



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## MOŽNOSTI VÝROBY OTVORŮ VE STĚNĚ TRUBKY

THE OPTIONS OF PRODUCTION OF HOLES AT THE TUBE WALL

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Oldřich Vysloužil

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2020

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Oldřich Vysloužil</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Eva Peterková, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Možnosti výroby otvorů ve stěně trubky

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výroba kvalitních otvorů v trubkových dílcích není tak jednoduchá záležitost. V mnoha případech to vyžaduje speciální nástroje či přípravky, v neposlední řadě i zručnost a zkušenosti pracovníka. Existuje mnoho způsobů, jak tyto otvory zhotovit, a o tom bude pojednávat tato bakalářská práce. Jedná se tedy o vytvoření obecného přehledu způsobů výroby otvorů ve stěně trubky či trubkových dílců.

### Cíle bakalářské práce:

Vytvoření přehledu užívaných metod výroby otvorů ve stěně trubky či trubkových dílců.

U jednotlivých možností uvést základní princip dané metody, používané stroje, nástroje a přípravky.

Uvést přehled výhod a nevýhod u každé metody.

Práce bude doplněna názornou obrázkovou dokumentací a závěry.

### Seznam doporučené literatury:

TSCHÄTSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.

Handbuch der Umformtechnik: processes - machines - tools. New York: Springer, c1996. ISBN 35-406-1099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design: processes - machines - tools. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření: processes - machines - tools. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. Speciální technologie tváření: Část II. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4220-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

**VYSLOUŽIL OLDŘICH:** Možnosti výroby otvorů ve stěně trubky.

---

Téma bakalářské práce je zaměřeno na možné metody výroby otvorů ve stěně trubky. Jsou zde představeny nejznámější způsoby zhotovování otvorů jako je vrtání, stříhání a frézování. Dále je práce doplněna i o některé z nekonvenčních způsobů jako Flowdrill, T-drill nebo v současné době velice používanou technologii – řezání laserem. U každé metody je popsána základní technologie procesu, jsou zde uvedeny příklady nástrojů a strojů. Na závěr nechybí celkové hodnocení v podobě přehledu výhod a nevýhod.

**Klíčová slova:** Vrtání, frézování, T-drill, Flowdrill, trubkový laser

## **ABSTRACT**

**VYSLOUŽIL OLDŘICH:** The options of production of holes at the tube wall.

---

The topic of the bachelor thesis deals with processing and forming of profiles (tubes). In the thesis, the most well-known methods of making a hole in the wall of the tube such as drilling, cutting and milling are introduced. The work is further supplemented by some of the unconventional methods such as Flowdrill, T-drill, or currently the most required machining today – laser cutting. Basic technology process is described for each method, as well as examples of tools and machines are presented. In the end, complete evaluation is presented in the form of an overview of advantages and disadvantages.

**Keywords:** Drilling, milling, T-Drill, Flowdrill, laser tube

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VYSLOUŽIL, Oldřich. *Možnosti výroby otvorů ve stěně trubky* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/121766>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V ..... dne 26.6.2020

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji paní Ing. Evě Peterkové Ph.D. za cenné připomínky, věnovaný čas a rady týkající se zpracování bakalářské práce. V další řadě bych chtěl poděkovat zámečnické firmě Drahomíra Vysloužilová a celému kolektivu za poskytnutí podmínek pro tvorbu závěrečné práce a také rodině za podporu v průběhu studia.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
<b>ÚVOD</b> .....	9
<b>1 VRTÁNÍ</b> .....	10
<b>1.1 Nástroje</b> .....	10
<b>1.2 Stroje</b> .....	12
1.2.1 Vhodné stroje pro vrtání trubek.....	12
<b>1.3 Upnutí trubek</b> .....	14
1.3.1 Přípravky a pomůcky.....	14
<b>1.4 Příprava trubek</b> .....	15
<b>2 TERMÁLNÍ VRTÁNÍ (FLOWDRILL)</b> .....	17
<b>2.1 Nástroj Flowdrill</b> .....	17
<b>2.2 Použití a výhody</b> .....	17
<b>3 VYHRDLENÍ TRUBEK (T-DRILL)</b> .....	18
<b>3.1 Maziva pro tažení</b> .....	18
<b>3.2 Svařovaný spoj</b> .....	19
<b>3.3 Stroje</b> .....	19
<b>3.4 Použití a výhody</b> .....	20
<b>4 FRÉZOVÁNÍ</b> .....	21
<b>4.1 Nástroje</b> .....	21
<b>4.2 Stroje</b> .....	21
4.2.1 Upnutí trubek.....	22
<b>4.3 Použití a výhody</b> .....	22
<b>5 PROSTŘIŽENÍ OTVORU</b> .....	23
<b>5.1 Prostřihování trubek</b> .....	23
5.1.1 Prostřihování s následnou deformací.....	23
5.1.2 Prostřihování bez deformace.....	24
5.1.3 Nástroje.....	25
5.1.4 Stroje a děrovací jednotky .....	25
<b>5.2 Použití a výhody</b> .....	26
<b>6 TRUBKOVÝ LASER</b> .....	27
<b>6.1 Stroj</b> .....	27
<b>6.2 Použití a výhody</b> .....	28
<b>7 ZÁVĚRY</b> .....	29



Seznam použitých zdrojů

Seznam obrázků

## ÚVOD

V oblasti strojírenství se lze setkat se základními výrobními technologiemi jako jsou obrábění, svařování, tváření a slévání. Při výrobě strojních dílců je velmi důležité správně definovat výrobní postup a zvolit vhodnou metodu výroby. Pro výrobu daných dílců je v praxi zcela běžné využití i kombinace dvou či více výrobních technologií. Volba vhodné technologie je závislá zejména na množství vyráběných kusů, použitém materiálu, funkci vyráběného dílce, možnostech výrobního závodu a požadované přesnosti. Pro výrobu jsou používány různé polotovary, mezi které se řadí i duté profily s různými tvary průřezu. Nejčastěji se využívají profily s kruhovým průřezem nebo-li trubky. V poslední době se stále více prosazuje nahrazování polotovarů plných průřezů dutými profily. Tím je dosaženo snížení hmotnosti vyráběných dílců při zachování požadované tuhosti.

Součásti vyráběné z trubek jsou často opatřeny otvory, které lze zhotovit různými způsoby. Záleží na tom, k čemu daný otvor bude v praxi sloužit a jaké požadavky z hlediska geometrické a rozměrové přesnosti jsou na ně kladeny. Dle toho se zvolí vhodná metoda výroby otvoru.

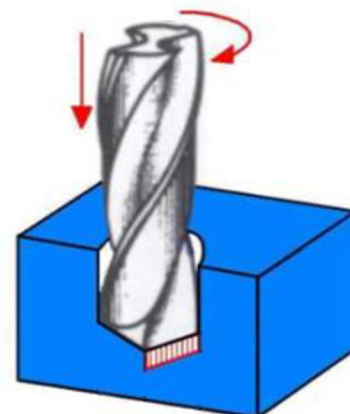
Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na problematiku výroby otvorů ve stěně trubky. Je zde vytvořen přehled nejznámějších metod užívaných v praxi včetně příkladů používaných strojů a nástrojů, výhod a nevýhod.



Obr. 1 ukázka technologií [1], [2], [3], [4]

## 1 VRTÁNÍ [5], [39]

Vrtání je způsob třískového obrábění výhradně dvoubřitým nástrojem (vrtákem), kterým se obrábí vnitřní válcové rotační plochy. Vrtáním se zhotovují průchozí či neprůchozí otvory do určitého materiálu (kovy i nekovy), nebo se zvětšují již předvrtané díry. Hlavní pohyb při vrtání na vrtačce je rotace nástroje kolem své osy a vedlejší pohyb vykonává opět nástroj, který se posouvá v ose do materiálu (princip je možné vidět na obr. 2). Obdobná metoda je vrtání na frézce, kdy hlavní pohyb je rotace, kterou vykonává nástroj a rozdíl je ve vedlejším pohybu, jež provádí obráběná součást. Další způsob je vrtání na soustruhu, kde rotační pohyb vykonává obrobek a posuv do záběru vykonává nástroj. V případě vrtání otvoru do stěny trubky je vhodná metoda vrtání na soustruhu pouze vy výjimečných případech (vrtání otvoru ve středu délky trubky, vhodné pro velmi krátké trubky) kvůli upnutí do sklíčidla. Proto se tato metoda nebude rozebírat.



Obr. 2 Princip vrtání [5]

### 1.1 Nástroje [40], [6], [7], [8], [9], [10]

Nástroj určený k vrtání se nazývá vrták. Zvolení správného nástroje na vrtání je ovlivněno celou řadou faktorů, mezi které patří průměr a délka díry, materiál obrobku, požadovaná tolerance a hraje roli i počet vrtaných děr. Vrtáky se upínají do vřetene stroje prostřednictvím různých typů upnutí:

- upínací hlava (sklíčidlo viz obr. 3) – nástroje s válcovou stopkou,
- morse kužel – převážně u vrtaček,
- upínač typu Weldon – např. u korunkových vrtáků,
- kleštinový upínač – charakteristický pro frézky.



Obr. 3 Sklíčidlo na vrtačku [6]

Dále však existují upínače hydraulické, silově deformační nebo tepelné, tyto způsoby jsou vhodné pro obráběcí centra (CNC). Pro vrtání otvoru do trubky či trubkových dílců budou z široké škály vrtáků vyskytujících se na trhu vhodné pouze některé.

Základní rozdělení nástrojů.

- Podle technologie vrtání a konstrukce (vrtání krátkých a dlouhých děr, vrtání průchozích nebo neprůchozích děr a speciální metoda tvářecí vrtání).
- Podle tvaru nástroje – vrtáku (šroubovitý, kopinatý, středící, hlavňový, stupňovitý, korunkový, speciální, tvářecí, vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami).



Obr. 4 Stupňovitý, korunkový a šroubovitý vrták [7], [8], [9]



Obr. 5 Speciální šroubovitý vrták [10]

Pro technologii vrtání děr do stěny trubky jsou použitelné pouze metody vrtání krátkých a zpravidla průchozích děr. Na obr. 4 je možné vidět nejpoužívanější typy. Korunkový vrták, který má na rozdíl od šroubovitého nebo stupňovitého vrtáku dvě kontaktní plochy s obrobkem má výhodu díky jeho konstrukci v tom, že není tolik vytlačován od osy vrtané díry. Stupňovitý a speciální šroubovitý vrták jsou vybaveny středícím navrtávacím hrotem a tím pádem je menší riziko uhýbání, a hlavně jsou produktivnější, jelikož se nemusí provádět příprava značení důlčíkem nebo předvrtávání. Speciální šroubovitý vrták je vyvinut přímo na vrtání trubek a je dokonce vhodný i pro vrtání pod úhlem.



Obr. 6 Vzorek z materiálu S235JR



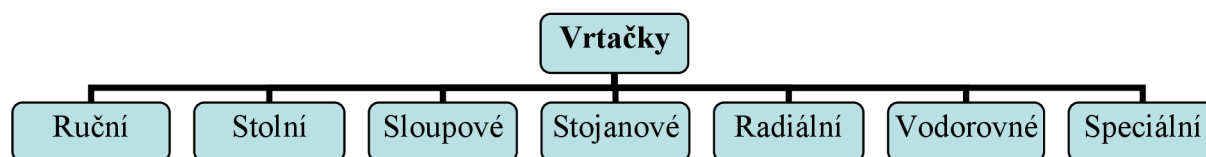
Obr. 7 Vzorek z materiálu 1.4301

Názornost rozdílu vrtání otvoru mezi jednotlivými nástroji je možné vidět na obr. 6, 7. Na vzorek číslo 1 uvedeném na obr. 6 byla použita trubka podélně svařovaná o průměru 26,9x2,6 mm z materiálu S235JRH. Vzorek č.2 je trubka z korozivzdorné oceli (viz obr. 7), která má rozměry průměr 25x2 mm a byla vyrobena z materiálu 1.4301. Do každého vzorku byly vyvrtány tři otvory  $\varnothing$  8 mm na sloupové vrtačce. První díra byla vyvrtaná klasickým šroubovitým vrtákem (obr. 4), druhý otvor zhotovil speciální šroubovitý vrták (obr. 5) a na třetí otvor byl použit stupňovitý vrták viz obr. 4. Vzorek se pro názornost dále neobráběl (začištění otřepů).

Bylo zjištěno, že rozdíl v použitých nástrojích je na první pohled viditelný. Při vrtání klasickým vrtákem se projevilo házení vřetene stroje a díra není dokonale válcovitá a. Druhá díra je dokonale válcovitá a není nutné ji začišťovat. Třetí otvor má kuželový tvar, tudíž na vnějším průměru je větší než 8 mm, struktura povrchu je ale velmi dobrá a po začištění je otvor kruhový.

## 1.2 Stroje [41]

Stroje, které se používají k vrtání jsou převážně vrtačky, frézky, nebo obráběcí centra (CNC), ale používají se i soustruhy. Základní rozdělení vrtaček a frézek dle jejich konstrukce je možné vidět na následujícím schéma viz schéma (obr. 8).



Obr. 8 Rozdělení vrtaček

### 1.2.1 Vhodné stroje pro vrtání trubek [41]

- **Ruční vrtačka** – upínání nástroje zajišťuje mechanické nebo rychloupínací sklíčidlo. Pro vrtání děr je nejméně vhodná a je velmi obtížné s ní vyvrtat díru do kovové trubky (přijatelné jsou měkké materiály – hliník, měď, PVC), jelikož pracovník neudrží vrtačku v ose díry a vrták bude uhýbat mimo osu. Zhotovená díra bude značně nepřesná.
- **Stolní vrtačka** – konstrukce je složená ze základny, sloupu a vřeteníku s Morse kuzelem, který má možnost pohybu v ose sloupu. Je to nejpoužívanější stroj pro výrobu otvoru do trubky, jelikož je možné vrtat velký rozsah průměrů trubek. Při uchycení trubky k základně je nezbytné použít různé přípravky kvůli kulatému tvaru obrobku nebo tloušťce stěny. Posuv je ruční nebo automatický. Příklad stolní vrtačky je na obr. 9.
- **Sloupová vrtačka** – je velmi podobná stolní vrtačce, jen se liší v tom, že je zpravidla masivnější konstrukce. Základna leží na zemi, sloup je vyšší, a mezi vřeteníkem a základnou je umístěn pracovní sůl. Obráběná součást je připevněna k pracovnímu stolu pomocí přípravku (většinou svěrákem). Technologie vrtání je úplně stejná jako u stolní vrtačky.



Obr. 9 Stolní vrtačka [11]

- **Magnetická vrtačka** – je sestava ruční vrtačky připevněné k magnetickému stojanu, který se přitahuje k obrobku (železo, ocel). Síla magnetu je dána tloušťkou stěny trubky a jakostí povrchu. Vrtačka disponuje ručním posuvem vřetena. Upnutí nástroje zajišťuje typ Weldon nejčastěji pro korunkové vrtáky. Na obr. 10 je zobrazená aku magnetická vrtačka značky Metabo, která je určena pro vrtání trubek od 90 mm do 300 mm a maximálnímu průměru korunky 30 mm, u jiných typů strojů záleží na konstrukci tvaru spodní části stojanu.
- **Vrtačka s řetězovým upnutím** – je stroj, který se připevňuje k obrobku pomocí řetězu (obr. 11). Maximální průměr vrtané díry je 127 mm a upevňovací rozměr je cca od 30 mm do 400 mm (při použití prodlužovacího řetězu je možné dosáhnout daleko větších průměrů). Výhodou je vrtání v horizontální i vertikální pozici.
- **Speciální vrtací stroj** – je kombinované zařízení navržené přímo pro vrtání trubkových dílců pomocí čtyřbřité frézy nebo korunkového vrtáku, které je určené pro vrtání otvorů kolmo nebo pod úhlem 50° až 100° (například při výrobě zábradlí) dále je vhodný pro tváření závitů (termální vrtání). Vrtací hlavy jsou umístěny proti sobě, tak je možné dělat více operací současně a při vrtání pod určitým úhlem není zapotřebí dlouhý nástroj. Trubkový díl se upíná do sklíčidla, které je limitováno průměrem trubky 100 mm. Jedná se o velmi přesnou metodu díky pevnému provedení a vrtání krátkým nástrojem. Stroj je zobrazen na obr. 12.



Obr. 10 Magnetická vrtačka [12]



Obr. 11 Vrtačka s řetězovým Upnutím [13]



Obr. 12 Vrtací stroj Kovota [14]



## 1.3 Upnutí trubek

Jedním s nejdůležitějších faktorů při vrtání je pevné upnutí obrobku z důvodu přesného a úspěšného vrtání a velmi malé kontaktní plochy mezi vrtákem a obrobkem. Tuhé upnutí se zajišťuje pomocí různých svěráků, upínek, svěrek, sklíčidel, podložek a přípravků.

### 1.3.1 Přípravky a pomůcky

- **Centrovací přípravek** – slouží k vycentrování a zafixování trubek při vrtání otvoru, viz obr. 13. Přípravek se připevňuje pomocí šroubů do T-drážek v pracovním stole. Při vrtání není zajištěn pohyb trubky ve směru osy trubky, a proto je nutné, aby tomuto pohybu zamezil pracovník přidržení vlastníma rukama. Tato metoda je značně nepřesná, jedná se o odlitek a funkční plochy nejsou obrobena, ale výhoda je v univerzálnosti použití pro silnostěnné i tenkostěnné trubky (nedochází k případné deformaci při upínání). Další varianta je kombinace centrovacího přípravku a zajištění pohybu v ose pomocí dalšího svěráku. Tento způsob zajišťuje pevné upnutí a tím pádem bude kvalitnější provedení otvoru. Nevýhodou je ale delší časová příprava.



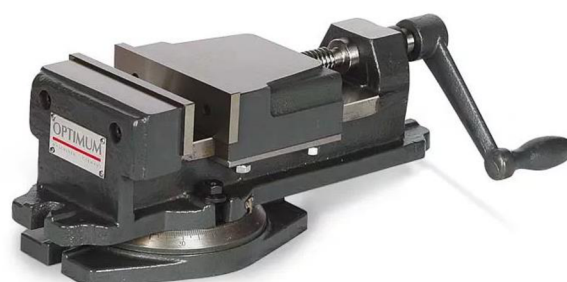
Obr. 13 Centrovací přípravek [15]

- **Vrtací stojan** – jedná se o přenosný stojan pro elektrickou ruční vrtáčku. Konstrukce stojanu se skládá ze základny, vodících sloupků a držáku vrtáčky viz obr. 14. V základně jsou vytvořeny drážky ve tvaru V, trubka je zafixovaná a díky tomu je možné relativně snadno a rychle vyvrtat otvor. Max. průměr vhodné trubky omezuje konstrukce vodících sloupků a průměr vrtaného otvoru je závislý na sklíčidle (většina ručních vrtáček je kompatibilní pro vrtáky 1-13 mm) Jedná se o metodu vhodnou pro domácí použití, kde se používají většinou trubky z konstrukční oceli, hliníku nebo mědi



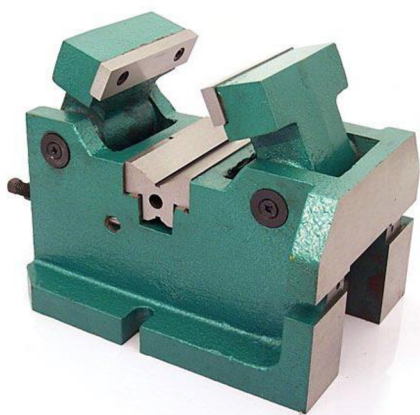
Obr. 14 Vrtací stojan [16]

- **Strojní svěrák** – klasický strojní svěrák slouží k upevnění obrobku. Připevňuje se k základně stolní vrtáčky nebo k pracovnímu stolu sloupové vrtáčky pomocí upínek. Lze v něm upnout pouze trubky, jejichž poloměr je menší jak výška čelisti. Svěrák není vhodný pro tenkostěnné trubky, protože hrozí při sevření deformace stěny. Svěrák je možné vidět na obr. 15.

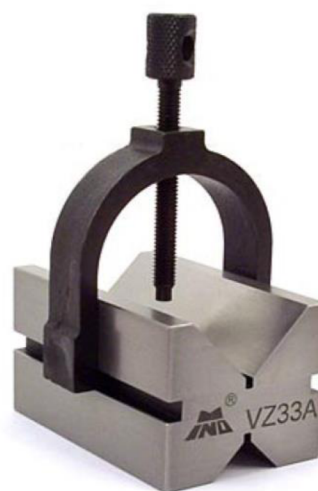


Obr. 15 Strojní svěrák [17]

- **Prizmatický svěrák** – strojní svěrák určený přímo k upínání trubek. Konstrukce je tvořena základnou, vyměnitelnou prizmatickou podložkou a dvěma čelistmi. K upnutí ke stolu stroje se používají šrouby a je na výběr ze dvou ploch svěráku – horizontální a vertikální (je možné vidět na obr. 16).
- **Prizmatická kostka** – používá se k přesnému vystředění a upnutí trubky pomocí šroubu v kombinaci s nástrojem, který přitlačuje obrobek ve směru vrtání (obr. 17). Samotná kostka může být upnuta ke stolu stroje pomocí upínek nebo strojního svěráku. Průměr trubky, která lze upevnit pomocí tohoto přípravku ovlivňuje velikost konstrukce prizmatu (šířka kostky). Síla upnutí zajišťovacím šroubem je závislá na tloušťce stěny trubky. Prizmatické podložky existují na trhu v mnoha velikostech, konstrukcích a typech (magnetickém provedení, kdy síla magnetu dosahuje až 1000 N).



Obr. 16 Prizmatický svěrák [19]



Obr. 17 Prizmatická kostka [18]

## 1.4 Příprava trubek

Existuje mnoho způsobů, jak provést přípravu součásti před obráběním (vrtáním). Naznačení obrobku tzv. orýsování a případné označení důlčíkem hraje velkou roli v přesnosti vrtaného otvoru. U kulatých trubkových dílců není vůbec jednoduché (není mnoho variant) jak najít osu na stěně a označit ji.

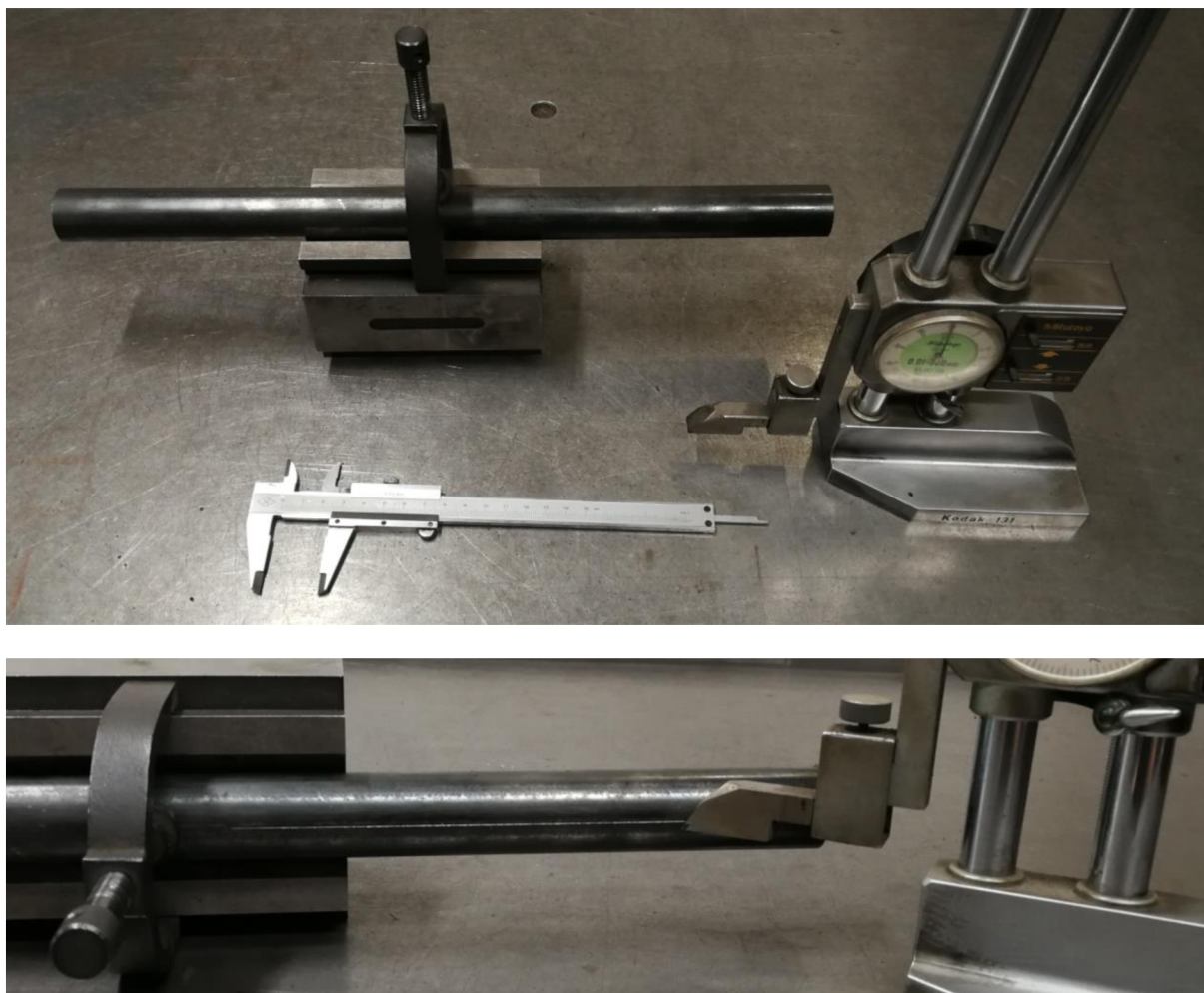
První způsob je za pomoci zámečnického pravítka, rýsovací jehly (obr. 18) a svěráku (základní vybavení). Trubka se upne do svěráku zároveň s horní rovinou čelistí a následně použitím pravítka a jehly se naznačí střed mezi čelistmi ve dvou místech a tím vznikne osa. Tento způsob je vcelku nepřesný, ale pro malé dílny nebo příležitostné použití je dostačující.



Obr. 18 Rýsovací jehla [20]



Druhá metoda je přesnější a vyžaduje cenově výrazně dražší vybavení, jako je rýsovací stůl (litinová obrobená deska splňující určitou třídu přesnosti), prizmatická podložka, posuvné měřítko a rýsovací výškoměr tzv. nádrh (obr. 19). Proces spočívá v tom, že je změřen průměr trubky a následně je trubka vložena do prizmatu, které leží na rýsovacím stole. Pomocí upínky, svěrky či jiného přípravku se součást pevně upne. Následně se výškoměrem nastaví průměr trubky včetně výšky prizmatu a poté se odečte poloměr, tím se získá osa, která je následně orýsována výškoměrem opatřeným karbidovým hrotem viz obr. 19.



Obr. 19 Postup orýsování trubky

## 2 TERMÁLNÍ VRTÁNÍ (FLOWDRILL) [42], [21]

Metoda vrtání kruhového otvoru konvenčními nástroji není jediný způsob, jak vytvořit otvor do stěny trubky či trubkového dílce. Jedná se o beztržskovou technologii založenou na tváření otvoru do uzavřených trubkových dílců a tenkých plechů. Princip spočívá v tom, že za vysokých otáček na nástroj začne působit axiální síla a začne jej tlačit do obrobku. Na základě tření vznikne teplo, které způsobí ohřev materiálu. Po dosažení tvářecí teploty projede tvářecí vrták skrz materiál a tím se vytvoří tzv. pouzdro. Následně se za pomoci tvářecího závitníku vytvoří závit. Postup je možné vidět na následujícím obrázku (obr. 20).



Obr. 20 Princip termálního vrtání [21]

### 2.1 Nástroj Flowdrill [22]

Otvor v trubkovém dílci technikou termálního vrtání je zhotovován pomocí nástroje flowdrill (obr. 21), který se skládá z několika částí: hrot, kleština a držák kleštiny. Tvářecí hrot je vyroben z velice tvrdého materiálu (např. karbid wolframu). Jedna část hrotu tvarově odpovídá polygonovému kuželu a druhá část je válcová. Třecí hrot má dobrou životnost (cca 10000 otvorů), která ale závisí na vhodném zvolení typu a dalších faktorech jako je mazací pasta, vhodné otáčky, axiální síla, výkon stroje atd. Kleština zajišťuje propojení mezi hrotem a držákem opatřeném Morse kuželem a chladícím diskem (turbínou). Celý tento třídílný set je upnut do vřeten stroje. Je možné použít stolní, sloupové nebo speciální vrtačky určené k protlačování otvorů. Jeden ze strojů vhodných k této metodě je možné vidět na obr. 11.



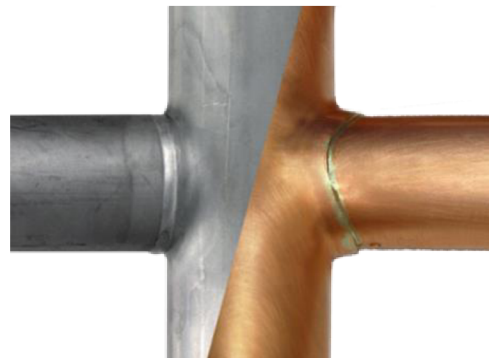
Obr. 21 Nástroj flowdrill [22]

### 2.2 Použití a výhody [42]

Metoda je vhodná pro většinu kovových materiálů (tažené materiály, nelegované a legované oceli, měď, hliník). Vhodnými polotovary jsou trubkové dílce či plechy s rozmezím tloušťky stěny od 0,5 mm do 10 mm, dle typu hrotu a materiálu dílce. Délka zhotoveného závitu dosahuje až trojnásobek tloušťky stěny trubky. Hlavní předností je zatížitelnost závitu oproti konvenčním metodám (řezání závitu do stěny, nýtování nebo navařování matic), dále například vysoká produktivita (méně operací) a životnost hrotu i tvářecího závitníku (malé riziko zlomení v porovnání s řezným závitníkem). Příklad využití je převážně v automobilovém, nábytkářském a topenářském průmyslu.

### 3 VYHRDLENÍ TRUBEK (T-DRILL) [43]

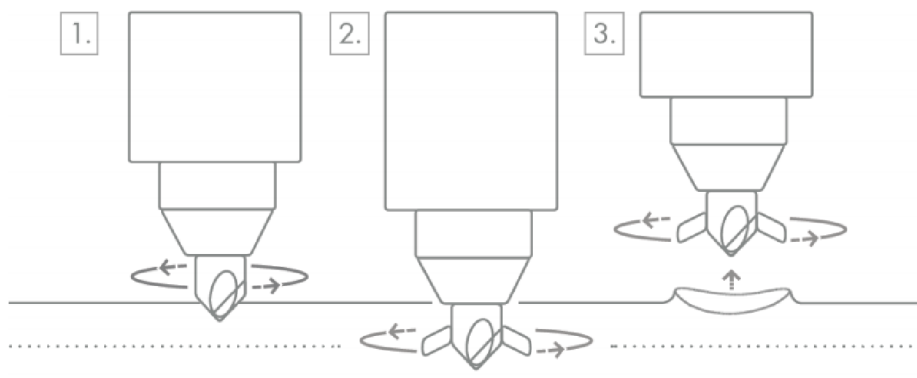
Vyhrdlení trubek je další ze způsobů vytvoření otvoru ve stěně trubky. Jedná se o technologii rozvětvení trubky pomocí kombinace vrtání nebo frézování a tváření. Metoda spočívá ve výrobě výstupku (tzv. límce) přímo ve stěně hlavní trubky pro následné připojení další větve bez nutnosti použití T-kusu. Jedná se o vysoce přesnou metodu, která je prováděna na jednom pracovišti a na jedno upnutí obrobku. Typ spojení hlavní trubky a větve je klínové (vhodné pro dokončení pájením) nebo tupé (ideální pro následné svaření). Tyto typy spojení je možné vidět na obr.22.



Obr. 22 Typy spojení [23]

#### 3.1 Pájený spoj [43]

Metoda vyhrdlení otvoru pro dokončení pájením se zhotovuje za pomoci kombinované vyhrdlovací hlavy, která se skládá z vrtáku a vysunovacích tvářecích kolíků (viz obr. 23). V prvním kroku je vyvrtán kruhový otvor kolmo do stěny trubky, následně jsou vysunuty tvářecí trny, a při pohybu vřetene zpět směrem nahoru současně s rotačním pohybem je zhotoven límec klínového tvaru.



Obr. 23 Postup pro pájený spoj [24]

Do připraveného otvoru je vsunuta přípojovací trubka, která je na přípojovacím konci upravena podle tvaru límce a opatřena výstupky tzv. dorazy (určují správnou hloubku vsunutí). Proces je dokončen pájením přeplátovaného spoje. Princip je znázorněn na obr. 24.

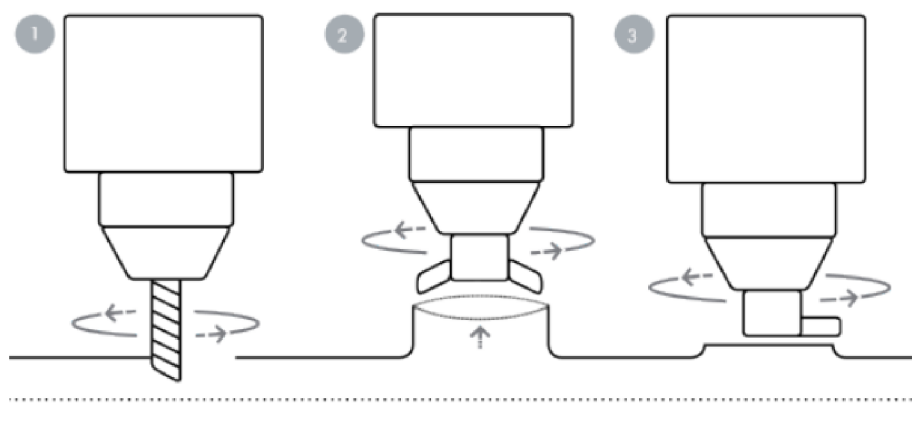


Obr. 24 Princip pájeného spoje [25]

Pro maximální pevnost pájeného spoje musí být výška límce trojnásobek tloušťky stěny hlavní trubky, jelikož při tváření dochází ke ztenčení stěny límce. Metoda se běžně používá pro malé průměry trubek cca 10-100 mm.

### 3.2 Svařovaný spoj [43]

Vyhrdlení trubky pro následné spojení svařováním se liší od předchozí technologie výhradně ve tvaru otvoru, který je eliptický, tedy otvor je nutné vyfrézovat. Po vyfrézování pilotní díry následuje samotné vytvoření límce prostřednictvím vyhrdlovacího nástroje s výsuvnými kolíky opět pohybem vřetene zpět směrem nahoru současně s rotací. U zhotoveného límce je upravena výška oříznutím (zarovnáním) dosedací plochy kvůli napojení a následnému svaření. Tato metoda umožňuje vyhrdlení trubek o průměru cca 35-1500 mm.



Obr. 25 Postup pro svařovaná spoj [26]

### 3.3 Stroje [43]

Nedílnou součástí technologie T-drill jsou stroje, které jsou specializované pouze na tuto metodu. Stroje se mohou zařadit do kategorií podle vhodnosti použití (pro pájené spoje, pro svařované spoje, řezací stroje a přenosná zařízení), případně podle velikosti konstrukce (velikosti trubky).

- **Stroj T-65** – jedná se o ruční mobilní vyhrdlovací zařízení určené pro pájené spoje. Vhodné jsou měděné trubky o velikosti průměru 15-108 mm a je možné zhotovit průměr vyhrdlení 10-54 mm. Doba procesu je velmi rychlá (cca 15-60 sekund). Zařízení je možné vidět na obr. 26.



Obr. 26 Ruční stroj [27]

- **Stanice S-54 MFT** – na obr. 27 je možné vidět automatickou vyhrdlovací stanici vybavenou manuálním podávacím stolem. Typ je stanoven na pájené spoje s velikostí límce o průměru 6-54 mm a průměru trubky 8-108 mm z tvárných materiálů (měď, hliník, ocel a korozivzdorná ocel).



Obr. 27 Stanice pro pájené spoje [28]

- **Stanice TEC-150** – na obr. 28 je zobrazena vyhrdlovací stanice vhodná pro svařované spoje. Disponuje automatickými pracovními cykly (frézování pilotního otvoru, vyhrdlení a následné oříznutí límce) a manipulačním zařízením. Vyhovující průměr trubek je 34-550 mm a je možné zhotovit průměr límce 21-168 mm.



Obr. 28 Stanice pro svařované spoje [29]

### 3.4 Použití a výhody [43]

Technologie T-Drill je realizována v mnoha odvětvích například: automobil, lodní průmysl, instalatérství, vzduchotechnika a klimatizace, potravinářství, chemický průmysl atd. Tato metoda je velmi ekonomická a snižuje výrobní náklady až o 80 %. Při větvení trubek za pomoci armatur (T-kusů) bylo zapotřebí tří spojů, které byly eliminovány metodou vyhrdlení pouze na jeden spoj a s tím souvisí i lepší průtokové charakteristiky. Dále je zvýšena pevnost spoje díky přeplátování. Technologie je vhodná pro většinu tvárných materiálů zahrnující standartní ocel, korozivzdornou ocel, měď, hliník a jejich slitiny.

## 4 FRÉZOVÁNÍ [44], [45]

Technologie frézování patří do kategorie třískového obrábění, kdy hlavní pohyb vykonává nástroj (fréza), který rotuje kolem své osy a vedlejší pohyb provádí obráběná součást. Existují dva typy obrábění, které se provádí čelem nástroje (čelní obrábění) nebo válcovou částí (válcové obrábění). Dále se může rozlišovat způsob podle smyslu otáčení (sousedné a nesousedné). Frézování je velice přesný způsob obrábění (přesnost až v 0,001 mm), kterým se opracovává materiál libovolného tvaru. Je možné frézovat plochy, vnitřní otvory, drážky, zaoblení atd. Pro technologii frézování otvoru do stěny trubky jsou vhodné jen některé způsoby a nástroje.

### 4.1 Nástroje [44], [30]

Metoda frézování je uskutečňována prostřednictvím nástroje zvaného fréza. Na trhu se objevuje široká škála typů a druhů fréz. Základní rozdělení je podle rozmístění břitů (válcová, čelní, válcová čelní, kotoučová, úhlová a tvarová). Dále mohou být frézy monolitní nebo s vyměnitelnými břitovými destičkami.

Upínání fréz je pomocí kuželové stopky (upíná se přímo do vřetene stroje) nebo válcové stopky (upnutí do vřetene zajišťuje kleština).

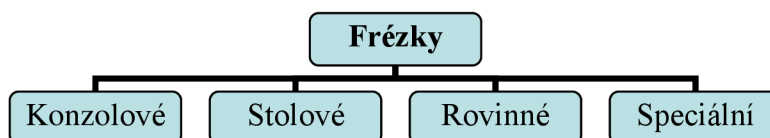
Nástroje vhodné pro frézování otvoru ve stěně trubky jsou převážně drážkovací frézy nebo čelní válcové frézy. Na obr. 29 je uveden příklad dvoubřité drážkovací frézy vhodné i k vrtání kruhových otvorů.



Obr. 29 Drážkovací fréza [30]

### 4.2 Stroje [31], [30]

Technologie frézování je prováděna strojem zvaným frézka nebo obráběcím centrem (CNC). Frézky se rozdělují na základě konstrukce (viz schéma na obr. 30) nebo polohy vřetene (horizontální, vertikální a univerzální). Princip frézování otvoru do stěny trubky je u všech typů stroje stejný.



Obr. 30 Rozdělení fréz

Na ukázkou je na obr. 31 je zobrazena konzolová vertikální frézka značky TOS Olomouc. Frézka se skládá ze stojanu, konzoly, stolu a vřeteníku. Stůl je pohyblivý ve třech osách. Vřetenová hlava má možnost rotace (frézování pod úhlem).



Obr. 31 Konzolová frézka TOS [31]

#### 4.2.1 Upnutí trubek

Upnutí trubky ke stolu frézky je převážně shodný s upínáním u technologie vrtání (viz kapitola 1.3). Používají se strojní svěráky, prizmatické podložky a různé upínky.

#### 4.3 Použití a výhody [44]

Otvoru do stěny trubky je možné zhotovit téměř do všech materiálů trubek. Obrábí se rovné trubky nebo je možné dodatečně zhotovit otvor například do ohýbaných trubek nebo svařenců, pokud to upnutí dovolí. Dále je možné frézovat pod úhlem což je velmi přínosné pro výrobu zábradlí, nábytku atd.

Obrábění otvoru na frézce má výhodu oproti klasickému vrtání v tom, že otvor ve stěně trubky není pouze kruhový, ale je možné zhotovit například drážky, technologické zámky, zarážky či jiné tvary. Frézování více otvorů je možné zhotovit na jedno upnutí díky možnosti posuvu stolu. Na obr. 32 bylo provedeno vyfrézování několik tvarů pro názornou ukázkou.

Nevýhoda oproti moderním metodám (trubkový laser nebo CNC) je v časové náročnosti (upínání, výměna nástroje atd.) a proto je metoda vhodná spíše pro kusovou výrobu.



Obr. 32 Druhy tvarů otvorů

## 5 PROSTŘÍŽENÍ OTVORU [32], [46]

Technologie stříhání je nejrozšířenější operace odvětví tváření materiálu. Jedná se o beztržskovou metodu, která je prováděna za studena, případně za tepla (přibližně 700 °C). Stříhání je možné rozdělit do několika druhů operací (vystříhování, děrování, ostříhování, prostříhování atd.).

Princip stříhání se provádí za pomoci dvou nástrojů (střížník a střížnice) situovaných proti sobě, které vytvářejí smykové napětí. Proces stříhání (viz obr. 33) se dělí na tři základní části (fáze).

- Oblast elastické deformace – střížník působí určitou silou na stříhaný materiál a vtlačuje jej do volného otvoru ve střížnici.
- Oblast plastické deformace – střížník vtlačuje materiál dále do střížnice a napětí uvnitř materiálu (v rovině stříhu) překračuje mez kluzu a přibližuje se k mezi pevnosti.
- Vznik trhlin – v materiálu se začnou tvořit mikrotrhliny a po překročení meze pevnosti dojde k lomu materiálu (vznikne výstřížek).



Obr. 33 Princip stříhání [32]

### 5.1 Prostříhování trubek [46],

Metoda stříhání otvoru do stěny kruhové trubky je velice specifická záležitost a je možné zhotovit otvor s následnou deformací nebo bez deformace trubky.

#### 5.1.1 Prostřížení s následnou deformací [46], [33]

Hlavní princip metody prostřížení otvoru ve stěně trubky spočívá v tom, že při procesu není použita matrice (střížnice) uvnitř profilu a při proniknutí nástroje (střížníku) nastane deformace v okolí stříhání tzv. jamka (zobrazeno na obr. 34). Velikost jamky ovlivňují hlavně vlastnosti materiálu polotovaru a velikost otvoru oproti průměru trubky. Kvůli co největšímu snížení deformace je použito pouzdro, které trubku nespírá, ale pouze vymezuje tvar s určitou vůlí, pouzdro není univerzální a je vyráběno přesně podle požadovaného průměru trubky.



Obr. 34 Děrování s deformací [33]

Při požadavku protilehlých otvorů je spodní pouzdro upraveno tak, aby jím mohl procházet druhý střížník (dvojitě děrování), který je umístěn pod pouzdrům.



Při prostřížení otvoru vznikne výstřížek, který zůstane uvnitř trubky kde je nežádoucí. Řešením je po dokončení operace vyjmout trubku z pouzdra a pomocí gravitace výstřížky vypadnou ven (to ovšem platí jen u rovných trubek).

Při děrování tvarových trubek je tento problém eliminován profuknutím (může být použito i u rovných trubek). Do jednoho konce je vsunuta profukovací tryska (viz obr. 35) a na druhém konci je připojena hadice zavedená do nádoby na výstřížky, která může být vybavena počítadlem (je nutné, aby počet výstřížků odpovídal počtu děr).



Obr. 35 Profukování děr [33]

Touto metodou se prostřihují (děrují) pouze kruhové otvory na rovných nebo zahnutých trubkách a není zde vyžadovaná taková přesnost jako u tvarového otvoru a je možné vytvořit otvor kdekoli na stěně trubky (délka trubky nehraje roli).

### 5.1.2 Prostřížení bez deformace [46]

V praxi je často vyžadováno zhotovení přesného otvoru na trubce bez deformace jeho okolí. Zde použití střížnice (jako u klasického stříhání) uvnitř trubky zabraňuje tomuto jevu a otvor dosahuje vyšší přesnosti oproti předchozí metodě. Matrice uvnitř polotovaru by měla dosahovat co nejmenší vůle mezi poloměry. Je možné děrovat otvory různých tvarů po celé délce trubky, pokud to konstrukce stroje nebo děrovací jednotky dovolí. Děrují se pouze rovné trubky, protože zavedení střížnice do tvarové trubky by bylo velice obtížné. Tato technologie umožňuje děrovat více otvorů zároveň, a to tím způsobem, že poloha střížníků může být situována proti sobě nebo v řadě (viz obr. 36). Dvojitě děrování nebo děrování s více střížníky je produktivnější než s jedním vzhledem k přenastavení polohy trubky. Profukování není nutné, jelikož se nejedná o tvarové trubky.



Obr. 36 Děrování bez deformace [34]

### 5.1.3 Nástroje [46]

Nástroje na stříhání se nazývají střížník a střížnice. Na obr. 37 jsou zobrazeny tři střížníky a jedna střížnice. Střížnice je určena pro kruhový otvor a závit slouží ke spojení s vodící tyčí, která zajišťuje střížnici ve správné pozici (délka vodící tyče určuje maximální délku stříhané trubky). Střížník může být konstruován v určitém tvaru dle požadavku na otvor. Otvor ve střížnici musí přesně kopírovat tvar střížníku, ale musí být zachována střížná vůle (cca 3-10 % tloušťky stěny materiálu), jinak by mohlo dojít k poškození nástrojů (naražení střížníku na matrici). Pro dosažení požadované kvality otvoru musí být střížné hrany dostatečně nabroušeny. Na obr. 38 je možné vidět opotřebený střížník, který vykonal cca 10 000 stříhů, po zbrúšení čelní roviny je možné střížník opět používat.

Čelní plocha střížníku pro děrování trubek by měla ideálně kopírovat rádius trubky, ale v praxi bylo zjištěno že při prostříhování docházelo tzv. rozštěpení nebo prasknutí střížníku a bylo zapotřebí vyvinutí větší střížné síly.



Obr. 38 Tvarové střížníky



Obr. 37 Opatřebená střížník

### 5.1.4 Stroje a děrovací jednotky [47], [49]

Stroj vhodný ke stříhání se nazývá lis, který je převážně jednoúčelový a rozděluje se na základě mechanismu pohonu (ruční, hydraulický, mechanický, pneumatický atd.). Dále existují tzv. děrovací jednotky, které jsou univerzálně použitelné pro většinu typů lisů. Pořizovací náklady na děrovací jednotky jsou výrazně menší než u děrovacích strojů (tyto stroje jsou většinou zhotovovány na základě požadavku konstrukce trubky a pro větší série).

- **UZMA PDM 30** – na obr. 39 je zobrazen hydraulický děrovací stroj vybavený automatickým posuvem na dva profily. Stroj je určen pro bez deformační prostříhování kruhových i tvarových otvorů. Zařízení disponuje hydraulickým tlakem pístu o velikosti 30 tun a maximální průměr stříhané trubky je 90 mm o délce 3 m.



Obr. 40 Děrovací stroj [35]



Obr. 39 Děrovací jednotka [1]

- **Děrovací jednotka** – sestava nástrojů vhodná pro umístění pod beran lisu. Velikost trubky ovlivňuje konstrukce stojanu a nástroje jsou většinou vyměnitelné. Na obr. 40 je demonstrativní zařízení určené pro děrování trubek bez deformace, určené pro prostřihování konců trubek. Konstrukce je doplněna čepem na aretaci polohy (umožňuje prostřížení čtyř otvorů rozmístěných přesně o 90 °). Trubku při prvním prostřihnutí není nutné upínat, dostačující je přidržení obsluhou a další stříh zajistí aretační kolík.

## 5.2 Použití a výhody [46], [48]

Prostřihování trubek je výhodné používat pro větší série, kdy se jedná o velký počet otvorů nebo kusů trubky, tedy hlavní výhodou je produktivita. Další faktor je tvar otvoru (tvarové otvory není možné dělat konvenčními způsoby jako je například vrtání) nebo délka trubky (závisí na konstrukci nástroje). Je možné děrovat většinu materiálů (standartní ocel, korozivzdorná ocel, hliník atd.)

Použití je převážně pro regálové systémy, plotové systémy, nábytek, potravinářství, filtrování kapalin, automobil (perforované trubky uvnitř tlumičů výfukové soustavy) a další.

## 6 TRUBKOVÝ LASER [50], [51], [52]

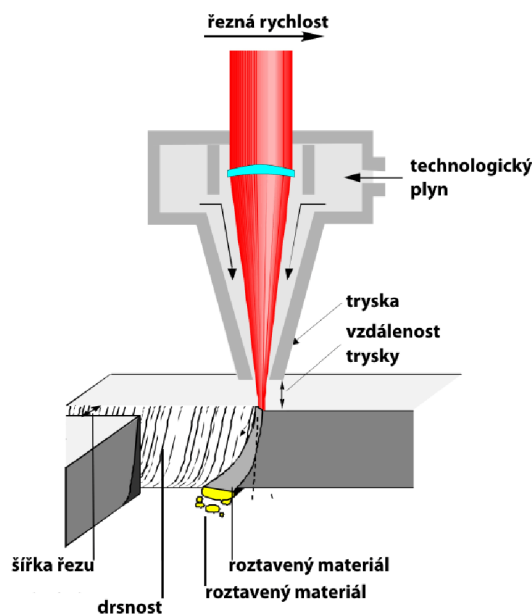
Dělení materiálu pomocí laseru je nekonvenční technologie využívající zdroj (plyn nebo pevná látka) energie dosahující hustoty  $10^7$ – $10^9$  W/cm<sup>2</sup>. Princip metody spočívá v tom, že laserový svazek je zaostřen optikou na místo řezu a začne docházet k tavení a sublimaci materiálu (obr. 41). Dále dochází ke vzniku štěrbin, kde je nahromaděna tavenina. Roztavený materiál je odstraněn pomocí řezného plynu, a tím je dosažena určitá kvalita a čistota řezu.

Použití plynu určuje druh řezání:

- dusík – tavné řezání (tavenina se odstraňuje proudem plynu)
- kyslík – oxidační řezání (materiál částečně shoří v proudu plynu).

Další metoda je sublimační řezání (materiál se přemění na plyn) a plazmové řezání (vysoká intenzita svazku má za následek vytvoření plazmy, která ohřívá materiál).

Řezání laserem je dnes nejrozšířenější technologií provedení operace, která nahrazuje jedním postupem několik procesů konvenčních metod (dělení materiálu na pile, vrtání, frézování, stříhání, a následné očištění otřepů).



Obr. 41 Princip řezání laserem [36]

### 6.1 Stroj [51]

Existuje několik typů laserů, pro 3D řezání profilu a trubek je určen stroj, který se nazývá trubkový laser. Jedná se o plně automatické CNC lasery. Existují dva typy trubkových laserů, které se dělí na základě zdroje energie. Jedná se o pevnolátkové a plynové lasery. Pevnolátkové lasery jsou více produktivní především u tenkých stěn a u materiálů jako je hliník nebo měď, ale jejich hlavní výhodou je v energetické úspoře oproti plynovým laserům. Plynové lasery jsou vhodné pro vysokou kvalitu povrchu bez otřepů, velkých nerovností a následného dokončování jinou technologií. Jsou vhodné pro střední až vysoké tloušťky materiálu.

Je možné řezat pouze rovné trubky, ale na rozdíl od konvenčních metod je možné zhotovit libovolný otvor (viz obr. 42) kdekoli na stěně trubky, a to pouze na jediné upnutí. Upnutí je zajištěno rotačním sklíčidlem (podobné jako na soustruhu) za pomoci válečků, které jsou na sebe nezávislé. Při procesu řezání se trubka otáčí kolem své osy a zároveň se může v průběhu vysunovat a zasunovat.



Obr. 42 Výrobek na laseru [37]

Celý proces (obr. 43) je synchronizován s řezací hlavou, která může rotovat o 45° v kladném a záporném směru od vertikální osy, tedy umožňuje řezání pod úhlem a zhotovování úkosů. Moderní řezací hlavy jsou univerzální a nemusí se měnit podle tloušťky materiálu jako tomu bylo dříve (ohnisková vzdálenost paprsku se nastavuje automaticky).



Obr. 43 Princip trubkového laseru [38]

Trubkové lasery jsou schopné zpracovat trubky až o průměru cca 250 mm, tloušťce stěny 10 mm, délce až 6 m z materiálu jako je konstrukční ocel, korozivzdorná ocel, měď, hliník a jejich slitiny. Délku trubky určuje konstrukce zásobníku a automatické podavače, které jsou většinou součástí stroje (není to pravidlem). Dále je zajištěno podepření trubky kladkami pro zamezení průhybu a zajištění bočního vedení

## 6.2 Použití a výhody [51], [52], [53],

Technologie řezání laserem se využívá ve všech odvětvích průmyslu (automobilový průmysl, design, konstrukce, potravinářství, elektrotechnika a další) a nabízí téměř neomezené možnosti výroby. Zpracovaná trubka může být finální výrobek, nebo příprava na další proces (například vytvoření zámků pro následné svaření).

Hlavní výhody laseru jsou vysoká přesnost (cca 0,2 mm), tenký řez, vysoká rezná rychlost, a s tím spojen nejžádanější faktor dnešní doby – vysoká produktivita. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací a provozní náklady, omezená tloušťka řezaného materiálu a velikost konstrukce.

## 7 ZÁVĚRY

Na základě získaných informací z odvětví tváření, třískového obrábění a laserové technologie byl v bakalářské práci sestaven přehled metod, jak zhotovit otvor ve stěně profilu, respektive trubky kruhového průřezu. Práce byla zaměřena na popis základních principů jednotlivých procesů, uvedení různých zařízení a nástrojů či přípravků a následně na zhodnocení dané technologie.

V úvodní části byla představena nejjednodušší metoda zhotovení otvoru, a to je vrtání. Bylo uvedeno velké množství druhů strojů a přípravků. Dále bylo zjištěno, že použití různých nástrojů může ovlivňovat kvalitu vrtaného otvoru.

Další kapitola uvedla progresivní metodu beztřískového vrtání otvoru s možností následného tváření závitů do tenkostěnných trubek. Jedná se o termální vrtání označované jako technologie Flowdrill. Touto metodou lze zhotovit závit o délce trojnásobku tloušťky stěny trubky oproti konvenčnímu řezanému závitu.

Z oblasti tváření byla zpracována kapitola na téma T-drill, která pojednává o výrobě otvoru ve stěně trubky s tzv. vyhrdlením, které slouží pro následné připojování dalších trubek bez vkládání armatur (T-kusů). Tato metoda je velice produktivní a je schopna ušetřit až 80 % nákladů oproti klasickému rozvětvení trubek.

Z oblasti třískového obrábění byla vybrána a popsána metoda frézování, která je určena na zhotovení přesných rozměrů a různých tvarů otvorů ve stěně trubky. Jedná se převážně o dokončovací metodu, která je schopna zhotovit otvor v přesnosti tisícin milimetru.

Další technologie, která byla vybrána a zpracována v rámci dané bakalářské práce technologie prostřihování, respektive děrování otvoru do stěny trubky. Její výhody spočívají ve zhotovení velkého množství otvorů (kruhových i tvarových) v krátkém čase. Perforované trubky jsou v dnešní době velice oblíbené v automobilovém průmyslu (tlumiče výfukových soustav) a v regálových systémech.

Bakalářskou práci zakončilo řezání profilů na trubkovém laseru. Tato nekonvenční technologie má téměř neomezené možnosti výroby libovolných tvarů otvorů a produktivita je velice efektivní.

Existují ještě další metody zhotovování otvoru ve stěně trubky, ale z hlediska rozsahu dané práce podrobně rozebrané nejsou. Jedná se například o prostřihování otvoru vnitřním tlakem kapaliny či elastickým médiem. Dále také existují speciální metody prostřihování otvorů využívajících vysokých rychlostí deformace jako je například tváření explozí, elektrohydraulické impulsní či magnetickoimpulsní tváření.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [54]

1. Tube Piercing. *THE TUBE & PIPE JOURNAL* [online]. Elgin: FMA Communications, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/tubepipejournal/article/tubepipefabrication/producing-holes-in-tubing>
2. Drill Jig. *Indiamart* [online]. Uttar Pradesh: IndiaMART InterMESH, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/drill-jig-6266118230.html>
3. Laserové řezání trubek. *KOVOSPOL* [online]. Jičín: KOVOSPOL, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://kovospol.cz/nase-sluzby/rezani-trubkovym-laserem>
4. Thermal-drilling. *THERMDRILL* [online]. Groß-Umstadt: Thermdrill® – ONTOOL® [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://thermdrill.com/threaded-bushing-flowing-drill-instead-of-rivet-nut/>
5. TECHNOLOGIE: Vrtání a vyvrtávání. *TECHNOLOGIE STROJE A ZAŘÍZENÍ* [online]. 2012 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/technologie1.html>
6. Sklíčidlo na vrtačku. *ANGATRA* [online]. hERINK: Angatra Trade [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.angatra.cz/Sklidlo-na-vrtacku-10-mm-klicka-STSKL10-d4532.htm>
7. Ruko Vrták do trubek a plechu 3-16-30,5. *FABORY* [online]. Šlapanice: Fabory, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.fabory.com/cs/ruko-vrtak-do-trubek-a-plechu-3-16-30%2c5/p/F6300101003?q=%3Arelevance>
8. Korunkový vrták. *M.L. Gear Designs* [online]. 2015 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1504/vrtani>
9. Vrtáky s válcovou stopkou - krátká řada. *NÁŘADÍ A NÁSTROJE s.r.o.* [online]. Uherské Hradiště: Nářadí a nástroje s.r.o, 2014 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: [https://naradinastrojeuh.cz/nastroje\\_otvory.php](https://naradinastrojeuh.cz/nastroje_otvory.php)
10. SPIRÁLOVÝ VRTÁK HSS DIN 338 SMART STEP. *Würth* [online]. Nepřevázka: Würth, spol. s r.o., 2018 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://eshop.wuerth.cz/Kategorie-produktu/Spiralovy-vrtak-HSS-DIN-338-SMART-STEP/31467501030884.cyid/3146.cgid/cs/CZ/CZK/?CampaignName=SR001&CatalogCategoryRef=31467501030884%40WuerthGroup-Wuerth-3146&SelectedFilterAttribut=%255B%255D>
11. VRTAČKA STOLNÍ V 20 B. *HELTOS* [online]. Slavonice: HELTOS, 2008 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <http://www.heltos.cz/vrtacka-stolni-v-20-b-2-2.html>
12. Aku magnetická vrtačka Metabo MAG 28 LTX 32. *Metabo: PROFESSIONAL POWER TOOL SOLUTIONS* [online]. Hodonín: PROFES GROUP, 2017 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://metabonaradi.cz/aku-magneticka-vrtacka-metabo-mag-28-ltx-32.html>

13. Vrtačka pro vrtání trubek RB 127. *Nářadí Vitek: profesionální nářadí* [online]. Slavičín: Nářadí Vitek, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.naradi-vitek.cz/Vrtacka-pro-vrtani-trubek-RB-127>
14. Kovota 01: Stroj pro vrtání trubek. *Ripron* [online]. Trnava: RIPRON [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.ripron.cz/vrtaci-stroje/kovota/>
15. Centrovací přípravek. *Uni-max* [online]. Úžice: unitechnic.cz, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.uni-max.cz/produkty/kovoobrabeni/sveraky-a-upinace/dilenske-sveraky/centrovaci-pripravek-pro-vrtani-128-9>
16. Mobilní stojany na vrtačku. *Chatař chalupář* [online]. Praha [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.chatar-chalupar.cz/pro-presne-vrtani/>
17. Strojní svěrák Optimum FMS 150. *BOUKAL* [online]. BOUKAL s.r.o. - Stroje s lidskou péčí, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.boukal.cz/strojni-sverak-optimum-fms-150/5306/produkt>
18. PRIZMATICKÁ UPÍNACÍ KOSTKA 33 MM. *MarkAgro s.r.o* [online]. Sviadnov: MarkAgro s.r.o, 2016 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.markagro.net/produkt/prizmaticka-upinaci-kostka-33-mm-s-trmenem-typ-a-darmet-vz33a>
19. Prizmatický svěrák FQV. *MarkAgro s.r.o* [online]. Sviadnov: MarkAgro s.r.o, 2016 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.markagro.net/prizmaticky-sverak-fqv/>
20. Karbidový popisovač: rýsovací jehla na sklo, porcelán, nerez, kov.. *DIMAPA: DIAMANTOVÉ NÁSTROJE* [online]. Zlín: DIMAPA [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.dimapa.cz/Karbidovy-popisovac-rysovaci-jehla-na-sklo-porcelan-nerez-kov-d263.htm>
21. Flowdrill. *MONTFORT INTERNATIONAL* [online]. Québec: Monfort International, 2018 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://montfort-international.com/en/our-products/industrial-equipment/drilling-tools/flowdrill.html>
22. NEZBYTNÉ PRVNÍ VYBAVENÍ PRO TECHNOLOGII FLOWDRILL. *KAVON* [online]. Pardubice: KAVON CZ, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.kavon.cz/flowdrill>
23. Butt Welded Joint. *T-DRILL* [online]. Laihia: T-DRILL Industries [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <http://t-drill.fi/technologies/collaring/>
24. T-DRILL Process. *MAG TOOL: HOT & COLD FORMING* [online]. Edmonton: Mag Tool, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.magtool.com/extruding-t-drill-t-65>



25. Pulling a T. *THE TUBE & PIPE JOURNAL* [online]. Elgin: FMA Communications, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: [http://www.tubeandpipejournal-digital.com/tubeandpipejournal/march\\_2018/MobilePagedArticle.action?articleId=1360043#articleId1360043](http://www.tubeandpipejournal-digital.com/tubeandpipejournal/march_2018/MobilePagedArticle.action?articleId=1360043#articleId1360043)
26. Brochure Collaring Machine S-80 EN. *T-DRILL* [online]. Laihia: T-DRILL Industries [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://t-drill.com/s-80-fully-automatic-collaring-machine/>
27. T-65 Portable Collaring Machine. *T-DRILL* [online]. Laihia: T-DRILL Industries [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://t-drill.com/t-65-portable-collaring-machine-for-copper-pipes/>
28. S-54 with MFT Manual Feed Table. *T-DRILL* [online]. Laihia: T-DRILL Industries [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://t-drill.com/s-54-mft-manual-feed-table/>
29. TEC-150 & Automatic Positioning System. *T-DRILL* [online]. Laihia: T-DRILL Industries [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://t-drill.com/tec-150-automatic-positioning-system-aps/>
30. Fréza 2204 12×16 HSS. *Zavadil: Nářadí a nástroje* [online]. Litovel: NÁŘADÍ - NÁSTROJE - ZAVADIL, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.naradi-zavadil.cz/obchod/frezy-pro-drazky-per-nesoumerne-2-a-3-zube/freza-2204-12x16-hss/>
31. Konzolová frézka FGV 32. *TOS OLOMOUC* [online]. Olomouc: TOS OLOMOUC, 2017 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.tos-olomouc.cz/cz/vyrobni-program/univerzalni-produkci-frezky/konzolova-frezka-fgv-32/>
32. Princip stříhání pomocí stříhadla. *Technická univerzita Liberec: Fakulta strojní* [online]. Liberec: Katedra strojírenské technologie, 2018 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/06.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm)
33. Hydraulické děrovací lisy. *TARPO: VÝZKUM-VÝVOJ-VÝROBA* [online]. Kněžves u Rakovníka: Tarpo, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://www.tarpo.cz/galerie/automobilovy-prumysl-11cs.html>
34. Punching molds for tubes and profiles. *BS PUNCHING SYSTEMS* [online]. Cavaria: BS di Bazzani Daniela & C. S.a.s. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.bssistemi.it/en/prodotti/lavorazione-tubi/unit-idrauliche-stampi/stampi-punzonatura-tubi-e-profilu>
35. DĚROVÁNÍ TRUBEK A PROFILŮ. *ORFITECH s.r.o.* [online]. Praha: ORFITECH s.r.o [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://m.orfitech.cz/nabidka-sroju/derovani-trubek-a-profilu/>
36. Princip laserového řezání. *LAO: Lasery a optika* [online]. Praha: LAO - průmyslové systémy, 2014 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>

37. Řezání profilů laserem. *FOR ELV s.r.o.* [online]. Prostějov: FOR ELV [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://forelv.cz/laser/>
38. TruLaser Tube 7000 se šikmým řezem. *TRUMPF* [online]. Praha: TRUMPF, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: [https://www.trumpf.com/cs\\_CZ/produkty/stroje-systemy/stroje-pro-laserove-rezani-trubek/trulaser-tube-7000/](https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/stroje-pro-laserove-rezani-trubek/trulaser-tube-7000/)
39. VRTÁNÍ. *ELUC* [online]. [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1872>
40. Vrtání děr. *Ostravská univerzita* [online]. Ostrava: Miroslav Hrubec, 2009 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/vrtani/nastroje.html>
41. Obráběcí stroje a jejich příslušenství. *Technickyportal.cz* [online]. Praha: Business Media CZ, 2012 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/upinace-nastroju-2\\_8498.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/upinace-nastroju-2_8498.html)
42. Vrtání metodou flowdrill. *FOKUS industry* [online]. Praha: fokusindustry.cz, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://fokusindustry.cz/i?/Vrta%C4%8Dky/vrt%C3%A1n%C3%AD+metodou+flowdrill+>
43. *T-DRILL* [online]. Laihia: T-DRILL [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://t-drill.com>
44. Druhy fréz. *Tumlikovo: Metal Cutting Technologies* [online]. TumliKOVO, 2010 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/druhy-frez/>
45. *ELUC: Elektronická učebnice* [online]. [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz>
46. A single-punch mandrel tool. *THE TUBE & PIPE JOURNAL* [online]. Elgin: FMA Communications, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/tubepipejournal/article/tubepipefabrication/producing-holes-in-tubing>
47. Děrovací jednotky pod lis. *ELVAC: Strojní inženýring* [online]. Ostrava: ELVAC [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.strojninzenyring.cz/portfolio/derovaci-jednotky-pod-lis>
48. Děrování trubek. *TYLL* [online]. Nebovidy: Výfuky Tyll, 2016 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.vyfuky-tyll.cz/vyfuky/technologie/derovani-trubek/>
49. Hydraulické dílenské lisy TARPO. *TARPO: VÝZKUM-VÝVOJ-VÝROBA* [online]. Kněžves u Rakovníka: Tarpo, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <http://www.tarpo.cz/produkty/hydraulicke-lisy/hydraulicke-derovaci-lisy/>

50. MRŇA, Libor. *Technologie využívající laser*. Brno, 2013. Dostupné také z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_rezani\\_laserem\\_2013\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_rezani_laserem_2013_mrna.pdf)
51. *TRUMPF* [online]. Praha: TRUMPF, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: [www.trumpf.com](http://www.trumpf.com)
52. The all-new BLM Lasertube LT8. *METALWORKING NEWS* [online]. BA Crawford Specialised Publications (Pty), 2013 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <http://metalworkingnews.info/the-all-new-blm-lasertube-lt8-3d-fiber-laser-cutting/>
53. Dělení materiálu laserem. *Engineering.sk* [online]. Strojárstvo, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/1308-dleni-material-laserem>
54. CITACE PRO. Generátor citací [online]. 2013 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 ukázka technologií [1], [2], [3], [4].....	4
Obr. 2 Princip vrtání [5] .....	4
Obr. 3 Sklíčidlo na vrtačku [6].....	4
Obr. 4 Stupňovitý, korunkový a šroubovitý vrták [7], [8], [9] .....	4
Obr. 5 Speciální šroubovitý vrták [10].....	4
Obr. 6 Vzorek z materiálu S235JR .....	4
Obr. 7 Vzorek z materiálu 1.4301 .....	4
Obr. 8 Rozdělení vrtaček.....	4
Obr. 9 Stolní vrtačka [11].....	4
Obr. 10 Magnetická vrtačka [12] .....	4
Obr. 11 Vrtačka s řetězovým .....	4
Obr. 12 Vrtací stroj Kovota [14] .....	4
Obr. 13 Centrovací přípravek [15] .....	4
Obr. 14 Vrtací stojan [16] .....	4
Obr. 15 Strojní svěrák [17].....	4
Obr. 16 Prizmatický svěrák [19] .....	4
Obr. 17 Prizmatická kostka [18] .....	4
Obr. 18 Rýsovací jehla [20] .....	4
Obr. 19 Postup orýsování trubky .....	4
Obr. 20 Princip termálního vrtání [21].....	4
Obr. 21 Nástroj flowdrill [22] .....	4
Obr. 22 Typy spojení [23].....	4
Obr. 23 Postup pro pájený spoj [24] .....	4
Obr. 24 Princip pájeného spoje [25] .....	4
Obr. 25 Postup pro svařovaná spoj [26].....	4
Obr. 26 Ruční stroj [27] .....	4
Obr. 27 Stanice pro pájené spoje [28].....	4
Obr. 28 Stanice pro svařované spoje [29] .....	4
Obr. 29 Drážkovací fréza [30] .....	4
Obr. 30 Rozdělení fréz .....	4
Obr. 31 Konzolová frézka TOS [31].....	4
Obr. 32 Druhy tvarů otvorů.....	4
Obr. 33 Princip stíhání [32].....	4
Obr. 34 Děrování s deformací [33] .....	4
Obr. 35 Profukování děr [33].....	4
Obr. 36 Děrování bez deformace [34].....	4
Obr. 37 Opatřebená střižník.....	4
Obr. 38 Tvarové střižníky .....	4
Obr. 39 Děrovací jednotka [1] .....	4
Obr. 40 Děrovací stroj [35] .....	4
Obr. 41 Princip řezání laserem [36].....	4
Obr. 42 Výrobek na laseru [37] .....	4
Obr. 43 Princip trubkového laseru [38].....	4