



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta strojní**

**Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**

**Beztřískové obrábění materiálů**

**Chipless machining materials**

Bakalářská práce

Studijní program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Studijní obor: Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Vedoucí práce: Ing. BcA. Jan Podaný, Ph.D.

**Zdeněk Horák**

---

**Praha 2017**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Horák** Jméno: **Zdeněk** Osobní číslo: **438627**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Beztřískové obrábění materiálů**

Název bakalářské práce anglicky:

**Chipless machining materials**

Pokyny pro vypracování:

1. Obrábění - třískové, beztřískové
2. Výrobek a jeho technologie výroby
3. Zhodnocení použité technologie.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

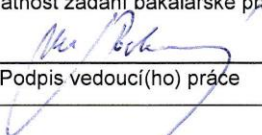
**Ing. BcA. Jan Podaný Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


Datum zadání bakalářské práce: **20.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15.07.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

  
Podpis vedoucí(ho) práce

  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

**25.4.2017**

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s využitím zdrojů uvedených v seznamu použité literatury.

V Praze dne .....

.....

Podpis

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval mému konzultantovi z firmy KYB Manufacturing Czech s.r.o. Ing. Martinu Matouškovi za poskytnutí důležitých informací a cenných rad při vypracovávání praktické části práce. Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. BcA. Janu Podanému, Ph.D. za poskytnuté konzultace a rady při vypracovávání této práce.

# **ANOTACE**

Tato bakalářská práce se zabývá beztřískovou technologií obrábění, kterou je dělení materiálu kotoučovým nožem. Při řezání je kotoučový nůž nepoháněný, z čehož vyplývá, že se pouze odvaluje vlivem rotace děleného materiálu. Cílem práce je zhodnotit tuto technologii při dělení normalizovaných polotovarů, kterými jsou trubky. V práci jsou popsány základy a principy technologie obrábění a všech obráběcích metod, které jsou rozděleny do dvou kapitol z hlediska principu úběru materiálu na třískové a beztřískové obrábění.

# **ANNOTATION**

This bachelor thesis deals with the chipless technology of machining, which is the cutting of the material by a disc knife. When cutting, the disk knife is not driven, which means that it only rotates due to the rotation of the semi-finished product. The aim of this thesis is to evaluate this technology in the dividing of standard semi-finished products, which are tubes. The thesis describes the fundamentals and principles of machining technology and all the machining methods, which are divided by principle of material detracting into chip and chipless machining.

# **KLÍČOVÁ SLOVA**

Beztřískové obrábění, dělení materiálu, řezání, kotoučový nůž.

# **KEY WORDS**

Chipless machining, dividing material, cutting, disk knife.

# Obsah

<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>2</b>
<b>2 OBRÁBĚNÍ.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ .....</b>	<b>2</b>
2.1.1 Z HISTORIE AŽ PO SOUČASNOST .....	3
2.1.2 ZÁKLADNÍ POJMY .....	5
<b>2.2 TRÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ.....</b>	<b>6</b>
2.2.1 TRÍSKA .....	6
2.2.2 VÝROBNÍ METODY OBRÁBĚNÍ .....	9
2.2.3 DOKONČOVACÍ METODY .....	15
2.2.4 DĚLENÍ MATERIÁLU .....	17
<b>2.3 BEZTRÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ .....</b>	<b>21</b>
2.3.1 DOKONČOVACÍ METODY .....	21
2.3.2 NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ .....	23
2.3.3 DĚLENÍ MATERIÁLU .....	30
<b>PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>39</b>
<b>3 VÝROBEK A JEHO TECHNOLOGIE VÝROBY.....</b>	<b>39</b>
<b>3.1 KYB MANUFACTURING CZECH S.R.O. ....</b>	<b>39</b>
<b>3.2 BEZTRÍSKOVÉ OBRÁBĚNÍ VE VÝROBNÍM PROCESU KMCZ .....</b>	<b>41</b>
3.2.1 DĚLENÍ TRUBEK TRÍSKOVÝM OBRÁBĚNÍM V KMCZ.....	41
3.2.2 DĚLENÍ TRUBEK BEZTRÍSKOVÝM OBRÁBĚNÍM V KMCZ.....	43
<b>3.3 EXPERIMENT.....</b>	<b>46</b>
3.3.1 POPIS VÝROBKU.....	47
3.3.2 MATERIÁL VÝROBKU .....	48
3.3.3 VÝROBNÍ STROJ .....	48
3.3.4 VÝROBNÍ NÁSTROJ .....	50

3.3.5	VÝSLEDKY MĚŘENÍ .....	51
<b>4</b>	<b>ZHODNOCENÍ POUŽITÉ TECHNOLOGIE .....</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>55</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A PŘÍLOH.....</b>	<b>59</b>

# 1 Úvod

Předmětem této bakalářské práce je metoda dělení materiálu patřící do oblasti beztrískových technologií obrábění, kterou je řezání kotoučovým nožem. Zadavatelem práce je firma KYB Manufacturing Czech s.r.o. aplikující tuto metodu na řezání trubek ve výrobním procesu tlumičů do osobních automobilů. Cílem této práce je zhodnotit tuto technologii. Vedlejším cílem je strukturovat teoretickou část práce od obecných základů dané technologie postupně až k řešené problematice a metodě.

Řezání kotoučovým nožem je méně známou metodou dělení materiálu. Varianta, kterou se zabývá tato práce, pracuje s nepoháněným nástrojem. To znamená, že nástroj začíná rotovat až při kontaktu s děleným materiálem, který koná hlavní řezný pohyb. Ten je rotační, nástroj koná vedlejší pohyb, což je přísuv do řezu. Mezi nástrojem a materiálem nemá docházet k prokluzu a materiál není ubírán prostřednictvím třísek, ale tvářen. Zhodnocení technologie by mělo přinést pohled na největší problémy při realizaci řezání trubek touto metodou. Hlavní faktory vstupující do správné optimalizace procesu této metody jsou rychlost přísuvu nástroje do řezu a geometrie řezné části nástroje. Metoda je důležitá z hlediska zachování čistoty výrobního procesu, jelikož nezanechává žádné třísky a jiné nečistoty. To může být výhodou v dnešní době, kdy se klade velký důraz na bezpečnost práce, čistotu, ekologii a vysokou kvalitu výroby.



# Teoretická část

## 2 Obrábění

### 2.1 Technologie obrábění

Technologie obrábění je nedílnou součástí celosvětové výroby a zabírá významné místo ve strojírenské technologii. Obrábění zaujímá přibližně 30 až 40% podíl pracnosti z celkové pracnosti strojírenské výroby. Ve výrobním procesu se u strojírenských součástí ve většině případů objevuje technologie obrábění a většina této výroby zpravidla končí obráběním s vysokými kvalitativními parametry.<sup>1</sup>

*„Obrábění je technologický proces, při kterém se vytváří požadovaný tvar součásti úběrem materiálu, buď mechanickým oddělováním (řezáním) materiálu ve formě třísky břitem obráběcího nástroje, nebo elektrickými, elektrochemickými, či dalšími metodami.“<sup>2</sup>*

První opracování (úběry) materiálu založené na principu technologie obrábění byly osvojeny našimi předky již v pravěku, a to za pomoci jednoduchého ručního nářadí vyrobeného převážně z kostí, dřeva či kamenů. To bylo poté nahrazeno nástroji z bronzu a železa. Voda, pára a později i elektrický proud umožňovaly pohánění strojů využívajících právě těchto nástrojů k obrábění kovů a jiných materiálů.<sup>3</sup>

Rozvoj dalších řezných materiálů otevřel novou epochu strojního průmyslu, kde si našel své místo i vývoj obráběcích strojů a nástrojů. Nekonvenční technologie obrábění nabídly alternativní metody pro zpracování dílů složitých tvarů z hůře obrobitelných materiálů. Obrábění se obvykle používá jako dokončovací operace dílů (polotovarů) vyráběných tvářením a odléváním dřívě, než jsou připravené pro montáž nebo použití.<sup>4</sup> (viz obr. 2.1)

---

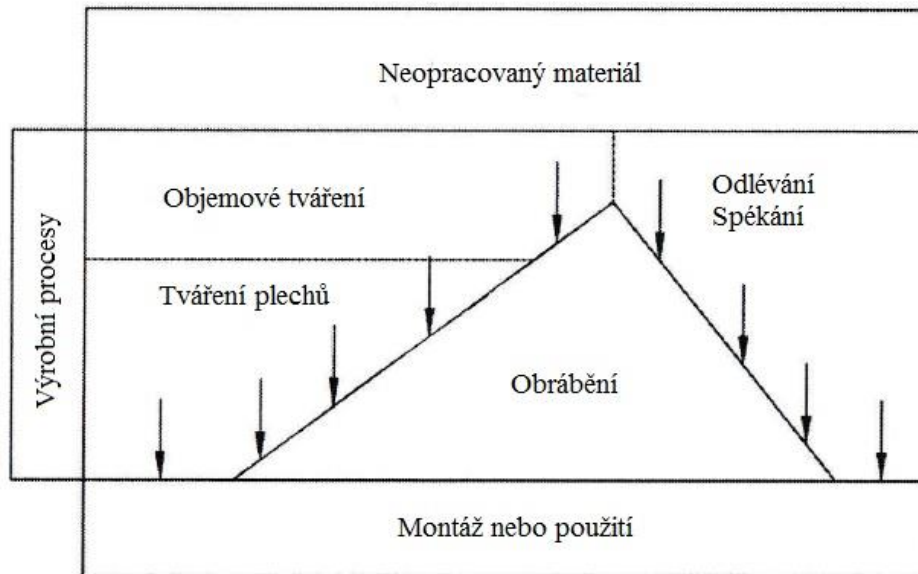
<sup>1</sup>MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. s. 4. ISBN 978-80-01-03733-1.

<sup>2</sup>Tamtéž, s. 5.

<sup>3</sup>EL-HOFY, Hassan. *Fundamentals of machining processes: conventional and nonconventional processes*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis, c2014. s. 1. ISBN 978-1-4665-7702-2.

<sup>4</sup>Tamtéž s. 1.

„Obrábění je charakterizováno svojí vysokou všestranností a schopností dosahovat nejvyšší přesnosti a kvality povrchu tím nejekonomičtějším způsobem.“<sup>5</sup>



Obr. 2.1 Výrobní procesy<sup>6</sup>

### 2.1.1 Z historie až po současnost

Rozvoj obráběcích strojů začal až s vynalezením kladky uložené pomocí čepu. Antičtí Egypťané používali tyto kladky k přepravě kamenů z lomu na stavenišť. Použití kladek iniciovalo vznik prvních dřevo-obráběcích strojů už kolem roku 4000 př.n.l. Nástrojem v takovýchto strojích byl špičatý kámen s hrotem. První stroj na vrtání hlubokých děr postavil už Leonardo da Vinci (1452-1519), avšak první soustruh byl představen až v roce 1840. Henry Maudslay (1771-1831), který vylepšil již existující stroje o vodící šroub, zpáteční převod a suport (držák nástrojů), je považován za otce obráběcích strojů. Roku 1818 postavil Eli Whitney (1765-1825) první frézku. První stroj na broušení válcových ploch byl postaven Brownem a Sharpem roku 1874.<sup>7</sup>

<sup>5</sup>Tamtéž, s. 1.

<sup>6</sup>Tamtéž, s. 2.

<sup>7</sup>Tamtéž, s. 3.

Ve 20. století se uplatnily všechny dosavadní poznatky a nastala doba intenzivního pokroku v oblasti technologie obrábění. Světová strojní výroba podpořená světovými válkami (zbrojní průmysl) a následně rozvojem průmyslu automobilového, leteckého, energetického apod., výzkum a objevy nových materiálů, příchod počítačů, to vše urychlilo i vývoj v oblasti obrábění. Zmiňme několik převratných momentů v technologii obrábění: Objevy a zavádění nových řezných materiálů – rychlořezná ocel HSS (1907), slinuté karbidy (1926), řezná keramika (konec 50. let). Další vývoj konvenčních strojů díky příchodu kopírovací techniky, CAM softwarů, a automatických mechanismů, zapříčinil zvýšení přesnosti výroby a snížení námahy a práce. Představení číslíkové řízení strojů (NC) v roce 1953 otevřelo bránu do světa počítačového řízení strojů (CNC) a díky stále většímu pokroku výpočetní techniky a snaze vše automatizovat pomocí digitalizace, vyústilo až v rozvoj obráběcích center, které zvyšují přesnost výrobku a jednodušnost výroby.<sup>8</sup>

Právě ono propojení, integrace a digitalizace celého výrobního systému dnes neustále získává podporu v tzv. čtvrté průmyslové revoluci „Průmysl 4.0“. Základní myšlenkou je využívání kyberneticko-fyzikálního systému, který bude řídit nejen celé továrny, ale i s výrobou spojené obory jako je logistika, energetika, ekonomika atd.

V oblasti strojů má pak hlavně za úkol výrobu do velké míry automatizovat a propojovat všechny celky tak, aby spolu komunikovaly a ideálně se staly autonomní v některých rozhodnutích. Příkladem zavádění Průmyslu 4.0 může být počítačové vidění, které je nezbytné pro analýzu výrobního procesu a je schopné sledovat jednotlivé součástky a polotovary ve výrobním procesu.<sup>9</sup>

*„Pokročilé české strojírenské firmy používají vidění také v rámci seřizovacího softwaru, který analýzou obrazu v reálném čase extrahuje charakteristiky obráběcích nástrojů CNC strojů. Tyto charakteristiky jsou dále vyhodnocovány, a je tak možné určit různá omezení obrábění daným nástrojem či jeho opotřebení. Výsledná data jsou velmi důležitá pro zachování přesnosti obrábění a mají zásadní vliv na její kvalitu.“<sup>10</sup>*

---

<sup>8</sup>Tamtéž, s. 3.

<sup>9</sup>ŠTOURÁČ, Radek. Průmysl 4.0: Počítačové vidění a jeho použití ve strojírenství. *MM Průmyslové spektrum*. 2016, **2016**(3), s. 54. DOI: 160345. ISSN 1212-2572.

<sup>10</sup>Tamtéž s. 54.

Ačkoliv je obrábění historicky vyspělou technologií a má své místo téměř v každé výrobě, zdá se být bohužel nejméně pochopeným výrobním procesem. Mnoho dnešních obráběcích operací je prováděno za neoptimálních podmínek, což nasvědčuje tomu, že zoptimalizovat výrobní proces může být někdy velmi složitý úkol. Jako příklad poslouží nedávný průzkum efektivity obrábění provedený v průmyslové oblasti výroby automobilů a forem pro odlévání, který odhaluje těchto 5 hlavních problémů<sup>11</sup>:

1. Správná geometrie nástroje je vybrána v méně než 30 % případů.
2. Vhodný řezný režim nástroje je použit jen po 48 % času.
3. Pouze 57 % nástrojů je použito až do konce jejich životnosti.
4. Vhodný materiál nástroje je použit v méně než 30 % případů.
5. Výběr řezné kapaliny se správnými parametry je ve 42 % případů.

### 2.1.2 Základní pojmy

Výběr ze základních pojmů důležitých pro teorii obrábění<sup>12</sup>:

- **Obrobek** – obráběný nebo již obrobený předmět (součást, dílec).
- **Obráběcí nástroj** – prvek umožňující proces obrábění.
- **Břit nástroje** – klínovitá část nástroje vnikající do obrobku tvořena dvěma plochami (čelem, po kterém odchází tříška a hřbetem).
- **Hloubka řezu** – vzdálenost mezi obráběným a obrobeným povrchem obrobku, měřená kolmo na obrobený povrch.
- **Ostří nástroje** – přechodová plocha mezi čelem a hřbetem nástroje.
- **Tříška** – přetvořený materiál odřezávané vrstvy, kterou břit nástroje odebírá z obrobku.
- **Řezný pohyb** – relativní pohyb mezi řezným nástrojem a obrobkem, uskutečňující řezání.
- **Hlavní řezný pohyb** – složka shodující se s pohybem obráběcího stroje odvozeným od motoru s největším instalovaným příkonem (např. soustružení – rotační pohyb).
- **Řezná rychlost ( $v_c$ )** – rychlost řezného pohybu [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ].

---

<sup>11</sup>*Metal cutting technologies: progress and current trends*. Editor J. Paulo DAVIM. Berlin: De Gruyter/Oldenbourg, 2016. s. 1. De Gruyter series in advanced mechanical engineering. ISBN 978-3-11-044942-6.

<sup>12</sup>KVASNIČKA, Ivo, Vladimír SLAVÍK a Lubomír ŠTAJNOCHR. *Obráběcí nástroje*. Praha: ČVUT, 1998. s. 6. - 8. ISBN 80-01-01755-9.

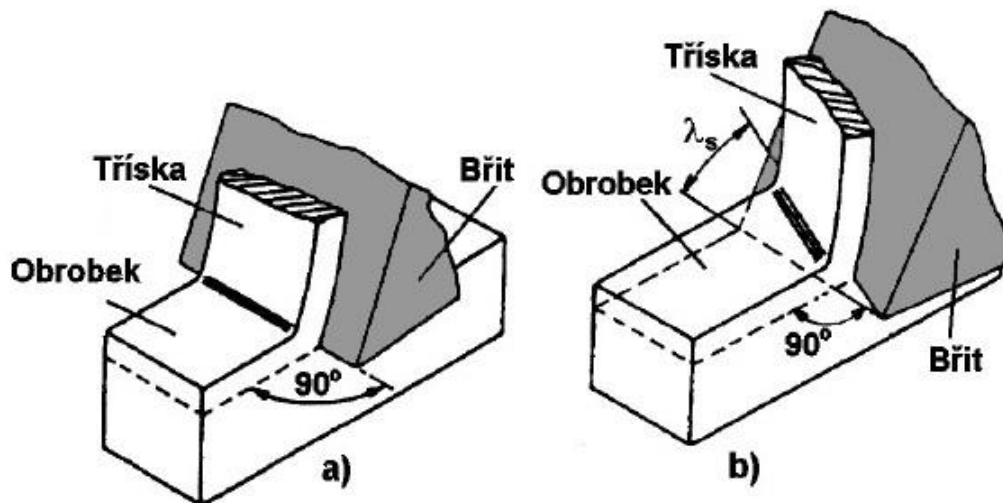
## 2.2 Třískové obrábění

Technologie obrábění, při kterých je oddělovaný materiál odřezáván a odebírán ve formě třísek, patří do skupiny technologií třískového obrábění. Třískové obrábění je charakteristické:

- mechanickým úběrem třísky, který je realizovaný pomocí břitu nástroje,
- dostatečným přírůstkem na obrábění,
- oddělovací se třískou různých tvarů a velikostí,
- použitím řezných kapalin k odvodu třísek a tepla z místa řezu.

### 2.2.1 Tříska

Tříska je odříznutá a deformovaná vrstva materiálu, která vzniká relativním pohybem nástroje vůči obrobku. Při řezání působí nástroj na obrobek a vyvolává v materiálu napětí, proti kterému klade materiál odpor. Proces řezání může být realizován jako ortogonální nebo obecné řezání.<sup>13</sup>



Obr. 2.2 Realizace řezného procesu: a) ortogonální řezání, b) obecné řezání<sup>14</sup>

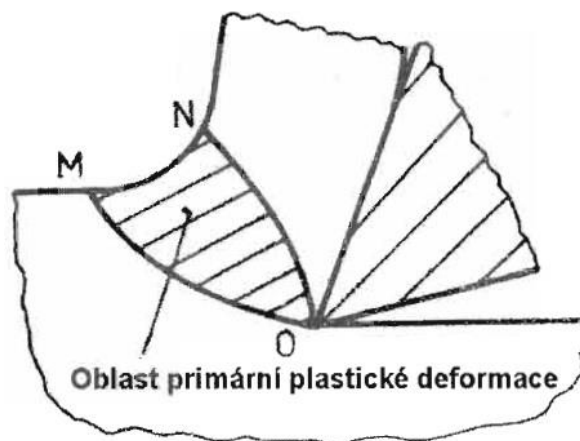
Vysvětlivky:  $\lambda_s$  – úhel sklonu ostří

<sup>13</sup>ČEP, Robert a Jana PETRŮ. *Experimentální metody v obrábění: učební text*. Ostrava: VŠB-TUO, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012. s. 15. ISBN 9788024825335.

<sup>14</sup>Tamtéž s. 16.

Na obr. 2.2 může být ukázán princip všech obráběcích operací. Na obr. 2.2 a) je ortogonální (volné) řezání, kde je ostří nastaveno kolmo na směr řezného pohybu a daná problematika se řeší v rovině (např. zapichování, frézování frézami s přímými zuby, protahování apod.). Na obr. 2.1 b) je zobrazeno obecné (vázané) řezání, u kterého je třeba řešit řezný proces v prostoru (např. podélné soustružení, vrtání, frézování nástrojem se zuby ve šroubovici apod.).<sup>15</sup>

Břit nástroje vniká do materiálu obrobku a odděluje odřezávanou vrstvu materiálu ve formě třísky. Druh třísky je závislý na obráběném materiálu, zvolených řezných podmínkách (hloubka řezu, řezná rychlost, posuv), použití řezné kapaliny a na dalších pracovních podmínkách. Při obrábění většiny materiálů dochází ke vzniku tvářené třísky, jejíž tvorbě předchází plastická deformace v oblasti tzv. primární plastické deformace (obr. 2.3). Tvářená tříska může být buď plynulá, nebo dělená. Ke vzniku netvářené třísky dochází při obrábění materiálů, jako jsou sklo, horniny a plasty. Zde materiál odletuje z místa řezu ve formě malých částic.<sup>16</sup>



Obr. 2.3 Oblasti primární plastické deformace<sup>17</sup>

Odřezávaná tříska může v řezném procesu způsobit nechtěné problémy, jako např. destrukci břitu. Proto je důležité tzv. třískové hospodářství, které má za úkol zajistit bezpečnost a plynulost práce u automatizovaných obráběcích strojů (zejména pak u těch bezobslužných). Jde hlavně o správné tvarování a včasné lámání třísek,

<sup>15</sup> MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. 1. díl. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007. s. 7. ISBN 978-80-01-03752-2.

<sup>16</sup>Tamtéž s. 7.



<sup>17</sup>Tamtéž s. 8.

což zajišťují utvařeče třísek na nástroji (speciální geometrie nástroje, která je dnes realizována hlavně na vyměnitelných břitových destičkách) a vhodně zvolené řezné podmínky.<sup>18</sup>

Jako kritérium vhodného tvaru třísky se používá tzv. objemový součinitel třísky  $\omega$ , který lze vyjádřit<sup>19</sup>:

$$\omega = \frac{V_t}{V_m} [-] \quad (1)$$

kde  $V_t$  [dm<sup>3</sup>] představuje objem volně ložených třísek a  $V_m$  [dm<sup>3</sup>] objem odebraného materiálu

TVAR TŘÍSEK		w	TVAR TŘÍSEK		w
	STUŽKOVÉ DLOUHÉ	400 a více		SPIRÁLOVÉ PLOCHÉ	10 až 20
	STUŽKOVÉ SMOTANÉ	300 až 400		OBLOUKOVITÉ SPOJENÉ	8 až 10
	VINUTÉ DLOUHÉ	80 až 150		ELEMENTÁRNÍ	4 až 6
	VINUTÉ KRÁTKÉ	40 až 60			

Obr. 2.4 Hodnoty objemového součinitele třísek  $\omega$  pro vybrané typy třísek<sup>20</sup>

Na obr. 2.4 lze vidět různé druhy třísek, které mohou vzniknout při třískovém obrábění materiálu. Je důležité si uvědomit, že používání dnešních nástrojových materiálů, např. řezné keramiky, dovoluje zvyšovat řezné rychlosti až na 1000 m.min<sup>-1</sup>, přičemž vzniká za krátký čas značné množství třísek, které je třeba z úložného prostoru odvázet. S velkým množstvím třísek v pracovním procesu souvisí i znečištění pracoviště, nebezpečí úrazu obsluhy nebo znečištění výsledného výrobku.

<sup>18</sup>ČEP, Robert a Jana PETRŮ. *Experimentální metody v obrábění: učební text*. Ostrava: VŠB-TUO, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012. s. 21. ISBN 9788024825335.

<sup>19</sup>Tamtéž s. 21.

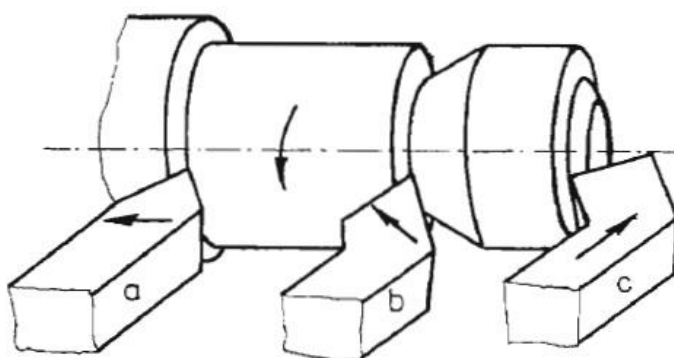
<sup>20</sup>Tamtéž s. 21.

## 2.2.2 Výrobní metody obrábění

K dosažení větších úběrů materiálu, většinou s nižší kvalitou povrchu, bývají použity metody, které se nazývají výrobní, nebo-li základní. Jsou to např. hrubovací operace nebo obrábění načisto s běžnými nároky na přesnost a drsnost povrchu. U těchto metod dochází k úběru materiálu odřezáváním třísek nástroji s definovanou geometrií nebo zrny brusiva. Všechny tedy patří do oblasti třískového obrábění.<sup>21</sup>

### 2.2.2.1 Soustružení

Soustružení je obrábění rotačních ploch, zpravidla jednobřitým nástrojem, a je nejpoužívanější výrobní metodou pro zhotovování rotačních součástí. Soustružit lze především válcové, kuželové, kulové, obecné rotační a rovinné plochy (čelně) a vnitřní i vnější závity. Na soustruzích lze provádět i další osové operace, jako jsou vrtání, vyhrubování nebo vystružování. Složitější rotační tvary lze tvořit kopírovacími zařízeními nebo programovým řízením. Hlavní pohyb je rotační a koná ho obrobek. Posuv a přísuv do řezu koná nástroj.<sup>22</sup>



Obr. 2.5 Základní pohyby při soustružení, ve směru: a) podélném, b) obecném, c) příčném<sup>23</sup>

Nástroj pro soustružení je soustružnický nůž různého tvaru, materiálu, konstrukce (geometrie), směru posuvu (levý, pravý) a druhu stopky. Může být buď monolitní z rychlořezné oceli, nebo s vyměnitelnou břitovou destičkou (dále jen „VBD“) ze slinutých karbidů (dále jen „SK“), řezné keramiky, kubického nitridu boru

<sup>21</sup>MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. 3. díl. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007. s. 3. ISBN 978-80-01-03752-2.

<sup>22</sup>ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie* 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. s. 38. ISBN 80-7183-337-1.

<sup>23</sup>MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. s. 10. ISBN 978-80-01-03733-1.

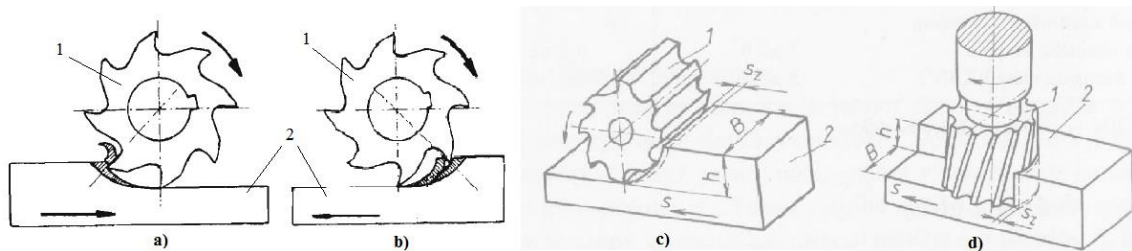


nebo diamantu. K upínání nástrojů slouží nožové hlavy nebo nožové držáky. Obrobky se upínají do univerzálních sklíčidel, mezi hroty, do kleštin nebo na lícni desku.<sup>24</sup>

Stroje pro soustružení, soustruhy, lze z konstrukčně-technologického hlediska dělit na hrotové, čelní, revolverové, svislé a speciální. Z hlediska pracovního cyklu se dělí na ručně ovládané, automaty, poloautomaty a programově řízené (NC, CNC). Nejlepší kvalitativní parametry dosažitelné soustružením:  $R_a = 0,2$  až  $0,8 \mu\text{m}$ ; IT 5 až 6.<sup>25</sup>

### 2.2.2.2 Frézování

Frézování je obrábění ploch (rovinných nebo tvarových, či vnitřních nebo vnějších) vícebřitým nástrojem. Jde o druhou nejpoužívanější metodu obrábění. Frézují se drážky, závity, ozubení, nebo pomocí programem řízených strojů i plochy obecné. Hlavní pohyb je rotační a vykonává ho vícebřítý nástroj (fréza), ostatní pohyby (posuvy) koná obrobek. U některých strojů může ostatní pohyby vykonávat i vřeteník (nástroj). Rozeznáváme frézování obvodem (válcové), které může být sousledné a nesousledné, a frézování čelem nástroje, popř. kombinací obou způsobů.<sup>26</sup>



Obr. 2.6 Frézování: a) nesousledné, b) sousledné, c) obvodem válcové frézy, d) čelem čelní frézy<sup>27,28</sup>

Vysvětlivky: 1 – fréza, 2 – obrobek, B – šířka obrobku, h – hloubka řezu, s – posuv,  $s_z$  – posuv na zub

Nástroje (frézy) mohou být stopkové (válcové, čelně válcové, držákové, kopírovací, tvarové, závitové), nástrčné (válcové, kotoučové, úhlové, tvarové, skládané), čelní a frézovací hlavy (celistvé nebo s VBD)<sup>29</sup>. Stroje jsou frézky a mohou

<sup>24</sup>Tamtéž s. 39-43.

<sup>25</sup>MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. s. 17-18. ISBN 978-80-01-03733-1.

<sup>26</sup>ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. s. 54. ISBN 80-7183-337-1.

<sup>27</sup>Tamtéž s. 54.

<sup>28</sup>MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. s. 29. ISBN 978-80-01-03733-1.

<sup>29</sup>MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. 3. díl. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007. s. 4. ISBN 978-80-01-03752-2.

být v různých modifikacích, nejčastěji však konzolové, stolové, rovinné a speciální. Dnes se ve výrobě provádí frézování většinou v tzv. obráběcích centrech. Nejlepší kvalitativní parametry dosažitelné frézováním: Ra = 0,8 až 1,6 μm; IT 7 až 8.<sup>30</sup>

### 2.2.2.3 Výroba otvorů kruhových průřezů

Základní výrobní metodou obrábění pro výrobu otvorů je vrtání. V praxi jsou obvykle s vrtáním a výrobou otvorů spojené operace navrtávání, vyhrubování, vystružování, zahlubování, vrtání hlubokých otvorů a vyvrtávání. Hlavní pohyb je rotační a koná ho nástroj, vedlejší pohyb (posuv) koná také nástroj. Výjimkou může být vrtání na soustruhu, kdy hlavní rotační pohyb koná obrobek. Z technologického hlediska je pro oblast výroby otvorů důležitý poměr L/D (délka/průměr otvoru), a tím rozlišení krátkých ( $L < 5D$ ) a dlouhých ( $L > 5D$ ) otvorů. Nástroje osových operací mají nejvyšší řeznou rychlost na obvodě nástroje, směrem k ose nástroje klesá k nule.<sup>31</sup>

Tabulka 2.1 Metody výroby otvorů kruhových průřezů<sup>32</sup>

Metoda	Nástroj	Použití	IT	Ra [μm]
Vrtání	šroubovítý vrták (monolitní, s VBD)	Zhotovování otvorů běžných délek a průměrů.	8 až 13	3,2 až 25
	kopinatý vrták		10	6,3 až 25
Navrtávání	středící vrták	Navrtávání tvarových a středících důlků.	-	-
Vyhrubování	výhrubník	1. vyhrubování, 2. vystružování. Zpřesnění otvoru (rozměr, tvar). V dnešní době zbytečné, vrtání zanechává dostatečnou přesnost a jakost obrobeneho povrchu.	9 až 12	1,6 až 6,3
Vystružování	výstružník		5 až 8	0,4 až 1,6
Zahlubování	záhlubník	Osazení otvorů, sražení hran, tvarová zapuštění pro normalizované hlavy šroubů.	7 až 10	1,6 až 6,3
Vrtání hlubokých otvorů	dělový vrták hlavňový vrták	Vrtání hlubokých (dlouhých) otvorů.	8	1,6 až 6,3
Vyvrtávání	vyvrtávací tyč vyvrtávací hlava	Zvětšování předlitých, předkovaných, předvrtaných otvorů kruhového průřezu.	5 až 8 (jemné)	0,2 až 1,6 (jemné)

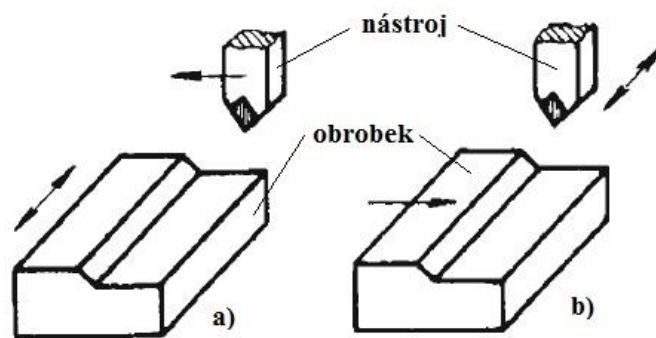
<sup>30</sup>MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. s. 35-39. ISBN 978-80-01-03733-1.

<sup>31</sup>Tamtéž s. 19.

<sup>32</sup>Tamtéž s. 19-27.

### 2.2.2.4 Hoblování a obrážení

Hoblování a obrážení je obrábění vnějších, příp. vnějších a vnitřních, rovinných nebo přímkových tvarových ploch jednobřitým nástrojem. Dnešní stav technologie frézování do značné míry omezil používání a uplatnění těchto výrobních metod, avšak obě metody mají stále své opodstatnění pro určité účely. Z hlediska relativního pohybu nástroje a obrobku jde o shodné metody. Při hoblování koná hlavní řezný pohyb obrobek a je rovnoměrný přímočarý. Posuv ve vodorovném a svislém směru v rovině kolmé ke směru řezné rychlosti koná nástroj nebo nástroje. Při obrážení koná hlavní řezný pohyb (přímocharý vratný, nerovnoměrný) nástroj. Posuv v rovině kolmé ke směru řezné rychlosti koná obrobek. Nástroje na hoblování a obrážení (hoblovací a obrážecí nože) jsou podobné nožům soustružnickým. Nejlepší kvalitativní parametry dosažitelné hoblováním:  $R_a = 0,8$  až  $3,2 \mu\text{m}$ ; IT 7 až 9; obrážením:  $R_a = 3,2$  až  $6,3 \mu\text{m}$ ; IT 8 až 11.<sup>33</sup>



Obr. 2.7 Schéma pohybu: a) hoblování, b) obrážení<sup>34</sup>

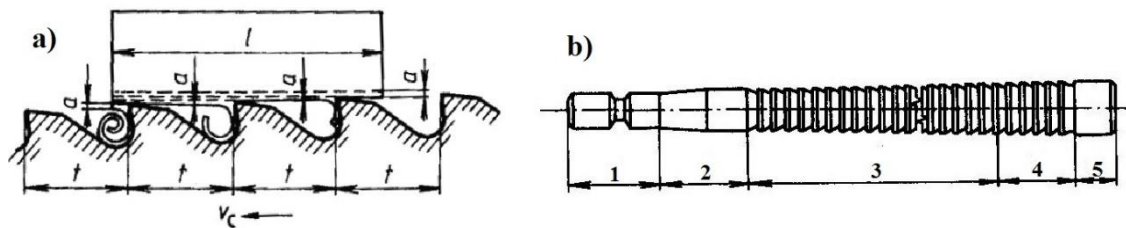
### 2.2.2.5 Protahování a protlačování

Protahování a protlačování je obrábění vnitřních nebo vnějších, rovinných nebo tvarových ploch mnohobřitým nástrojem. Jedná se o jednu z nejproduktivnějších metod obrábění, která se využívá především v hromadné a sériové výrobě. Její výhodou je vysoká přesnost rozměrů i tvaru a kvalita obrobeného povrchu. Nástroje jsou protahovací a protlačovací trny, jejichž výroba je velmi náročná. Proto bývají tyto trny drahé a nevyplácí se použít tuto metodu pro menší výrobní série. Hlavní řezný pohyb je přímočarý a koná jej nástroj. Trny mají upínací, vodící, řezací a kalibrovací část (mohou mít i hladicí). Protlačovací trny nemají upínací část a musí být kratších rozměrů

<sup>33</sup>Tamtéž s. 41-43.

<sup>34</sup>Tamtéž s. 41.

(namáhání na vzpěr). Nejlepší kvalitativní parametry dosažitelné protahováním (protlačováním):  $R_a = 0,1$  až  $1,6 \mu\text{m}$ ; IT 5 až 8.<sup>35</sup>



Obr. 2.8 Protahovací trn: a) záběr zubů s obrobkem, b) části trnu<sup>36</sup>

Vysvětlivky: 2.8 a):  $a$  – tloušťka třísky,  $l$  – délka protahovaného obrobku,  $t$  – rozteč zubů protahovacího trnu,  $v_c$  – řezná rychlost

2.8 b): 1 – upínací část, 2 – přední vedení, 3 – řezací část, 4 – kalibrovací část, 5 – zadní vedení

### 2.2.2.6 Broušení

Broušení můžeme charakterizovat jako obrábění mnohobřítým nástrojem, který je vytvořený ze zrn brusiva spojených vhodným pojivem. Broušení patří historicky mezi nejstarší metody obrábění materiálu. Zrna jsou na nástroji umístěna náhodně. Pro broušení je charakteristické, že je současně v záběru velké množství zrn (břitů), která odebírají třísku velmi malých průřezů různých velikostí. Průřezy třísek, odebírané jedním zrnem, jsou velmi malé, ale je jich značný počet, což s velkým úhlem řezu a vysokou řeznou rychlostí (20 až 200 m/s) je většinou příčinou značných teplot (300 až 1000 °C) a vysokých hodnot měrného řezného odporu (30 000 až 60 000 MPa).<sup>37,38</sup>

Hlavní řezný pohyb koná nástroj (rotační) a vedlejší pohyb (posuv a přísuv do řezu) koná buď obrobek, nebo nástroj, záleží na konstrukci stroje a typu obráběné plochy. Nástroj pro broušení je brousicí kotouč, který se skládá z ostřiva a pojiva. Nástroji ale mohou být také segmenty, kameny a pásy. Ostřivo je tvořeno brusnými zrny, které jsou nerovnoměrně rozmístěny po obvodu brusného kotouče a jsou tvořeny zrny z tvrdých materiálů (brusiva -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC, diamant, kubický nitrid boru). Brousit lze plochy prakticky všech druhů a tvarů.<sup>39</sup>

<sup>35</sup>ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie* 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. s. 108-115. ISBN 80-7183-337-1.

<sup>36</sup>Tamtéž s. 109-110.

<sup>37</sup>Tamtéž s. 143-144.

<sup>38</sup>MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. 3. díl. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007. s. 12. ISBN 978-80-01-03752-2.

<sup>39</sup>ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie* 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. s. 145. ISBN 80-7183-337-1.

Pro základní metody broušení z hlediska tvaru broušených ploch a způsobu práce je vhodné rozdělení<sup>40</sup>:

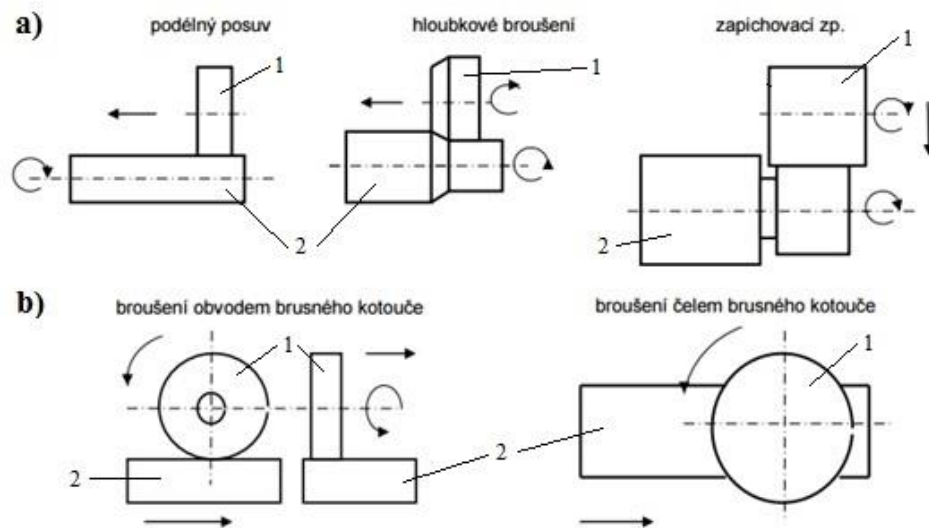
- **Broušení do kulata**

- **vnější:** axiální s podélným posuvem a hloubkové, zapichovací, bezhroté (zapichovací a axiální),
- **vnitřní:** axiální s podélným posuvem, zapichovací, planetové, bezhroté.

- **Broušení rovinné** – obvodem kotouče nebo čelem kotouče.

- **Broušení tvarové** – tvarovými kotouči, kopírovacím způsobem, na NC a CNC broušicích strojích.

- **Broušení závitů, ozubení.**



Obr. 2.9 Příklady broušení: a) do kulata, b) rovinného

Vysvětlivky: 1 – nástroj, 2 – obrobek

Kvalitativní parametry, kterých lze dosáhnout broušením<sup>41</sup>:

- Hrubování  $R_a = 0,8$  až  $6,3 \mu\text{m}$ ; IT 9 až 11
- Broušení na čisto  $R_a = 0,2$  až  $1,6 \mu\text{m}$ ; IT 5 až 7
- Jemné broušení  $R_a = 0,025$  až  $0,4 \mu\text{m}$ ; IT 3 až 4

<sup>40</sup>Tamtéž s. 150.

<sup>41</sup>Tamtéž s. 159.

### 2.2.3 Dokončovací metody

Dokončovací metoda je technologický proces, který má za cíl zvýšení kvality obrobeného povrchu, zlepšení jeho mechanických a fyzikálních vlastností, zvýšení přesnosti tvarů a rozměrů součástí a zlepšení vzhledu povrchu součástí.<sup>42</sup> Dokončovací metody obrábění s úběrem materiálu ve formě třísky vyžadují dostatečný přídavek na dokončování. Abrasivní metody obrábění jsou charakteristické používáním nástrojů s nedefinovanou geometrií břitu. Tyto metody tvoří nejvíce využívané aplikace při obrábění strojírenských součástí. Jedná se o součásti, u kterých jsou požadovány vysoké nároky na přesnost tvaru, rozměrů a drsnost povrchu obrobených ploch.<sup>43</sup>

- **Jemné obrábění – hlazení:** Jedna z možností hlazení je soustružení dvěma noži za sebou, dále se může u fréz použít hladicí destička či zub, zub výstružníku, široký hladicí nůž na hoblování, kalibrovací zuby protahováku, výsledné vyjiskřování u broušení, aplikace jemnozrnného broušícího kotouče při usilovném chlazení apod. Další možností je použití např. hladících VBD se speciální geometrií *wiper*.<sup>44</sup>
- **Honování** je broušení pohybem broušících zrn pevně vázaných pojivem v honovacích lištách nebo honovacích kamenech. Nástroj (honovací hlava) koná rotační a současně přímočarý vratný pohyb. Obráběná plocha je ve stálém kontaktu s činnou plochou nástroje, který zanechává na povrchu stopy (dráhy) ve překrývající se šroubovici. Honují se především vnitřní, ale je možné honovat i vnější válcové plochy. Honovat lze ručně nebo strojně. Používá se nejvíce v výrobě např. spalovacích motorů, hydraulických prvků, vedení ventilů a šoupátek.<sup>45</sup>
- **Superfinašování** je vysoce produktivní dokončovací metoda obrábění vnějších a vnitřních rotačních, rovinných a tvarových ploch vyznačující se vysokou přesností a nízkou dosažitelnou drsností povrchu. Superfinašování je bráno jako zvláštní druh broušení, při kterém jsou z dokončovaného povrchu odřezávány vrcholky nerovností velmi jemnými zrny broušícího nástroje - *superfinašovacího kamene*. Řezný pohyb vzniká skládáním rotačního pohybu součásti a kmitavého přímočarého posuvového pohybu nástroje. Superfinašují se klikové hřídele, pístní čepy atd.<sup>46</sup>

---

<sup>42</sup>Tamtéž s. 162.

<sup>43</sup>MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. 3. díl. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007. s. 15. ISBN 978-80-01-03752-2.

<sup>44</sup>Tamtéž s. 16.

<sup>45</sup>Tamtéž s. 16.

<sup>46</sup>Tamtéž s. 18-20.

- **Lapování**, při kterém lze dosáhnout nejvyšší rozměrové přesnosti a nejmenší drsnosti povrchu obrobené plochy, patří k nejpřesnějším dokončovacím metodám. Využívá se pro dokončování válcových, rovinných a tvarových ploch. Lapováním jsou dokončovány funkční plochy měřidel (např. koncové měrky, kalibry). Lapování se od ostatních dokončovacích operací liší tím, že k úběru materiálu dochází převážně účinkem zrn volného brusiva, které je přiváděno měkkou pastou nebo kapalinou mezi nástroj a obrobek. Nástroji mohou být lapovací kotouče, mezi kterými jsou obrobky na volno nebo připevněny ke kruhovému unašeči.<sup>47</sup>
- **Leštění** se skládá z nejrůznějších druhů dokončovacích operací. Používá se pro získání lesklého povrchu (vzhledové vlastnosti) s nižšími nároky na přesnost rozměru. Minimální úběr materiálu, pouze se odstraňují stopy po předcházejícím obrábění, které určuje přesnost rozměrů a tvarů, a leštěním se již nezlepší. Z povrchu jsou odstraňovány také nečistoty, vrstvičky oxidů a dalších chemických sloučenin. Nástroji mohou být kotouče (lamelové, vrstvené apod.) nebo textilní pásy.<sup>48</sup>
- **Tryskání** (otryskávání, pískování) je dokončovací metoda opracování povrchu nejrůznějších, obvykle tvrdých materiálů proudem jemných abrazivních částic. Nejvíce se jako abrazivum používají ocelové broky, křemičitý písek, korund, ocelová drť, drť z bílé litiny či struska. Pro některé účely se používá otryskávání suspenzí abraziva v kapalině. Nosné médium bývá většinou kapalina nebo stlačený vzduch. Proces tryskání probíhá bez tepelného působení a dochází u něj i k částečnému zpevnění povrchu. Přesnost povrchu se tryskáním nezlepší.<sup>49</sup>
- **Omílání** spočívá v úběru materiálu z povrchu součásti abrazivními částicemi, které konají vzájemný pohyb v prostoru omílacího bubnu. Ten může být kruhového průřezu, či jiného tvaru. Základní pohyb při omílání je rotační, vodorovný, osový apod. Pohyb může být také plynulý, vratný, přerušovaný nebo se případně může doplnit rázy a kmity. Omílání může probíhat s kapalinou nebo za sucha, postupně, přerušovaně či kontinuálně v automatickém cyklu. Náplň bubnu činí 50 až 80 % objemu bubnu a tvoří ji pracovní částice, obrobky, pomocné prostředky a kapalina.<sup>50</sup>

---

<sup>47</sup>Tamtéž s. 20-22.

<sup>48</sup>Tamtéž s. 22-23.

<sup>49</sup>Tamtéž s. 23-24.

<sup>50</sup>Tamtéž s. 24-25.

Tabulka 2.2 Třískové dokončovací metody<sup>51</sup>

Dokončovací metoda	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	IT	Přídavek na průměr [ $\mu\text{m}$ ]	Teplota povrchu [ $^{\circ}\text{C}$ ]
Honování (dvoufázové)	0,1 až 0,2	3 až 5	20 až 200	30 až 150
Superfinišování	0,01 až 0,2	1 až 3	10 až 50	do 30
Lapování	0,005 až 0,2	1 až 3	20 až 300	20 až 40
Leštění	0,1 až 0,4	3 až 7	10 až 100	30 až 80
Tryskání	0,1 až 0,8	-	-	-
Omílání	0,4 až 1,6	7 až 11	10 až 200	30 až 50

## 2.2.4 Dělení materiálu

Dělení materiálu je nezbytná a základní operace využívaná především ke zpracování normalizovaných hutních polotovarů (tyčový materiál různého průřezu: kruh, čtverec, obdélník, I, U, L, ...), které je třeba připravit pro další použití ve výrobních závodech. Tato operace stojí na začátku každé výroby, aneb výrobního postupu (výjimkou může být upichování po operaci soustružení, kde se dělí materiál na konci). Ve formě přířezů se pak tyto polotovary (výrobky pro operaci dělení materiálu) dostávají dál do výrobních technologií obrábění, tváření, či svařování.<sup>52</sup>

Dělením materiálu rozumíme rozdělení jednoho celku materiálu na více jednotlivých kusů (např. přířezů) nebo oddělení části materiálu z většího celku (např. očištění výkovků, odlitků od přebytečných částí vzniklých při jejich výrobě: výronek, nálitková soustava atp.). Tuto operaci lze provést různými technologiemi, které se volí v závislosti na druhu, tvaru a velikosti (objemu) děleného materiálu, objemu výroby, strojním času, účelu konečného výrobku atd.

Operace dělení materiálu se projevuje na výrobních nákladech především podílem na strojním čase, spotřebou materiálu a přídavky na obrábění pro určitou technologii. Právě spotřeba materiálu je ovlivněna parametrem, který se nazývá šířka prořezu, což je šířka v tom místě, kde dojde k rozdělení materiálu. Z tohoto místa je vlivem vybrané technologie dělený materiál buď odstraněn ve formě třísek, odplaven v tekuté formě, nebo oddělen důsledkem přesáhnutí meze pevnosti ve smyku (stříhu). Přitom může být dělený materiál v místech prořezu zhotoven s různou přesností a různou integritou povrchu.

<sup>51</sup>Tamtéž s. 163.

<sup>52</sup>Tamtéž s. 14.



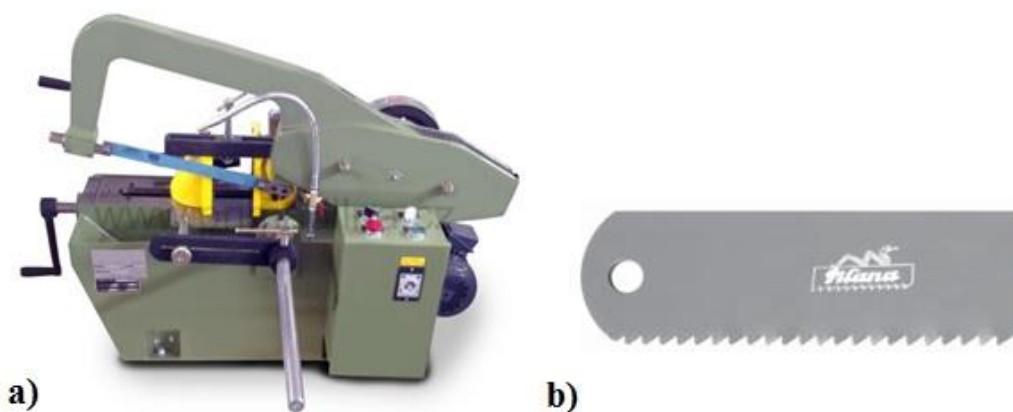
### 2.2.4.1 Řezání pilami

K řezání se používají pily rámové, pásové a kotoučové. Materiál odchází ve formě třísek. Dělení je realizováno vnikáním břitu nástroje do materiálu a následným úběrem materiálu v místě řezu.<sup>53</sup>

#### a) Řezání rámovými pilami

Nástrojem je pilový list upnutý v rámu pily, který vykonává pomocí klikového mechanismu přímočarý vratný pohyb. Pilový list je ocelový pás, který má na jedné straně zuby. Ty jsou rozvedené do stran, aby tělo pilového listu nedřelo o stěny řezaného materiálu. Při vrátném pohybu je důležité, aby byl rám pily nadlehčen a pilový list se neotíral o dělený materiál. To může být provedeno buď vačkou, nebo hydraulicky. Zdvih u rámových pil bývá v rozmezí 140 až 300 mm, záleží na velikosti pily. Posuv do řezu je zaručen vlastní hmotností ramene, případně hydraulicky. Počet dvojjzdvihů 60 až 100 za minutu.<sup>54</sup>

Pilové listy se vyrábějí z kalené a popouštěné rychlořezné oceli v délkách 300 až 700 mm. Šířka 25 až 50 mm a tloušťka 1,25 až 2,5 mm je závislá na délce pilového listu.<sup>55</sup>



Obr. 2.10 a) Strojní rámová pila na kov Warco<sup>56</sup>, b) Strojní pilový list Pilana<sup>57</sup>

<sup>53</sup>ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie* 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. s. 26. ISBN 80-7183-337-1.

<sup>54</sup>Tamtéž s. 27-30.

<sup>55</sup>Strojní pilové listy. Pilana [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.pilana.cz/cz/strojni-pilove-listy>

<sup>56</sup>Warco průmyslová hydraulická rámová pila na kov, 270 kg. In: Prima Dílna [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <https://www.primadilna.cz/Warco-prumyslova-hydraulicka-ramova-pila-na-kov-270-kg-d4451.htm>

<sup>57</sup>Strojní pilové listy. Pilana [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.pilana.cz/cz/strojni-pilove-listy>

## b) Řezání pásovými pilami

Nekonečný pilový pás (nástroj) je ocelový pás, který má na jedné straně zuby a je napnut mezi hnacím a hnaným kotoučem pásové pily. Pásové pily rozdělujeme na<sup>58</sup>:

- *svislé* – kotouče jsou umístěny nad sebou, používají se k vyřezávání dílů z plechů nebo desek,
- *vodorovné* – rozdělují se na pily se sklopným nebo vodorovným ramenem. Kotouče jsou umístěny za sebou. Pilový pás je širší než u svislých pásových pil. Používají se převážně k dělení materiálu a jsou schopné pracovat v automatickém cyklu.

Průměry kotoučů záleží na velikosti pily, pohybují se však v rozmezí 600 až 1200 mm. U místa řezu je pilový pás veden kladkami. Pilové pásy se vyrábějí o tloušťce 0,65 až 1,6 mm, šířce pásu 4 až 67 mm.<sup>59</sup> Pásy se používají převážně bimetalové (tělo pásu vyrobené z konstrukční oceli a zuby z rychlořezné oceli, spojené svařováním). Bimetalové pilové pásy se prodávají buď svařené v předem určených délkách jako nekonečný pás, nebo se účtuje cena za 1 mm pásu a za svaření pásu na požadovanou délku zákazníkem, přičemž minimální délka je 1000 mm.<sup>60</sup>



a)



b)

Obr. 2.11 a) Pilový pás Pilana<sup>61</sup>, b) Pásová pila na kov PILOUS<sup>62</sup>

<sup>58</sup>ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie* 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. s. 31. ISBN 80-7183-337-1.

<sup>59</sup>Tamtéž s. 31.

<sup>60</sup>Pilové pásy bimetalové. Pilanametal - výroba a prodej pilových pásů, listů i strojů [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.pilanametal.cz/pilove-pasy-bimetalove.html>

<sup>61</sup>Tamtéž

<sup>62</sup>PILOUS pásová pila na kov ARG 500 PLUS S.A.F. In: Pilous, Bomar, pásové pily a pilové pásy na kov [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: [http://www.karas.cz/catalog/pasove-pily-na-kov/pilous/poloautomaticke-pasove-pily/pilous-pasova-pila-na-kov-arg-500-plus-s-a-f-arg\\_500\\_plus\\_s-a-f](http://www.karas.cz/catalog/pasove-pily-na-kov/pilous/poloautomaticke-pasove-pily/pilous-pasova-pila-na-kov-arg-500-plus-s-a-f-arg_500_plus_s-a-f)

### c) Řezání pilovými kotouči

Pilový kotouč (nástroj) koná hlavní řezný pohyb, který je rotační. Po obvodu kotouče se nachází zuby. Existují různé druhy pilových kotoučů.

*Celistvé pilové kotouče* se vyrábějí z nástrojové nebo rychlořezné oceli o průměru 20 až 400 mm a tloušťce 0,2 až 6 mm. *Segmentové pilové kotouče* se skládají ze segmentů, vyrobených z rychlořezné oceli, a z ocelového tělesa pilového kotouče. Segmenty se upevňují na osazení nebo do drážky pomocí nýtů. Pouze pro kotouče o průměru 250 až 1870 mm a šířce zubů 3,5 až 15 mm. *Pilové kotouče s pájenými břitovými destičkami ze slinutých karbidů* se vyrábějí o průměrech 280 až 1650 mm a šířce zubů 4 až 11,5 mm.<sup>63</sup>

Kotouč je upnut na vřetení kotoučové pily. Materiál je posouván do řezu většinou hydraulickým mechanismem. To umožňuje změnu rychlosti posuvu, závisící na měnícím se průřezu řezaného materiálu. Podle velikosti kotouče (min. a max. průměr), který je možné na stroji použít, je dána velikost kotoučové pily.<sup>64</sup>



Obr. 2.12 Pilový kotouč na kov s destičkami ze SK – Pilana<sup>65</sup>

#### 2.2.4.2 Upichování

Jednou z metod dělení materiálu je i upichování, které se provádí upichovacím soustružnickým nožem na univerzálním soustruhu nebo upichovacím automatu. Tato metoda se užívá zpravidla při technologii soustružení (polotovary je několik metrů dlouhá tyč nebo trubka podávaná skrz vřeteník podavačem). Následně se vždy po zhotovení požadovaného tvaru obrobek oddělí (upíchne) od polotovaru.

<sup>63</sup>ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie* 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. s. 27-28. ISBN 80-7183-337-1.

<sup>64</sup>Tamtéž s. 30.

<sup>65</sup>PILOVÝ KOTOUČ SK - METAL CUT. In: *Pilové kotouče a listy, vrtáky a frézy - Pilana market* [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.pilanamarket.cz/pilove-kotouce-2/pilovy-kotouc-sk-metal-cut-pilana/>

## 2.3 Beztržskové obrábění

Do skupiny beztržskového obrábění materiálu zahrnujeme metody, které předně nevyužívají úběru materiálu pomocí mechanické práce. U těchto metod nejsou odpadním produktem třísky téměř žádné, nebo zdaleka ne v takovém množství a formě jako u tržskových výrobních metod obrábění. V praxi může tedy jít o čistější a efektivnější proces, na druhou stranu zase méně dostupný, energeticky náročnější a finančně nákladnější. Výhodou části beztržskových metod je tepelné neovlivnění obráběného materiálu a například možnost zpracování těžkoobrobitelných materiálů.

### 2.3.1 Dokončovací metody

Dokončovací metody, u kterých není při opracování povrchu odebrána tříška, spočívají v plastické deformaci povrchové vrstvy. Deformace probíhá v hloubce od několika setin až do desetin milimetrů, přičemž se zlepšují parametry struktury povrchu. Při plastické deformaci probíhající za studena se zlepší funkční mechanické vlastnosti povrchu. V povrchové vrstvě vznikají tlaková napětí a zvyšuje se mez únavy, tvrdost, odolnost proti korozi a otěru, odolnost proti opotřebení.<sup>66</sup>

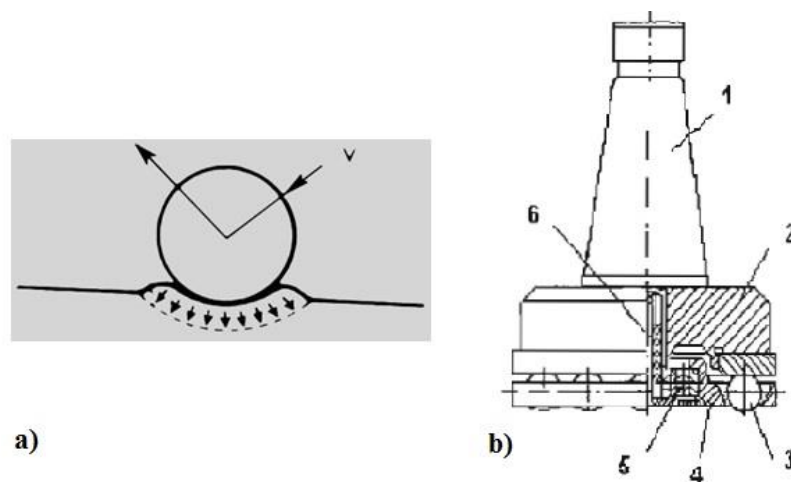
- **Vyhlazování**, dokončovací operace, u které nástroj tvoří pracovní tělíska různých tvarů a rozměrů připevněná k tělesu z oceli umožňující upnutí. Vyhlazování funguje na principu vyvolání plastické deformace za studena v povrchové vrstvě součásti přitlačováním pevného tvářecího elementu (tlak) při vzájemném pohybu (smyk). Nejčastější použití je vyhlazování rotačních součástí i rovinných (čelních) ploch na soustruhu. Metoda je jednoduchá jak náročností konstrukce a výrobou nástroje, tak i možností aplikace na běžných strojích.<sup>67</sup>
- **Válečkování**, válečkovací nástroje fungují na principu přitlačení odvalovaného tvrdého prvku k povrchu obrobku, čímž na povrchu obrobku vyvinou tlak, který překračuje mez kluzu materiálu. Takto se srovnají na povrchu soustruženého obrobku výstupky a prohlubně, čímž se povrch zhutní a stane se rovnoměrným. Válečkování odstraňuje vady a nerovnosti povrchu s přesností na tisíce milimetrů. Válečkovací nástroj může být s karbidovými (SK) válečky. Ten se sestává z těla, ve kterém rotuje několik přesných kuželovitých válců kolem obráceně uloženého kuželovitého vřetena na ložisku. Další variantou jsou válečkovací nástroje

<sup>66</sup>MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. 3. díl. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007. s. 25. ISBN 978-80-01-03752-2.

<sup>67</sup>Tamtéž s. 25.-26.

s diamantovou ploškou, které se využívá stejně jako v případě soustružnického nože. Nástroje mají různé konstrukce, odpružené se používají pro vyhlazování, pevné pro kalibrování a zpevňování. Tvářecí síly jsou vyvozovány hydraulicky, mechanicky nebo pružinami. Materiál tělísek může být kalená ocel, SK.<sup>68</sup>

- **Tryskání**, tato dokončovací metoda v kapitole beztržiskového obrábění je založena na principu neabrazivního účinku částic působících (dopadajících) na obráběný povrch, čímž dochází k plastické deformaci povrchu. Nosné médium (vzduch, voda) je uváděno do pracovního pohybu tlakem 0,1 až 2 MPa. Tryskání se nazývá podle druhu použitých pracovních tělísek: *Kuličkování*, tělísky jsou ocelové kuličky o průměrech 0,3 až 2 mm. *Brokování*, tělísky jsou kuličky z bílé tvrzené litiny (litinové broky). *Patentování*, tělísky jsou nasekaná z ocelového drátu (hrany zaobleny omíláním). *Balotinování*, tělísky jsou skleněné kuličky (balotina o průměru 0,03 až 0,8 mm). Nejlepších výsledků se dosahuje postupným přetryskáváním částicemi větších rozměrů nebo snižováním tlaku. Metoda se používá u složitých tvarů, kde nelze jiný způsob použít, např. lopatky turbín, pružiny, torzní tyče, ojnice, svary, hnací ústrojí (ozub. kola).<sup>69</sup>



Obr. 2.13 a) Vliv dopadu kuličky na povrch při tryskání,<sup>70</sup> b) válečkovací hlava<sup>71</sup>

Vysvětlivky: 1 – upínací trn, 2 – těleso náboje, 3 – kuličky, 4 – klec, 5 – ložisko, 6 – pružina

<sup>68</sup>HAVELKA, Tomáš. Obrábění válečkováním. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2004, **2004**(4), s. 28. [cit. 2017-05-20]. DOI: 040497. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-valeckovanim.html>

<sup>69</sup>MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. 3. díl. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007. s. 28. ISBN 978-80-01-03752-2.

<sup>70</sup>Vliv dopadu částice na povrch. In: *Prášková lakovna - tryskání - tryskací zařízení: 1*. Toušeňská s.r.o. [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.1tousenska.cz/sluzby.php?sub=4>

<sup>71</sup>MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. 3. díl. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007. s. 26. ISBN 978-80-01-03752-2.

a) **Vibrační zpevňování** je dokončovací metoda založena na stejném principu jako ty předchozí, kdy je plastická deformace povrchové vrstvy vyvolána nejen dopadem částic na povrch, ale samotné částice jsou ještě urychleny vibracemi. Vibrační zpevňování lze provádět *mechanicky* (kmitavý pohyb součásti je udělován ve třech osách pomocí speciálního zařízení, částice by měly mít co největší hmotnost, ocelové nebo litinové kuličky) nebo *ultrazvukem* (vibrace o frekvencích až 30 kHz přejímá pevný nástroj, který tvoří nástavec a opírá se o upravovaný povrch).<sup>72</sup>

Tabulka 2.3 Beztržiskové dokončovací metody<sup>73</sup>

Operace	Vyhlazování	Válečkování	Tryskání
Ra [µm]	0,1 až 0,4	0,005 až 0,4	0,1 až 0,4
IT	-	4 až 7	-

### 2.3.2 Nekonenční metody obrábění

Nekonenční metody obrábění využívají některého z fyzikálních nebo fyzikálně-chemických principů k úběru materiálu. Tyto metody v převážné míře nepoužívají mechanické práce pro úběr materiálu, probíhají za vesměs bezsilového působení na obráběný materiál a bez vzniku třísek.<sup>74</sup>

Podle principu úběru materiálu se fyzikální technologie obrábění dělí na<sup>75</sup>:

**a) Metody využívající elektro-tepelných principů:**

- elektroerozivní obrábění
- obrábění paprsky koncentrované energie: obrábění laserovým, elektronovým, iontovým a plazmovým paprskem

**b) Metody využívající elektro-chemických principů:**

- elektrochemické obrábění

**c) Metody využívající chemických principů:**

- chemické obrábění

**d) Metody využívající mechanických principů obrábění:**

- abrazivní obrábění: obrábění ultrazvukem, vysokotlakým kapalinovým paprskem, proudem brusiva

<sup>72</sup>MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. 3. díl. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007. s. 28-29. ISBN 978-80-01-03752-2.

<sup>73</sup>Tamtéž s. 163.

<sup>74</sup>BARCAL, Jaroslav. *Nekonenční metody obrábění*. Praha: Edič. střed. Čes. vys. uč. techn., 1989. s. 3.

<sup>75</sup>MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. 3. díl. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007. s. 30. ISBN 978-80-01-03752-2.

Obrobitelnost materiálu je u prvních třech skupin dána jeho tepelnou vodivostí, teplotou tání, elektrickou vodivostí, odolností proti elektrické a chemické erozi, vzájemnou vazbou atomů a molekul.<sup>76</sup>

Z toho plyne, že obrobitelnost materiálu u těchto metod nezávisí na jeho mechanických vlastnostech (pevnost, tvrdost apod.), jako je tomu u abrazivních nekonvenčních metod nebo u třískového obrábění. Nekonvenční metody obrábění se obecně používají tam, kde z hlediska technického, technologického nebo ekonomického nelze použít obrábění klasickými reznými nástroji.<sup>77</sup>

### 2.3.2.1 Metody využívající elektro-tepelných principů

Tyto metody využívají pro úběr materiálu tepla, které je vyvoláno vhodně zvoleným fyzikálním (elektrickým) principem. Úběr materiálu je ve většině technologických aplikací realizován pomocí řízeného odtavování materiálu.<sup>78</sup>

#### Elektroerozivní obrábění

Elektroerozivní způsob obrábění pracuje na základě jevu zvaného *elektroeroze*. Jedná se o krátkodobý velmi intenzivní elektrický výboj mezi dvěma elektrodami, které jsou ponořené v dielektriku (kapalina s vysokým elektrickým odporem). Jednu elektrodu tvoří nástroj, který je negativem obráběné plochy a druhou elektrodu tvoří obrobek. Energie výboje nataví kov obrobku. Dochází tak k postupnému rozrušování a odběru materiálu. Každý výboj zanechává na zasaženém povrchu kráter, jehož velikost ovlivňuje energie výboje (záleží na vzdálenosti mezi elektrodami, znečištění a vodivosti dielektrika). Materiál na elektrodu nástroje bývá nejčastěji grafit, měď, mosaz nebo slitina wolframu a mědi. Elektroerozivní metoda se dá uplatnit pouze pro elektricky vodivé materiály a používá se na hloubení dutin zápustek a forem, výrobu složitých tvarových povrchů, řezání drátovou elektrodou, leštění povrchů, výrobu malých otvorů (mikroděrování), elektrokotní obrábění.<sup>79</sup>

---

<sup>76</sup>ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, **2007**(7), s. 60. [cit. 2017-05-21]. DOI: 070710. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonzvencni-metody-obrabeni.html>

<sup>77</sup>Tamtéž s. 60.

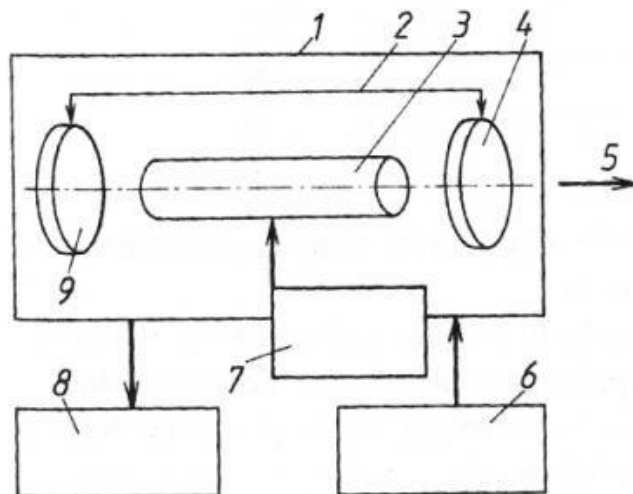
<sup>78</sup>BARCAL, Jaroslav. *Nekonvenční metody obrábění*. Praha: Edič. střed. Čes. vys. uč. techn., 1989. s. 9.

<sup>79</sup>Tamtéž s. 9-12.

## Obrábění paprsky koncentrované energie

### • Obrábění laserovým paprskem

*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, anglický název, ze kterého bylo vytvořeno slovo **LASER**. Volně přeloženo: zesílení světla pomocí vynucené (stimulované) emise záření. Obrábění materiálu laserovým paprskem je založeno na přeměně světelné energie na energii tepelnou, která odstraňuje obráběný materiál. Laserový paprsek vzniká na principu vynuceného záření (indukovaná emise), kdy dopad záření na atom prvku donutí elektron obíhající kolem jádra přijmout energii a vystoupit na vyšší oběžnou dráhu. S dalším příjmem energie je elektron přinucen se zase vrátit na svoji původní oběžnou dráhu, a tím vyzářit přijatou energii. Vyzářené částice se nazývají fotony. Laserový paprsek vzniká v laserové hlavici (1), (viz obr. 2.14). Ta se skládá z rezonátoru (2), což je optický systém opatřený alespoň dvěma zrcadly (na jedné straně nepropustné (9), na druhé polopropustné (4)), ve kterém se zesiluje záření. Budicí zařízení (7) slouží k vybuzení elektronů do tzv. excitovaného stavu, kdy je dán způsob (zdroj) buzení (6) typem laserového média (3). To může být buď plynné (buzení elektrickým výbojem, stejnosměrným nebo střídavým proudem), nebo pevné (buzení výbojkami nebo diodami). Důležitý je i chladicí systém (8) odvádějící tepelnou energii, jež vzniká z nevyužité energie (nepřeměněné na záření). Polopropustným zrcadlem vystupuje paprsek (5).<sup>80</sup>



Obr. 2.14 Schéma zařízení pro obrábění laserem<sup>81</sup>

<sup>80</sup>ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, 2008(3), s. 80. [cit. 2017-06-13]. DOI: 080304. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil.html>

<sup>81</sup>Tamtéž s. 80.



- **Obrábění elektronovým paprskem**

Obrábění paprskem elektronů je založené na principu využití kinetické energie proudu urychlených elektronů. Materiál obrobku se taví a následně odpařuje z místa dopadu paprsku elektronů vlivem změny kinetické energie na energii tepelnou. Paprsek vniká do materiálu do určité hloubky, kde se pohyb elektronů zastaví. Vzniklá tepelná energie koncentrovaná pod povrchem způsobuje erupční odpařování materiálu. Částičky vypařujícího se materiálu se pohybují značnou rychlostí z otvoru. Pracovní režim může být pulzní nebo kontinuální (nepřetržitý). Oblast použití: svařování, pájení, vrtání dlouhých děr, řezání nebo tepelné zpracování materiálů. V oblasti řezání (dělení materiálu) je v současnosti elektronové řezání nahrazováno řezáním laserovým.<sup>82</sup>

- **Obrábění iontovým paprskem**

Obrábění iontovým paprskem nachází své uplatnění především při výrobě matric integrovaných obvodů, při čištění a hlazení povrchu. Princip obrábění je založen na působení iontů ve vakuu na obráběný materiál (využití kinetické energie). Intenzita úběru je závislá na hustotě proudu iontů, jejichž obvyklým zdrojem je argon a pracovní napětí pro ionizaci prostředí se pohybuje od 300 do 500 V. Plazmové a reaktivní leptání iontovým paprskem se používá při výrobě polovodičů v submikronové oblasti. Tyto způsoby leptání vykazují oproti klasickému chemickému obrábění (leptání) řadu výhod, např. lze obrábět téměř všechny druhy materiálu.<sup>83</sup>

- **Obrábění paprskem plazmy**

Princip plazmového obrábění je založen na tavení řezaného materiálu extrémně vysokou teplotou (nad 10 000 °C), která vzniká rozkladem molekul plynu při jejich průchodu elektrickým obloukem. Oblouk hoří mezi netavící se elektrodou (katodou -) vyrobenou z wolframu a řezaným materiálem (anodou +). Jako plazmový plyn se používá jednoatomový argon anebo dvouatomové plyny vodíku, dusíku, kyslíku. Zařízení pro obrábění plazmatem vždy obsahuje: plazmový hořák, zdroj elektrického proudu, řídicí jednotku a manipulační zařízení (souřadnicový pracovní stůl, manipulátor nebo robot). Plazmové hořáky se dělí na hořáky s plynovou stabilizací a s vodní stabilizací. Plazmové hořáky s plynovou stabilizací existují v provedení

---

<sup>82</sup>ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, 2008(6), s. 58. [cit. 2017-06-16]. DOI: 080625. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-2.html>

<sup>83</sup>BARCAL, Jaroslav. *Nekonvenční metody obrábění*. Praha: Edič. střed. Čes. vys. uč. techn., 1989. s. 63-64.

s transferovým obloukem (elektrický oblouk hoří mezi vnitřní elektrodou umístěnou v hořáku a obráběným materiálem) nebo s netransferovým obloukem (elektrický oblouk hoří mezi vnitřní elektrodou umístěnou v hořáku a výstupní tryskou, která tvoří anodu).<sup>84</sup>

### 2.3.2.2 Metody využívající elektro-chemických principů

- **Elektrochemické obrábění**

Elektrochemické obrábění pracuje na principu fyzikálního jevu zvaného *elektrolýza*. Jde o metodu bezsilového (beztřískového) obrábění pouze elektricky vodivých materiálů. Obrobek (anoda) je ponořen do elektrolytu (kapalný vodič: např. NaCl, NaNO<sub>3</sub>) a dochází na něm k reakci, při níž se kationty elektrolytu slučují s anionty kovu na povrchu anody a postupně rozrušují (ubírají) materiál z anody. Anoda kopíruje tvar katody (nástrojové elektrody). Úběr materiálu závisí na udržení stále stejné vzdálenosti mezi elektrodami (0,05 až 1 mm), teplotě, rychlosti proudění a elektrolytu. Téměř neobrobitelná je šedá litina a špatně obrobitelné materiály jsou slitiny s velkým obsahem uhlíku a duraly obsahující křemík. Elektrochemickým obráběním lze hloubit tvary a dutiny, odstraňovat otřepy, dělit materiál a dokončovat povrch (např. leštění).<sup>85</sup>

### 2.3.2.3 Metody využívající chemických principů

- **Chemické obrábění**

Používá se jako leptání nebo termické odstraňování otřepů. Podstatou leptání je řízený úběr (odleptávání) tenkých vrstev materiálu řízenou chemickou reakcí mezi obráběným materiálem a pracovním prostředím (kyselina, hydroxid). Používá se pro úběr velkých ploch do malých tlouštěk složitých tvarů (reliéfy), obrábění hliníku a jeho slitin. Při termickém odstraňování otřepů jsou obrobky uloženy do komory, kde se zapaluje směs vodíku a kyslíku (nástroj). Vzniklou chemickou reakcí se dosáhne teploty 3500 °C a otřepy na hranách obrobku shoří za velmi krátkou dobu na oxidy kovu.<sup>86</sup>

---

<sup>84</sup>ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, 2008(10), s. 32. [cit. 2017-06-17]. DOI: 081005. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-8-dil.html>

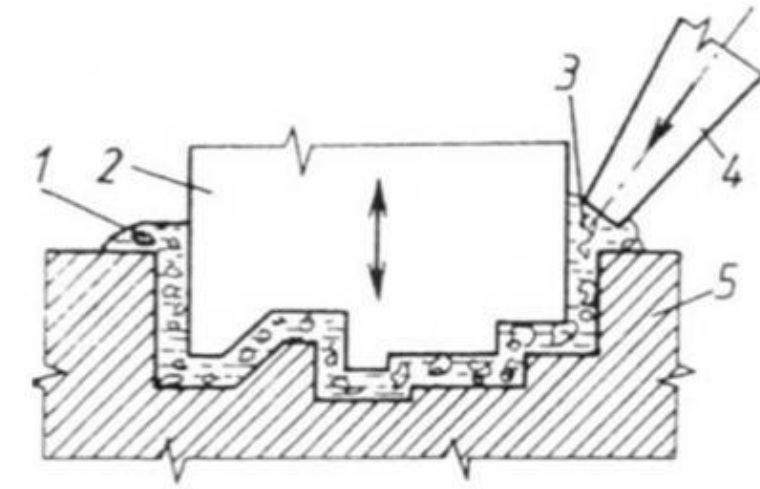
<sup>85</sup>ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, 2007(10), s. 58. [cit. 2017-06-17]. DOI: 071048. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-2-2.html>

<sup>86</sup>MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. 3. díl. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007. s. 44-45. ISBN 978-80-01-03752-2.

### 2.3.2.4 Metody využívající mechanické principy obrábění

- **Obrábění ultrazvukem**

Ultrazvukové obrábění je založeno na principu působení kavitační eroze na obráběný materiál. Jde o řízené rozrušování materiálu účinkem pohybu zrn abrazivních částic, která jsou přiváděna mezi nástroj a obrobek. Nástroj kmitá kolmo k obráběnému povrchu kmitů o frekvenci 18 až 25 kHz. Zrna jsou stálou silou nástroje přitlačována na povrch, čímž dochází ke zkopírování tvaru nástroje do obrobku. Nástroj může vykonávat i přímočarý posuvný pohyb. Zařízení je tvořeno generátorem ultrazvukových kmitů, systémem pro vytvoření mechanických kmitů a systémem pro přívod brousících zrn. Nástroje se vyrábějí z konstrukční oceli, korozivzdorné oceli, mědi nebo mosazi. Mají tvar negativa obráběného tvaru. Používá se pro hloubení dutin a průchozích otvorů, broušení rovinných ploch a řezání tyčí z křemene a dalších tvrdých materiálů do tloušťky 5 mm. Dosahovaná kvalita obrobene plochy:  $R_a = 0,4$  až  $1,6 \mu\text{m}$ .<sup>87</sup>



Obr. 2.15 Princip metody obrábění ultrazvukem<sup>88</sup>

Vysvětlivky: 1 – kapalina, 2 – nástroj, 3 – brousící zrna, 4 – přívod brousících zrn a kapaliny, 5 – obrobek

<sup>87</sup>ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, 2007(12), s. 54. [cit. 2017-06-17]. DOI: 071203. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonenncni-metody-obrabeni-3-dil.html>

<sup>88</sup>Tamtéž s. 54.

- **Obrábění kapalinovým paprskem**

Obrábění vysokotlakým kapalinovým (vodním) paprskem je abrazivní metoda obrábění, kdy paprsek je čistá kapalina (Waternife) nebo kapalina s příměsí abrazivních částic (Paser). Základní částí stroje je vysokotlaké čerpadlo, které stlačuje pracovní kapalinu na pracovní tlak 400 až 600 MPa. Kapalina je pak vedena do pracovní řezací hlavy, ze které vystupuje tryskou (průměr 0,25 až 0,4 mm) rychlostí až 1000 m.s<sup>-1</sup>. Tryska bývá zhotovena z diamantu, rubínu nebo safíru. Směs abraziva se skládá ze zrn brusiva, kterým může být SiC (karbid křemíku), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (elektrokorund), diamantový prach, mletý granát nebo smírek. Obrábění čistým vodním paprskem se používá pro řezání nekovových materiálů (laminát, kevlar, sklotextil atd.). Obráběním vodním paprskem s příměsí abraziva lze řezat veškeré velmi tvrdé kovové materiály (titan, kobalt, sklo, hliník, vrstvené kompozity).<sup>89</sup>

- **Obrábění proudem brusiva**

Abrazivní částice jsou (podobně jako u obrábění kapalinovým paprskem) unášeny proudem pracovní látky, kterou je zde vzduch hnaný vysokou rychlostí. Dopad vzdušného proudu brusiva na povrch obrobku způsobí odstraňování materiálu. Základním členem zařízení pro obrábění proudem brusiva je kompresor stlačující vzduch na 5 MPa s rozvodem tlakového vzduchu a tryskami přidávajícími do pracovního média abrazivum. To bývá nejčastěji oxid hliníku nebo karbid křemíku o zrnitosti 6 μm. Rychlost obrábění je maximálně 2 mm.s<sup>-1</sup>. Tato metoda se používá především k výrobě drážek a rýh v oblasti výroby polovodičů, odstraňování otřepů (chirurgické jehly, hydraulické ventily) a rytí registračních čísel do oken (automobily).<sup>90</sup>

---

<sup>89</sup>MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. 3. díl. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007. s. 46-47. ISBN 978-80-01-03752-2.

<sup>90</sup>Tamtéž s. 47.

### 2.3.3 Dělení materiálu

Do beztrískového obrábění řadíme dělení materiálu za pomoci nekonvenčních metod obrábění, tepelných metod, metod využívajících technologii tváření za studena, obrábění a kotoučových nožů.

#### 2.3.3.1 Dělení materiálu obráběním

- **Rozbrušování**

Nástrojem je tenký brusný kotouč, který může být vyztužen sklo-textilními vlákny nebo nevyztužený. Jako materiál kotoučů – brusivo, se používá karbid křemíku SiC, umělý korund Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nebo pro řezání velmi tvrdých materiálů (SK) diamant. Řezná rychlost je 40 až 80 m.s<sup>-1</sup>. Kotouč je většinou přitlačován do řezu ručně nebo jsou postupně odbrušovány jednotlivé vrstvy materiálu. Používá se pro dělení materiálů menšího průřezu a vyšší tvrdosti, je vhodné také pro dělení tenkostěnných trubek.<sup>91</sup>

- **Frikční dělení**

Tento způsob dělení materiálu je založen na úběru materiálu z řezu pomocí tepla vzniklého při tření, tzv. dělení třením. Nástrojem je frikční kotouč (kovový) s nízkými zuby (úhel řezu 90°, úhel čela 10° až 30°) nebo pouze vroubky po obvodu. Vyrábějí se v rozsahu průměrů 400 až 900 mm, o šířkách 3 až 8 mm. V místě řezu materiál vlivem tepla změkne (rychlost řezu 100 až 120 m.s<sup>-1</sup>) a snadněji se odebírá. Pohyb nástroje do řezu bývá proveden ručně. Používá se pro dělení válcovaných a tažených profilů menších průřezů a tenkostěnných profilů z plechu.<sup>92</sup>



Obr. 2.16 Zuby frikčního kotouče<sup>93</sup>

<sup>91</sup>ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie* 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. s. 34. ISBN 80-7183-337-1.

<sup>92</sup>Tamtéž s. 32-34.

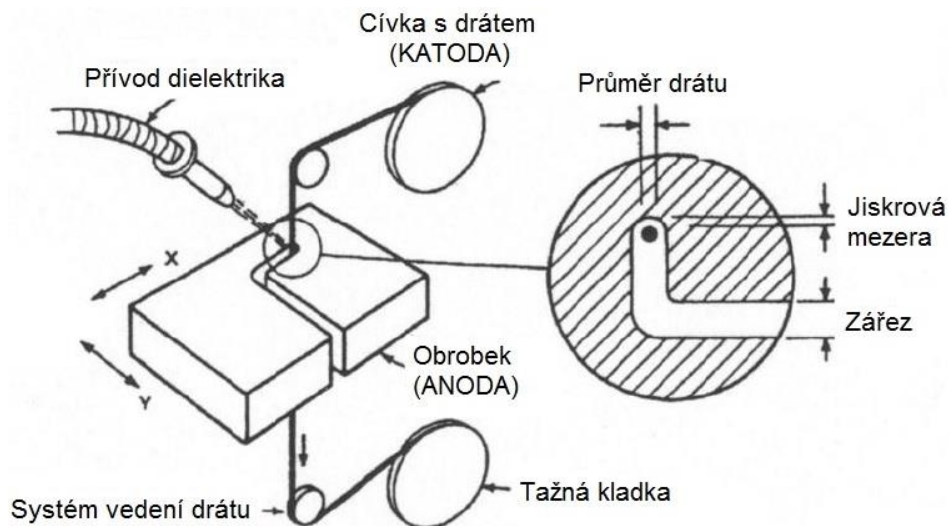
<sup>93</sup>Frikční pilové kotouče na kov. In: *Pilové kotouče, nože a kotoučové pily GSP Zborovice* [online]. [cit. 2017-06-13]. Dostupné z: <http://www.gspzborovice.cz/Segmentove-a-frikcni-kotouce/Frikcni-pilove-kotouce/>

### 2.3.3.2 Dělení materiálu nekonvenčními metodami obrábění

V kapitole 2.3.2 byly popsány principy všech nekonvenčních metod obrábění. Všechny tyto metody se v praxi neaplikují pro operaci dělení materiálu. V následující kapitole je proto popsán přímo princip dělení materiálu daných nekonvenčních metod, které se k této operaci přímo využívají.

- **Elektroerozivní řezání drátovou elektrodou**

U řezání drátovou elektrodou platí stejné fyzikální zákonitosti elektrické eroze jako u hloubení s tím rozdílem, že nástrojovou elektrodu zde tvoří tenký drát. Vzhledem k jeho nadměrnému opotřebení, ke kterému by mohlo dojít, se drát odvíjí pomocí speciálního napínacího mechanismu. Drát je většinou měděný, pro větší průměry se používá mosazný a na velmi jemné řezy molybdenový o průměru 0,03 až 0,07 mm. Nástrojová elektroda tvořená drátem je nástroj, který může odebírat materiál v každém směru a ve spojení s vhodným řídicím systémem je možné přesně obrábět i velmi složité tvary. Systém umožňuje naklopení nástrojové elektrody vzhledem ke svislé ose v rozsahu  $\pm 30^\circ$ . Pro zajištění automatizovaného procesu obrábění jsou moderní stroje vybaveny automatickým vrtáním díry pro zavedení drátu, automatickým zavedením drátu do vyvrtané díry a adaptivním řízením.<sup>94</sup>



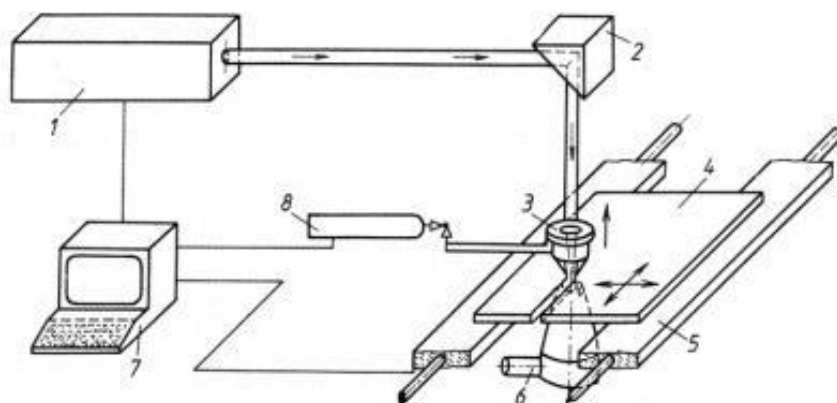
Obr. 2.17 Princip elektroerozivního řezání drátovou elektrodou<sup>95</sup>

<sup>94</sup>ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, 2007(7), s. 60. [cit. 2017-05-21]. DOI: 070710. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonenčni-metody-obrabeni.html>

<sup>95</sup>Elektroerozivní řezání drátem. In: *SoliCAD.com - CAD, CAM, Robotika a konstrukční kancelář* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://solicad.com/i/detailni-popis-funkci-programu-sprutcam/c/sprutcam-detaily/g/sprutcam-info?page=9>

## • Řezání paprskem laseru

Řezání laserem může být *sublimační* (materiál se odstraňuje odpařováním v důsledku vysoké intenzity záření), *tavné* (materiál je laserem roztaven a odfukován asistentním plynem) nebo *pálením* (materiál ohřátý na zápalnou teplotu shoří v exotermické reakci s přiváděným plynem, vzniklá struska je odváděna z místa řezu asistentním plynem). Hlavní charakteristiky řezání laserem jsou rychlost řezání, kvalita řezu a malá šířka řezné spáry. Dosahuje se drsnosti řezané plochy až  $Ra = 3,6 \mu\text{m}$  a tepelně ovlivněná oblast bývá 0,05 až 0,2 mm od povrchu řezu. Šířka řezné spáry bývá 0,02 až 0,2 mm. Výhodami řezání laserem jsou malá šířka řezu, malá tepelně ovlivněná oblast, žádné opotřebení nástroje, čisté řezy, řezání složitých tvarů. Právě při řezání složitých tvarů se využívá řídicího systému CNC.<sup>96</sup>



Obr. 2.18 Řezání laserem – schéma zařízení<sup>97</sup>

Vysvětlivky: 1 – laser, 2 – zrcadlo, 3 – pracovní řezací hlava, 4 – obrobek, 5 – pracovní stůl, 6 – odsávání zplodin, 7 – CNC řídicí systém

## • Řezání paprskem plazmy

Mezi elektrodou a řezaným materiálem hoří při současném dodávání plazmového plynu elektrický oblouk koncentrovaný pomocí chlazené trysky a fokusačního (ochranného) plynu, případně vody. Zkoncentrováním elektrického oblouku se výrazně zvýší hustota výkonu. Fokusační (ochranný) plyn zároveň obklopuje plazmový elektrický oblouk a chrání vytvářené řezné hrany před vlivy okolní atmosféry. Řezaný materiál je taven a tavenina a oxidy jsou vyfukovány z místa řezu plazmovým plynem. V případě použití kyslíku jako plazmového plynu je materiál rovněž spalován a reakce

<sup>96</sup>ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, 2008(5), s. 68. [cit. 2017-06-16]. DOI: 071203. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-5-dil.html>

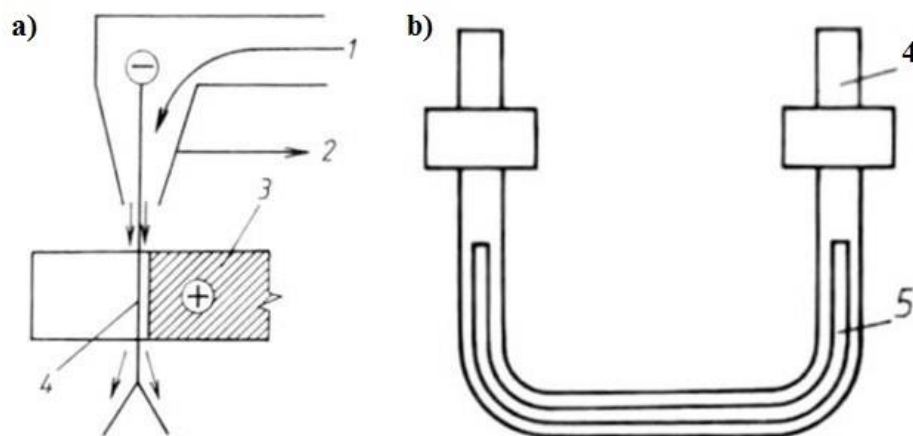
<sup>97</sup>Tamtéž s. 68.

mezi materiálem a kyslíkem přispívá k vytváření řezné spáry. Díky vysoké hustotě výkonu plazmatu a vysoké dosahované teplotě lze plazmatem řezat takřka všechny kovové materiály. Omezením je tloušťka materiálu, což je způsobeno poklesem tlaku plazmového plynu se vzrůstající tloušťkou materiálu. Mezi výhody patří řezání plazmou pod vodou pro velmi malé tepelné ovlivnění řezaného materiálu a malou hladinu hluku v okolí pracoviště. Nevýhody je poněkud širší řezná spára oproti řezání laserem a omezení použití do 180 mm tloušťky řezaného materiálu.<sup>98</sup>

#### • Dělení materiálu elektrochemickým obráběním

Pomocí elektrochemického obrábění lze dělit materiál těmito způsoby<sup>99</sup>:

- otáčejícím se kotoučem,
- řezání drátovou elektrodou (vyřezávání složitých tvarů v materiálu do tloušťky 20 mm),
- řezání štěrbinovým nástrojem.



Obr. 2.19 Elektrochemické dělení materiálu: a) drátovou elektrodou, b) štěrbinovým nástrojem<sup>100</sup>

Vysvětlivky: 1 – přívod elektrolytu, 2 – směr pohybu nástroje, 3 – obrobek, 4 – elektroda, 5 – mezera pro přívod elektrolytu

<sup>98</sup>ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, **2008**(10), s. 32. [cit. 2017-06-17]. DOI: 081005. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekconvecni-metody-obrabeni-8-dil.html>

<sup>99</sup>ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, **2007**(10), s. 58. [cit. 2017-06-17]. DOI: 071048. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekconvecni-metody-obrabeni-2-2.html>

<sup>100</sup>Tamtéž s. 58.



- **Řezání vysokotlakým kapalinovým paprskem**

Jak vyplývá z podkapitoly 2.3.2.4, kde je rozebrán princip obrábění kapalinovým paprskem, nachází tato nekonvenční metoda obrábění využití hlavně v oblasti dělení materiálu.

Jednou z největších technologických předností řezání vodním paprskem je téměř žádné tepelné ovlivnění řezaného povrchu, přičemž vlastně nevzniká zbytkové pnutí. Ačkoliv se chlazení při řezání vodním paprskem nesmí opomíjet (hlavně u dlouhých řezů), jde z hlediska tepelného zatížení v okolí řezu o nesrovnatelně přijatelnější metodu, než např. řezání laserovým paprskem či paprskem plazmy. Pro přesné a efektivní řezání složitých tvarů stroj využívá řídicího CNC systému. Zařízení pro řezání vodním paprskem dosahuje přesnosti řezání  $\pm 0,05$  mm. Možné je řezat také malé tvary o velikosti až 0,4 mm. Při řezání vodním paprskem je zvláště kritickým momentem začátek řezu, tedy proražení materiálu vodním paprskem (zapichování). Na straně vstupu paprsku do materiálu bývá povrch matný s drsností  $R_a = 2$  až  $5,5 \mu\text{m}$ , na straně výstupu paprsku je zase charakteristické žlábkování s délkou vlny 1 až 2 mm. Kvalita řezu však závisí na tlaku pracovní kapaliny, rychlosti řezání a vzdálenosti nástroje od povrchu obrobku. K dalším výhodám patří vysoká energetická účinnost v porovnání např. s řezáním laserem (85 % oproti 10 %), hygienická a ekologická úroveň pracoviště, minimální ztráta prořezem.<sup>101</sup>



Obr. 2.20 Zařízení firmy STM pro řezání vodním paprskem vybavené řídicím systémem<sup>102</sup>

<sup>101</sup>SIMON, Roland. Vodní paprsek s CNC řízením. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2014, 2014(11), s. 104. [cit. 2017-06-18]. DOI: 141116. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vodni-paprsek-s-cnc-rizenim.html>

<sup>102</sup>Tamtéž s. 104.

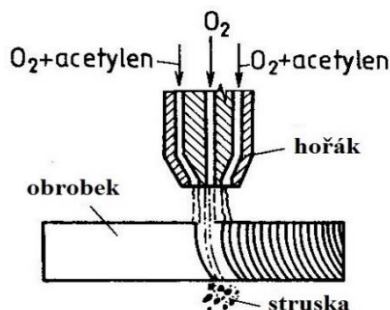
### 2.3.3.3 Dělení materiálu tepelnými metodami

Mezi tepelné metody dělení materiálu patří, kromě jiné i řezání laserovým a plazmovým paprskem (zmíněné v předchozí kapitole), řezání kyslíkem (kyslíko-acetylenovým plamenem). Avšak samotné řezání kyslíkem může být provedeno buď jako řezání směsí kyslík-benzín, řezání kyslíkovým kopím, nebo řezání s přidávkem prášku. Další skupinou je řezání pod vodou, kam patří obloukové (elektrokyslíkové) řezání, obloukové řezání kovovou elektrodou, řezání výbuchem, řezání kyslíkovým kopím pod vodou a řezání plazmou pod vodou. Všechny tyto metody mají svou oblast použití v praxi, např. řezání kyslíkovým kopím se používá pro dělení hlav ingotů.<sup>103</sup>

Jelikož má většina těchto metod vlastní specifickou oblast použití a v mnoha případech nejde o metody, u kterých se klade důraz na přesnost a kvalitu povrchu řezu, uvedu zde pouze základní informace o řezání kyslíko-acetylenovým plamenem.

- **Řezání kyslíkem (kyslíko-acetylenovým plamenem)**

Tento způsob tepelného dělení materiálu je založen na ohřevu v místě řezu na zápalnou teplotu a postupném spalování a odtavování materiálu za vydatného přívodu kyslíku. Plamen tvořený kyslíkem a acetylenem ohřívá řezaný materiál na teplotu přibližně 900 °C. Proud kyslíku vypaluje úzký pruh materiálu, podél něhož vzniká vlastní reakce spalování a odtavování materiálu. Vzniklá struska vytéká z řezané drážky působením přtlaku proudu kyslíku na spodní straně řezu. Celkově jde o méně přesnou metodu dělení materiálu, při řezání např. krátkého řezu plechu o tloušťce 5 až 30 mm lze dosáhnout přesnosti 1 až 3 mm, drsnosti povrchu  $Ra = 25$  až 100  $\mu\text{m}$ , šířky spáry 2 až 3 mm a poloměru zaoblení horní hrany 1 mm.<sup>104</sup>



Obr. 2.21 Řezání materiálu kyslíko-acetylenovým plamenem<sup>105</sup>

<sup>103</sup>MINAŘÍK, Václav. *Tepelné dělení materiálu*. Praha: ČVUT, 1993. s. 48. ISBN 80-01-01028-7.

<sup>104</sup>ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. s. 36-37. ISBN 80-7183-337-1.

<sup>105</sup>Tamtéž s. 36.

### 2.3.3.4 Dělení materiálu tvářením za studena

K metodám dělení materiálu patří i stříhání a další operace (lámání, sekání), které spadají do oblasti tváření za studena. Tvářením za studena se uskutečňuje trvalá změna tvaru materiálu bez úběru třísek působením vnější síly. Tato technologie probíhá pod rekrytalizační teplotou materiálu ( $t < 30 \%$  teploty tání tvářeného materiálu). Tváření může být plošné nebo objemové. U dělení materiálu se jedná o plošné tváření, kde se nemění podstatně průřez, tloušťka a mechanické vlastnosti výchozího materiálu (jde o součásti převážně z plechu). Lámání se používá k přípravě polotovarů pro tváření za tepla a sekání se používá hlavně při volném kování, avšak zřídka.<sup>106</sup>

#### • Stříhání

Při stříhání působí na materiál dva břity proti sobě, tím vyvolávají v rovině stříhu smyková napětí. Pokud vyvolají větší smykové napětí, než je pevnost ve smyku stříhaného materiálu, dojde k jeho porušení a přestřižení. Stříhání je možné provádět nůžkami (tabulové, křivkové nebo kmitací) nebo stříhacími nástroji (stříhadly). Hlavní částí stříhadla je střížník a střížnice, mezi které se vkládá stříhaný materiál.<sup>107</sup>

Proces stříhání plechu stříhadly lze rozdělit do tří fází<sup>108</sup>:

1. **Pružná deformace** – napětí ve stříhaném materiálu nepřesahuje mez kluzu.
2. **Trvalá deformace** – napětí ve stříhaném materiálu je vyšší než mez kluzu.
3. **Stříhání** – napětí ve stříhaném materiálu dosáhne meze pevnosti ve smyku.

Výstřížek se oddělí od základního materiálu, jakmile se u hran střížnice a střížníku materiál nastříhne, odkud se rozšiřují trhlínky velmi rychle.

Nože nástroje jsou vyrobené z nástrojové nebo rychlořezné oceli a jsou tepelně zušlechťené na tvrdost HRC 52 až 60. Pro stříhání plechů do tloušťky 1,5 mm a délky stříhu do 1500 mm se používají ruční pákové nůžky. Plechy do tloušťky 60 mm a délky 6000 mm se stříhají na tabulových nůžkách. Vystříhování tvarových součástí se provádí na lisech. Stříhání je nejproduktivnější způsob dělení materiálu, kdy nevzniká žádný odpad ani „prořez“.<sup>109</sup>

<sup>106</sup>HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2.* 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. s. 82. ISBN 80-7183-244-8.

<sup>107</sup>Tamtéž s. 88-91.

<sup>108</sup>Tamtéž s. 88-89.

<sup>109</sup>ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3.* 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. s. 34-36. ISBN 80-7183-337-1.

### 2.3.3.5 Dělení materiálu kotoučovými noži

Jednou z metod beztržiskového dělení materiálu je i řezání kotoučovými noži. Nástrojem jsou kotoučové nože, které mohou být v různých provedeních vycházejících z druhu řezaného materiálu a konstrukce stroje určeného k řezání kotoučovými noži. Mimo strojírenský průmysl má tato metoda široké využití například v průmyslu potravinářském, kde je vhodná pro řezání zmražených potravin. Dělení materiálu kotoučovými noži se dá rozdělit na dvě zcela odlišné skupiny, a to řezání s poháněným nástrojem a řezání s volně se odvalujícím nástrojem (nepoháněným).

- **Řezání kotoučovými noži s poháněným nástrojem**

V praxi jde o známější a používanější metodu řezání kotoučovými noži, kde je kinematika stroje a princip řezání stejný jako u řezání pilovými kotouči. Nástrojem je kotoučový nůž bez přerušného ostří, tzn. bez zubů. Může však být opatřený i ozubením, podobným, jaké se používá u pilových kotoučů na kov, nebo se vyrábí kotoučové nože se zcela specifickými tvary zubů. Rovněž je možné použít kotoučové nože, které mají drážky, rýhy nebo vlnky. Řezné hrany kotoučových nožů jsou s ohledem na druh děleného materiálu velmi rozmanité. Řezání s poháněnými kotoučovými noži nachází uplatnění nejen v již zmiňovaném potravinářském průmyslu, ale také ve stavebnictví (řezání pěn, izolačních materiálů, lepenky, fólií, panelů, betonových bloků apod.), v gumárenském průmyslu, ve výrobě plastů a ve spoustě dalších oborů. Kotoučové nože jsou většinou vyrobené z rychlořezné oceli (HSS) a dosahují tvrdosti 56 až 64 HRC.<sup>110</sup>



Obr. 2.22 Příklady kotoučových nožů<sup>111</sup>

<sup>110</sup>Kotoučový nůž HSS. *Pilové kotouče, nože a kotoučové pily GSP Zborovice* [online]. [cit. 2017-06-23]. Dostupné z: <http://www.gspzborovice.cz/Kotoucove-noze/>

<sup>111</sup>Tamtéž

- **Řezání kotoučovými noži s volně uloženým nástrojem**

Větší přínos v kontextu beztržiskového obrábění má však metoda řezání odvalujícími se kotoučovými noži. Tento způsob dělení materiálu má hlavní výhodu v tom, že nezanechává jak v pracovním prostoru, tak i na děleném materiálu (výrobku) žádné třísky, otřepy, ani jiná znečištění. Břit kotoučového nože je přitlačován do řezu a tím se materiál dělí. Jelikož je kotouč volně uložen a jeho rotační pohyb vzniká pouze při kontaktu s jiným tělesem, není oblast použití této metody výrazně široká. Metoda nachází využití hlavně u dělení rotačních součástí, konkrétně u dělení ocelových trubek, kde tloušťka stěny je pouze několik milimetrů.

Stroj na dělení materiálu touto technologií je podobný soustruhu. Vřeteníkem prochází polotovár, což je většinou několik metrů dlouhá trubka, která je upnutá v upínací hlavě. Nástroj se upíná do nástrojového držáku, což je hlava s volně uloženou hřídelí na ložiskách. Kotoučové nože mají oboustranné nepřerušené ostří a jejich geometrie břitu obsahuje tzv. před fázi, která napomáhá správnému „rozřezání“ materiálu. Princip této technologie dělení materiálu je možné nazvat „střížný“, protože břit kotoučového nože vniká silou přísuvu do materiálu a ten není odebírán (odřezáván), ale tvářen. Nesmí nastat prokluz mezi nástrojem a materiálem, pak by docházelo k většímu opotřebování břitu a zhoršení kvality děleného povrchu.

Pro dělení trubek, které mají větší tloušťku stěn, se používá způsob s třemi volně uloženými kotoučovými noži, upnutými v nástrojové hlavě. Hlavní řezný pohyb koná nástrojová hlava s kotoučovými noži, které konají přísuv do řezu pomocí mechanismu v samotné nástrojové hlavě. Polotovár je pevně upnut a nekoná žádný pohyb. Vlivem rotace polotovaru (až 2500 ot.min<sup>-1</sup>), který nemusí být vždy přesný, dochází k házení. Tento problém nastává především u tlustostěnných a těžkých trubek, proto je v tomto případě tento způsob vhodný k zachování všech předností dělení kotoučovými noži. Další výhodou je, že nástroje působí na trubku po obvodě rovnoměrně (po 120°) tzn., že trubka nemá tendenci být vychylovaná do stran, jako u řezání jedním kotoučovým nožem.

Tato metoda dělení materiálu kotoučovým nožem bude podrobněji rozebrána v praktické části této práce, jelikož je její náplní a neexistuje na ní žádná odborná literatura.

# Praktická část

## 3 Výrobek a jeho technologie výroby

### 3.1 KYB Manufacturing Czech s.r.o.

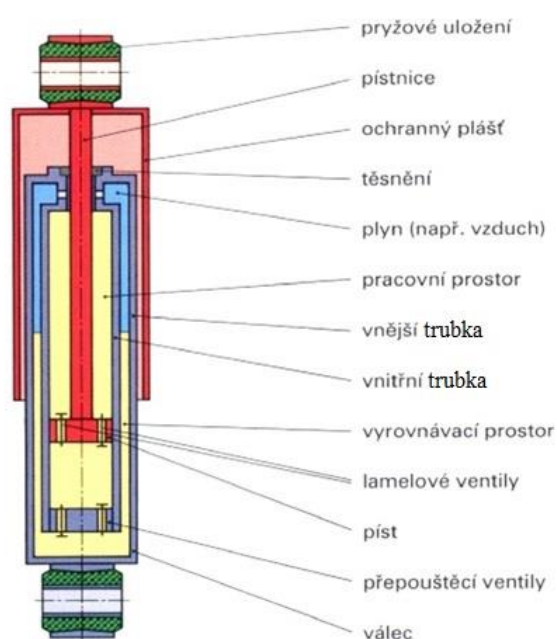
Zadavatelem této bakalářské práce je firma KYB Manufacturing Czech s.r.o. (dále jen „KMCZ“), což je jeden z největších výrobců tlumičů pro automobily. Jedná se o výrobní závod japonské společnosti KYB sídlící v Pardubicích, Starých Čivcích, který byl založen v roce 2003. Výroba tlumičů byla zahájena až v roce 2006. Důvodem vzniku tohoto výrobního závodu KYB, bylo pokrytí čtyř hlavních automobilových trhů. Mezi jeho hlavní zákazníky patří kolínská automobilka TPCA, Toyota ve Francii a Anglii, maďarská pobočka Suzuki, Nissan v Anglii, Rusku a Španělsku, Renault ve Slovinsku a Francii a Daimler ve Francii.

Historie společnosti KYB započala v roce 1919 v Japonsku. Zakladatelem byl pan Shiro Kayaba. V roce 1935 vznikla společnost s oficiálním názvem Kayaba Manufacturing Co., Ltd., která se specializovala na výrobu hydraulických tlumičů. Od roku 2005 je oficiální název společnosti KYB. V současnosti existuje v rámci skupiny KYB velmi široké portfolio vyráběných zařízení. Nejvýraznějšími výrobky společnosti jsou však tlumiče a pružiny pro osobní automobily a motocykly.



*Obr. 3.1 Tlumiče pro osobní automobily vyráběné v KMCZ v Pardubicích*

Vzhledem k probíranému problému v praktické části, která se týká výroby tlumičů, je třeba zmínit několik podstatných informací o tomto dílu. Tlumič jako takový může být jakékoliv technické zařízení, které má za úkol klást odpor prudkým pohybům. To znamená, že v případě automobilového tlumiče se jedná o tlumení kmitů vzniklých pružením podvozku automobilu. Automobilový tlumič patří do skupiny dílů, jako jsou brzdy, či pneumatiky, což jsou komponenty, které jsou zpravidla vyměněny několikrát za životnost vozidla a mají zásadní vliv na jeho bezpečnost v provozu. Pokud nebude tlumič pracovat správně, může dojít k tomu, že se stane automobil nestabilní a špatně ovladatelný.



Obr. 3.2 Schéma dvoutrubkového tlumiče automobilu<sup>112</sup>

Hlavní části tlumiče jsou píst, pístní tyč, přepouštěcí ventil, vnitřní trubka a vnější trubka. Ve vnitřní trubce je pracovní prostor zcela zaplněný olejem a v něm se pohybuje píst. Když píst koná pohyb nahoru, dochází k přepouštění oleje otvory lamelového ventilu pístu. Při tomto procesu se zároveň nasává olej z vyrovnávacího prostoru přes ventil, který je na dně. Náplně tlumiče jsou kapalina (olej) a plyn.<sup>113</sup>

<sup>112</sup>Autopedie-Tlumiče pérování-Autorozvody.cz. *Autorozvody.cz* [online]. [cit. 2017-06-25]. Dostupné z: <http://www.autorozvody.cz/autopedie/tlumice.html>

<sup>113</sup>Tamtéž

## **3.2 Beztrískové obrábění ve výrobním procesu KMCZ**

Výrobní program KMCZ v Pardubicích zahrnuje tlumiče jak na přední, tak i na zadní nápravy automobilů. Celý výrobní proces tlumičů obsahuje mnoho operací, kde na začátku stojí dělení materiálu a na konci montáž. Právě tyto dvě strany výroby je třeba si spojit v kontextu s beztrískovým obráběním. Samotná montáž tlumičů, u které bych zmínil hlavně operace kolem plnění tlumiče pracovními látkami (náplně), je prováděna s maximálním důrazem na kvalitu konečného výrobku. Každá nečistota v pracovním prostoru tlumiče, zvláště pak tříška, by mohla způsobit velké škody. Během celého výrobního procesu se vystřídá na vznikajícím výrobku hned několik kontrol (měřicích i vizuálních) a čisticích operací. Přesto je však důležité hledat neustále řešení a technologie, které budou napomáhat ke snižování takovýchto nečistot ve výrobním procesu.

Beztrískové obrábění nachází uplatnění v KMCZ především na začátku celého výrobního procesu při dělení materiálu. Hlavními polotovary pro výrobu tlumičů jsou tyče a trubky, které se nakupují v několika metrových délkách. Z tyčí se vyrábí pístnice, z trubek vnější a vnitřní trubka tlumiče. Tyče se dělí řezáním pilovým kotoučem, tedy klasickým třískovým obráběním. Pro řezání trubek se používají třískové i beztrískové technologie obrábění.

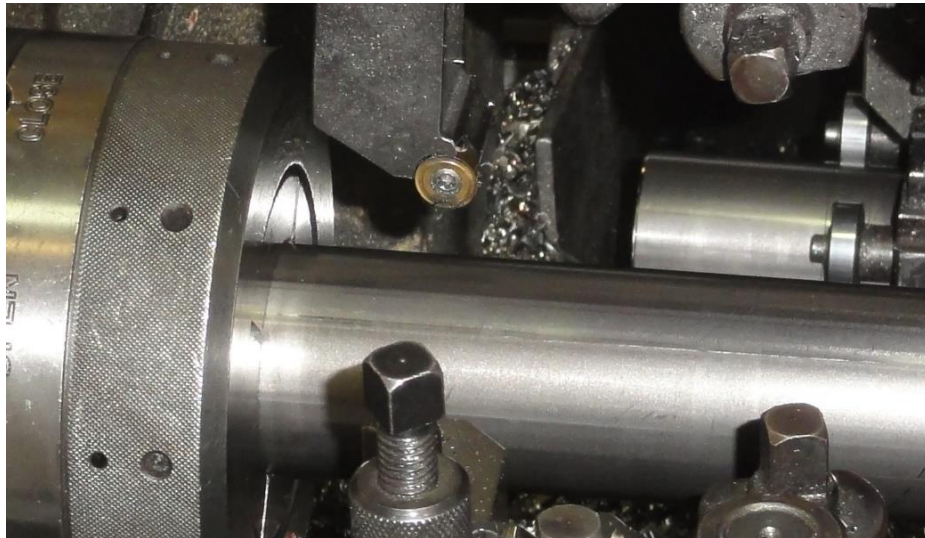
### **3.2.1 Dělení trubek třískovým obráběním v KMCZ**

V rámci třískového obrábění se jedná o obvyklou metodu upichování, využívající princip soustružení. Nástrojem je buď upichovací soustružnický nůž s VBD, nebo nožový držák s vyměnitelnou břitovou destičkou tvaru „R“ (kruhová destička používaná pro srážení hran). Tato konvenční metoda obrábění má několik nevýhod. Jednou z nich je velké množství třísek, které jsou nechtěné jak z hlediska možnosti zanesení hrubých nečistot do dalších částí výroby, tak i z pohledu bezproblémové funkčnosti stroje a bezpečnosti jeho obsluhy. Třísky se často mohou hromadit v pracovním prostoru, a tím zapříčinit zhoršení kvality výrobku. Vzniká velký objem odpadního materiálu, který se musí zpracovat. Ztrácí se více materiálu prořezem.

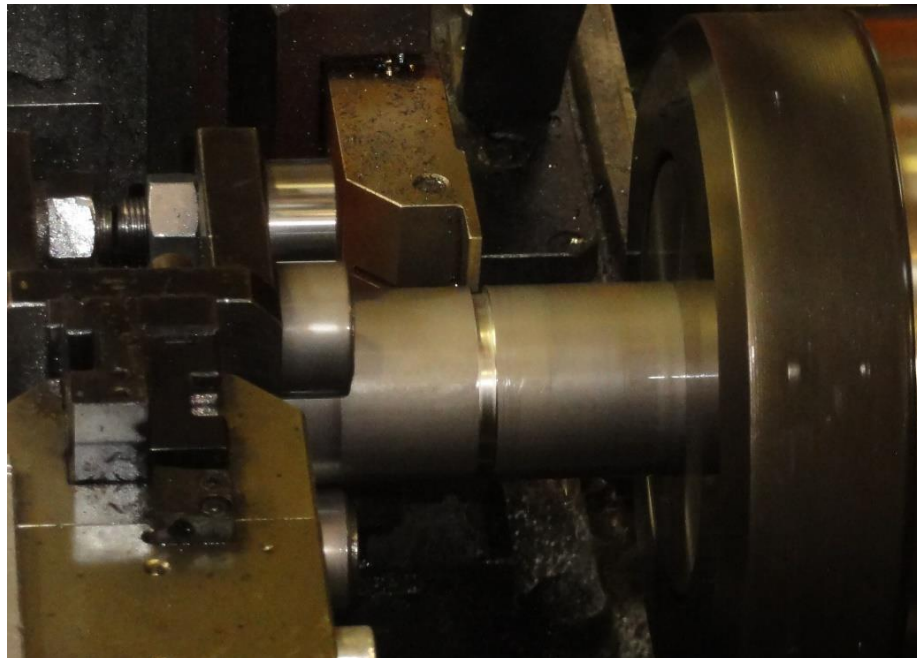
Po upichování se také často stává, že zůstane větší otřep se šponou připevněný k trubce, který může ovlivnit délku upíchlé trubky, protože vytvořil falešný konec trubky na dorazu. Takový problém pak nevyřeší ani operace automatického čištění,



keré je prováděno stlačeným vzduchem nebo kapalinou pod tlakem. Naopak mezi výhody patří nezměnění rozměrů vnitřního a vnějšího průměru trubky. Jelikož je materiál odebírán po vrstvách formou třísek, konce trubek nemají tendenci se „zavírat“, tzn. výrazně se deformovat na krajích (v rovině řezu).



*Obr. 3.3 Upichování s VBD tvaru „R“*

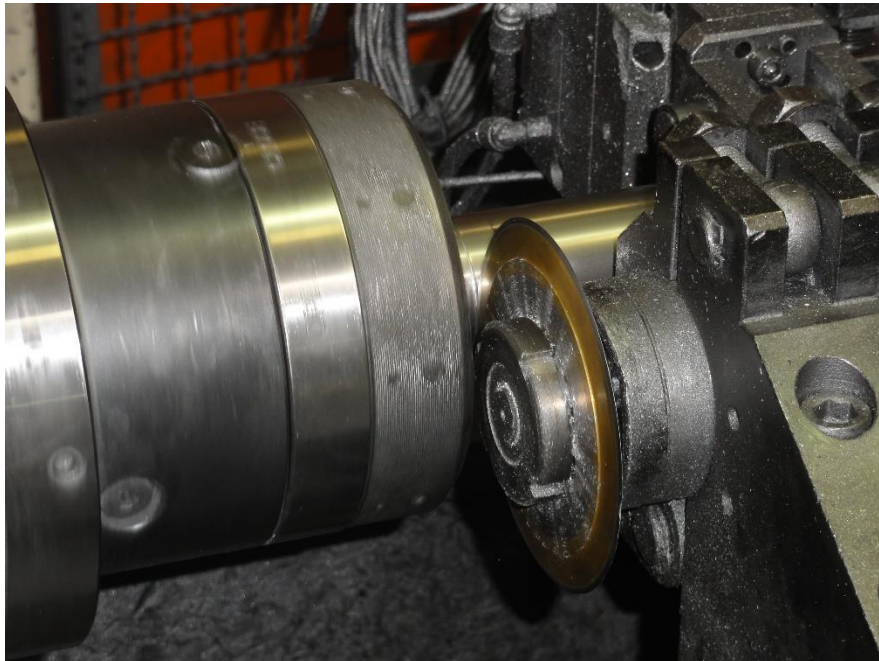


*Obr. 3.4 Upichování upichovacím nožem s VBD*

### 3.2.2 Dělení trubek beztržiskovým obráběním v KMCZ

- **Řezání jedním odvalujícím se kotoučovým nožem**

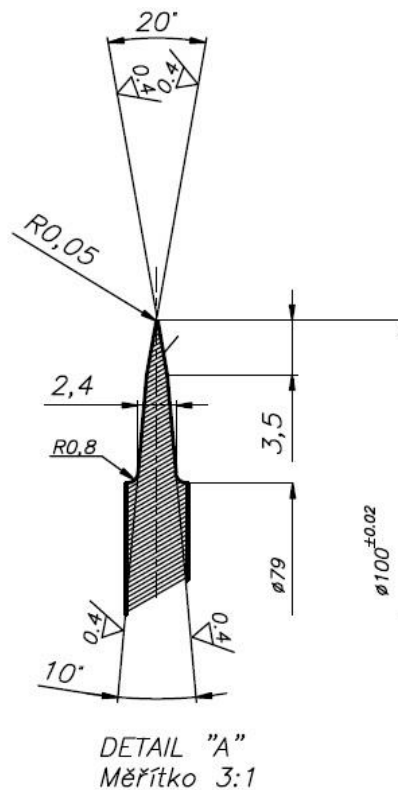
Hlavní řezný pohyb je rotační a koná ho obrobek. Vedlejší pohyb je přísuv do řezu a koná ho nástroj, kterým je kotoučový nůž. Polotovary (trubky) je podáván podavačem trubek a prochází vřeteníkem stroje do upínací hlavy. Délka dělené trubky se nastavuje dorazem. Odřezky konců vstupních polotovarů padají na skluz skrz lože a jsou dopravovány pásovým dopravníkem do bedny s kovovým odpadem. Trubky, uřezané na správnou délku, jsou manipulátorem odkládány na pásový dopravník a pokračují ke stanovištím následujících operací.



*Obr. 3.5 Kotoučový nůž „v řezu“*

Do optimalizace procesu řezání jedním odvalujícím se kotoučovým nožem vstupuje několik faktorů, mezi kterými jsou i řezné podmínky. První jsou otáčky polotovaru (trubky), které musí být vyšší než u stále používaného upichování. Optimální otáčky jsou kolem  $2200 \text{ ot.min}^{-1}$ , u upichování se nastavuje přibližně  $1600 \text{ ot.min}^{-1}$ . Zcela zásadním faktorem je rychlost přísuvu kotoučového nože do řezu, která se udává v  $[\text{mm.s}^{-1}]$ . Zde totiž závisí na tom, jak moc se trubka v rovině řezu „uzavře“. Dalším faktorem je samotný kotoučový nůž, u kterého záleží především na geometrii řezné části. Používá se kotoučový nůž bez přerušovaného ostří s poloměrem špičky

0,05 nebo 0,1 mm. Důležitým prvkem ostří je tzv. před-fáze, která může být 20° nebo 40° a napomáhá snadnějšímu vniknutí kotouče do materiálu.

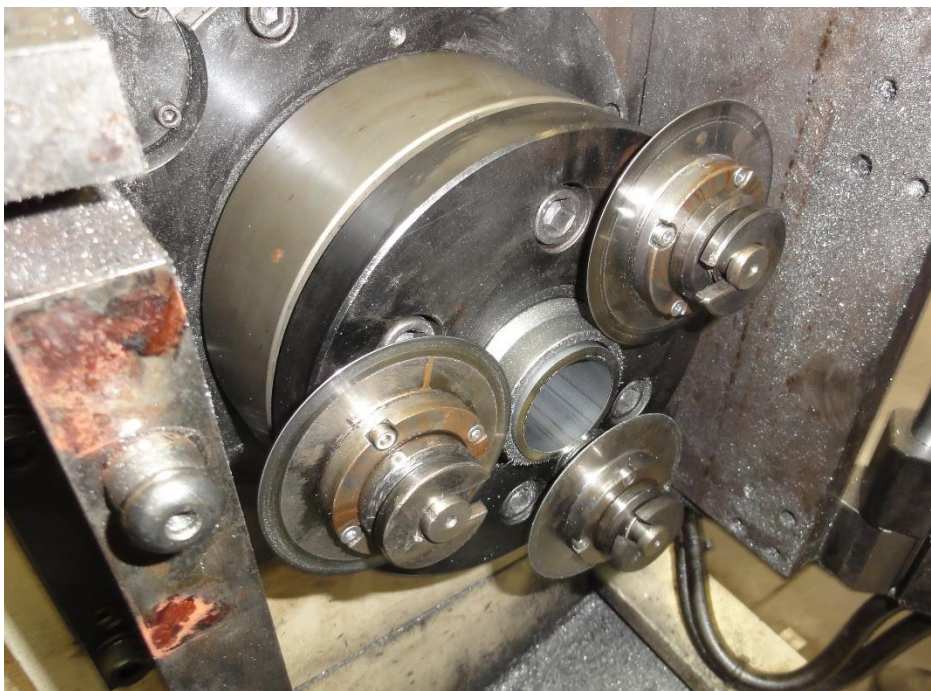


Obr. 3.6 Detail řezné části kotoučového nože

Životnost kotoučového nože je v porovnání s VBD při soustružení vyšší. Musí se však dbát na to, aby byl kotouč správně upnutý a hřídel, na které je kotouč upnutý, správně uložena. Pokud by docházelo k častému prokluzu kotouče s materiálem, výrazně by se zkrátila životnost (až na čtvrtinu). To může být zapříčiněno špatně zvolenými ložisky. Důležité je také správně určit vzdálenost, do které koná nástroj řezný pohyb. Pokud se totiž nástroj začne zanořovat příliš hluboko do řezu, přičemž bude trubka už oddělená, začne se na straně kotouče odírat povrch. To může vést až ke zničení nástroje.

- **Řezání třemi kotoučovými noži upnutými v kotoučové hlavě**

Hlavní řezný pohyb je rotační a koná ho nástrojová hlava. Vedlejší pohyb, přísuv do řezu, koná nástroj, v tomto případě všechny tři kotouče. Tento pohyb je vykonáván mechanismem v nástrojové hlavě. Důležitým rozdílem oproti předcházející metodě je to, že polotovar nekoná žádný pohyb a je pevně upnut v upínací hlavě. Jak bylo zmíněno na konci teoretické části, používá se tato metoda pro trubky o větších průměrech a větších tloušťkách stěn, protože je možné použít vyšší řezné síly. Hlava zůstává navenek silově neutrální.



*Obr. 3.7 Kotoučová hlava pro řezání třemi kotoučovými noži*

### 3.3 Experiment

K naplnění cílů této práce jsme se rozhodli, společně s mým konzultantem v KMCZ, provést experiment přímo ve výrobě. Experiment byl proveden na technologii dělení trubek jedním kotoučovým nožem, kdy hlavní řezný pohyb koná trubka a vedlejší pohyb (přísuv) koná nástroj. Pro nastínění dané problematiky dělení materiálu, jsme se rozhodli provést řezy třemi kotoučovými noži, z nichž každý měl odlišnou geometrii ostří. Celý experiment probíhal na stejném stroji a byl dělen stejný polotovar.

Abychom mohli z výsledků měření zhodnotit tuto beztržkovou technologii dělení materiálu, bylo třeba stanovit, za jakých podmínek bude měření probíhat. Stanovené podmínky a zvolené zařízení pro experiment:

- Stroj na řezání trubek kotoučovým nožem.
- Tři kotoučové nože s různou geometrií ostří.
- Polotvar: trubka, dělená na stejné délky. Vyhodnocovaná odřezaná trubka má charakteristický řez z obou stran.
- Otáčky vřetene (polotovaru) zůstávají neměnné:  $n = 2200 \text{ ot.min}^{-1}$
- Jediná hodnota z řezných podmínek, která se mění, je rychlost přísuvu nástroje do řezu.

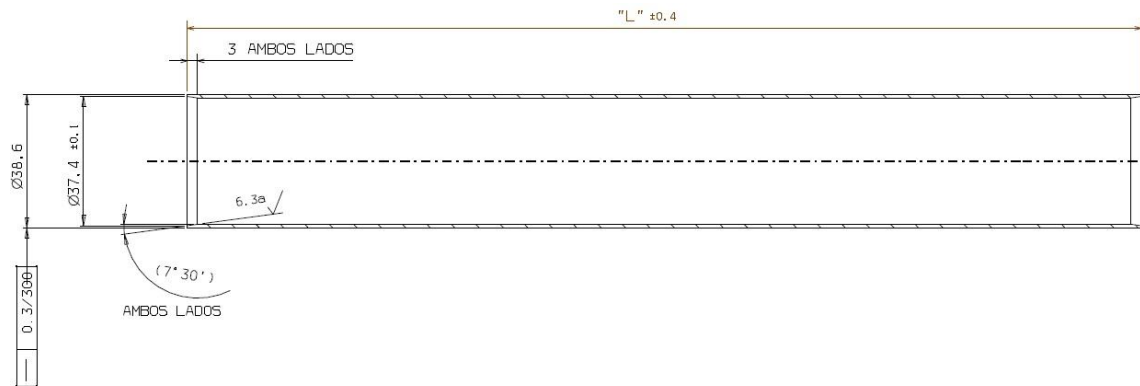
Měřením bude probíhat ve dvou krocích, ve kterých se bude zkoumat:

- Vliv rychlosti přísuvu nástroje na délce jednotkového strojního času.
- Vliv rychlosti přísuvu nástroje a geometrie řezné části nástroje na kvalitě řezu. Vyhodnocovat se bude deformace trubky na koncích, tzv. „zavření“. To znamená, o kolik bude vnitřní průměr trubky na koncích menší než jmenovitý vnitřní průměr polotovaru.

Prvním krok měření zahrnoval použití tzv. „sériového nástroje“ (momentálně používaného ve výrobě), se kterým jsme naměřili jednotkové strojní časy pro tři hodnoty rychlosti přísuvu. „Sériová rychlost přísuvu“ je  $1 \text{ mm.s}^{-1}$ . Měření probíhalo pro tyto tři hodnoty rychlosti přísuvu: 0,5; 1; 3 [ $\text{mm.s}^{-1}$ ]. Druhý krok měření obnášel porovnání řezu třemi kotoučovými noži rychlostí přísuvu 1 a 3 [ $\text{mm.s}^{-1}$ ].

### 3.3.1 Popis výrobku

Výrobkem zkoumané operace dělení materiálu byla vnější trubka tlumiče, který je určený pro zadní nápravu automobilu Suzuki Vitara.



Obr. 3.8 Vnější trubka tlumiče (detail)<sup>114</sup>

Vysvětlivky: AMBOS LADOS – obě strany

- Rozměry trubky: vnější průměr: Ø 38,6 mm  
vnitřní průměr: Ø 36,6 mm  
vnitřní průměr na okraji: Ø 37,4 ± 0,1 mm  
délka: L = 425,4 ± 0,4 mm

Jak lze vidět na výkresu vnější trubky, důležitým rozměrem pro správnou funkčnost tlumiče je vnitřní průměr trubky na okraji, u kterého musí být dodržena předepsaná tolerance 0,1 mm. Tento rozměr může být ohrožen právě špatným zvolením řezných podmínek a geometrie řezné části kotoučového nože.

<sup>114</sup>Celý výkres vnější trubky přiložen v příloze č. 1.

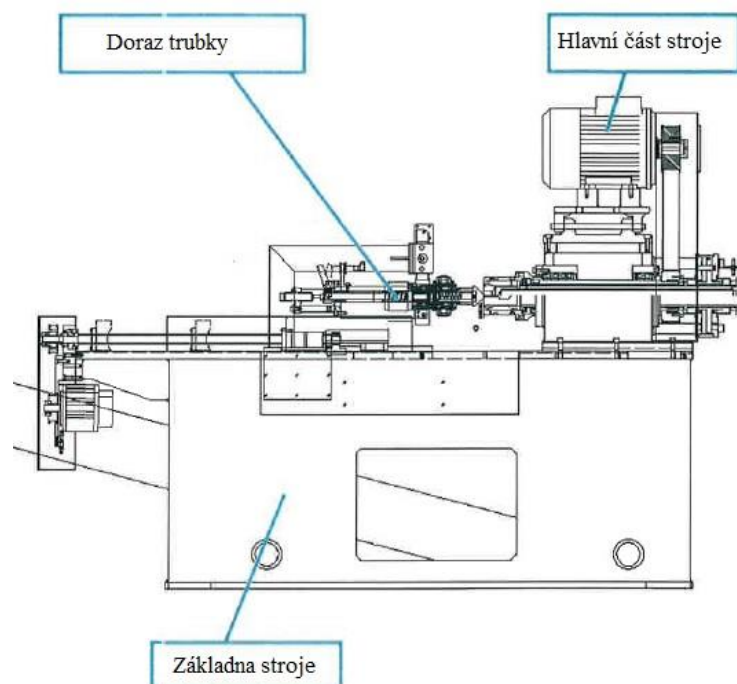
### 3.3.2 Materiál výrobku

Polotovarem pro výrobu vnější trubky tlumiče byla podélně svařovaná, kalibrovaná ocelová trubka.<sup>115</sup>

- Rozměrová norma: DIN 2394  
rozsah vnějšího průměru: 10 až 90 mm  
rozsah tloušťky stěny: 1 až 5 mm
- Materiál: RSt 34-2 BKM  
(nelegovaná ocel E 195, ČSN 11 342)  
pevnost v tahu: min. 330 MPa  
prodloužení: min. 8 %
- Rozměr polotovaru: vnější průměr:  $\text{Ø } 38,6 \pm 0,6 \text{ mm}$   
tloušťka stěny:  $1 \pm 0,1 \text{ mm}$

### 3.3.3 Výrobní stroj

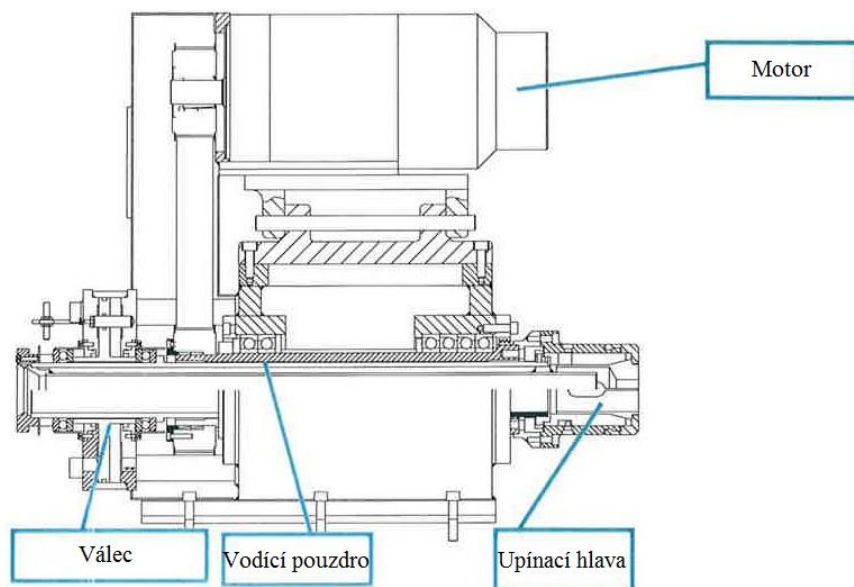
Stroj pro dělení trubek kotoučovými noži, který se používá v KMCZ a byl vhodný pro experiment. Výrobce tohoto stroje je španělská firma Launik.<sup>116</sup>



Obr. 3.9 Schéma stroje

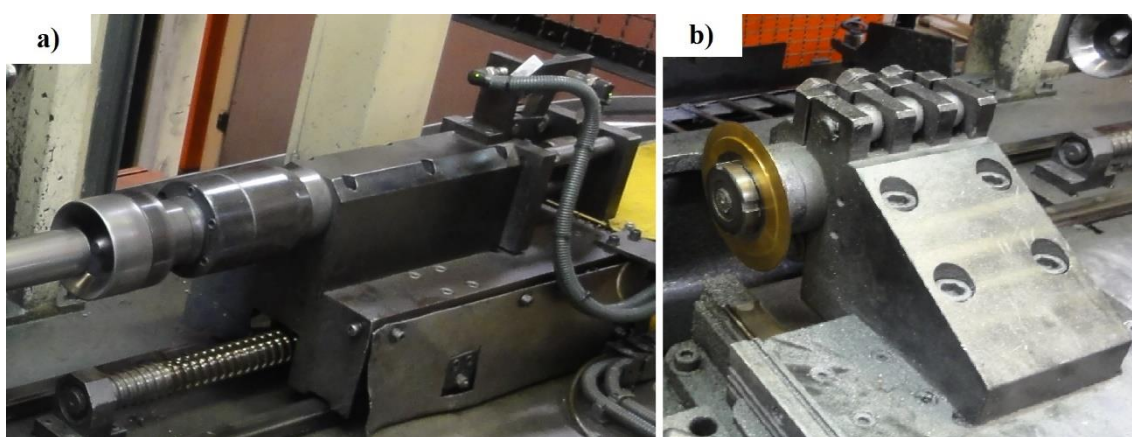
<sup>115</sup>Celý materiálový list přiložen v příloze č. 2.

<sup>116</sup>Fotodokumentaci stroje přiložen v příloze č. 3.



Obr. 3.10 Hlavní část stroje

Hlavní část stroje se skládá z motoru, nastavitelného vodícího pouzdra (podle průměru řezané trubky) a upínací hlavy (řízené systémem pro upínání). Pohyb v ose vřetena je vykonáván dvojčinným pneumatickým válcem a pomocí tohoto pohybu je upínací hlava otevírána a zavírána. Další části stroje jsou doraz poháněný servopohonem, pomocí kterého se přesně nastaví odpovídající délka trubky k uříznutí, a držák nástroje. Držák nástroje se skládá z hřídele<sup>117</sup> a ložisek, na kterých je hřídel s nástrojem uložena.<sup>118</sup>



Obr. 3.11 a) Doraz na trubky, b) Nástrojový držák

<sup>117</sup>Výkres hřídele přiložen v příloze č. 4.

<sup>118</sup>Část výkresu nástrojového držáku přiložen v příloze č. 5.



### 3.3.4 Výrobní nástroj

Byly použity celkem tři kotoučové nože s rozdílnou geometrií řezné části (poloměr špičky a úhel před fáze). Ostatní rozměry a materiál měly všechny tři kotouče stejné. Výrobce kotoučových nožů je firma GSP – High Tech Saws, s.r.o.

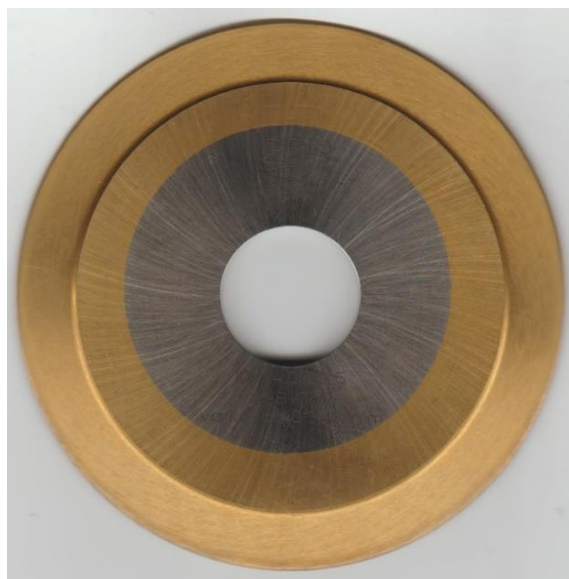
Tabulka 3.1 Geometrie řezné části použitých kotoučových nožů

Číslo kotoučového nože	Poloměr špičky [mm]	Úhel před fáze
1 „sériový“ <sup>119</sup>	0,05	20°
2	0,1	20°
3	0,1	40°

- Rozměry kotoučových nožů:      průměr:                      Ø 100 mm  
   středový otvor:        Ø 25,5 mm  
   šířka:                        4 mm

Použité nože měly rovný výbrus bez podbrusu a přírubu na průměru Ø 79 mm, tvar ostří byl „H“, což je oboustranné ostří s úhlem 10°.

- Materiál kotoučových nožů:      rychlořezná ocel (HSS)  
   EMo5Co5 (DIN 1.3343)  
   tvrdost: 61 až 63 HRC  
   provedení s povlakem TIN (nitrid titanu)



Obr. 3.12 Kotoučový nůž

<sup>119</sup>Výkres kotoučového nože přiložen v příloze č. 6.

### 3.3.5 Výsledky měření

- Vliv rychlosti přísuvu nástroje na délce jednotkového strojního času.

Tabulka 3.2 Naměřené hodnoty strojního času

Rychlost přísuvu $f$ [mm.s <sup>-1</sup> ]	0,5	1	3
Čas na výměnu trubky $t_1$ [s]	1	1	1
Čas přísuvu do řezu $t_2$ [s]	4,9	2,6	0,7
Čas odjezdu nástroje $t_3$ [s]	0,6	0,6	0,6
Strojní jednotkový čas $t_a$ [s]	8,6	6,3	4,4

- Vliv rychlosti přísuvu nástroje a geometrie řezné části nástroje na kvalitě řezu.
  - Toto měření bylo provedeno pouze pro sériovou a její trojnásobnou hodnotu rychlosti přísuvu. Pomalejší rychlost přísuvu má za následek prodloužení strojního času, ne však zhoršení kvality řezu.

Tabulka 3.3 Naměřené hodnoty pro kotoučový nůž č. 1.

Rychlost přísuvu $f$ [mm.s <sup>-1</sup> ]	1	3
Vnitřní průměr trubky [mm]	36,2	35,9
Vnější průměr trubky [mm]	38,7	38,5

Tabulka 3.4 Naměřené hodnoty pro kotoučový nůž č. 2.

Rychlost přísuvu $f$ [mm.s <sup>-1</sup> ]	1	3
Vnitřní průměr trubky [mm]	36	35,3
Vnější průměr trubky [mm]	38,6	38,35

Tabulka 3.5 Naměřené hodnoty pro kotoučový nůž č. 3.

Rychlost přísuvu $f$ [mm.s <sup>-1</sup> ]	1	3
Vnitřní průměr trubky [mm]	35,6	34,8
Vnější průměr trubky [mm]	38,5	38,1

- Vnitřní a vnější průměr byl naměřen na úplném okraji trubky, aby byl vidět přibližný rozdíl mezi původními průměry trubky a řezem deformovanými rozměry.
- Použité měřidlo: posuvné měřítko SOMET.
- Detailní fotky nejuzavřenějšího a nejméně uzavřeného konce trubky přiloženy v příloze č. 7.

## 4 Zhodnocení použité technologie

Zhodnocení beztrískové technologie dělení materiálu kotoučovým nožem můžeme provést z několika úhlů pohledu. Dělení kotoučovým nožem má řadu výhod a nevýhod, které jsme schopni porovnat s třískovými technologiemi dělení materiálu. Vzhledem k tomu, že v KMCZ stojí takřka vedle sebe beztrískové a třískové dělení materiálu pracující téměř ve stejném režimu, je příhodné zmínit několik poznatků právě z tohoto pohledu.

- **Zhodnocení z ekonomického hlediska**

Jak bylo již zmíněno, životnost kotoučového nože je vcelku vysoká. V porovnání s vyměnitelnou břitovou destičkou, která se používá při dělení trubek upichováním, vydrží kotoučový nůž více než dvaceti násobek provedených řezů. Ekonomičnost této metody z hlediska nákladů na nástroje lze vidět v tabulce 4.1.

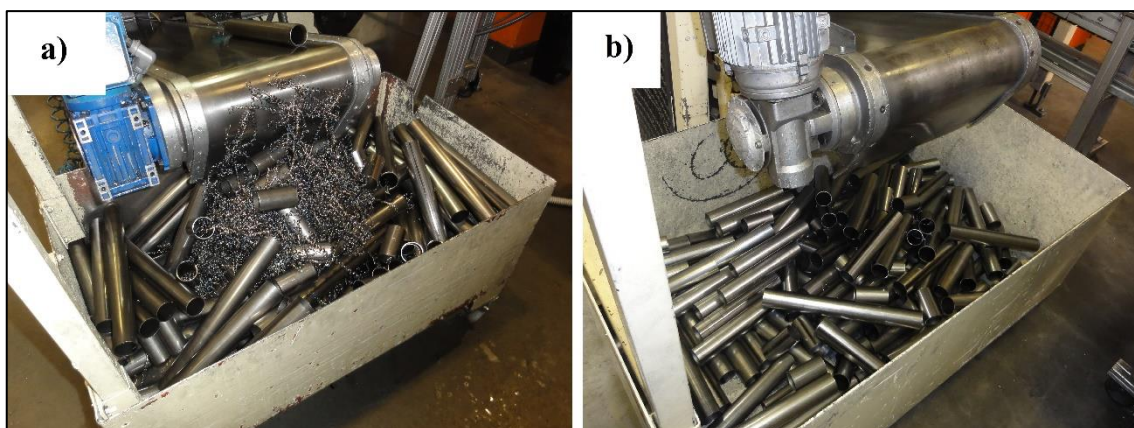
Tabulka 4.1 Náklady na nástroje

	Pořizovací cena [Kč]	Průměrná životnost [počet dělení]	Náklady na 100 ks výrobku <sup>120</sup> [Kč]
<b>Kotoučový nůž</b>	1655	100000	<b>1,7</b>
<b>Upichovací VBD</b>	270	4500	<b>6</b>

- **Zhodnocení z hlediska čistoty výrobního procesu**

Z tohoto hlediska je nespornou výhodou metody řezání kotoučovým nožem, že jde o beztrískovou technologii obrábění. Při dělení materiálu touto metodou nezůstávají na stroji, ani v jeho okolí žádné kovové nečistoty jako jsou třísky, kovová drť či prach. Na dělené součásti tato metoda nezanechává také žádné nečistoty, což je jednou z největších výhod dělení materiálu kotoučovým nožem. Srovnání třískové a beztrískové technologie obrábění z hlediska množství kovového odpadu vznikajícího při operaci dělení materiálu lze vidět na obr. 4.1. Na obr. 4.1 a) můžeme vidět jak se kovové třísky a špony hromadí u konce pásového dopravníku. V tomto ohledu má metoda beztrískového obrábění nepochybnou výhodu.

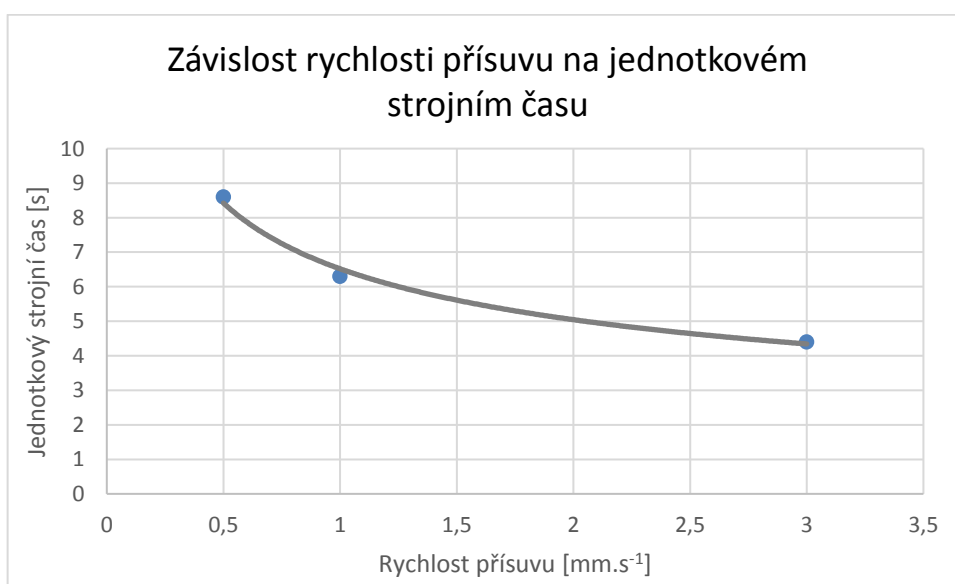
<sup>120</sup>Pokud uvažujeme, že jedním dělením vznikne jeden kus výrobku



Obr. 4.1 Kovový odpad po a) třískovém obrábění, b) beztřískovém obrábění

- **Zhodnocení z hlediska výsledků měření**

Z první části experimentu vyplývá, že rychlost přísuvu je nepřímo úměrná jednotkovému strojnímu času (čas, který je potřeba k výrobě jednoho kusu) a času přísuvu nástroje do řezu. Ostatní naměřené časy jsou fixní a nejsou závislé na rychlosti přísuvu. Čas cyklu, který je nastaven celým výrobním procesem v závodě a určuje ho jiný stroj, je 7,3 s. Cílem strojního jednotkového času této technologie je tedy dostat se pod čas cyklu celé výroby. Z výsledků tedy plyne, že sériová rychlost přísuvu stačí k dosažení optimálního času, který je 6,3 s. Zkracovat dále strojní čas této operace není v případě dané výroby nutné.



Obr. 4.2 Graf naměřené závislosti

Zajímavější výsledky plynou z druhé části měření, kde lze jednoznačně říct, že zvyšující se rychlost přísuvu má za následek větší deformaci na koncích trubek. Vlivem deformace, která je vyvolána působením kotoučového nože na stěnu trubky, dochází ke zmenšení jak vnějšího, tak vnitřního průměru. U sériového nástroje se při zvýšení rychlosti přísuvu zmenší oba průměry o přibližně stejnou hodnotu. Zajímavé je, což lze vidět i na horním obrázku v příloze č. 7, že při řezání sériovou rychlostí přísuvu se vnější průměr okraje dokonce nepatrně zvětšil. To je zřejmé i z naměřených hodnot.

Hodnoty naměřené u kotoučového nože č. 2 dokazují, že při sériové rychlosti přísuvu nehraje zvětšení poloměru špičky nástroje na 0,1 mm velkou roli. Avšak při zvýšení rychlosti přísuvu si lze všimnout, že je trubka více zdeformovaná.

Hodnoty naměřené u kotoučového nože č. 3 dokazují, že správná cesta ke zlepšení kvality řezu a zabránění uzavírání konců trubek nevede volbou této geometrie řezné části. Zvětšená hodnota úhlu před fáze na  $40^\circ$  a poloměr ostří 0,1 mm zapříčiní značné zavření konce trubky dokonce už u sériové rychlosti přísuvu do řezu. Zvýšení této rychlosti na  $3 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  má za následek masivní deformaci konce trubky, kdy se vnitřní průměr zmenšil téměř o 1,5 mm. Dochází zde tedy k nechtěnému uzavření konce trubky.

- **Celkové zhodnocení**

Dělení materiálu kotoučovým nožem, který je volně uložený (nepoháněný), je vhodná beztržisková technologie k řezání rotačních součástí, kterými jsou nejčastěji trubky. Z výsledků měření plyne, že lze efektivně řezat ocelové trubky s velmi dobrou kvalitou oblasti řezu.

Výhody:

- beztržisková technologie, lepší hospodaření s odpady,
- relativně dlouhá životnost nástroje,
- nižší náklady na nástroje,
- rychlý čas dělení (2,5 s),
- bezpečnost práce z hlediska nepřítomnosti třísek.

Nevýhody:

- uzavírání (deformace) konců trubek vlivem rychlého přísuvu do řezu nebo nevhodně zvolenou geometrií řezné části kotoučového nože,
- vyšší nároky na seřízení nástrojové hlavy (držáku nástroje), kde může být následkem až čtyřikrát nižší životnost nástroje.

## 5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zhodnotit metodu řezání kotoučovým nožem patřící do technologie beztržiskového obrábění. Teoretická část práce pojednává obecně o technologii obrábění a klade důraz na rozdělení z hlediska principu úběru materiálu na beztržiskové a tržiskové obrábění. Popsány byly všechny základní principy výrobních metod, dokončovacích metod, nekonvenčních metod obrábění a metod dělení materiálu z technologie tržiskového a beztržiskového obrábění. Celá teoretická část byla strukturována tak, aby i nezasvěceného čtenáře provedla od obecných základů ke konkrétní řešené problematice, což byl jeden z vedlejších požadavků zadavatele tématu této práce, kterým byla firma KYB Manufacturing Czech s.r.o.

Cíl práce byl naplněn prostřednictvím praktické části práce a provedeního experimentu. Ačkoliv tato metoda dělení materiálu není moc známá, prostřednictvím zadavatele, který tuto metodu aplikuje na řezání trubek ve výrobním procesu tlumičů do osobních automobilů, bylo možné získat dostatek odborných informací. Dělení materiálu kotoučovým nožem může být realizované buď jedním kotoučovým nožem konajícím přísuv do řezu, zatímco polotovar koná rotační pohyb, nebo třemi kotoučovými noži upnutými v nástrojové hlavě, zatímco se polotovar nehýbe. Nástroj je nepoháněný, tudíž jeho rotační pohyb vzniká až odvalováním se po dělení materiálu. Proto se tato metoda aplikuje při dělení rotačních součástí (převážně u trubek).

Experiment byl proveden na metodě řezání jedním kotoučovým nožem. Bylo uděláno sedm reprezentativních řezů trubek třemi kotoučovými noži s různou geometrií řezné části nástroje a různými rychlostmi přísuvu nástroje do řezu. Z výsledků měření a následného zhodnocení se došlo k následujícím závěrům:

- optimální hodnota rychlosti přísuvu nástroje do řezu vzhledem k taktu celé výrobní linky a kvalitě provedeního řezu je  $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ,
- optimální geometrie řezné části nástroje je s nižší hodnotou úhlu před fáze ( $20^\circ$ ) a menším poloměrem špičky (0,05 mm),
- z hlediska nákladů na nástroje a jejich životností je kotoučový nůž téměř šestkrát levnější než vyměnitelná břitová destička u souběžně používaného upichování,
- největší výhodou metody je absence třísek při řezání, tedy vyšší čistota a bezpečnost,
- největší nevýhodou je uzavírání konců trubek způsobené špatně zvolenou rychlostí přísuvu nástroje do řezu nebo nevhodnou geometrií řezné části nástroje.

## Seznam použité literatury

- [1] Autopedie-Tlumiče pérování-Autorozvody.cz. *Autorozvody.cz* [online].  
[cit. 2017-06-25]. Dostupné z: <http://www.autorozvody.cz/autopedie/tlumice.html>
- [2] BARCAL, Jaroslav. *Nekonvenční metody obrábění*. Praha: Edič. střed. Čes. vys. uč. techn., 1989. 122 s.
- [3] ČEP, Robert a Jana PETRŮ. *Experimentální metody v obrábění: učební text*. Ostrava: VŠB-TUO, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012. 143 s. ISBN 9788024825335.
- [4] Elektroerozivní řezání drátem. In: *SoliCAD.com - CAD, CAM, Robotika a konstrukční kancelář* [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://solicad.com/i/detailni-popis-funkci-programu-sprutcam/c/sprutcam-detaily/g/sprutcam-info?page=9>
- [5] EL-HOFY, Hassan. *Fundamentals of machining processes: conventional and nonconventional processes*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis, c2014. 517 s. ISBN 978-1-4665-7702-2.
- [6] Frikční pilové kotouče na kov. In: *Pilové kotouče, nože a kotoučové pily GSP Zborovice* [online]. [cit. 2017-06-13]. Dostupné z: <http://www.gspzborovice.cz/Segmentove-a-frikcni-kotouce/Frikcni-pilove-kotouce/>
- [7] HAVELKA, Tomáš. Obrábění válečkováním. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2004, **2004**(4), s. 28. [cit. 2017-05-20]. DOI: 040497. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-valeckovanim.html>
- [8] HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2. 2., upr. vyd.* Praha: Scientia, 2001. 316 s. ISBN 80-7183-244-8.
- [9] Kotoučový nůž HSS. *Pilové kotouče, nože a kotoučové pily GSP Zborovice* [online]. [cit. 2017-06-23]. Dostupné z: <http://www.gspzborovice.cz/Kotoucove-noze/>
- [10] KVASNIČKA, Ivo, Vladimír SLAVÍK a Lubomír ŠTAJNOCHR. *Obráběcí nástroje*. Praha: ČVUT, 1998. 98 s. ISBN 80-01-01755-9.
- [11] MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03733-1.
- [12] MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. 1. díl. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007. 80 s. ISBN 978-80-01-03752-2.

- [13] MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. 3. díl. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2007. 88 s. ISBN 978-80-01-03752-2.
- [14] *Metal cutting technologies: progress and current trends*. Editor J. Paulo DAVIM. Berlin: De Gruyter/Oldenbourg, 2016. 173 s. De Gruyter series in advanced mechanical engineering. ISBN 978-3-11-044942-6.
- [15] MINAŘÍK, Václav. *Tepelné dělení materiálu*. Praha: ČVUT, 1993. 50 s. ISBN 80-01-01028-7.
- [16] PILOUS pásová pila na kov ARG 500 PLUS S.A.F. In: Pilous, Bomar, pásové pily a pilové pásy na kov [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: [http://www.karas.cz/catalog/pasove-pily-na-kov/pilous/poloautomaticke-pasove-pily/pilous-pasova-pila-na-kov-arg-500-plus-s-a-f-arg\\_500\\_plus\\_s-a-f](http://www.karas.cz/catalog/pasove-pily-na-kov/pilous/poloautomaticke-pasove-pily/pilous-pasova-pila-na-kov-arg-500-plus-s-a-f-arg_500_plus_s-a-f)
- [17] Pilové pásy bimetalové. Pilanametal - výroba a prodej pilových pásů, listů i strojů [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.pilanametal.cz/pilove-pasy-bimetalove.html>
- [18] PILOVÝ KOTOUČ SK - METAL CUT. In: Pilové kotouče a listy, vrtáky a frézy - Pilana market [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.pilanamarket.cz/pilove-kotouce-2/pilovy-kotouc-sk-metal-cut-pilana/>
- [19] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. 256 s. ISBN 80-7183-337-1.
- [20] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, **2007**(7), s. 60. [cit. 2017-05-21]. DOI: 070710. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni.html>
- [21] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, **2008**(3), s. 80. [cit. 2017-06-13]. DOI: 080304. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil.html>
- [22] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, **2008**(5), s. 68. [cit. 2017-06-16]. DOI: 071203. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-5-dil.html>
- [23] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, **2008**(6), s. 58.



- [cit. 2017-06-16]. DOI: 080625. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-2.html>
- [24] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, **2008**(10), s. 32. [cit. 2017-06-17]. DOI: 081005. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-8-dil.html>
- [25] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, **2007**(10), s. 58. [cit. 2017-06-17]. DOI: 071048. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-2-2.html>
- [26] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, **2007**(12), s. 54. [cit. 2017-06-17]. DOI: 071203. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-3-dil.html>
- [27] ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3 - 2. díl*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005, 221 s. ISBN 80-718-3336-3.
- [28] SIMON, Roland. Vodní paprsek s CNC řízením. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2014, **2014**(11), s. 104. [cit. 2017-06-18]. DOI: 141116. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vodni-paprsek-s-cnc-rizenim.html>
- [29] Strojní pilové listy. Pilana [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.pilana.cz/cz/strojni-pilove-listy>
- [30] ŠŤOURAČ, Radek. Průmysl 4.0: Počítačové vidění a jeho použití ve strojírenství. *MM Průmyslové spektrum*. 2016, **2016**(3), s. 54. DOI: 160345. ISSN 1212-2572.
- [31] Vliv dopadu částice na povrch. In: *Prášková lakovna - tryskání - tryskací zařízení: 1. Toušeňská s.r.o.* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.1tousenska.cz/sluzby.php?sub=4>
- [32] Warco průmyslová hydraulická rámová pila na kov, 270 kg. In: Prima Dílna [online]. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <https://www.primadilna.cz/Warco-prumyslova-hydraulicka-ramova-pila-na-kov-270-kg-d4451.htm>

# Seznam obrázků, tabulek a příloh

## Seznam obrázků

Obr. 2.1 Výrobní procesy .....	3
Obr. 2.2 Realizace řezného procesu: a) ortogonální řezání, b) obecné řezání.....	6
Obr. 2.3 Oblasti primární plastické deformace.....	7
Obr. 2.4 Hodnoty objemového součinitele třísek $\omega$ pro vybrané typy třísek .....	8
Obr. 2.5 Základní pohyby při soustružení, ve směru: a) podélném, b) obecném, c) příčném .....	9
Obr. 2.6 Frézování: a) nesousledné, b) sousledné, c) obvodem válcové frézy, d) čelem čelní frézy.....	10
Obr. 2.7 Schéma pohybu: a) hoblování, b) obrážení .....	12
Obr. 2.8 Protahovací trn: a) záběr zubů s obrobkem, b) části trnu .....	13
Obr. 2.9 Příklady broušení: a) do kulata, b) rovinného .....	14
Obr. 2.10 a) Strojní rámová pila na kov Warco, b) Strojní pilový list Pilana .....	18
Obr. 2.11 a) Pilový pás Pilana, b) Pásová pila na kov PILOUS.....	19
Obr. 2.12 Pilový kotouč na kov s destičkami ze SK – Pilana.....	20
Obr. 2.13 a) Vliv dopadu kuličky na povrch při tryskání, b) válečkovací hlava .....	22
Obr. 2.14 Schéma zařízení pro obrábění laserem .....	25
Obr. 2.15 Princip metody obrábění ultrazvukem.....	28
Obr. 2.16 Zuby frikčního kotouče .....	30
Obr. 2.17 Princip elektroerozivního řezání drátovou elektrodou .....	31
Obr. 2.18 Řezání laserem – schéma zařízení .....	32
Obr. 2.19 Elektrochemické dělení materiálu: a) drátovou elektrodou, b) štěrbinovým nástrojem.....	33
Obr. 2.20 Zařízení firmy STM pro řezání vodním paprskem vybavené řídicím systémem .....	34
Obr. 2.21 Řezání materiálu kyslíko-acetylenovým plamenem.....	35
Obr. 2.22 Příklady kotoučových nožů .....	37
Obr. 3.1 Tlumiče pro osobní automobily vyráběné v KMCZ v Pardubicích .....	39
Obr. 3.2 Schéma dvoutrubkového tlumiče automobilu .....	40
Obr. 3.3 Upichování s VBD tvaru „R“ .....	42
Obr. 3.4 Upichování upichovacím nožem s VBD .....	42

Obr. 3.5 Kotoučový nůž „v řezu“ .....	43
Obr. 3.6 Detail řezné části kotoučového nože .....	44
Obr. 3.7 Kotoučová hlava pro řezání třemi kotoučovými noži .....	45
Obr. 3.8 Vnější trubka tlumiče (detail) .....	47
Obr. 3.9 Schéma stroje.....	48
Obr. 3.10 Hlavní část stroje .....	49
Obr. 3.11 a) Doraz na trubky, b) Nástrojový držák .....	49
Obr. 3.12 Kotoučový nůž.....	50
Obr. 4.1 Kovový odpad po a) třískovém obrábění, b) beztřískovém obrábění.....	53
Obr. 4.2 Graf naměřené závislosti .....	53

### **Seznam tabulek**

Tabulka 2.1 Metody výroby otvorů kruhových průřezů.....	11
Tabulka 2.2 Třískové dokončovací metody.....	17
Tabulka 2.3 Beztřískové dokončovací metody .....	23
Tabulka 3.1 Geometrie řezné části použitých kotoučových nožů .....	50
Tabulka 3.2 Naměřené hodnoty strojního času .....	51
Tabulka 3.3 Naměřené hodnoty pro kotoučový nůž č. 1. ....	51
Tabulka 3.4 Naměřené hodnoty pro kotoučový nůž č. 2. ....	51
Tabulka 3.5 Naměřené hodnoty pro kotoučový nůž č. 3. ....	51
Tabulka 4.1 Náklady na nástroje .....	52

### **Seznam příloh**

Příloha č. 1	Výrobní výkres vnější trubky
Příloha č. 2	Materiálový list
Příloha č. 3	Fotodokumentace stroje
Příloha č. 4	Výkres hřídele
Příloha č. 5	Část výkresu sestavy nástrojového držáku
Příloha č. 6	Výkres kotoučového nože
Příloha č. 7	Nejuzavřenější a nejméně uzavřený konec trubky (fotky)



Přiloha č. 2

Materiálový list

10/15/2007



ESPECIFICACION DE MATERIAL

HOJA N

REF. 0301-560-3003 DENOMINACION TUBO EXTERIOR  
 DIMENSIONES ØEXTERIOR 38.6±0.18 ESPESOR: 1±0.1  
 FORMA DE SUMINISTRO BARRAS DE 5.880 <sup>+50</sup>/<sub>-10</sub> PAQUETES DE 1.000 Kg. MAX.  
 CALIDAD RSt 34-2 BKM (A) (C) NORMA DIN 2394

MATERIAL RSt 34-2 BKM COMPOSICION QUIMICA

	C	Mn	SI	P	S	Al			
(E) <u>RSt 34-2 BKM</u>	0.15 MAX.	0.60 MAX.	0.30 MAX.	0.025 MAX.	0.025 MAX.				
(D)									

CARACTERISTICAS MECANICAS (E)

RESISTENCIA A TRACCION (N/mm ) <sup>2</sup>	<u>RSt 34-2</u>			
LIMITE ELASTICO (N/mm ) <sup>2</sup>	<u>330 MIN.</u>			
ALARGAMIENTO %	<u>8 MIN.</u>			
DUREZA		(D)		

APLASTAMIENTO D/2 SOLDADURA MAS ALEJADA DEL ESFUERZO.  
 ABOCARDADO (MANDRINO CONO DE 60° .LONGITUD PROBETA-2D) 1.15 x D MIN. NO DEBE ROMPER POR LA SOLDADURA.

CARACTERISTICAS GENERALES

(E) TUBO DIRECTO DE LINEA SOLDADO A TOPE POR RESISTENCIA. LIBRE DE INCRUSTACIONES, Y MATERIALES EXTRA\_OS. CORDON DE SOLDADURA ELIMINADO  
 REBABA MAX. DE SOLDADURA +0.5 -0.2. UNO DE LOS EXTREMOS DEBERA VENIR ESCUADRADO  
 LIBRE DE REBABAS Y SIN ACHICAR. SUPERFICIE EXTERIOR SEGUN MUESTRA APROBADA.

CONDICIONES DE SUMINISTRO

EL EMBALAJE DEBE PROTEGER A LA MERCANCIA DE CUALQUIER DA\_O.  
 LAS PIEZAS VENDRAN EN PAQUETES UNIFORMES. LAS PIEZAS OXIDADAS SERAN RECHAZADAS O LOS GASTOS DE LIMPIEZA CORRERAN A CARGO DEL PROVEEDOR.  
 PAQUETES APILABLES.

REDACT.

13.6.85  
IRULEG.

SUPERV.

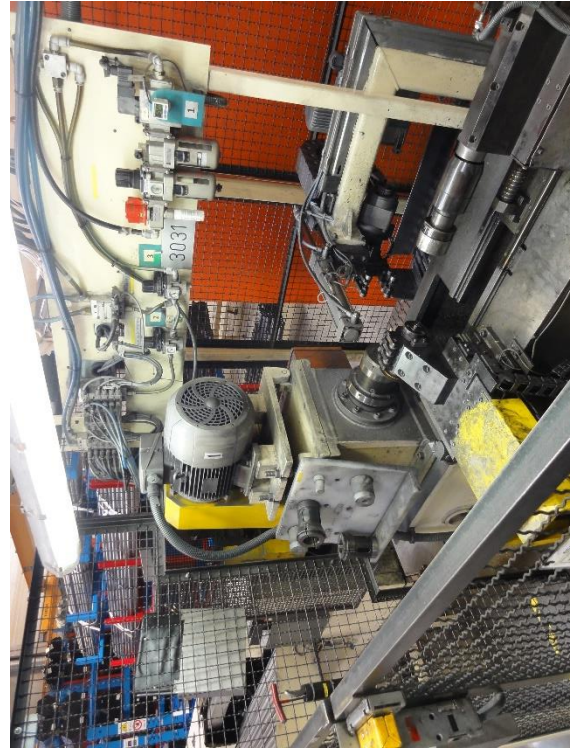
13.6.85  
IRULEG.

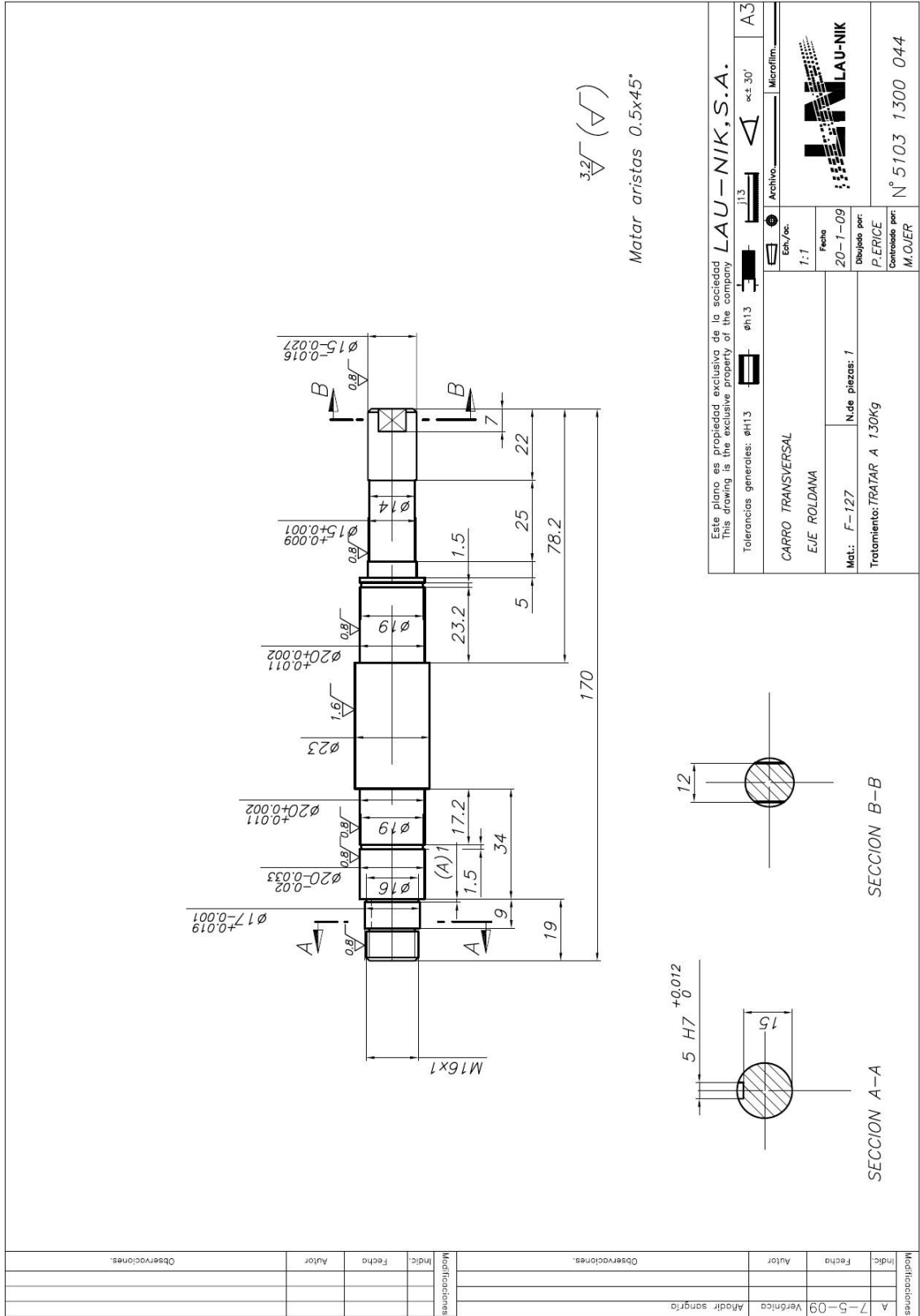
AUTORI.

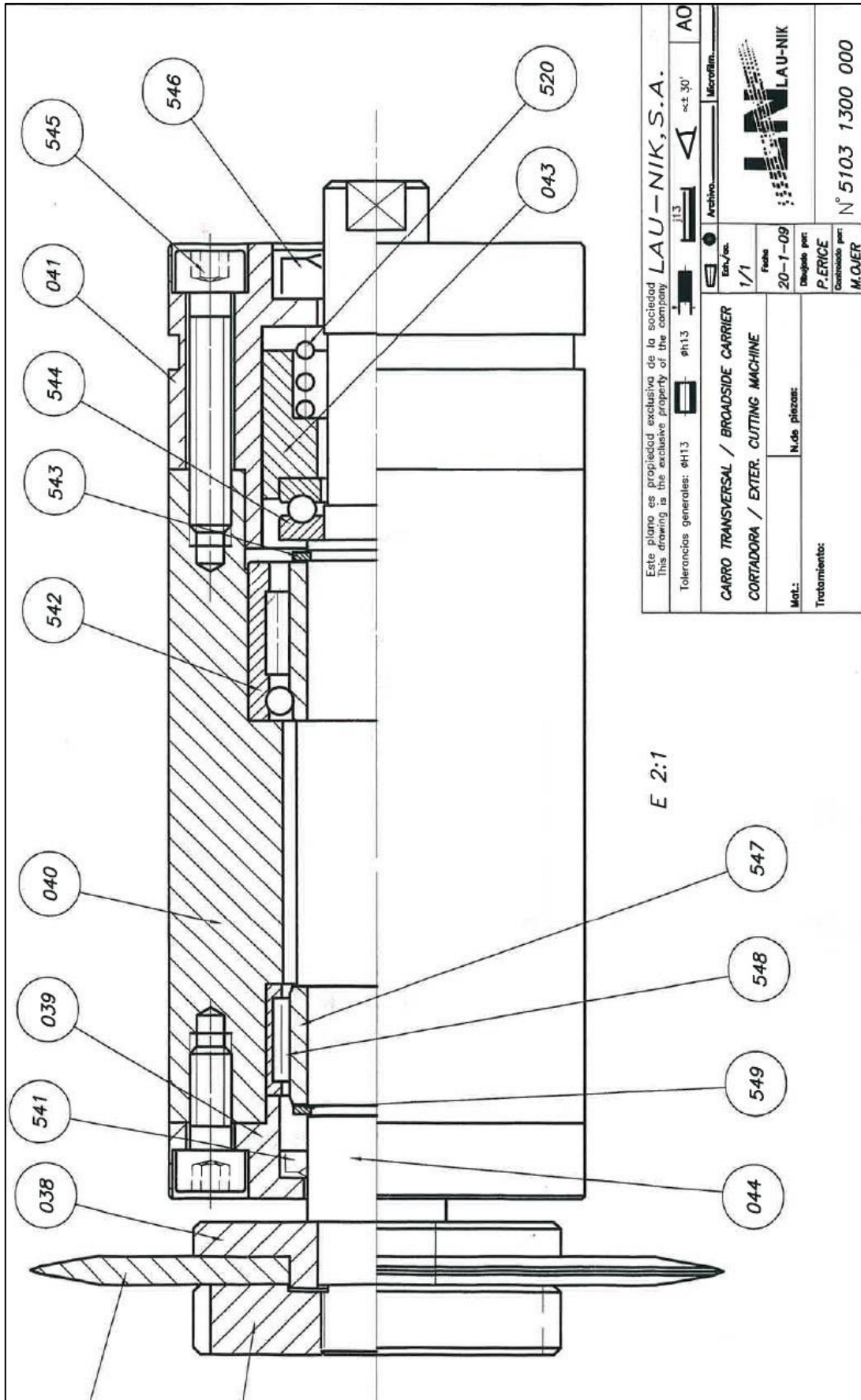
13.6.85  
IRULEG.

05 004

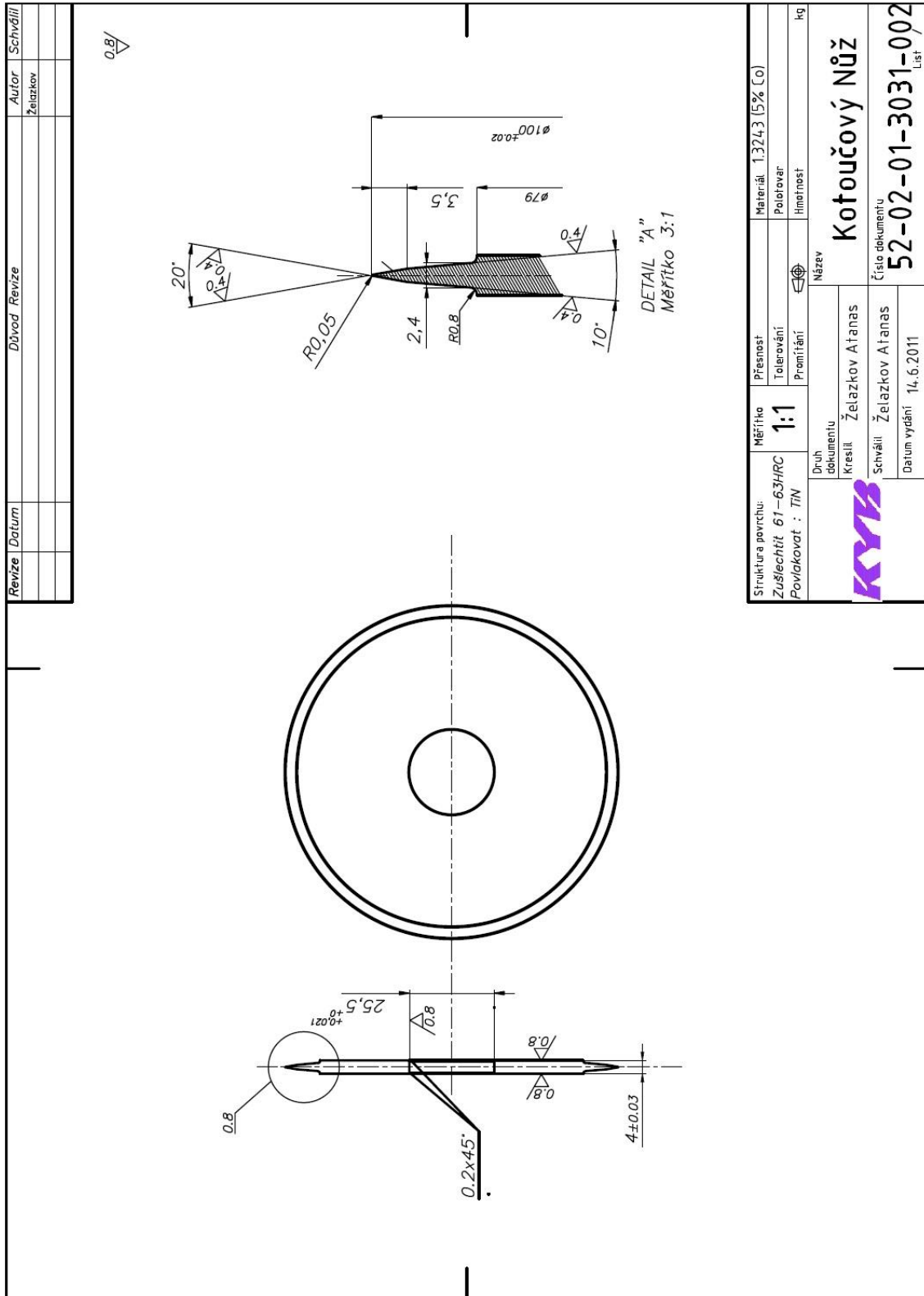
NIVEL DE INSPECCION							SUSTITUYE A:
(B) SEGUN PROGRAMA DE CONTROL DE CALIDAD CRITERIO DE ACEPTACION LOTE DEFECTOS: 0							SUSTITUIDO POR:
(E)	23.5.00		4674	GAN	LOZANO GAN	LOZANO	
(D)	3.9.94		3295	SUESSCUN	SUESSCUN	SUESSCUN	REF. EQUIV. EN KMCZ:
(C)	16.12.91		2903	GAN	GAN	GAN	0006 560 3003
(B)	3.10.91		2891	GAN	GAN	GAN	REF. EQUIV. EN KBFA:
(A)	7.8.87		2451	J.M.	J.M.	J.M.	REF. EQUIV. EN KYBSE:
NIVEL	FECHA	NOTA	Nº MODIFICACION	REDACTADO	SUPERVISADO	AUTORIZADO	











**Příloha č. 7            Nejuzavřenější a nejméně uzavřený konec trubky**

Horní obrázek: vyhovující (nejméně uzavřený) konec trubky – kotoučový nůž č.1, rychlost přísluvu 1 mm.s<sup>-1</sup>.

Dolní obrázek: nevyhovující (nejuzavřenější) konec trubky – kotoučový nůž č.3, rychlost přísluvu 3 mm.s<sup>-1</sup>.

