdých materiálů, protože jejich klasické obrábění vyvolává značné těžkosti.

#### **2.6.4. Leštění rotujícími kefami**

Leštění rotujícími kefami čili kefování, je technologický proces, který má v technické praxi velmi širokou oblast použití. Tímto způsobem čistíme povrchy součástek od opálení, okovů, barvy, odstraňujeme přetoky, zaoblujeme ostré hrany, leštíme povrchy nebo je mechanicky zpevňujeme. Tento způsob má svou podstatou nejblíže k mechanickému leštění.

Kefy se podobají leštícím nebo brusným kotoučům. Složené jsou z jednotlivých jemných vláken, hustě zachycených v pevném jádru a délkově a tvarově upraveny tak, že vytváří podobu leštícího kotouče. Vyrábějí se z ocelového drátu, přírodních a syntetických štětin (kapron, nylon, dederon), přírodních vlasů, fibru, bavlněné příze, rostlinných vláken apod. Jsou dost měkké, proto dobře přiléhají k leštěným plochám i tvarovým. Jednotlivé vlákna kef vnikají do jamek mikroprofilu povrchu a přitom vyrovnávají mikronerovnosti a čistí i dno jamek. Odstraněním ostrých úhlů a hran kefováním snižuje napětí, koncentrované v ostrých hranách, což snižuje vznik trhlin na povrchu součástek během provozu. Tímto se zvyšuje únavová pevnost materiálu.

Nejčastěji používaným materiálem kef je ocelový drát průměru 0,1 až 1,2 mm. Na leštění měděných slitin se používají kefy z bronzových drátků. Jemnější drát (0,3 až 0,4 mm) se používá na čisté opracování povrchů, hrubší drát (1,2 mm) je vhodný na čištění svarů, odstranění okovů a další hrubé práce.

Kvalita povrchu, produktivita procesu i jeho ekonomická efektivita závisí na pracovních režimech. Optimální hodnoty pracovních parametrů (rychlost otáčení, tlak a doba kefování) se stanovují obvykle po předběžných zkouškách. Ovlivňuje je především charakter práce, předepsaná a výchozí drsnost, materiál součásti, druh kefy i používaný a dostupný druh zařízení.

### 2.6.5. Omílání

Omílání je leštící proces, při kterém se součásti s leštícími materiály dostávají do nuceného vzájemného pohybu a třením a nárazy leštících materiálů o povrch součásti se postupně vyhlazuje povrch součástí. Můžeme ho rozdělit na omílání v otáčivých a vibračních bubnech. Omýláním se dokončují povrchy takových součástí, které není možno leštit mechanicky či pokud by bylo leštění velmi drahé a pracné. Omýláním možno zlepšit kvalitu povrchu o 2 až 3 třídy. Běžná drsnost povrchu je  $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ , při speciálních podmínkách až  $0,1 \mu\text{m}$ . Protože úběr povrchových vrstev při omýláním je velmi nerovnoměrný, je nemožné tímto způsobem dosáhnout zlepšení přesnosti rozměrů a tvarů. Proto má tento proces svoje opodstatnění jen na součástech nevyžadujících přesnost tvaru, ale pouze hladkost.

Konečnou drsnost povrchu podstatně ovlivňuje trvání procesu. Například při zrnitosti 25 elektrokorundu je možné dosáhnout drsnost  $R_a = 1,6 \mu\text{m}$  za 8 hodin práce (z původní  $R_a = 6,3 \mu\text{m}$ ). Stejnou drsnost možno dosáhnout i za 2 až 3 hodiny, pokud použijeme zrnitost 25 a 16.

Vibračním omýláním, stejně jako v otáčejících bubnech, můžeme dosáhnout dobrý vzhled a kvalitu povrchu, ale nezlepšíme přesnost tvarů a rozměrů. Proto se tímto způsobem dokončují jen nenáročné součásti s větším dovoleným rozptylem rozměrových tolerancí.

### 2.6.6. Leštění pásy

Leštění pásy, pokrytými brusnými zrnami nebo pastou je v podstatě mechanické leštění, při kterém rychle pohybující zrna upevněné na poddajný podklad, odebírají vrcholky mikronerovností a tak leští povrch součásti. Tímto způsobem leštíme součásti se složitými profily, vyráběné z tvrdých ocelí. V porovnání s leštěním kotouči je tento proces dokonalejší, výhodnější a produktivnější. Nekonečný leštící pás bývá z kapronu, bavlněné nebo jiné tkaniny, gumy a podobných látek, které jsou dostatečně pevné a přitom elastické a umožňuje dobrý kontakt s leštěným povrchem. Na vnější straně pásu je vrstva brusných, diamantových, případně jiných prášků. V tvaru nekonečného prstence se natahuje na dva kotouče, kde jeden je hnací. Leštěné součásti pak přitlačujeme k pohybujícímu se pásu.

Leštění pásy má v porovnání s leštěním kotouči následující výhody:

- větší pracovní plochu pásu, vyšší životnost, snížení pomocných časů
- rychlejší rozptýlení tepla vznikající v pracovním místě pohybujícím se pásem
- kvalitnější lešticí vrstvu pásu
- širší rozsah režimů obrábění (rychlost, tlak, tvar součásti), větší trvanlivost pásu
- možnost leštit těžko dostupné místa součástí
- lepší podmínky práce

Pásky leštíme několika způsoby, podle polohy lešticího pásu je dělíme na:

- kontaktní leštění
- leštění s opěrnou deskou
- leštění volným pásem
- tvarové kontaktní leštění
- bezhroté leštění
- leštění válcovité
- leštění pásem svinutým do kotouče

Nejrozšířenější je leštění pásy s kontaktními válci, použitím poddajným pružných elastických válců je možno dosáhnout nejkvalitnější povrch.

Efektivnost leštění závisí na specifickém tlaku pásu, rychlosti a šířky pásu, leštěných materiálech a rozměrech součástí.

Při zrnitosti brusiva naneseného na pás, označeného číslem 25 až 6 dosáhneme drsnost povrchu  $R_a = 0,4 \mu\text{m}$ , při zrnitosti 6 až 4  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$  a při použití lešticích past můžeme získat povrch s drsností až  $R_a = 0,1 \mu\text{m}$ . Při práci s novým nepoužitým pásem je drsnost větší jako s použitým.

#### **2.6.7. Leštění rovinných ploch**

Na leštění velkých rovinných ploch je možno použít doposud všechny jmenované způsoby leštění. Volba vhodného způsobu závisí na druhu materiálu, požadované jakosti povrchu, dostupného zařízení, velikosti a tvaru ploch a jiných činitelů. Obvykle používáme mechanický způsob leštění pásy, kefami, v elektromagnetickém poli, zřídka chemické a elektrochemické leštění.

## 2.7. Dokončování povrchů tvářením

Podstatou dokončovacích způsobů tvářením je plastická deformace povrchových vrstev kovu, provázená hlazením povrchu. Je možné tímto způsobem dosáhnout vysokou kvalitu povrchu, přesnost tvarů a rozměrů a v důsledku pak průvodního zpevnění povrchových vrstev i zvýšit provozní vlastnosti vyráběných součástí.

Prakticky je možno dokončovací obrábění tlakem rozdělit na čtyři základní skupiny:

- statické deformování povrchu čelem tlačného nástroje (rovinné ražení, značkování čísla a písmeny) – dosahovaná drsnost povrchu  $R_a = 1,6$  až  $0,2 \mu\text{m}$ , dostupná přesnost tvaru a rozměrů IT 7 až IT 8.
- deformování povrchu silou ve směru normály k povrchu, vyvozované nástrojem za současného klouzání nástroje ve směru obráběné plochy a jeho vyhlazování silami tření (protlačování válcových a tvarových otvorů, tahání válcových a tvarových profilů) – dosahovaná drsnost povrchu  $R_a = 0,8$  až  $0,1 \mu\text{m}$ , dostupná přesnost tvaru a rozměrů IT 6 až IT 7.
- statické deformování povrchových vrstev za podmínek odvalování nástroje po povrchu a jeho částečného tření (válečkování, kuličkování, válcování a kalibrování závitů i ozubených kol, rýhování apod.) – dosahovaná drsnost povrchu  $R_a = 0,4$  až  $0,05 \mu\text{m}$ , konečná přesnost tvaru a rozměrů v rozmezí IT 6 až IT 9.
- dynamické zpevňování povrchu kuličkami, kefami, ocelovou i litinovou dřevinou, brusným práškem apod. – dosahovaná drsnost povrchu  $R_a = 6,3$  až  $0,8 \mu\text{m}$ , konečná přesnost tvaru a rozměrů IT 7 až IT 9.

Povrchové vrstvy materiálu zpevněné plastickou deformací za studena zlepšují provozní vlastnosti součástí tím, že:

- zvyšují pevnost součástí hlavně v podmínkách vibrujících a proměnných zatížení
- otěruvzdornost třecích se povrchů je vyšší
- zkvalitňují pevnost spojení součástí při lisovaném (nehybném) uložení
- zamezují poklesu pevnosti součástí v místech konstrukčních vrubů
- zvyšují korozivzdornost a únavovou pevnost součástí
- snižují koeficient tření a namáhání strojů

Zpevnění válcových a rovinných ploch válečkováním nebo kuličkováním vytváří příznivé tlakové povrchové napětí a zvyšuje mez únavy o 25 až 80 % při současném značném zvýšení kvality povrchu. Dokázalo se, že válečkování či kuličkování zvyšuje odolnost vůči opotřebení 1,5 až 6 krát. Hloubka zpevněné vrstvy bývá značná. Například při válečkování železničních náprav o průměru 292 mm při tlaku 120 kN je zpevněná hloubka povrchové vrstvy 19 mm.

Protlačování otvorů zvyšuje odolnost proti opotřebení povrchů 1,5 až 6 krát a únavovou pevnost 1,2 až 7 krát. Dynamické zpevnění povrchů zvyšuje odolnost proti korozi 2 až 2,5 krát i v podmínkách agresivního prostředí.

Plastickou deformací kovu a vyrovnaním mikronerovností se značně zvýší oporný nosný povrch mikroprofilu, což příznivě působí na provozuschopnost a životnost pohybových uložení a na pevnost nehybných uložení.

Specifičnost tváření je, že není žádoucí vysoká jakost povrchu po předcházejícím opracování. V tomto se zásadně liší od všech předcházejících dokončovacích způsobů obrábění, při kterých má předcházející kvalita povrchu příznivý vliv na konečnou kvalitu povrchu. Při tváření se na vytvoření dokonalého povrchu vyžadují určité mikronerovnosti, bez kterých se kvalitní, hladká a pevná plocha nevytvoří.

Dokončovací způsoby tváření mají nesporné výhody a je jich známý a dostupný celý řad nástrojů uplatňujících principy dokončování působením tlaku.

Oblast použití dokončovacích způsobů tváření není však neomezená. Vyplývá to ze samotné podstaty těchto způsobů, kterou je deformace povrchových vrstev materiálu. Limitujícím činitelem tváření je tedy vhodnost materiálu pro tváření za studena. Proto se tváření dokončují jen materiály měkčí, poddajnější do pevnosti asi 750 MPa a tvrdosti HB = 220. Kovy a slitiny s větší pevností a tvrdostí je možno někdy dokončovat tváření za specifických podmínek.

### 3. HODNOCENÍ KVALITY POVRCHU

Ukazatelem kvalitního hodnocení obrobku je míra dodržení všech výkresem předepsaných hodnot, odchylek tvaru a polohy a požadované drsnosti povrchu obrobených ploch. Při výrobě součástku však nezhotovíme nikdy úplně přesně. Skutečné rozměry se vždy odchyľují od jmenovité hodnoty nahoru nebo dolů. Geometrie obrobené plochy se též liší od ideální geometrie zadané výkresem. Na obrobené ploše jsou vlivem stop po řezném nástroji a plastických deformací určité mikronerovnosti. Stav a jakost obrobeného povrchu ovlivňují únavovou pevnost, odolnost proti opotřebení, protikorozi stabilitu, životnost a provozuschopnost strojů. Stav a jakost obrobené plochy komplexně posuzujeme z hlediska geometrie obrobeného povrchu, fyzikálně-mechanických vlastností povrchové vrstvy, struktury i deformací, případně i dalších mimořádných jevů povrchové vrstvy. Při zkoumání geometrických odchylek skutečného tvaru od ideálního si všímáme makrogeometrické a mikrogeometrické odchylky a vlnitosti povrchu.

Při obrábění musíme vždy počítat s určitou nepřesností, která je definovaná odchylkami rozměrů, tvarů a vzájemné polohy jako i drsností povrchu. Tyto můžeme specifikovat ve třech kategoriích a to jako odchylky makrogeometrické, mikrogeometrické a vlnitost povrchu.

Z předcházejícího textu vyplývá, že žádným způsobem není možno dosáhnout na obráběné ploše ideální tvar a hladkost. Odchylky, kterými se liší součástka od výkresu měříme pomocí požadavků, kterým má plocha vyhovět. Tyto odchylky zkoumáme buď z hlediska makrogeometrie (makronerovnosti) anebo mikrogeometrie (mikronerovnosti). Přejchod mezi oběma nerovnostmi tvoří vlnitost povrchu. Pokud zkoumáme makrogeometrii, mluvíme obyčejně o přesnosti, pokud mikrogeometrii, pak o drsnosti.

### 3.1. Makrogeometrie obrobených ploch

Přesnost obrobené plochy je stupeň její zhodnosti s ideální plochou předepsanou výkresem, anebo vyrobenou vzorovou plochou. Tato přesnost bývá zdokumentována normovanými odchylkami od vyžadovaného rozměru, tvaru a vzájemné polohy ploch součástky. Odchylky, které vznikají při obrábění, musí být menší anebo se musí nanejvýš rovnat dovoleným normálovým odchylkám.

Protože obráběním nemůžeme dosáhnout, aby se skutečné rozměry součástek přesně shodovali s rozměry ploch předepsanými na výkresech, připouštějí se určité odchylky od předepsaných mír. Rozmezí příslušných odchylek je dané tolerancemi.

Tolerance je rozdíl mezi horní a dolní odchylkou rozměru. V této toleranci se může pohybovat rozměr obráběné plochy aniž by ohrozil funkčnost nebo vyměnitelnost součástky.

Při spojení dvou součástí se vytvoří uložení, určené růzností jejich rozměrů před spojením, tj. velikostí vůlí anebo přesahů v uložení. Uložení může být s vůlí, s přesahem a přechodové, kde může vzniknout jak vůle, tak i přesah.

V lícování u nás platí soustava ISO, která je soustavou tolerancí a uložení. Velikost tolerance v této soustavě se určuje od jmenovitého průměru a navrhovaného stupně přesnosti IT.

Lícovací soustava ISO má 18 stupňů přesnosti a uložení předepisuje v soustavě jednotné díry a soustavě jednotného hřídele.

Odchylka tvaru skutečných ploch nebo čar je vzdálenost měřené skutečné plochy od plochy obalové anebo skutečné čáry od čáry obalové. [17]

### 3.2. Mikrogeometrie

Obrobená plocha se tvoří jako obalová plocha trajektorií pracovního pohybu řezné hrany nástroje a od základních geometrických ploch zadaných výkresem, tj. od roviny, válcové anebo jiné geometrické plochy se podstatně liší. Obrobenou plochu charakterizuje mikrogeometrie, která má z hlediska budoucí funkce této plochy podstatný význam.

Z geometrického hlediska je vlastně obrobený povrch určený stopami hrotu řezného nástroje, který se po obrobku pohybuje definovaným způsobem. Hrot nástroje má většinou profil válce nebo kužele s definovaným poloměrem.

Teoretický tvar drsnosti slouží jen na základní orientaci v tvorbě povrchů, nemá však velký praktický význam neboť se mění ještě s dalšími faktory provázejícími proces řezání. Jedná se především o tyto faktory:

- plastická deformace v místě tvoření třísky
- dynamické jevy, t.j. kmitání, které vzniká v technologické soustavě
- tvorba výronků na vedlejší řezné hraně
- tření hřbetu řezného klínu o obrobenou plochu

### 3.2.1. Hodnotící kritéria drsnosti povrchu

Tvar mikrogeometrických nerovností obrobených povrchů je velmi rozmanitý. Aby bylo možno kvantitativně hodnotit drsnost povrchů, byla přijatá evropská norma normy ISO 4287: Geometrická specifikace povrchu – Charakter povrchu.

Drsnost povrchu je definována jako část geometrických odchylek s relativně malou vzdáleností nerovností. Tím se odlišuje od makrogeometrie a vlnitosti povrchu.

Citovaná norma definuje skutečný povrch jako povrch, který ohraničuje součástku a odděluje od okolního prostředí. Naproti tomu jmenovitý povrch je ideálně hladký, kterého jmenovitý tvar je určený výkresem nebo jinou technickou dokumentací.

Veličiny drsnosti se vyhodnocují od základního povrchu, kterým je v prostoru patřičně posunutý jmenovitý povrch a to v řezu kolmém na základní. Příčný profil je v řezu kolmém na směr stop nerovnosti povrchu a podélný profil je definován řezem v podélném směru stop nerovností povrchu.

Vyhodnocovaná délka  $l$  je délka ve směru osy  $X$ , na které se vyhodnocuje profil drsnosti. Může obsahovat jednu nebo několik základních délek.

Základní délka  $l_r$  je délka ve směru osy, která se používá na identifikování nepravidelnosti, které charakterizují profil, metodou nejmenších čtverců z profilu.

Veličiny drsnosti povrchu se stanovují a vyhodnocují k základní čáře.

**Střední aritmetická odchylka profilu  $R_a$**  je nejčastějším hodnotícím kritériem drsnosti povrchu. Je to střední aritmetická hodnota absolutních odchylek profilu v rozsahu základní délky. Je vyjádřena vztahem:

$$R_a = 1/l * \int_0^1 |Z(x)| dx \quad (1)$$

**Střední kvadratická odchylka profilu  $Rq$**  v rozsahu základní délky se vyjadřuje:

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z(x)^2 dx} \quad (2)$$

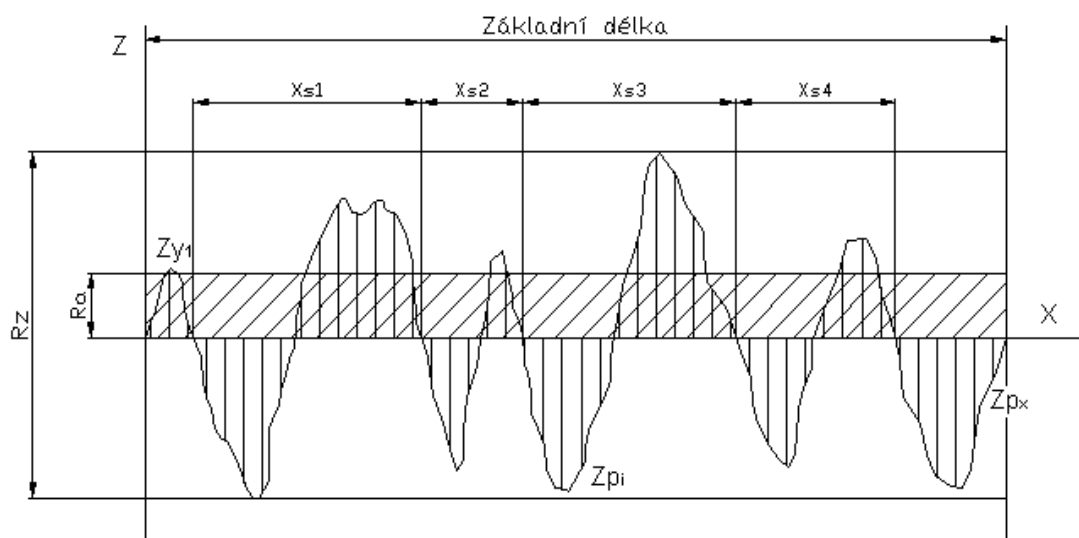
**Střední délka prvku profilu  $Rsm$**  v rozsahu základní délky je definovaná:

$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{si} \quad (3)$$

**Největší výška nerovnosti profilu  $Rz$**  je výšková charakteristika drsnosti povrchu, určená vzdáleností mezi čarou výstupků profilu a čarou prohlubní profilu v rozsahu základní délky. Matematicky vyjádřená:

$$Rz = Zy_{p \max} + Zp_{v \max} \quad (4)$$

Tato charakteristika udává jen největší hloubku profilu kontrolované plochy v rozsahu základní délky. Jako míra drsnosti povrchu má pro funkční povrchy poměrně malý význam a používá se jen jako doplňkové kritérium drsnosti povrchu.



Obr. 2 Význam základních kritérií drsnosti povrchu

Mezi hodnotami **Rz** a **Ra** platí vztah:

$$\frac{Rz}{Ra} = 2,5 \div 7 \quad (5)$$

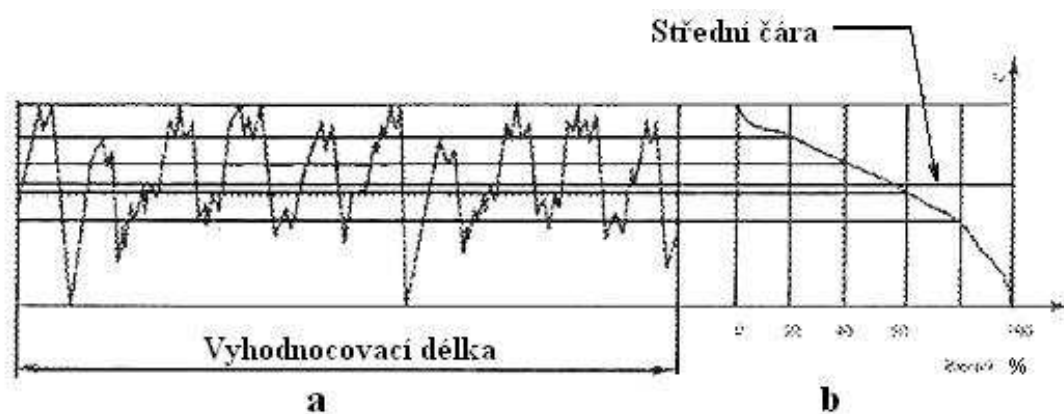
pro hrubované plochy je 2,5-3, pro dokončované plochy asi 4 a pro velmi jemné plochy, obrobené dokončovacími metodami obrábění 5-7.

Z rozebraných charakteristik drsnosti povrchu vyplývá, že základní představu o drsnosti povrchu získáme z profilové křivky (Obr. 3a). Z ní jsou odvozeny všechny kvantitativní ukazatele drsnosti.

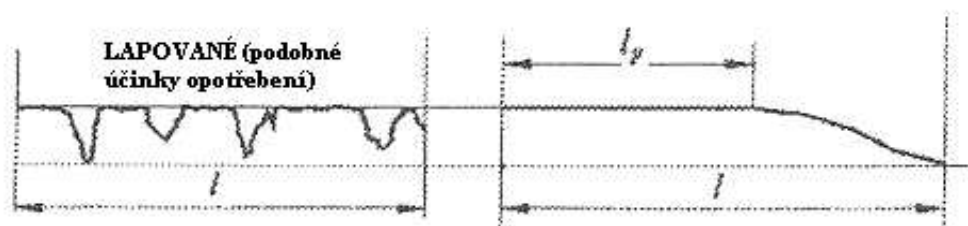
Z hlediska únosnosti, tření, opotřebení a celkové funkčnosti povrchu v tribosystému důležitou úlohu má nosná křivka drsnosti povrchu (Obr. 3b). Tato zase ukazuje jak narůstá nosná délka povrchu v přechodu profilem drsnosti směrem dovnitř materiálu a v provozu též jak se zvětšuje nosná délka povrchu s postupujícím opotřebením. [17]

Z nosné křivky je možno odvodit tzv. nosný podíl drsnosti povrchu (Obr. 4), který je daný poměrem nosné délky profilu v konkrétní jeho hloubce, k základní délce  $l$  podle vztahu:

$$Rmr_{(p)} = \frac{l_p}{l} [\%] \quad (6)$$



Obr. 3. Profilová a nosná křivka drsnosti povrchu



Obr. 4. Nosný podíl drsnosti povrchu

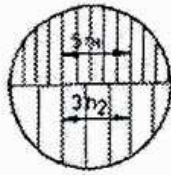
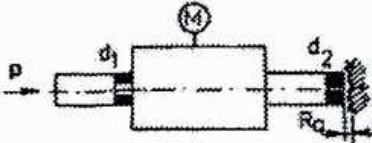
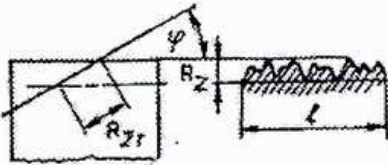
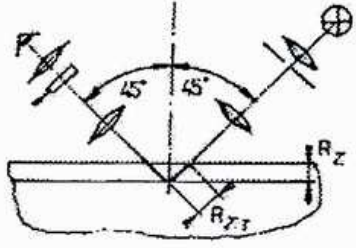
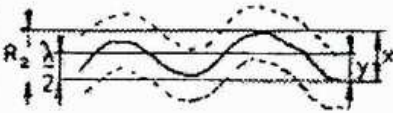
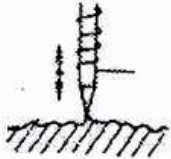
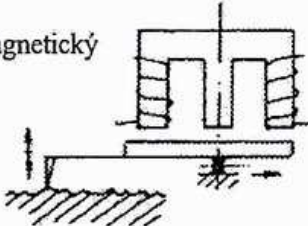
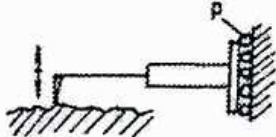
### 3.2.2. Metody a zařízení na měření drsnosti povrchu

Současné metody na měření drsnosti obrobených povrchů jsou založené na rozličných fyzikálních principech. Základní přehled takových principů ukazuje (Tab. 9).

Z uvedených metod nejrozpracovanější a nejpoužívanější jsou mechanicko-elektrické metody. Základní princip všech mechanicko-elektrických profiloměrů je v podstatě stejný. Změny polohy hrotu provádí snímač na analogové změny elektrického napětí nebo indukce. Tyto elektrické signály je možno už zpracovat v nejrůznějších elektrických obvodech.

Mechanicko-elektrické profiloměry mohou být dvojího typu, dílenské na operativní stanovení drsnosti povrchu a laboratorní na přesné měření a komplexní vyhodnocení drsnosti obrobených povrchů.

Tab. 9. Metody měření drsnosti povrchu

| Metóda                                  | Podstata metódy                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Schéma merania                                                                       |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Porovnávací mikroskop                   | V zornom poli okulára mikroskopu sa pozoruje obraz povrchu vzorky a obrobovku. Pri obrábání nožom s rovnakým $r$ možno z počtu stôp určiť približnú hodnotu drsnosti<br>$R_{z0} = \frac{5R_{zv}}{3}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
| Pneumatické meranie                     | Pri zmene drsnosti povrchu sa mení tlak, registrovaný manometrom<br>$p = f(Ra)$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
| Merací mikroskop (deštruktívne meranie) | Premeranie výstupkov a prehĺbenín pod mikroskopom na šikmom reze povrchom<br>$R_z = R_{zT} \sin \phi$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
| Dvojitý mikroskop                       | Úzky pásik svetla dopadá zo zdroja na povrch pod uhlom 45°. V okulári sledujeme obraz profilu povrchu v rovine sklonenej pod uhlom 45°<br>$R_z = R_{zT} \cos 45^\circ$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |
| Interferenčný mikroskop                 | V zornom poli okulára sa sleduje sústava interferenčných pásikov, ktoré sú deformované tvarom skúmaného povrchu<br>$R_z = \frac{x}{y} \frac{\lambda}{2}$ kde $\lambda$ je vlnová dĺžka svetla                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
| Elektromechanické metódy                | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Elektroindukčný snímač</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Elektromagnetický snímač</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Piezoelektrický snímač</p>  </div> </div> |                                                                                      |

## 4. VSTŘIKOVÁNÍ

Vstřikováním se nazývá takový způsob tváření polymerních materiálů, při kterém se plastikovaný materiál plní vysokou rychlostí (vstřikuje) do uzavřené dutiny formy, která je temperována. Materiál se plastikuje v plastikační jednotce, která je součástí vstřikovacího stroje. Plastikací rozumíme převedení materiálu do plastického stavu, zpravidla účinkem tepla. [3]

Vstřikování umožňuje ekonomicky produkovat kvalitní a rozměrově přesné výrobky. V jedné operaci můžeme získat finální výrobek, který můžeme expedovat bez dalších opracování přímo k spotřebiteli. Vstřikování termoplastů je nejrozšířenější technologií, kterou jsou polymerní směsi (granulát, aglomerát, prášek, pelety) převedeny do potřebného tvaru. Tento cyklický proces začíná s vybraným plastem a dále následují různé požadované předúpravy, dle typu polymeru, k zajištění nízkého obsahu vlhkosti a čistoty směsi. Tato směs je dále dopravena do násypky nad vstřikovací jednotkou, kde je postupně odebírána vlivem rotace šneku a posunuta směrem k vytápěným zónám válce. Přeměna do viskózního stavu je dosažena jednak kontaktem mezi granulátem a vytápěným válcem vstřikovací jednotky, kde je pak toto teplo předáno na materiál a dále pomocí mechanického tření mezi šnekem, materiálem a válcem, celý proces se nazývá plastikace. Cílem plastikace je zajistit teplotní homogenitu taveniny a nepoškodit hmotu. Teplota formy je při vstřikování termoplastů vždy nižší než teplota vstřikování.

Další zpracovací technologií je vstřikování termosetů. Materiály jsou na rozdíl od termoplastů v částečně viskózním stavu, což je způsobeno přísadami v základní směsi. U termosetů je teplota formy vyšší než teplota válce, protože u termosetů dochází k zafixování tvaru vlivem teploty. Termosety jsou zesíťované typy polymerů. Tyto materiály jsou charakteristické skutečností, že mohou být zahřány a zformovány do jedné molekuly. Již jednou vytvrzený materiál nemůže být znovu přetaven jako termoplastický materiál. Toto může často dát termosetům výhodu ve vlastnostech při zvýšených teplotách.

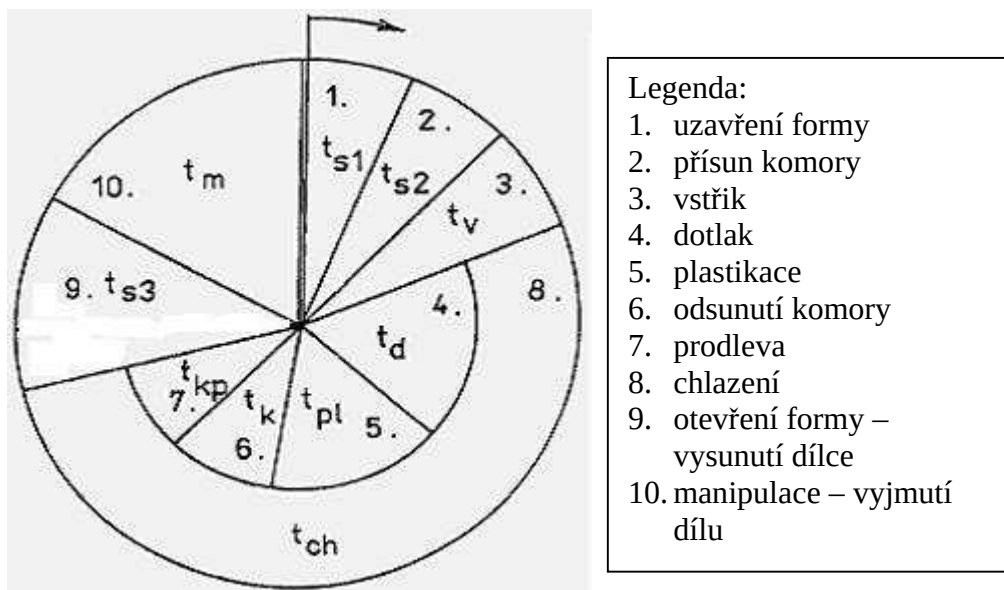
Šnekové vstřikovací stroje jsou z hlediska převodu tepla i toku polymerní směsi vyvážené a dovolují zpracovávat polymery, které se na pístových strojích vstřikovat nedají.

#### 4.1. Vstřikovací cyklus

Vstřikování je dějem cyklickým. Vstřikovací cyklus je tvořen sledem přesně specifikovaných úkonů charakterizovaných jednak stejnými hodnotami termodynamických veličin vstřikovaného plastu a jednak stejnou dobou trvání jednotlivých úkonů. Jedná se o proces neizotermický, během něhož plast prochází teplotním cyklem.

Při sledování vstřikovacího cyklu je nutno jednoznačně definovat jeho počátek. S výhodou lze za takový považovat okamžik odpovídající impulsu k zavření formy. Činnost šnekového stroje během vstřikovacího cyklu je znázorněna na schématu činnosti vstřikovacího stroje.

Vstřikovací cyklus (Obr.5) zahrnuje dvě oblasti; jedna se vztahuje k plastikační jednotce, druhá k formě. Forma se uzavírá uzavírací jednotkou, která může pracovat na mechanickém (kloubovém), hydraulickém nebo kombinovaném principu. Použitý mechanismus má vliv na rychlost uzavírání formy.



Obr. 5. Diagram časového sledu operací ve vstřikovacím cyklu stroje

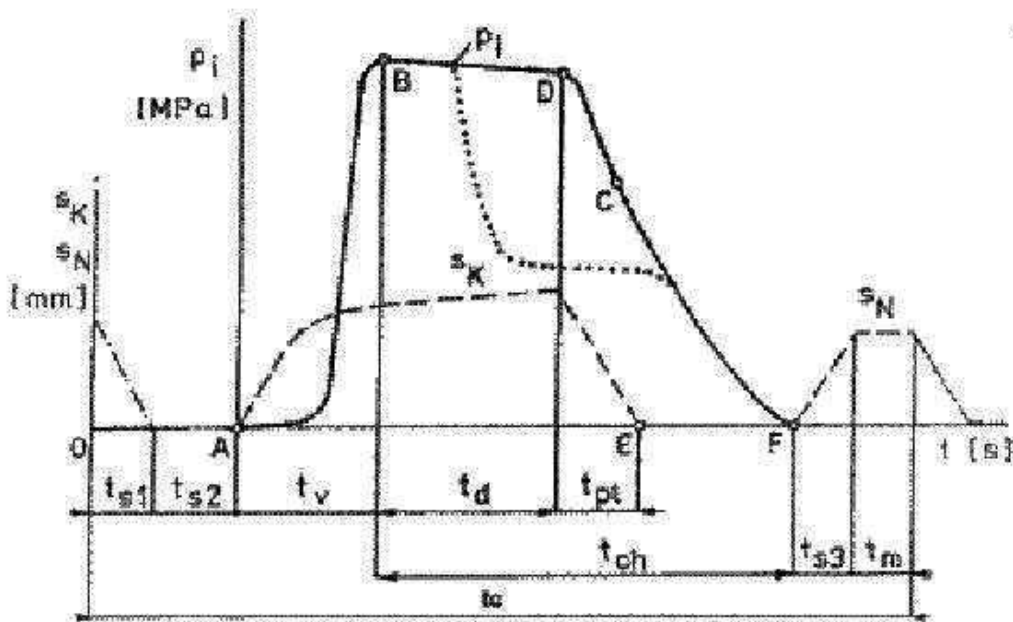
Jednotlivé úseky vstřikovacího cyklu trvají různě dlouho a jsou mimo jiné ovlivněny např. geometrií výstřiku a technologickými podmínkami vstřikování. Strojní doba na zavření formy  $t_{s1}$  a na otevření formy  $t_{s3}$  závisí na rychlosti pohybující se formy a na dráze, kterou musí forma urazit. Dráha otevření formy je dána rozměrem výstřiku ve směru otevírání formy a musí být tak velká, aby bylo možno výrobek z formy vyjmout, případně aby bylo dost prostoru pro činnost manipulátoru ve formě. Usiluje se o zkrácení strojní

doby na minimum. Toho se dosahuje zvýšením rychlosti pohybující se formy. U moderních strojů není tato rychlost po celé dráze stejná, nýbrž při zavírání se forma z počátku pohybuje velkou rychlostí, avšak těsně před dovřením formy se rychlost sníží, aby obě části formy na sebe dosedly měkce a forma se nárazem nepoškodila. Podobně i při otevírání formy je nejprve její rychlost vysoká a před dosednutím formy na vyhazovač se sníží, aby vyhazovací kolíky vysunuly výstřik z formy pomalu. Také doba na přisunutí tavicí komory k formě  $t_{s2}$  trvá velmi krátce. Celková doba všech strojních dob ( $t_{s1} + t_{s2} + t_{s3}$ ) nepřesahuje u strojů střední velikosti několik málo sekund. Kromě strojních dob, jež jsou součástí vstřikovacího cyklu, jsou další strojní doby překryty dobou chlazení. Jedná se o dobu na odsunutí tavicí komory od formy  $t_k$  a dobu prodlevy komory v odsunuté poloze  $t_{kp}$ . V této pozici komora zůstává až do opětného zavření formy, tj. do skončení  $t_{s1}$ , kdy je přisunuta k formě.

Doba plnění dutiny formy  $t_v$  závisí na rychlosti vstřikování, tj. na rychlosti pohybu šneku vpřed. Ta je však závislá na technologických podmínkách, zejména na teplotě taveniny a na vstřikovacím tlaku, vliv však má i teplota formy, objem výstřiku a jeho geometrický tvar, dále řešení vtokové soustavy a druh plastu. Pohybuje se od zlomku sekundy do několika málo sekund u výstřiků s velkou hmotností. Doba plnění má být co nejkratší, protože vstřikovaná tavenina se stykem s chlazenou formou ochlazuje a ztrácí tekutost, takže při dlouhé době by nezaplnila celou dutinu a vznikl by nedostříknutý zmetek.

Doba dotlaku  $t_d$  představuje nutnou prodlevu mezi ukončením plnění dutiny a počátkem plastikace. Její trvání závisí hlavně na průřezu vtokového kanálu a zpravidla činí několik sekund až desítky sekund.

Doba chlazení  $t_{ch}$  je nejdelší část cyklu a pohybuje se od několika sekund u tenkostěnných výstřiků do několika málo minut (2 až 3 minuty). Závisí na určující tloušťce stěny výstřiku, na druhu plastu, teplotě taveniny, teplotě formy a na teplotě výstřiku v okamžiku vyjímání z formy. Je snaha zkrátit ji na minimum účinným chlazením formy, zejména těch míst, v nichž hmota chladne nejpomaleji. Doba manipulace  $t_m$  slouží k provedení nutných úkonů při otevřené formě. [14]



Obr. 6. Diagram průběhu tlaku během vstřikovacího cyklu

Předpokládejme, že dutina formy je prázdná a forma je otevřená. V čase  $t = 0$  dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu. V časovém úseku  $t_{s1}$  se pohyblivá část formy přisune k pevné, forma se zavře a uzamkne. Tyto činnosti je nutné odlišit, protože na přisouvání formy se musí vynaložit jen malá přisouvací síla  $F_p$ , zatímco na uzamknutí je nutno vynaložit značně vyšší uzavírací sílu  $F_u$ , neboť musí být zaručeno, že se forma vlivem tlaku taveniny při vstřikování do formy neotevře. V časovém úseku  $t_{s2}$  se k formě přisune tavicí komora. Úseky  $t_{s1}$  a  $t_{s2}$  představují tzv. doby činnosti stroje. V okamžiku A se dává do pohybu šnek v tavicí komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty do dutiny vstřikovací formy. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a vlastně plní funkci pístu. S nepatrným časovým zpožděním začne reagovat tlakové čidlo umístěné v dutině formy a zaznamenává rychlý vzrůst tlaku taveniny ve formě.

#### 4.2. Materiály pro vstřikování

Termín polymer poukazuje na mnoho merů nebo monomerů. Tyto monomery jsou skládány různými způsoby, aby vytvořili dlouhý molekulární řetězec nebo polymer. Sousedící monomery uvnitř polymerního řetězce jsou drženy pospolu silnou kovalentní vazbou, která vyplývá z jejich sdílení elektronů. Daný polymerní řetězec může obsahovat stovky monomerních jednotek spojených různými způsoby. Tab. 10 ukazuje klasifikaci

běžných termoplastických polymerů dle struktury. Tři hlavní strukturní kategorie polymerů jsou popsány dále.

Lineární polymery – v těchto polymerech jsou molekuly spojeny společně v řetězci s malým nebo žádným větvením. Lineární polymery mohou také obsahovat náhodné kopolymery a blokové polymery. Náhodný kopolymer by mohl být tvořen ze dvou nebo více monomerních typů, které by se spojily v náhodné uspořádání.

Větvené polymery – mají boční řetězce, které vytváří sterické efekty. Toto může často způsobit sníženou hustotu. Nízko nebo středně hustotní polyethylen je polyethylen, který má boční větve. Tyto boční větve vytváří sterické zábrany co brání sousedním polymerním řetězcům od vzájemného přibližování, mající za následek sníženou hustotu a nižší pevnost.

Síťované polymery – tyto polymery mohou obsahovat miliony merů, ve kterých se kovalentní vazby vyskytovaly podél nebo mezi polymerními řetězci. Výsledkem může být produkt vyrobený z jediné polymerní molekuly.

Tab. 10. Klasifikace běžných termoplastických polymerů dle struktury

| Amorfní                      | Semikrystalické       | Amorfní nebo semikryst. |
|------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| ABS                          | Acetal                | Akrylonitril            |
| Akrylát                      | Celulóza              | Polyvinylidenfluorid    |
| Polyamid-imid                | Polyamid              | Polyethylentereftalát   |
| Polykarbonát                 | Polybutylen           | Polyfenylénsulfid       |
| Polyetherimid                | Tereftalát            | Polyvinylidenchlorid    |
| Polystyrén                   | Polyetheretherketon   | Polyimid                |
| Polysulfon                   | Polyethylen           |                         |
| Polyethersulfon              | Polypropylen          |                         |
| Polyvinylchlorid             | Polytetrafluorethylen |                         |
| Polychlorotrifluorethylen    | Ionomer               |                         |
| Polyfenylénoxid, modifikován | LCP                   |                         |
|                              | Polyaryletherketon    |                         |
|                              | Polyftalátimid        |                         |

### 4.3. Vstřikovací stroje

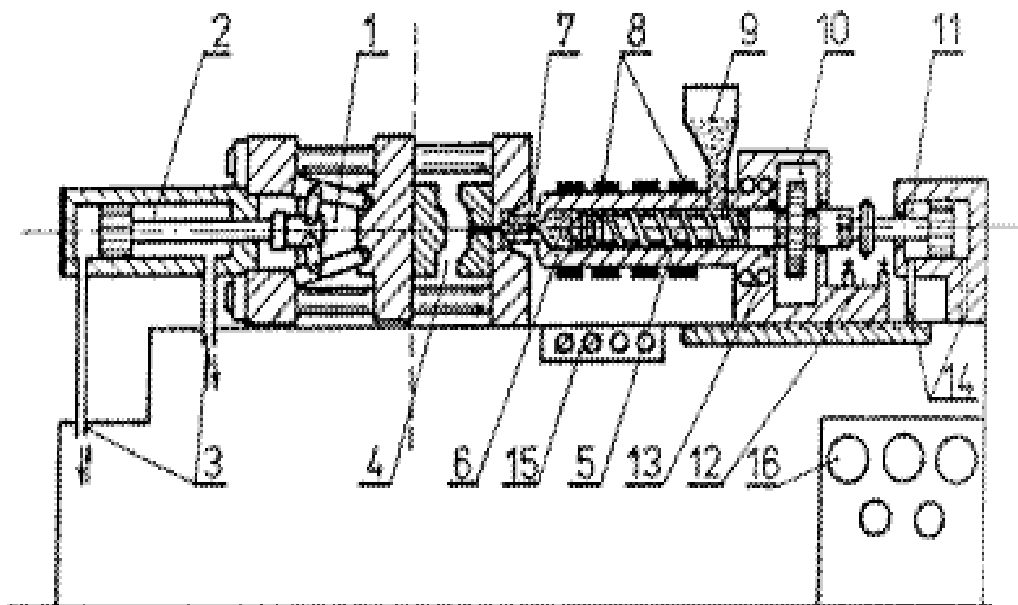
Vývoj technologie vstřikování souvisí velmi těsně s historií vývoje a výroby plastických hmot. Jako první plastická hmota se uplatnila nitrocelulóza, resp. její směs s kafrem. Roku 1870 američtí bratři Hyattové vyrobili první pístový vstřikovací stroj na obstřikování kovových dřevěných dílců. Na tomto stroji obstřikovali dřevěné držadlo štětky na holení směsi nitrocelulózy s kafrem. Vzhledem k hořlavosti a výbušnosti tohoto prvního termoplastu nebyla však tato výroba rozšiřována a dokonce byla po určité době zastavena. Přibližně 25 let po těchto začátcích byla objevena další termoplastická hmota – acetát celulózy, kterého se však z počátku používalo výhradně na nátěry a povlaky trupů letadel.

Teprve v letech 1917 až 1919 vyvinul v Berlíně Eichengrün zařízení na vstřikování a na tomto principu pan Buchholz postavil první skutečný vstřikovací stroj. Tento stroj se používal výhradně pro vstřikování acetátu celulózy. O deset let později se objevují na trhu další termoplasty, polymethylmetakrylát a polystyren a nová technologie začíná pomalu konkurovat lisování termosetů. Další rozvoj zaznamenalo vstřikování za druhé světové války, zejména po zavedení polyethylénu a polyamidu. [4]

Až zavedení nových plastikačních systémů v padesátých letech přineslo kvalitativní zvrat v technologii vstřikování. Systémy, u nichž je plastikační jednotka oddělena od vstřikovací jednotky (kombinace dvou či více pístových tavných komor, pístu se šnekem apod.) byly realizovány v malém měřítku. Z této konkurence vychází vítězně jednošnekový systém, u něhož je plastikační a vstřikovací jednotka společná a šnek koná nejen rotační (plastikace), ale i přímočarý axiální pohyb (vstřik). Tento princip se sice zkoušel již od roku 1943, ale průmyslově se začal používat až v od roku 1956, kdy se první sériové stroje objevili na trhu. Dnes již tento jednošnekový systém používají všechny moderní stroje pro technologii vstřikování pro všechny známé termoplasty.

Základní parametry vstřikovacího stroje je maximální vstřikovaný objem výstřiku, včetně vtokových zbytků, který lze vyrobit při jednom pracovním cyklu. Je dán součinem plochy čela šneku a jeho maximálního zdvihu. Další parametr stroje je vstřikovací kapacita stroje, udávající maximální hmotnost výstřiku v gramech. Plastikační výkon udává množství, které lze převést do homogenní taveniny za časovou jednotku. Dále bývá uváděn vstřikovací tlak, což udává tlak v MPa, který je vyvolán čelem šneku na taveninu. Mimo to je stroj charakterizován uzavírací silou, která je nezbytná k uzavření formy a silou

přidržovací, která je nutná k přidržení formy během vstřiku. Dále bývá udávána plocha upínacích desek a vzdálenost mezi sloupky. Jednoduchý výpočet uvádí následující vzorec.



Obr. 7. Schéma šnekového vstřikovacího stroje:

- 1 - kloubový uzavírací mechanismus, 2 - hydraulický válec s pístem, ovládající kloubový mechanismus, 3 - přívod a odvod kapaliny od čerpadla, 4 - vstřikovací forma, 5 - šnek, 6 - tavicí komora, 7 - tryska tavicí komory, 8 - odporové topení, 9 - násypka, 10 - hydraulický motor, 11 - hydraulický válec s pístem pro axiální pohyb šneku, 12 - koncové spínače, 13 - chladičí kanály, 14 - přívod hydraulické kapaliny, 15 - ovládací panel, 16 - regulace hydraulického systému stroje

## 5. KVALITA POVRCHU VSTŘIKOVANÝCH DÍLCŮ

Vedle požadovaných rozměrů je význačným znakem součásti z plastu jakost jejich povrchů. Vhodnou úpravou např. dezénem, barevností apod. se zvýší nejen estetický vzhled, ale i jejich účelové využití. Vyráběné součásti pak mají vhodný barevný odstín nebo jsou transparentní, případně se u nich dosahuje různé hladkosti a lesku povrchu, apod. Jakost povrchu je obrazem povrchu dutiny formy.

Plochy mohou být:

- matné, ty jsou výrobně nejjednodušší a proto ekonomicky nejvhodnější. Jsou tak výhodné v tom, že zakryjí některé vzhledové nedostatky při vstřikování, jako jsou studené spoje, stopy po vtoku apod.
- lesklé jsou nejnákladnější a nejnáročnější operace opracování dutiny formy a tím i pro docílení jakosti povrchu výstřiku. Stupeň lesku se předepisuje (vysoký, technický, ...). Na lesklém povrchu jsou zvýrazněny veškeré nedostatky výroby formy i výroby výstřiků. U většiny plněných plastů však nelze docílit lesklého povrchu součásti.
- dezénované plochy jsou také častou úpravou části nebo celého povrchu součásti. Dosáhne se tím zvýraznění některé její oblasti, snadnější manipulace, snížení průhlednosti apod. Tak jako u matných ploch zakryjí některé nedostatky a nepříznivé vzhledové vlastnosti plastů. Tvar dezénu může být jakýkoliv a zhotoven na libovolném místě součásti, je jen omezen možností jeho zhotovení ve formě. Charakter dezénu určuje výrobní technologie. Každá technologie má obvykle vzorník, podle kterého se provedení určí. Jen vyjíměčně se navrhuje speciální dezén, který se pak obvykle vyrábí ve formě fotochemickou cestou. Při volbě dezénu u bočních stěn se však nesmí zapomínat na nutnost zvětšení úkosů. Při hloubce dezénu 0,02 mm a výšce bočních stěn 50 mm je nutný úkos min. 1°.
- barevnost povrchu je jednou z vlastností, která ovlivňuje dojem o dané součásti. Její volba je dána druhem použitého plastu a možného barevného odstínu tohoto materiálu. Šíře barevnosti je dána vzorníkem, podle kterého je třeba se řídit. Při speciálním barevném požadavku je třeba materiál barevně upravit. Pokud ani tento způsob nevyhoví, přistoupí se k úpravě povrchu nátěrem. [6]

## 6. POVRCHOVÉ ÚPRAVY PLASTŮ

Stejně jako kovové materiály lze upravovat povrchy polymerních látek z důvodů funkčních i dekorativních.

Všechny požadované vzhledové úpravy povrchu výstřiku se vždy nerealizují ihned při vstřikování ve formě. Z technických nebo ekonomických důvodů se některé operace provedou až na hotovém výstřiku.

### 6.1. Barevné úpravy povrchu

Barevné úpravy povrchu výrobků z plastů se řadí mezi základní způsoby dekorace. Většinu barevných efektů se dosahuje barvami. Mimo požadavku barevnosti a kryvosti je důležitá příprava natíraného povrchu a volba správného druhu barvy s vhodným pojivem pro dosažení dobré adheze. Barví-li se stejným odstínem celý povrch výrobku nebo převážná část, lze použít některou z technik užívaných pro nanášení nátěrových hmot. Většinou se však požaduje úprava vícebarevná a složitých tvarů. Toho se docílí upravenými tiskovými technikami papíru a textilu. Základní metody potiskování lze rozdělit na:

- přímé (tisk z výšky, tisk z hloubky, sítotisk)
- nepřímé (tisk přenosem – ofset, razítkování, termotisk)

#### ***Potisk sítotiskem***

Ruční nebo mechanické provedení potisku přes vytvořený motiv na sítu ze speciálního materiálu a hustoty ok. Barva je přizpůsobena složení druhu materiálu součástí.

#### ***Potisk tampoprintem***

Pro použití různých nápisů a znaků se využívá na panelech, klávesnicích apod. K tomu je potřebné potiskovací zařízení (tampoprint) vybavené šablonami s nápisy a značkami. Práce spočívá v tom, že ze šablony vyplněné tenkou vrstvou barvy (0,02 mm) se tato barva přenesou pryžovým razníkem na požadované místo výstřiku. Nevýhodou je opět malá životnost potisku. Může se zvýšit překrytím průhledným polyuretanovým lakem.

#### ***Potisk horkým razníkem***

Podobná metoda jako sublimační, provádí se vystouplým nápisem přes speciální barevné folie (ražení za horka).

### ***Sublimační metoda***

Jednou z progresivnějších metod potisku je sublimační metoda. Způsob práce takového potisku je podobný jako u tampoprintu. Metodu však doplňuje technologie sublimování na speciálním zařízení. To tím způsobem, že při teplotě 145°C až 175°C se pryžový razník tlačí mírným tlakem na potisknuté místo. V důsledku teploty a tlaku nanesená barva difunduje do povrchových vrstev výstřiku (cca 0,02 mm). Životnost této metody je dostatečná. Nevýhodou je použití speciální barvy a tepelně odolnějších plastů.

## **6.2. Pokovování**

Pokovování (vytvoření kovového povlaku) povrchu výrobků z plastů má za následek dosažení efektního kovového vzhledu i změny řady vlastností:

- zlepšení mechanických vlastností, hlavně odolnosti proti opotřebení
- zmenšení navlhavosti, propustnosti kapaliny a plynu
- významně se zabrání přirozenému stárnutí plastů
- lepší se odolnost proti tvarování teplem
- obal z pokoveného plastu může sloužit k elektrickému nebo magnetickému stínění (Faradayova klec)
- zabraňuje tvorbě statické elektřiny

Podobně jako u kovových materiálů lze používané technologie rozdělit na:

### ***Chemické (bezproudové) pokovování***

Kov se na povrchu vylučuje z roztoků povlakového kovu působením redukčního činidla obsaženého v pokovovací lázni nebo dodaného na speciálně upravený povrch předmětů. Chemickým způsobem se nejčastěji provádí pokovení mědí nebo niklem. Kovová vrstva se vylučuje rovnoměrně nezávisle na tvaru výrobku, dosažitelná tloušťka je závislá na způsobu pokovení.

### ***Galvanické pokovování***

Pro tento způsob je nutná konduktance pokovovaného předmětu vytvořením základního vodivého povlaku obvykle chemickým redukčním pokovením. Tato základní vrstva ovlivňuje rozhodující mírou celkovou adhezi kovového povlaku. Dosažitelná tloušťka není omezena, může se skládat i z několika různých kovů. Nejčastěji se pokovují výrobky z ABS (dobrá adheze), lze však pokovovat i celou řadu plastů (PMMA, PTFE, PS).

### ***Napařování ve vakuu***

Provádí se při tlaku  $10^{-3}$  až 1 Pa vzhledem k tepelné vodivosti plastů bývá teplota ploch, na nichž má kov kondenzovat nízká (cca  $-120$  °C). Materiál, který chceme nanášet, se při zahřátí vypařuje a poté kondenzuje na vzorcích.

### ***Katodové napařování***

Vzhledem k použití vyšších tlaků (1 až 10 Pa) se tato metoda jeví jako vhodnější pro plasty uvolňující za nízkých tlaků těkavé produkty (PMMA, PVC). Vytvořená vrstva velmi dobře lne k povrchu. S výhodou se pokovuje těžkovitými kovy, rychlost napařování je malá. Mezi katodové napařování se řadí diodové a magnetronové napařování.

Při použití diodového napařování jsou v pracovní komoře vzorky umístěny na držáku, který je na zemním potenciálu a je současně anodou. Napařovaný materiál se nazývá target a je součástí katody. Pracovní komoru nejdříve vyčerpáme na tlak přibližně  $10^{-4}$  Pa. (Přestože je pracovní tlak o několik řádů vyšší, je toto vyčerpání nutné, abychom vyloučili vlivy běžné atmosféry). Po vyčerpání napustíme do pracovní komory pracovní plyn, jímž bývá nejčastěji argon. Tlak argonu se pohybuje v rozmezí přibližně 1 – 10 Pa v závislosti na geometrickém uspořádání a na dalších parametrech procesu. Nyní mezi anodu a katodu připojíme vysoké napětí o velikosti 1 – 5 kV a mezi elektrodami se zapálí výboj plynu. Argon zionizuje a vznikající kladné  $\text{Ar}^+$  ionty jsou účinkem elektrického pole urychlovány směrem ke katodě. Jejich energie je poměrně vysoká (10 – 5000 eV) a způsobuje vyražení atomů nebo skupin atomů z povrchu katody, které při vhodném uspořádání kondenzují na povrchu vzorků. Tento systém má některé nevýhody. První z nich je radiační poškození a nežádoucí ohřev povrchu vzorků, tzv. sekundárními elektrony, dopadajícími na vzorky. Jsou to elektrony vznikající při ionizaci argonu. Druhou nevýhodou je malá depoziční (naprašovací) rychlost.

Tyto nevýhody odstranilo použití magnetronové napařovací katody a napařování doznalo velkého rozmachu. Výše popsaný princip zůstává zachován, liší se však geometrickým uspořádáním a hlavně konstrukcí katody. Ze zadní strany katody je umístěn silný magnet (elektromagnet nebo častěji permanentní magnet). Elektrony jsou nyní vystaveny jednak působení elektrického pole mezi anodou a katodou a jednak působení magnetického pole permanentního magnetu. Část elektronů dopadá na anodu, (která nyní není nosičem vzorků), většina se ale pohybuje po cykloidních drahách. Jejich dráha je

oproti diodovému systému značně prodloužená, čímž se podstatně zvýší ionizace argonu a to v oblasti kde je to žádoucí, tzn. v oblasti katody.

### ***Žárové stříkání kovů (metalizace)***

Na rozdíl od předchozích povlaků je vytvořená vrstva pórovitá a propouští např. vlhkost. Nanášejí se většinou kovy a slitiny s nízkou teplotou tání aby nedocházelo k tepelné degradaci polymeru. [12,13]

## **6.3. Popisování laserem**

Popisování výstřiků laserem je tepelné opracování, kterého lze použít u všech plastů, ale s určitými rozdíly v jejich vzhledu. Způsob je rychlý a zaručuje opticky vysoce hodnotný popis. Vyžaduje však nákladné laserové zařízení. Výhodou je, že se pohybuje jen laserový paprsek. Tím se docílí velké rychlosti popisu. Rozsah využití je velký.

Mimo tyto technologie existuje ještě řada méně používaných způsobů úpravy povrchů, např. laminováním, tapetováním apod. Tyto metody však mají jen speciální využití. [6]

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

### 7. STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pro získání požadované kvality výrobků je nutno vytvořit požadovanou negativ povrchu na ploše, která bude tvořit obraz ve vstřikovací formě pro vstřikovaný dílec. Tato kvalita je závislá od požadavků na výrobek, které musí být předem stanoveny, aby byl naplánován technologický postup výroby a nedošlo k případným zbytečným operacím, které by se odrazily jak ve zvýšené ceně formy, tak jako v nevyhovující kvalitě dílů.

Je nutno si uvědomit, že jednotlivé, v teoretické části představené, dokončovací operace kladou různé požadavky na způsob opracování a dále vyžadují odlišné pracovní podmínky a tím i časovou náročnost.

Cílem této diplomové práce je posouzení vlivu dokončení povrchu formy na výslednou kvalitu povrchu výrobku pro různou úpravu ploch formy a najít hranici, po kterou je úprava povrchu efektivní a za kterou je další opracování zbytečné. Dále vliv typu plastu, nastavení vstřikovacího lisu – času dotlaku a finálně povrchové úpravy vzorků - pokovení.

Pro základní posouzení kvality ploch vstřikovaných dílů bylo nutno upravit již existující vstřikovací formu, vytvořit její výrobní výkresy a provést vlastní vstřikování za stanovených podmínek a pro zvolené materiály.

Pro vyhodnocení kvality bylo použito měření drsnosti jak vzorků ve formě, tak i jejich otisků, zobrazených na vstřikovaných dílech, za stanovených podmínek vstřikování a typů materiálů.

## 8. PRAKTICKÁ ČÁST

Pro vytvoření vzorků pro vyhodnocení byla upravena konstrukce vstřikovací formy jejichž výkresy jsou v příloze. Upravená vstřikovací forma byla použita pro výrobu vzorků na vstřikovacím lisu Engel ES 330/80.

Parametry posuzované pro vliv na kvalitu plochy:

- vložky formy byly vyhotoveny s různou drsností, celkem 7 ks.
- pro další srovnání byly použity dva typy materiálů (PC – Makrolon 2405 a ABS – Sinkral C442).
- výroba 20-ti vzorků od každého materiálu a pro každý vzorek povrchu, z nichž 10 bylo následně povrchově upraveno - pokoveny na stroji D2H.
- pro vliv nastavení vstřikovacích podmínek byl nastaven odlišný čas dotlaku A a B.

### 8.1. Příprava vzorků

Pro vyhodnocení kvality povrchu a jeho schopnosti se obtisknout na plastový výlisek bylo připraveno celkem 7 vzorků ocelových destiček z materiálu 19 552 a tvrdostí 47+2 HRC. Pro jednotlivé vzorky byly použity odlišné postupy pro získání požadované drsnosti.

Kvalita ploch - drsnost jednotlivých vzorků byla odstupňována vzestupně od nejlepší (vzorek č.1) až po nejhorší (vzorek č.7).

Pro všechny vzorky (kromě č.6 a č.7) byl použit výchozí povrch desky  $R_a = 0,25 \mu\text{m}$  broušený na rovinné brusce.

#### Vzorek č.1.:

##### Pracovní postup:

1. Brousící hranol Minimo 320
2. Brousící hranol Minimo 600
3. Brousící hranol Minimo 1000
4. Tvrdé dřevo + leštící pasta Novapax  $20 \mu\text{m}$
5. Filc + leštící pasta Novapax  $40 \mu\text{m}$
6. Filc + leštící pasta Novapax  $20 \mu\text{m}$
7. Filc + leštící pasta Novapax  $10 \mu\text{m}$
8. Filc + leštící pasta Novapax  $5 \mu\text{m}$
9. Plátno + leštící pasta Novapax  $5 \mu\text{m}$
10. Vata + leštící pasta Novapax  $5 \mu\text{m}$
11. Vata + leštící pasta Novapax  $1 \mu\text{m}$

**Vzorek č.2.:****Pracovní postup:**

1. Brousící hranol EDM B 600
2. Brousící hranol MFI 600
3. Lapovací deska + lešt.pasta JOKE Magic 15  $\mu\text{m}$
4. Lapovací deska + lešt.pasta JOKE Magic 7  $\mu\text{m}$

**Vzorek č.3.:****Pracovní postup:**

1. Brousící hranol Minimo 600
2. Leštící přístroj Eneska 3-1 + filc s leštící pastou Novapax 20  $\mu\text{m}$
3. Vata + leštící pasta Novapax 10  $\mu\text{m}$

**Vzorek č.4.:****Pracovní postup:**

1. Brousící hranol Bellstone 320
2. Brousící hranol Bellstone 800
3. Vata + leštící pasta Novapax 40  $\mu\text{m}$

**Vzorek č.5.:****Pracovní postup:**

1. Brousící hranol Minimo 600

**Vzorek č.6.:**

**Pracovní postup:** broušení na rovinné brusce, příčný posuv  
0,5 mm, bez dalších úprav povrchu

**Vzorek č.7.:**

**Pracovní postup:** broušení na rovinné brusce, příčný posuv  
1,5 mm, bez dalších úprav povrchu

Dokončení ploch povrchů desek bylo provedeno leštící technikou k získání co nejkvalitnějších povrchů. Výchozí materiál byl použit s drsností po rovinné brusce ( $R_a = 0,25 \mu\text{m}$ ).

## 8.2. Parametry vstřikovacího stroje ENGEL ES 330/80

Vstřikovací forma pro výrobu porovnávacích vzorků byla upnuta na vstřikovací lis Engel ES 330/80, jehož parametry, také i parametry nastavení pro jednotlivé materiály a podmínky vstřikování A a B jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tab. 11-15).

Pro zjištění vlivu vstřikovacích parametrů byl nastaven odlišný čas dotlaku, jakožto parametr, který má vliv na finální doplnění dutiny a tím i kvalitu kopírování plochy formy na výrobek.

Z důvodu chybějící teploty formy byla forma netemperována, ale pro zajištění vyšší teploty formy byla forma na začátku výroby vzorků ponechána 20 minut v produktivním stavu, aby došlo k jejímu zahřátí a lepším pracovním podmínkám.

Tab. 11. Parametry uzavírací jednotky

|                      | Jednotka | Hodnota   |
|----------------------|----------|-----------|
| Uzavírací síla       | kN       | 800       |
| Max.otevření         | mm       | 310       |
| Min.výška formy      | mm       | 150       |
| Max.výška formy      | mm       | 430       |
| Max.chod vyhazovače  | mm       | 100       |
| Rozměry upín. desek  | mm       | 570 x 552 |
| Rozměry mezi sloupky | mm       | 405 x 345 |

Tab. 12. Parametry vstřikovací jednotky

|                            | Jednotka        | Hodnota  |
|----------------------------|-----------------|----------|
| Průměr šneku               | mm              | 30       |
| L/D poměr                  | 1               | 20       |
| Vstřikovací tlak           | bar             | 2200     |
| Zdvihový objem             | cm <sup>3</sup> | 113      |
| Max.dráha trysky           | mm              | 200      |
| Přítlačná síla trysky      | kN              | 47       |
| Instalované vytápění válce | kN              | 6,8      |
| Počet topných pásem        |                 | 3+tryska |

Tab. 13. Parametry vstřikovacího stroje

|                   | Jednotka        | Hodnota         |
|-------------------|-----------------|-----------------|
| Olejová náplň     | dm <sup>3</sup> | 155             |
| Čerpací zařízení  | kW              | 15              |
| Čistá hmotnost    | kg              | 3 100           |
| Rozměry L x B x H | m               | 4,215x1,32x1,52 |

Tab. 14. Nastavení vstřikovacích parametrů lisu pro materiál Makrolon 2405

| Materiál: PC - Makrolon 2405 |     |    |    |                  |    |    |     |    |    |     |  |
|------------------------------|-----|----|----|------------------|----|----|-----|----|----|-----|--|
| Teplota válce (°C)           | 290 |    |    | 300              |    |    | 290 |    |    | 280 |  |
| Rychlost vstřiku (mm/s)      | 10  | 15 | 20 | 20               | 20 | 20 | 20  | 20 | 15 | 10  |  |
| Bod přepnutí (mm)            | 8   |    |    |                  |    |    |     |    |    |     |  |
| Dotlak (bar)                 | 50  | 50 | 50 | 40               | 40 | 40 | 40  | 30 | 30 | 30  |  |
| Čas dotlaku (s)              | A:  | 1  |    | Čas chlazení (s) |    |    |     |    | A: | 19  |  |
|                              | B:  | 5  |    |                  |    |    |     |    | B: | 15  |  |
| Dávka (mm)                   | 25  |    |    |                  |    |    |     |    |    |     |  |
| Rychlost dávk. (ot/min)      | 30  |    | 30 |                  | 30 |    | 30  |    | 30 |     |  |
| Zpětný tlak (bar)            | 8   |    | 8  |                  | 8  |    | 8   |    | 7  |     |  |
| Dekomp. po dávk. (mm)        | 6   |    |    |                  |    |    |     |    |    |     |  |
| Uzavírací síla (kN)          | 700 |    |    |                  |    |    |     |    |    |     |  |

Tab. 15. Nastavení vstřikovacích parametrů lisu pro materiál Sinkral C442

| Materiál: ABS – Sinkral C442 |     |    |    |     |                  |    |     |    |    |     |    |
|------------------------------|-----|----|----|-----|------------------|----|-----|----|----|-----|----|
| Teplota válce (°C)           | 240 |    |    | 250 |                  |    | 240 |    |    | 230 |    |
| Rychlost vstřiku (mm/s)      | 40  | 50 | 60 | 70  | 70               | 70 | 70  | 60 | 50 | 30  |    |
| Bod přepnutí (mm)            | 8   |    |    |     |                  |    |     |    |    |     |    |
| Dotlak (bar)                 | 60  | 60 | 60 | 55  | 55               | 50 | 50  | 40 | 40 | 30  |    |
| Čas dotlaku (s)              | A:  |    | 1  |     | Čas chlazení (s) |    |     |    | A: |     | 19 |
|                              | B:  |    | 12 |     |                  |    |     |    | B: |     | 12 |
| Dávka (mm)                   | 25  |    |    |     |                  |    |     |    |    |     |    |
| Rychlost dávk. (ot/min)      | 20  |    | 25 |     | 25               |    |     | 25 |    | 25  |    |
| Zpětný tlak (bar)            | 5   |    | 6  |     | 6                |    |     | 6  |    | 6   |    |
| Dekomp. po dávk. (mm)        | 1   |    |    |     |                  |    |     |    |    |     |    |
| Uzavírací síla (kN)          | 700 |    |    |     |                  |    |     |    |    |     |    |

Tabulky nastavení jsou uvedeny dle parametrů nastavení vstřikovacího stroje, kde teplota válce uvádí 4 topné pásma (1.pásma je tryska), rychlosti vstřiku určují počet pásem, ve kterých je proveden profil vstřiku.

### 8.3. Použité materiály pro vstřikování vzorků

Pro přípravu vzorků byly použity 2 typy materiálů pro zjištění zda-li jednotlivé typy mají vliv na kvalitu kopírovaného povrchu.

Prvním porovnávaným materiálem je PC - Makrolon 2405 od firmy Bayer, tento typ je určen pro vstřikování, určen pro obecné použití a jeho vlastnostmi je nízká viskozita a lepší odformování.

Druhým materiálem je ABS – Sinkral C442 od firmy Tekuma. Tento typ je tepelně odolný, nabízející dobrou tekutost a rázovou houževnatost společně s vynikající tepelnou stabilitou během zpracování. Je také vhodný pro samozabarvování.

Důvodem pro výběr těchto materiálů byl, že každý materiál prokazuje odlišné vlastnosti jak z hlediska reologie, tak požadavků na podmínky vstřikování.

Tab. 16. Materiálový list pro Makrolon 2405

| Vlastnost               | Podmínky       | Jednotka          | Hodnota   | Standard       |
|-------------------------|----------------|-------------------|-----------|----------------|
| Index toku taveniny     | 300°C; 1,2 kg  | g/(10 min)        | 20        | ISO 1133       |
| Smrštění                |                | %                 | 0,5 – 0,7 | dle ISO 2577   |
| Hustota                 |                | kg/m <sup>3</sup> | 1200      | ISO 1183       |
| Mez pevnosti            | 50 mm/min      | MPa               | 2400      | ISO 525-1,-2   |
| Modul pevnosti v tahu   | 1 mm/min       | MPa               | 2400      | ISO 525-1,-2   |
| Mez pevnosti v ohybu    | 2 mm/min       | MPa               | 98        | ISO 178        |
| Modul v ohybu           | 2 mm/min       | MPa               | 2350      | ISO 178        |
| Charpy vrubová houž.    | 23 °C, 3 mm    | kJ/m <sup>2</sup> | 60P       | dle ISO 179    |
| Charpy vrubová houž.    | -30 °C, 3 mm   | kJ/m <sup>2</sup> | 12C       | dle ISO 179    |
| Tvrdost vtisku kuličkou |                | N/mm <sup>2</sup> | 115       | ISO 2039-1     |
| Teplota skel.přechodu   | 10 °C/min      | °C                | 145       | ISO 11357-1,-2 |
| Vicat teplota měknutí   | 50 N; 120 °C/h | °C                | 146       | ISO 306        |

Tab. 17. Materiálový list pro Sinkral C442

| Vlastnost             | Podmínky       | Jednotka          | Hodnota   | Standard     |
|-----------------------|----------------|-------------------|-----------|--------------|
| Index toku taveniny   | 220°C; 10 kg   | g/10 min          | 6         | ISO 1133     |
| Smrštění              |                | %                 | 0,4 – 0,6 |              |
| Hustota               |                | g/cm <sup>3</sup> | 1,04      | ISO 1183     |
| Pevnost v tahu        | 50 mm/min      | MPa               | 43        | ASTM D 638   |
| Mez pevnosti v ohybu  | 2 mm/min       | MPa               | 65        | ASTM D 790   |
| Modul v ohybu         | 2 mm/min       | MPa               | 2300      | ASTM D 790   |
| Charpy vrubová houž.  | 23 °C, 3 mm    | kJ/m <sup>2</sup> | 12        | DIN 53453    |
| Tvrdost Rockwell      |                | R                 | 110       | ISO 2039/2   |
| Vicat teplota měknutí | 50 N; 120 °C/h | °C                | 108       | ISO 306/B120 |

#### 8.4. Pokovení vzorků

Ve firmě Automotive Lighting jsou použity dva typy nanášení vrstev hliníku.

- **vakuové napařování**, při kterém se materiál, který chceme nanášet, při zahřátí vypařuje a poté kondenzuje na vzorcích.
- **magnetronové naprašování**, které patří mezi katodové naprašování.

Popis jednotlivých metod je uveden v kap. 6.2.

Pro posouzení vizuální kvality dílu je ve firmě používán stroj D2H. Jedná se o 2-komorový stroj, pracující na principu magnetronového naprašování a nevyžaduje žádné přípravky pro upnutí vzorků. Také proces je kratší, protože neobsahuje finální fázi, která utváří ochrannou vrstvu na naneseném materiálu.

## 9. DISKUZE VÝSLEDKŮ

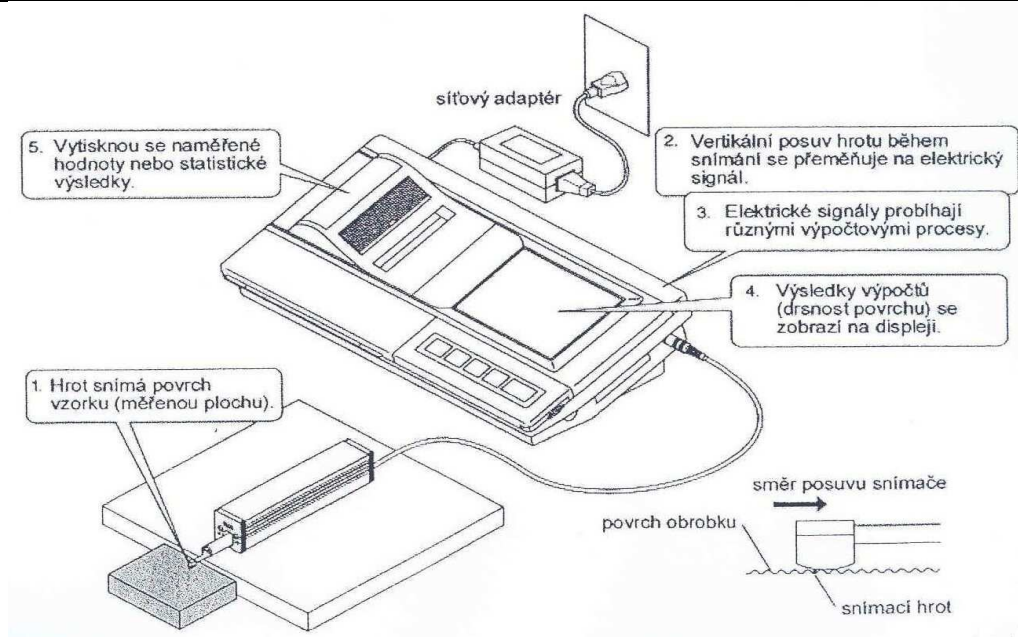
### 9.1. Měření drsnosti

Měření drsnosti je metoda pro měření povrchu k posouzení kvality z hlediska mikrogeometrie. Pro měření drsnosti byl použit přístroj Mitutoyo Surftest SJ-301 (Obr.8), který patří mezi dílenské profiloměry. Přístroj je lehký a lehce ovladatelný, velikostí se podobá notebooku. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách a vyhodnoceny v grafech, současně s jejich průměrnými hodnotami (P I až XVI).

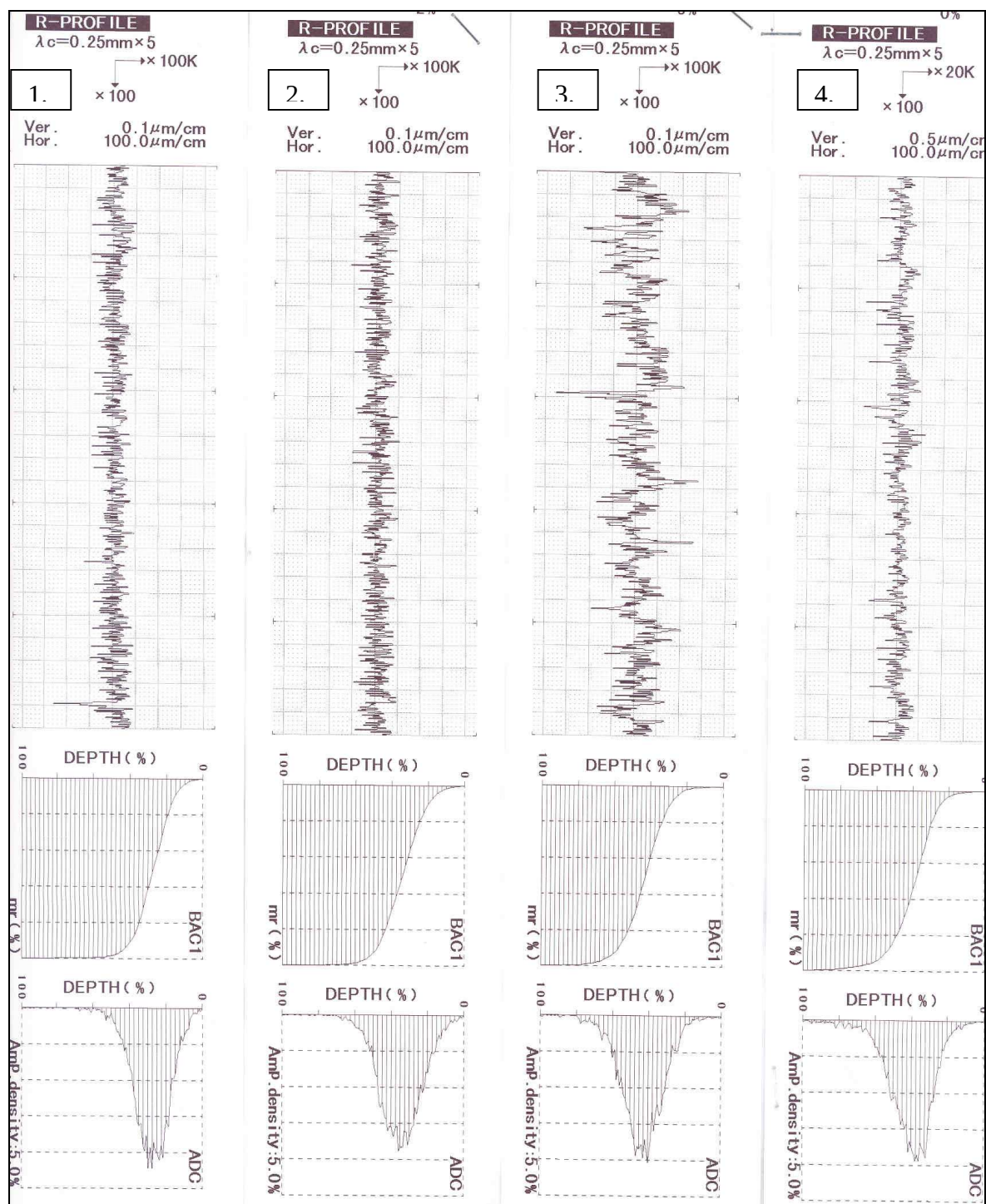
Pro vlastní měření byl nastaven měřicí profil R, filtr GAUSS, délka měřeného úseku  $\lambda_C = 0,25$  mm, počet měření  $N = 5$ , rychlost 0,25 mm/s. Byly vyhodnoceny a zaznamenány hodnoty  $R_a$  a  $R_z$ .

Tab. 18. Základní specifikace přístroje Surftest SJ-301

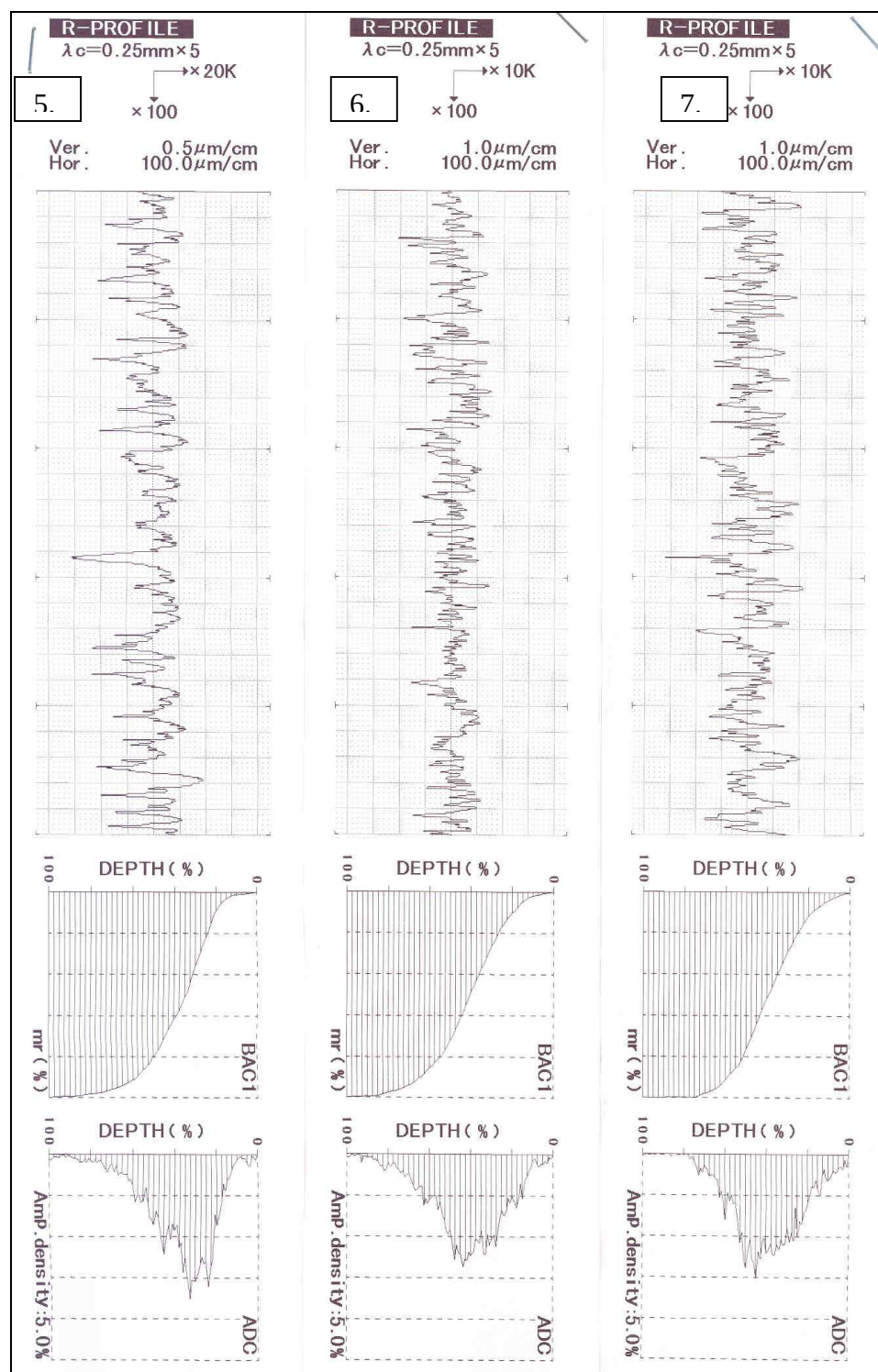
| Parametr                | Hodnota                                                                                                                                                                                          |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Maximální měřicí rozsah | 300 $\mu\text{m}$ ( $\pm 150$ $\mu\text{m}$ )                                                                                                                                                    |
| Měřený profil           | P, R, DIN 4776, MOTIF                                                                                                                                                                            |
| Parametry měření        | $R_a$ , $R_z$ , $y$ , $R_t$ , $R_p$ , $R_q$ , $R_{3Z}$ , $P_c$ , $S_m$ , $S$ , $m_r$ , $d_c$ , $R_{pk}$ , $R_{vk}$ , $R_k$ , $Mr_1$ , $Mr_2$ , $A_1$ , $A_2$ , $R$ , $AR$ , $R_x$ , $Lo$ , $PPI$ |
| Filtr                   | 2RC, PC75, GAUSS                                                                                                                                                                                 |
| Délka měření            | 0,25; 0,8; 2,5; 8 mm                                                                                                                                                                             |
| Počet vzorových délek   | 1, 3, 5 a L                                                                                                                                                                                      |
| Rozlišení               | 0,01 $\mu\text{m}$ (10 bitu)                                                                                                                                                                     |
| Nastavení stat.dat      | Střední hodnota, max., min., sm. odchylka (jeden parametr na profil), vyhodnocení GO/NG (UL/LL, tři parametry na profil)                                                                         |



Obr. 8. Schéma zapojení přístroje Surftest SJ-301

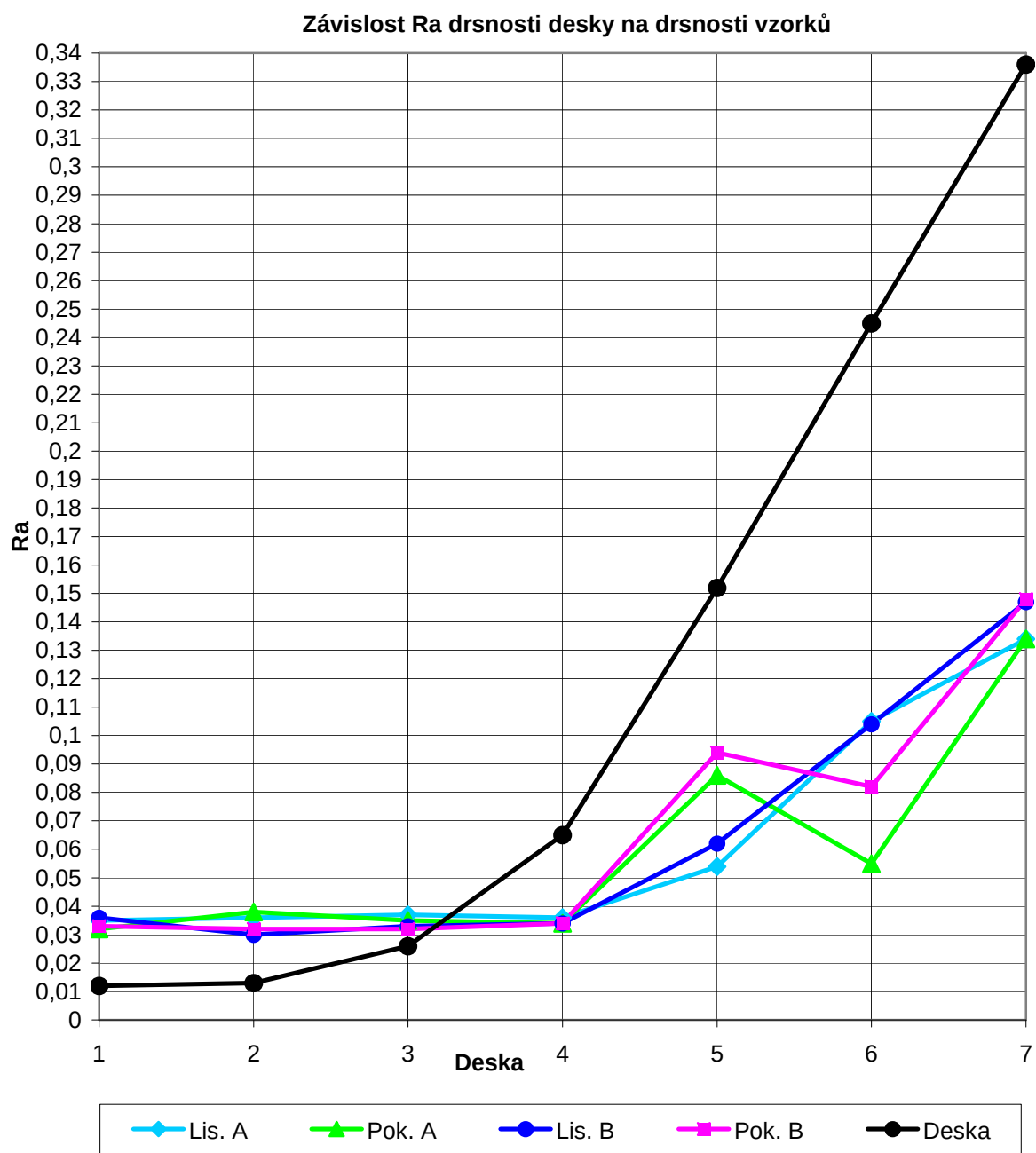


Obr. 9. Grafický výstup z přístroje Surf test SJ-301 pro desky formy 1-4

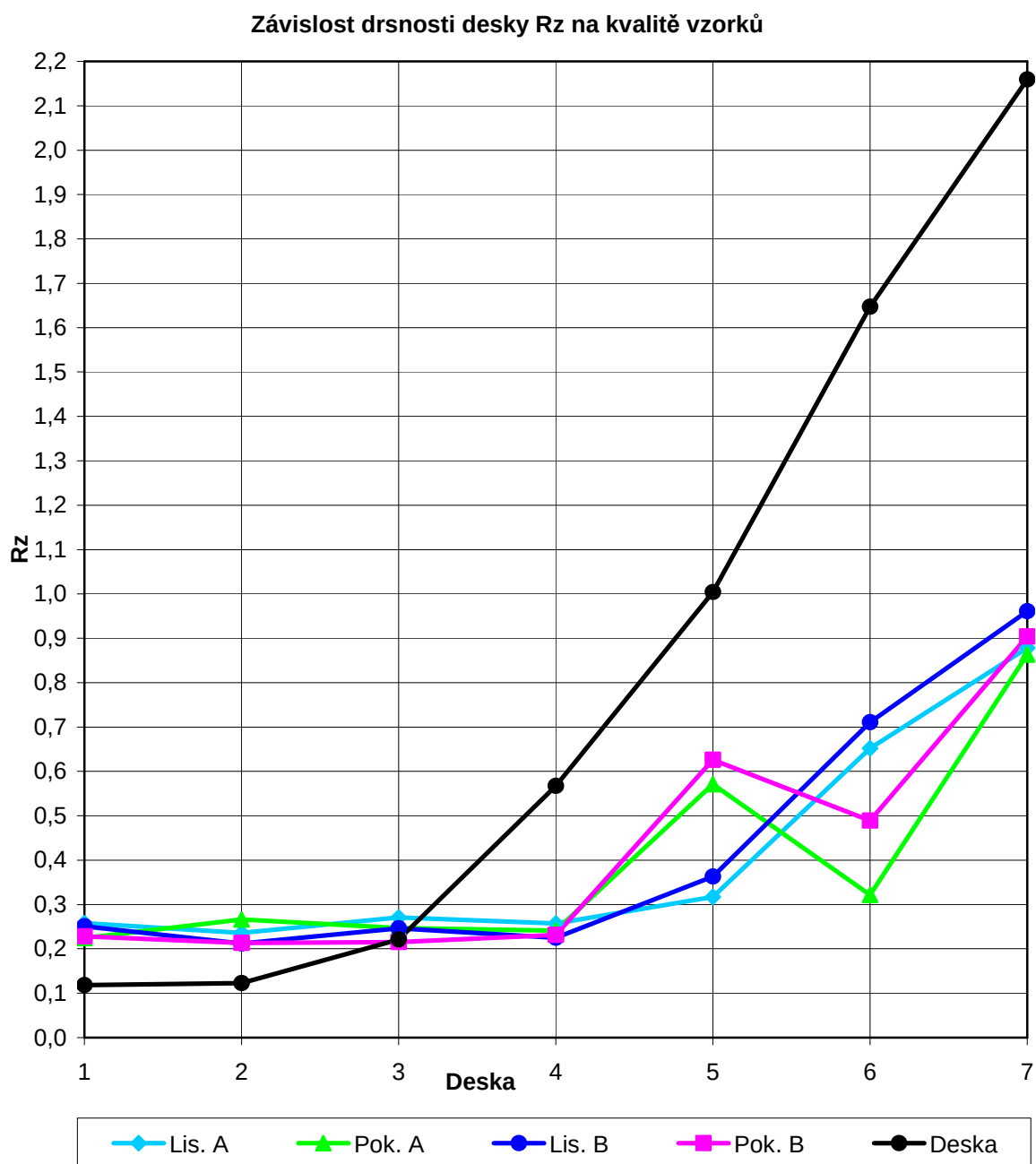


Obr. 10. Grafický výstup z přístroje Surftest SJ-301 pro desky formy 5 - 7

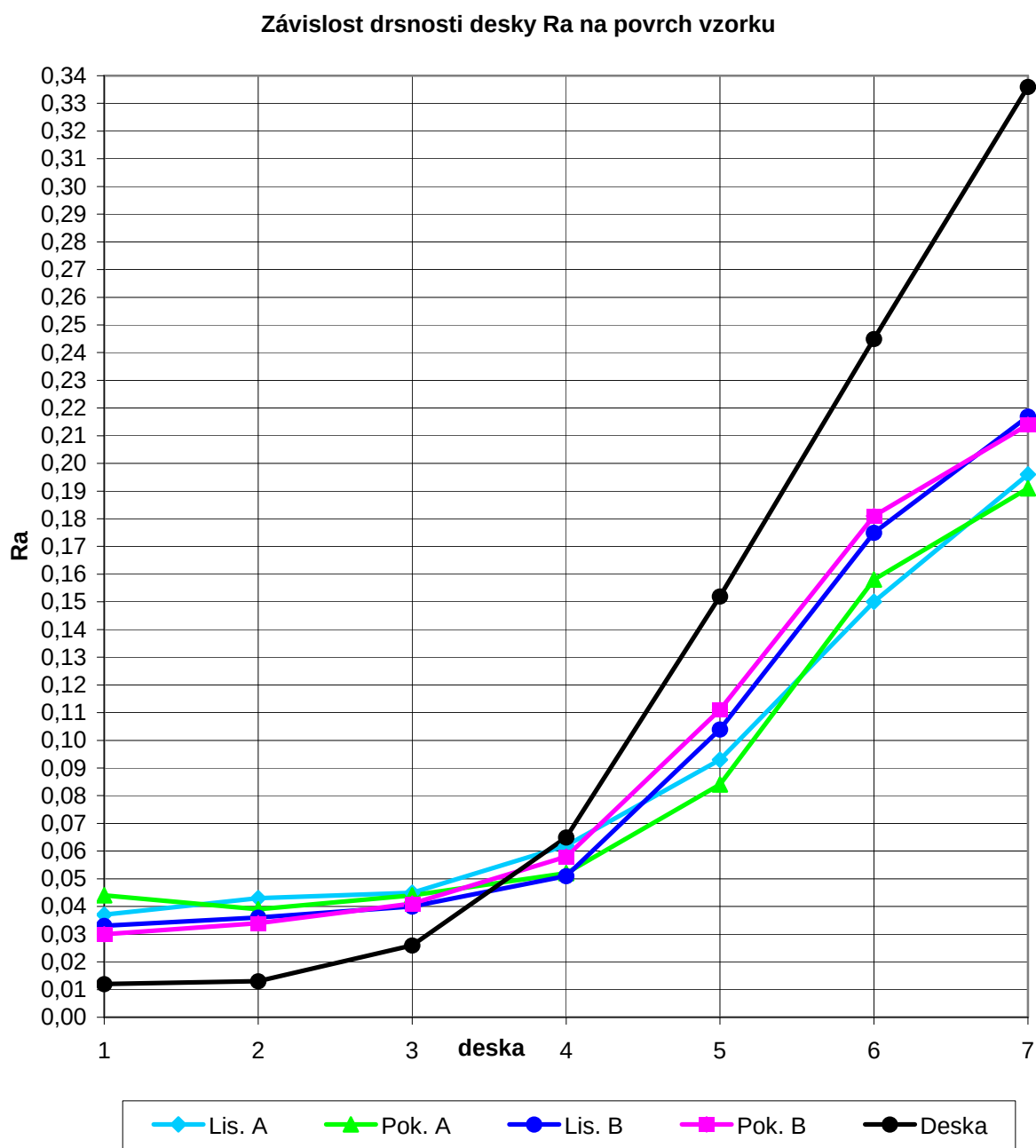
Graf č.1. Závislost Ra drsnosti desky formy na drsnosti vzorků - Makrolon 2405



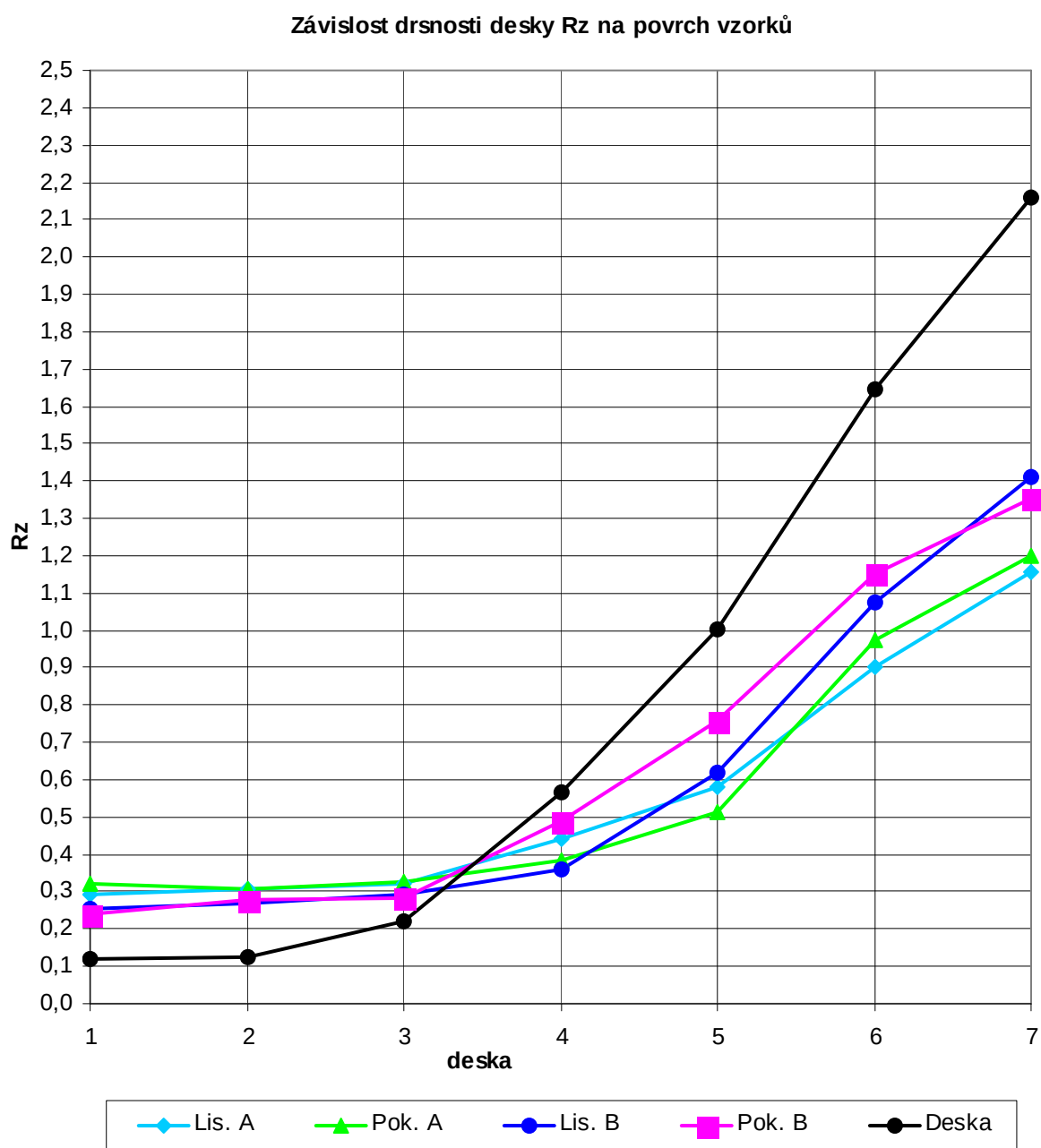
Graf č.2. Závislost Rz drsnosti desky formy na drsnosti vzorků - Makrolon 2405



Graf č.3. Závislost Ra drsnosti desky formy na drsnosti vzorků - Sinkral C442



Graf č.4. Závislost Rz drsnosti desky formy na drsnosti vzorků - Sinkral C442



Měření drsnosti vzorků nám ukazují, že kopírování povrchu desek na povrch vzorků je patrné jen do určitého stupně a za ní je již tato drsnost neefektivní. Například již v porovnání pracovních postupů desek č.1 a č.2, kde není patrný téměř žádný rozdíl v drsnosti, je pro desku č.1 pracovní proces o několik kroků rozsáhlejší, což se negativně odráží v nákladech na pořízení této plochy. Toto je vidět v grafickém vyjádření závislosti desek a vzorků (Grafy č.1 a č.3), kde je nalezena jistá hranice, při které již povrch vzorku nekopíruje desku formy. Tato hranice se nachází pro oba použité materiály (Makrolon 2405 i Sinkral C442) v rozmezí drsnosti desek formy č.3 ( $R_a = 0,026 \mu\text{m}$ ) a č.4 ( $R_a = 0,065 \mu\text{m}$ ). Při vzhledovém posouzení ploch je rozdíl mezi deskami č.1 a č.2 nulový, u dalších vzorků se kvalita povrchu zhoršuje a jsou patrné značné stopy po leštící pastě a také stopy po brousícím nástroji.

## 9.2. Vizuální posouzení vzorků

Pro další zhodnocení kvality povrchu je použita vizuální metoda. Jedná se o posouzení kvality výrobku z hlediska estetického. Tato metoda je hlavní metodou pro posuzování kvality výrobků ve firmě Automotive Lighting, s.r.o. a to v každé fázi výrobního toku od vstřikovacího stroje až po finální montáž světlometu a jeho balení k expedici. Slouží hlavně k zachycení vad výrobků, jako jsou drobné škrábance, mlžiny apod. Pro toto posouzení bohužel neexistuje automatický proces, který by odstranil lidskou práci a neméně i nepřesnost při posuzování jednotlivými osobami.

I když k posouzení kvality výrobků a estetického vyjádření každé vady by mělo být přihlíženo až při kontrole celého světlometu, musí k ní docházet na 100 % již při kontrole výrobků během procesu pro zamezení velké zmetkovitosti a její třídění na montážní lince a tím ke ztrátovým časům.

Pro posouzení vyrobených vzorků jsem použil stejné parametry pro co nejlepší a vyrovnané srovnání ploch a eliminování odlišného pohledu na vzhled vzorků. Posouzení vzhledu vzorků je zobrazeno v následujících tabulkách (Tab. 19 a 20).

Tab. 19. Posouzení vizuální kvality pro vzorky z Makrolon 2405

| Vzorek č. | Kvalitativní zhodnocení                                                                                                   |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. A      | Díly vykazují vysoký zrcadlový lesk se zvýšenou vlnitostí povrchu nebo-li propady.                                        |
| 1. B      | Díly vykazují vysoký zrcadlový lesk bez dalších optických vad.                                                            |
| 2. A      | Díly vykazují vysoký zrcadlový lesk se zvýšenou vlnitostí povrchu nebo-li propady.                                        |
| 2. B      | Díly vykazují vysoký zrcadlový lesk bez dalších optických vad.                                                            |
| 3. A      | Díly vykazují vysoký zrcadlový lesk s patrnými lineárními stopami po předešlém způsobu opracování a nerovností povrchu.   |
| 3. B      | Díly vykazují vysoký zrcadlový lesk s patrnými lineárními stopami po předešlém způsobu opracování bez nerovností povrchu. |
| 4. A      | Díly vykazují zrcadlový lesk, který je již výrazně narušen stopami po leštícím nástroji a dále propady povrchu.           |
| 4. B      | Díly vykazují zrcadlový lesk, který je již výrazně narušen stopami po leštícím nástroji.                                  |
| 5. A      | Díly vykazují technický lesk, se stopami po leštícím nástroji a propady povrchu.                                          |
| 5. B      | Díly vykazují technický lesk, se stopami po leštícím nástroji bez propadů na povrchu.                                     |
| 6. A      | Díly vykazují zrcadlový lesk narušen stopami po leštícím nástroji a propady povrchu.                                      |
| 6. B      | Díly vykazují zrcadlový lesk narušen stopami po leštícím nástroji.                                                        |
| 7. A      | Díly vykazují technický lesk, se stopami po leštícím nástroji a propady povrchu.                                          |
| 7. B      | Díly vykazují technický lesk, se stopami po leštícím nástroji bez propadů na povrchu.                                     |

Tab. 20 Posouzení vizuální kvality pro vzorky z Sinkral C442

| Vzorek č. | Kvalitativní zhodnocení                                                                                                                |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. A      | Díly vykazují matný-zakalený vysoký zrcadlový lesk se zvýšenou s propady na povrchu.                                                   |
| 1. B      | Díly vykazují matný-zakalený vysoký zrcadlový lesk bez dalších optických vad ale s matnými kruhy v místě propadů.                      |
| 2. A      | Díly vykazují matný-zakalený vysoký zrcadlový lesk s propady na povrchu.                                                               |
| 2. B      | Díly vykazují matný-zakalený vysoký zrcadlový lesk bez propadů ale s matnými kruhy v místě propadů.                                    |
| 3. A      | Díly vykazují zakalený zrcadlový lesk s výraznými matnými kruhy v místě propadů.                                                       |
| 3. B      | Díly vykazují zakalený zrcadlový lesk se slabě matnými kruhy v místě propadů.                                                          |
| 4. A      | Díly vykazují slabý zrcadlový lesk, který je již výrazně narušen stopami po leštícím nástroji a dále matnými propady povrchu.          |
| 4. B      | Díly vykazují slabý zrcadlový lesk, který je již výrazně narušen stopami po leštícím nástroji a dále slabými matnými kruhy na povrchu. |
| 5. A      | Díly vykazují technický lesk, se stopami po leštícím nástroji a propady povrchu s matnými kruhy.                                       |
| 5. B      | Díly vykazují technický lesk, se stopami po leštícím nástroji bez výraznějších propadů na povrchu a matnými kruhy.                     |
| 6. A      | Díly vykazují technický lesk se stopami po leštícím nástroji a propady povrchu.                                                        |
| 6. B      | Díly vykazují technický lesk se stopami po leštícím nástroji.                                                                          |
| 7. A      | Díly vykazují technický lesk se stopami po leštícím nástroji a slabými propady povrchu.                                                |
| 7. B      | Díly vykazují technický lesk, se stopami po leštícím nástroji bez propadů na povrchu.                                                  |

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo nalézt hranici drsnosti povrchu, při které ještě dochází ke kopírování povrchu formy na výrobek a dále zjištění dalších parametrů, ovlivňujících výslednou jakost povrchu.

Pro posouzení vlivu technologických podmínek na jakost ploch jsem použil 4 základní hlediska: rozdílná drsnost jednotlivých vzorků, vstřikovací parametry, resp. čas dotlaku, nanesení vrstvy hliníku a použití 2 typů termoplastických materiálů s odlišnou tekutostí.

Pro vytvoření vzorků bylo nutné upravit stávající formu, aby bylo možno použít odlišné vložky formy, které měli různou drsnost povrchu dosaženou odlišnými pracovními postupy a zajistit vyjmutí vzorků.

Použití odlišných vstřikovacích parametrů - času dotlaku nám ukazuje, že závislost jakosti na dotlaku je patrná pro oba typy materiálů při vizuálním posouzení kvality. Pro měření drsnosti vzorků je rozdíl pro dotlak A a B pro lisované a dále i pro pokovené vzorky nepatrný a liší se minimálně.

Další metoda srovnání, která byla použita je nanesení vrstvy hliníku. Zde nejsou zaznamenány výrazné odchylky ve srovnání se vzorky bez této úpravy. Při nižších drsnostech je odchylka nepatrná, pouze při drsnosti vzorku č.5 vykazují pokovené vzorky vyšší hodnotu, ale pouze u materiálu Makrolon 2405, další vzorky již bez výrazných odchylek. Prokázaná závislost pokovené vrstvy je tedy nepatrná a odchylka pro vzorek č.5 může být i náhodná.

Použité materiály (Makrolon 2405 a Sinkral C442) mají odlišnou tekutost a tím zatékavost do mikronerovností. Z výsledků je vidět, že materiál Makrolon 2405 dosahuje v celé šířce drsností nižších hodnot a to jak před hranicí efektivy tak i za ní. Naproti tomu materiál Sinkral C442 více kopíruje křivku drsnosti desek formy. Toto je způsobeno odlišnou tekutostí materiálu, která umožňuje lepší kopírování povrchu plochy forem.

Cílem této práce bylo posoudit, které podmínky mají největší vliv na jakost ploch. Největší vliv je dán kvalitou dokončení povrchu formy, která vytváří obraz povrchu výrobku, zvláště při nanesení hliníkové vrstvy, která ještě umocňuje jakékoliv kontrasty na ploše výrobku. Z výsledků je patrné, že hranice kvality dokončení plochy je asi při  $Ra = 0,03 - 0,04 \mu m$  pro Makrolon 2405 a  $Ra = 0,04 - 0,06 \mu m$  pro Sinkral C442 což ukazuje, že další zlepšování povrchu je neefektivní. Z hlediska porovnání hodnot

pokovených vůči lisovaným plochám je odchylka zanedbatelná, tato povrchová úprava tedy slouží hlavně k získání požadovaných estetických vlastností.

Pokud porovnáme závislost času dotlaku na kvalitě plochy, co se týká měření drsnosti, je rozdíl minimální. Pokud se zaměřím na vizuální posouzení, zde jsou již okem zaznamenatečné rozdíly v podobě makronerovnosti ploch. Zde lze tedy prokázat, že zde posuzovaný parametr vstřikování má výrazný vliv na celkovou kvalitu plochu. Poslední posuzovaná veličina je materiál a i zde se prokázaly odlišné výsledky pro použité materiály. Pro zhodnocení jestli materiál má vliv na jakost plochy by bylo lepší provést rozsáhlejší testy, kde by se mohla posoudit závislost tekutosti – viskozity materiálu. Zde jsou již patrné výsledky, kdy materiál má vliv na kvalitu.

Při zhodnocení parametrů vlivu na kvalitu lze jednoznačně říct, že nejvyšší význam má kvalita plochy, dále čas dotlaku a typ materiálu, pokovení vzorků nemá vliv na výslednou kvalitu.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Beaumont, J.P – Nagel, R. – Sherman, R., *Succesfull injection moulding*, Hanser Publishers, Munich, 2002
- [2] Menges – Michaeli - Mohren, *How to make injection molds*, 3rd edition, Hanser Publishers, Munich, 2001
- [3] Tomis, F., *Gumárenská a plastikářská technologie – zpracovatelské procesy*, 2.vydání, Ediční středisko VUT Brno, Skriptum, 1987
- [4] Neuhäusl, E., *Vstřikování plastických hmot*, 1.vydání, SNTL Praha, 1973
- [5] Gašpárek, J., *Dokončovacie sposoby obrábania*, 1.vydání, ALFA, 1980
- [6] Bobčík, L. a kol., *Formy pro zpracování plastů I.díl – Vstřikování termoplastů*, 1.vydání, Uniplast Brno, 1998
- [7] Klimeš, L., *Analýza zabezpečení jakosti výroby plastových dílů*, UTB Zlín, Fakulta technologická, diplomová práce, 2001
- [8] Bobčík, L., *Formy pro zpracování plastů II.díl*, 1.vydání, Uniplast Brno, 1999
- [9] Kincel, J. – Šrámek, M. – Pánek, A., *Polykarbonáty*, 1.vydání, SNTL Praha, 1966
- [10] Rotrekl, B., et al, *Povrchové úpravy*, SNTL Praha, 1971
- [11] Rybníkář, F., et al, *Analýza a zkoušení plastických hmot*, SNTL Praha, 1965
- [12] Kraus, V., *Povrchy a jejich úpravy*, 1.vydání, Západočeská Univerzita v Plzni, 2000
- [13] Bok, K., *Vakuová technika*, 8.vydání, SPŠ elektrotechnická Rožnov pod Radhoštěm, 2003
- [14] Termoplasty v praxi [CD-ROM]
- [15] <http://www.dsm.com> [online]
- [16] Řehulka, Z., *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů*, školící publikace, 175 stran, 2002
- [17] Bátora, B. – Vasilko, K., *Obrobené povrchy – technologická dědičnost, funkčnost*, Trenčianská univerzita v Trenčíně, 2000
- [18] JOKE, školící příručka [1993]
- [19] NOVAPAX, školící příručka [1995]
- [20] Neuhäusl, E – Zeman, L., *Vstřikování plastů – teorie a praxe (základní kurz)*, Plast Form service s.r.o. [1999]
- [21] Šafařík, D., *Určení korelačních vztahů mezi nedokonalostí povrchu formy a plastových výrobků*, UTB Zlín, Fakulta technologická, diplomová práce, 2004

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

|             |                                                                         |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------|
| $v_o$       | obvodová rychlost (m/min)                                               |
| $v_a$       | vratná axiální rychlost (m/min)                                         |
| $p_k$       | specifický tlak kamenů (MPa)                                            |
| $2A$        | velikost amplitudy (mm)                                                 |
| $f_v$       | frekvence vibrací ( $\text{min}^{-1}$ )                                 |
| $R_a$       | střední aritmetická odchylka profilu                                    |
| $R_z$       | největší výška nerovnosti profilu                                       |
| $R_q$       | střední kvadratická odchylka profilu                                    |
| $R_{mr}$    | nosný podíl profilu                                                     |
| $R_{sm}$    | střední délka prvku profilu                                             |
| $l_p$       | nosná délka profilu                                                     |
| $l$         | základní délka                                                          |
| $C_z$       | konstanta (bývá asi 0,1)                                                |
| $Z$         | zrnitost, vyjádřená specifickým rozměrem zrn [ $\mu\text{m } 10^{-1}$ ] |
| $s$         | směrodatná odchylka aritmetického průměru                               |
| $X$         | aritmetický průměr                                                      |
| $\lambda_C$ | délka měřeného úseku                                                    |
| $N$         | počet měření                                                            |

**SEZNAM TABULEK**

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1. Porovnání vybraných vlastností ocelí na formy pro tváření plastů .....          | 13 |
| Tab. 2. Doporučené oceli na funkční a pomocné části forem.....                          | 14 |
| Tab. 3. Orientační hodnoty drsnosti povrchu dosažené jednotlivými způsoby obrábění .... | 18 |
| Tab. 4. Honovací přídavky na průměr otvoru dle druhu materiálu .....                    | 29 |
| Tab. 5. Dosahované hodnoty jakosti lapovaných ploch .....                               | 33 |
| Tab. 6. Složení past.....                                                               | 39 |
| Tab. 7. Složení roztoků na chemické leštění .....                                       | 40 |
| Tab. 8. Složení nejběžnějších elektrolytů .....                                         | 44 |
| Tab. 9. Metody měření drsnosti povrchu .....                                            | 56 |
| Tab. 10. Klasifikace běžných termoplastických polymerů dle struktury .....              | 61 |
| Tab. 11. Parametry uzavírací jednotky .....                                             | 72 |
| Tab. 12. Parametry vstřikovací jednotky .....                                           | 72 |
| Tab. 13. Parametry vstřikovacího stroje .....                                           | 72 |
| Tab. 14. Nastavení vstřikovacích parametrů lisu pro materiál Makrolon 2405 .....        | 73 |
| Tab. 15. Nastavení vstřikovacích parametrů lisu pro materiál Sinkral C442 .....         | 73 |
| Tab. 16. Materiálový list pro Makrolon 2405.....                                        | 74 |
| Tab. 17. Materiálový list pro Sinkral C442 .....                                        | 74 |
| Tab. 18. Základní specifikace přístroje Surf test SJ-301 .....                          | 76 |
| Tab. 19. Posouzení vizuální kvality pro vzorky z Makrolon 2405.....                     | 84 |
| Tab. 20 Posouzení vizuální kvality pro vzorky z Sinkral C442 .....                      | 85 |

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 1. Trojúhelníkový diagram koncentrací $\text{HNO}_3 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{SO}_4$ ..... | 42 |
| Obr. 2 Význam základních kritérií drsnosti povrchu.....                                              | 53 |
| Obr. 3. Profilová a nosná křivka drsnosti povrchu .....                                              | 54 |
| Obr. 4. Nosný podíl drsnosti povrchu.....                                                            | 54 |
| Obr. 5. Diagram časového sledu operací ve vstřikovacím cyklu stroje.....                             | 58 |
| Obr. 6. Diagram průběhu tlaku během vstřikovacího cyklu.....                                         | 60 |
| Obr. 7. Schéma šnekového vstřikovacího stroje:.....                                                  | 63 |
| Obr. 8. Schéma zapojení přístroje Surftest SJ-301 .....                                              | 76 |
| Obr. 9. Grafický výstup z přístroje Surftest SJ-301 pro desky formy 1-4.....                         | 77 |
| Obr. 10. Grafický výstup z přístroje Surftest SJ-301 pro desky formy 5 - 7.....                      | 78 |

## SEZNAM PŘÍLOH

- P I Naměřené hodnoty a grafy pro vzorek č.1 a materiál Makrolon 2405
- P II Naměřené hodnoty a grafy pro vzorek č.2 a materiál Makrolon 2405
- P III Naměřené hodnoty a grafy pro vzorek č.3 a materiál Makrolon 2405
- P IV Naměřené hodnoty a grafy pro vzorek č.4 a materiál Makrolon 2405
- P V Naměřené hodnoty a grafy pro vzorek č.5 a materiál Makrolon 2405
- P VI Naměřené hodnoty a grafy pro vzorek č.6 a materiál Makrolon 2405
- P VII Naměřené hodnoty a grafy pro vzorek č.7 a materiál Makrolon 2405
- P VIII Závislost drsnosti Ra, Rz povrchu formy na povrch vzorků z materiálu Makrolon 2405
- P IX Naměřené hodnoty a grafy pro vzorek č.1 a materiál Sinkral C442
- P X Naměřené hodnoty a grafy pro vzorek č.2 a materiál Sinkral C442
- P XI Naměřené hodnoty a grafy pro vzorek č.3 a materiál Sinkral C442
- P XII Naměřené hodnoty a grafy pro vzorek č.4 a materiál Sinkral C442
- P XIII Naměřené hodnoty a grafy pro vzorek č.5 a materiál Sinkral C442
- P XIV Naměřené hodnoty a grafy pro vzorek č.6 a materiál Sinkral C442
- P XV Naměřené hodnoty a grafy pro vzorek č.7 a materiál Sinkral C442
- P XVI Závislost drsnosti Ra, Rz povrchu formy na povrch vzorků z materiálu Sinkral C442