



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

METODA VYHRDLENÍ OTVORU TRUBKY SYSTÉMEM T-DRILL

THE MANUFACTURING OF EXTRUDED OUTLET OF HOLE IN TUBE BY T-DRILL SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petro Tsyachnyy

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Petro Tysyachnyy**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Eva Peterková, Ph.D.**
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:

Metoda vyhrdlení otvoru trubky systémem T–drill

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o nejběžnější způsob výroby vyhrdlení otvoru trubky. Používá se pro snadné a přesné zhotovení odboček, T–kusů a napojení na trubkách. Práce bude obsahovat popis a princip této metody, užití v praxi a přehled užívaných strojů a nástrojů.

Cíle bakalářské práce:

Průzkum v oblasti tváření a vytvoření obecného náhledu na metodu T–drill.

Popis a princip této metody včetně zhodnocení kladů a záporů.

Vytvoření přehledu užívaných nástrojů a strojů.

Příklady výrobních postupů a užití v praxi.

Práce bude doplněna názornou obrázkovou dokumentací a závěry.

Seznam doporučené literatury:

TSCHATSCH, 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.

ŽÁK, Jan, Radko SAMEK a Bohumil BUMBÁLEK. Speciální letecké technologie I. Praha: Mezinárodní organizace novinářů, 1990. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0128-1.

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.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

TYSYACHNYY Petro: Metoda vyhrdlení otvoru trubky systémem T-drill.

Metoda vyhrdlení otvoru systémem T-drill je jedním z nejběžnějších způsobů výroby pravoúhlých potrubních odboček. V této bakalářské práci je popsán princip metody včetně výrobních postupů. Vytvořen je také přehled samotných strojů a průmyslových odvětví, ve kterých jsou tyto stroje využívány. Uvedeny jsou i jiné způsoby výroby odboček i s jejich výhodami i nevýhodami. Na závěr je patentovaná T-drill metoda srovnána s ostatními způsoby.

Klíčová slova: T-drill, vyhrdlovací stroje, potrubní odbočky, T-kusy

ABSTRACT

TYSYACHNYY Petro: The manufacturing of extruded outlet of hole in tube by T-drill system.

T-drill collaring method is one of the most common ways of ninety-degree tube branching, this bachelor thesis describes the principle the method is based on and how it's used in the production process. It presents also overview of the production sectors where the method is used and the list of collaring machines. Other branching methods are also described including their advantages and disadvantages. Finally, the patented T-drill method is compared to other tube branching methods.

Keywords: T-drill, collaring machines, tube branching, T-pieces

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TYSYACHNYY, Petro. *Metoda vyhrdlení otvoru trubky systémem T-drill* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124679>.
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 18.6.2020

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. V další řadě také děkuji své rodině a přátelům za podporu v průběhu celého bakalářského studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
ÚVOD	9
1 T-DRILL	10
1.1 Firma T-drill	10
1.2 Využití metody v praxi	11
2 VÝROBA VYHRDLENÍ	13
2.1 Postup výroby vyhrdlení pomocí metody T-drill	13
2.2 Seřizování tvarovacích hlav	15
2.3 Úprava konců trubek připojovaných pájením	16
2.4 Tabulky kapacit	17
3 JINÉ ZPŮSOBY VÝROBY ODBOČEK	18
3.1 Flamco T-plus	18
3.2 Řemeslná výroba hrdla	19
3.3 Vyhrdlovač ROTHENBERGER	19
3.4 Tvarovky	20
3.5 Otvory	21
3.6 FlowDrill	22
4 PŘEHLED STROJŮ T-DRILL	23
5 ZÁVĚR	30

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

ÚVOD [1], [2], [3]

Potrubní systémy jsou nedílnou součástí zařízení, která používá každý moderní člověk. Nachází se uvnitř domů a bytů, kde slouží k vytápění, rozvádění vody a plynu. Plní své funkce v autech, například k dodávání paliva do spalovacího motoru a jeho chlazení, napomáhá ke správnému fungování brzd nebo ke klimatizaci interiéru. Potrubí hraje svou roli i v průmyslu, například v elektrických rozvaděčích či dokonce v urychlovači částic v CERNu.

Potrubí lze definovat jako zařízení složené z trubek různých velikostí a materiálů, obvykle kruhového průřezu. Slouží k transportu a rozvádění energií nebo hmot potřebných pro účely výrobní nebo provozní. Mezi běžně přepravovaná média patří tekutiny, vzdušniny a tuhé sypké hmoty ve směsi s nosnou tekutinou.

Někdy je zapotřebí proud těchto médií rozdělit a k tomu slouží odbočky. Ty mohou být zrealizovány pomocí tvarovek, nebo je možné připojit boční trubku přímo k trubce hlavní. Toto spojení lze vytvořit několika způsoby, jednou z nejběžnějších je metoda T-drill, na kterou je tato práce zaměřena (obr. 1).



Obr. 1 Vyhrdlovací stroje T-drill [2], [3]

1 T-DRILL [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15]

Princip metody vyhrdlení otvoru trubky pomocí T-drill spočívá v tom, že je lem vytvořen přímo z materiálu hlavní trubky, a to tak, že je do ní nejdříve vytvořen otvor, pomocí frézování nebo vrtáním (viz schéma 1 na obr. 2). Poté je do otvoru vložena tvarovací hlava, která obsahuje dva tvářecí čepy. Ty se vysunou, když se hlava nachází uvnitř trubky. Zpětným chodem je vytvarován lem (límelec – schéma 2 na obr. 2), jehož čelo je nakonec zarovnáno frézováním (schéma 3 na obr. 2). Nakonec je k límci připojena trubka pájením nebo svařováním

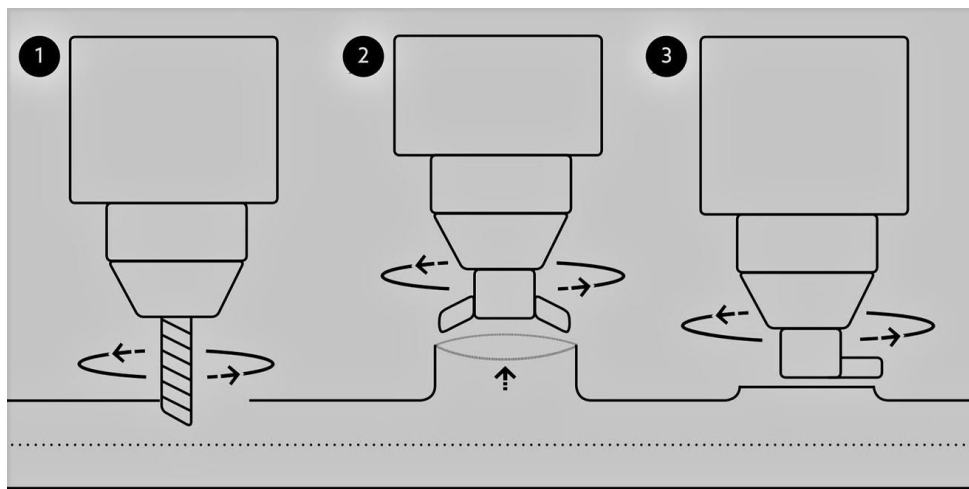
Trubky mohou být vyrobeny téměř ze všech tvárných materiálů, například z korozi-vzdorné oceli, hliníku nebo mědi a jejich průměry by měly být nejméně 8 mm.

Výhody:

- silné spojení,
- límelec fixuje trubku, takže ji není nutné při pájení držet,
- odbočná trubka může mít stejný průměr jako trubka průběžná,
- výrobní čas odbočky je rychlý,
- spoj je proveden pouze na jednom místě, to znamená, že je zapotřebí minimum spojovacího materiálu,
- odbočku je možné vytvořit i na ohnutých trubkách,
- velice dobré proudové charakteristiky.

Nevýhody:

- metoda vyžaduje použití řezných a mazných olejů, které je potřeba odmašťovat,
- frézováním nebo vrtáním vznikají třísky, které je zapotřebí odstranit.



Obr. 2 Princip metody T-drill [7]

1.1 Firma T-drill [5], [8]

T-drill je firma pocházející z Finska. Vznikla v 70. letech 20. století a vyrábí širokou škálu vysoce automatizovaných, přenosných strojů na úpravu trubek a potrubí. Jejich využití je možné najít v různých odvětvích od automobilního průmyslu přes HVAC aplikace až po výrobu lodí.

První stroje, které firma začala vyrábět, sloužily k vyhrdlování trubkových součástí. Tyto stroje fungují na principu popsaném v úvodu kapitoly. Tento proces je rychlejší a vznikají pevnější spoje než u konvenčních metod. Navíc nejsou potřeba T-kusy a využívá se pouze jeden svar namísto tří, což



Obr. 3 T-drill Laihia [8]

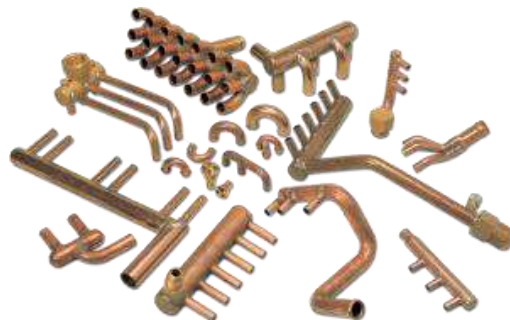
znamená finanční úsporu.

Firma kromě vyhrdlovacích strojů vyrábí stroje pro beztržkové řezání trubek nebo stroje na formování konců trubek.

1.2 Využití metody v praxi [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15]

Jak bylo zmíněno v úvodu, metoda vyhrdlení trubky pomocí T-drill je jedním z nejběžnějších způsobů výroby vyhrdlení otvoru trubky. Slouží ke snadnému a přesnému zhotovení odboček, T-kusů a napojení na trubkách. To je využíváno v různých průmyslových odvětvích, z nichž některé jsou uvedeny níže.

- HVAC – Metoda vyhrdlování je využívána při výrobě součástí pro HVAC systémy (heating – vytápění, ventilating – ventilace, air-conditioning – klimatizace). To znamená u výměníků tepla, tepelných čerpadel nebo solárních panelů.



Obr. 4 Trubky upravené stroji T-drill [9]

- Automobilový průmysl – Mnoho různých T-drill strojů se využívá pro úpravu trubek v automobilovém průmyslu. Důvodem je to, že tato metoda vyhrdlování umožňuje jednoduché a spolehlivé spojení. To je důležité, protože vozidla jsou vystavována vibracím, které mohou způsobit problémy v plynulém proudění kapalin nebo únik paliva. Je to také inovativní a cenově výhodné řešení. Automobilky používající T-drill jsou například Mercedes a Ford.

Konkrétní využití je možné najít (viz obr. 5):

- v trubkách pro vstřikování paliva,
- v trubičkách pro brzdovou kapalinu,
- v posilovači řízení,
- v klimatizaci,
- ve výměníku tepla klimatizace,
- v kyslíkovém senzoru.



Obr. 5 Trubky pro automobilní průmysl [10]

- Lodní průmysl – Nákladní a kontejnerové lodě používají těžký topný olej jako palivo. Dodávání tohoto oleje do diesellového motoru má několik částí: filtrace, ohřev

a tlakování oleje. Tento systém může být vyroben velice spolehlivě i pomocí T-drill. V lodním průmyslu se tato metoda využívá také:

- v destilačních zařízeních,
 - v čističkách vody,
 - v chlazení motoru,
 - ve ventilaci,
 - v systémech na udržení stability plavidla,
 - v protipožárních systémech.
- Úprava vody – Voda se čistí pomocí osmózy, ultrafiltrace a nano filtrace. Dezinfekce se provádí pomocí ultrafialového světla a ozonu. Proudění vody je zajištěno soustavou čerpadel. Každá část tohoto systému může mít více vstupů nebo výstupů. Uplatnění metody T-drill je tedy namístě.
 - Farmaceutický a potravinářský průmysl – Metoda T-drill je využívána při výrobě systémů na přípravu léku, v pivovarnictví nebo v mlékárenském průmyslu například při oddělování vody z mléka a následné tvorbě syrovátky. V těchto odvětvích je důležitá sterilita, proto tyto systémy bývají vybaveny také samočisticími programy. Při výrobě těchto potrubních systémů je tedy výhodné použít stroje T-drill.
 - Díky mobilním vyhrdlovacím strojům od firmy T-drill, mohou velice jednoduše a rychle spojovat potrubí také civilní instalatéri přímo na pracovním místě (obr. 6).



Obr. 6 Mobilní vyhrdlovací stroj T-drill [15]

2 VÝROBA VYHRDLENÍ [5], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24]

Níže jsou uvedeny metody využívané ke zhotovení vyhrdlení, respektive k přípravě otvoru v trubce a následného spojení trubek.

- Frézování – Při této metodě je materiál obrobku odebírán břity rezného nástroje ve formě krátkých třísek proměnné tloušťky. Posuv většinou koná obrobek, ale ne vždy (například u planetového frézování). Při procesu vyhrdlování se používá obrysově frézování k vytvoření otvoru buď kruhového, nebo eliptického. Může být také využito ke konečné úpravě nerovnoměrného okraje límce.
- Vrtání – Při vrtání koná nástroj (vrták) rotační pohyb kolem své osy a posuvný pohyb ve směru osy. Osa vrtáku je vždy kolmá k obráběné ploše. Vrtáním se vytváří otvory do plného materiálu, nebo se zvětšují již předpracované otvory. Při vyhrdlování je vrtání první krok, při kterém je vytvořen otvor do hlavní trubky.
- Tváření – Tváření je beztrísková technologie, při níž dostávají polotovary, vyrobené z kovů a slitin, konkrétní tvar za působení vnějších sil bez porušení materiálu. Takto vznikají výrobky rozmanitých tvarů a rozměrů, které už mohou být hotové nebo určené k dalšímu zpracování. V dnešní době má tváření velký význam, více než 90 % výrobků je zhotoveno některou tvářecí metodou. Při výrobě vyhrdlení je tvářením vytvořen límec, ke kterému se poté připojí boční trubka.
- Svařování – Svařováním vzniká nerozebíratelné spojení, které je zprostředkováno pomocí kovových vazebných sil mezi spojovanými materiály. Svařované konstrukce jsou zhotoveny z polotovarů hutní výroby (plechy, profily, odlitky, výkovky). Výhodou svařování je zjednodušení konstrukcí a snížení jejich hmotnosti, možnost náhrady výkovků a odlitků, také celkové snížení výrobních nákladů. Ve svarech však dochází ke změnám struktury a jeho mechanických vlastností, ke vzniku vnitřních napětí a deformací. Dále se tam mohou skrývat vnitřní vady, které zeslabují svar a mají vrubový účinek. Kromě klasického svařování lze při spojování potrubí použít i svařování orbitální. To znamená, že je spoj proveden elektrodou, která obíhá kolem osy trubky. V této době je orbitální svařování automatické a vytváří kvalitní spoj.
- Pájení – Tato několik tisíc let stará metoda vytváří nerozebíratelná spojení, která vznikají pomocí přídavného materiálu (pájkou). Přídavný materiál má odlišné chemické složení a nižší bod tavení, než má základní materiál. Při pájení nedochází k tavení spojovaného materiálu, ale pouze k jeho nahřátí nad zhruba 50 °C bodu tání přídavného materiálu. Spojení je zprostředkováno pomocí vzájemné difuze mezi základním materiálem a pájkou.

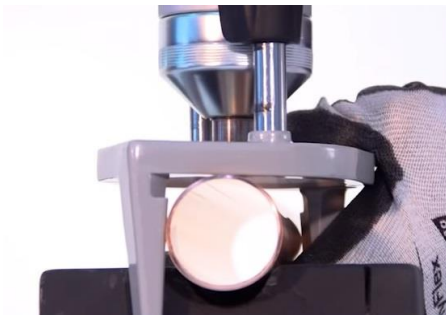
Jak již bylo uvedeno svařováním nebo pájením se boční trubka připevňuje k límci na hlavní trubce. Výběr jednoho z těchto dvou způsobů závisí na spojovaném materiálu.

2.1 Postup výroby vyhrdlení pomocí metody T-drill [5], [19], [20], [21]

Tato kapitola je věnována samotnému postupu vyhrdlení. Tento postup se mírně liší, pokud je připojovaná trubka k hlavní trubce pájena nebo přivařována.

- a) Když je odbočka připojována pomocí pájení, je nejdříve vyvrtána nebo vyfrézována kulatá díra (obr. 8). Poté jsou z hlavy vysunuty dva formovací kolíky (obr. 9), které pomocí zpětného chodu vytvarují na hlavní trubce límec (obr. 10). Na konci vedlejší trubky jsou vystřiženy z obou stran půlměsíkové profily kvůli plynulému proudění média, jsou tam také vytvořeny dva důlky, které zajišťují to, aby odbočka nezajela

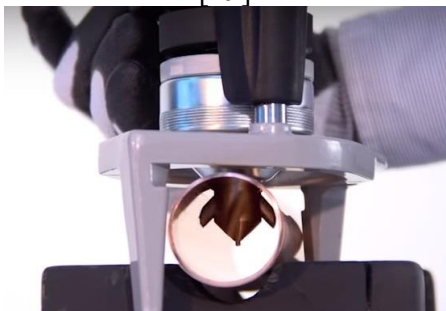
příliš hluboko do hlavní trubky (obr. 11). Límec musí být alespoň třikrát vyšší, než je tloušťka stěny připojované trubky, aby měl svoji maximální pevnost (obr. 12). Nakonec je vedlejší trubka připájena k trubce hlavní. Pájený spoj je používán pro spojování trubek menších průměrů, například v HVAC aplikacích nebo při výrobě aut.



Obr. 7 Přiložení stroje k trubce [19]



Obr. 8 Vrtání stěny trubky [19]



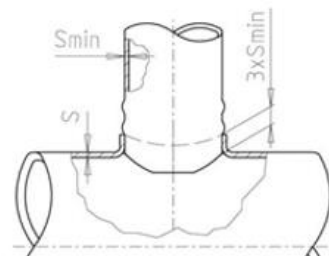
Obr. 9 Vysunutí tvářecích kolíků [19]



Obr. 10 Tvarování límce zpětným chodem stroje [19]

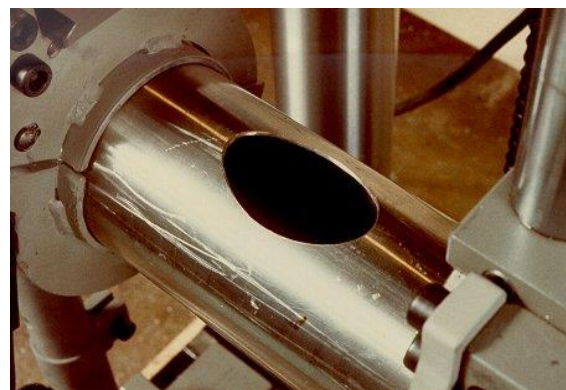


Obr. 11 Upravený konec měděné trubky [19]



Obr. 12 Podmínka výšky límce [20]

- b) Pokud je spoj zprostředkován tupým svarem, prvním krokem je vyfrézování díry eliptického tvaru (obr. 13). Tento tvar je ideální z toho důvodu, že je potřeba více materiálu na vytvoření dost vysokého límce pro konečný svar (obr. 14). Límec je poté upraven na konečnou výšku a tvar pomocí frézy (obr. 15). Nakonec je boční trubka připojena k límci svařováním. Tento způsob je typický pro těžší průmyslové aplikace, kde je zapotřebí dobrý povrch

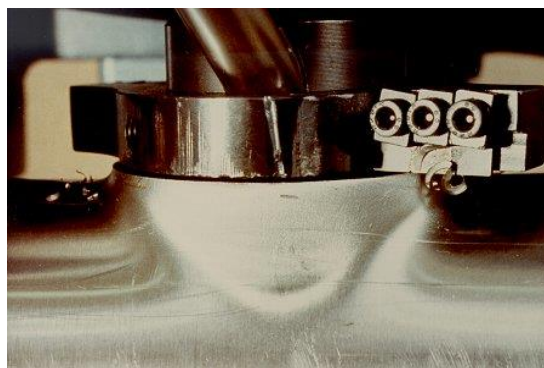


Obr. 13 Vyfrézovaný pilotní otvor [21]

uvnitř potrubí, například v potravinářství, farmacii, papírnictví a potrubích z korozivzdorné oceli (čističky vody, lodní průmysl, ponorky).



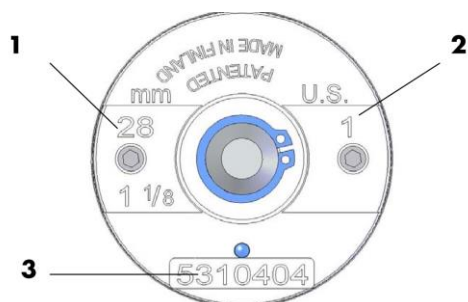
Obr. 14 Tvarování límce [21]



Obr. 15 Frézování čela límce [21]

2.2 Seřizování tvarovacích hlav [19], [22]

Každá tvarovací hlava je již od výrobce seřizena na svoji nominální hodnotu, kterou lze najít vyraženou na talířovém krytu (viz obr. 16). Pokud hlava vyhrdlí několik set otvorů v trubkách o různých rozměrech a materiálech, je nutné hlavu seřídít.



1. Aktuální velikost v milimetrech
2. Nominální velikost v palcích
3. Identifikační číslo hlavy

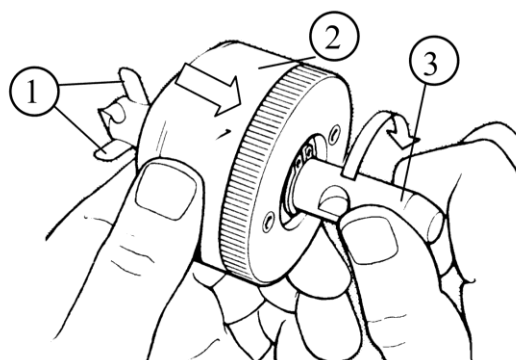
Obr. 16 Vyhrdlovací hlava T-drill [22]

Před seřizováním, je zapotřebí vysunout formovací kolíky. To je provedeno tak, že je jednou rukou chycen kuželový kryt a stopkou je otáčeno po směru hodinových ručiček do plného vysunutí formovacích kolíků (viz obr. 17).

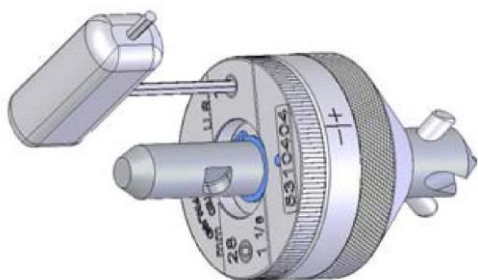
Pokud je vyhrdlován otvor pro pájený spoj, má být v závislosti na velikosti vyhrdlovací hlavy maximální rozpětí kolíků větší o 0,5 – 1,4 mm, než je vnější průměr připojované trubky.

Postup seřízení

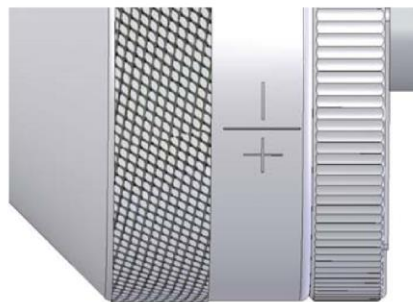
- Nejdříve je zapotřebí povolit šrouby na spodním krytu zhruba o jednu otáčku 3 mm šestihřanným zástrčným klíčem (obr. 18).
- Poté je třeba rotovat kuželovým krytem a diskový kryt držet ve stacionární poloze. Pro zvětšení rozpětí je třeba rotovat do kladného směru, pro zmenšení rozpětí naopak. Jeden zářez na spodním krytu značí 0,25 mm rozpětí kolíků (obr. 19).
- Nakonec jsou šrouby na diskovém krytu utáhnuty a rozpětí kolíků zkontrolováno pomocí kalibrů (obr. 20).



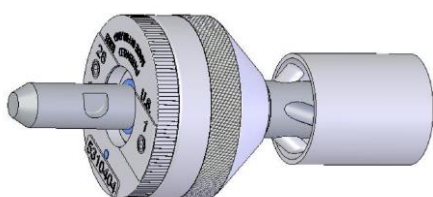
Obr. 17 Vysunutí tvářecích kolíků [22]



Obr. 18 Povolení šroubů na diskovém krytu [22]



Obr. 19 Znázornění kladného a záporného směru otáčení kuželového krytu [22]



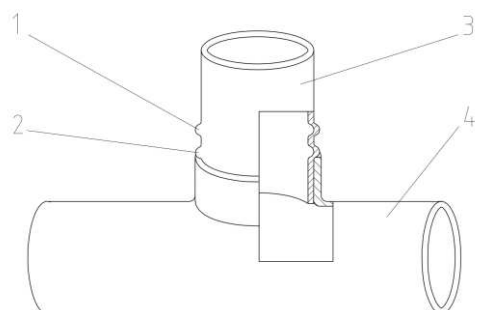
Obr. 20 Kontrola hodnoty rozpětí tvářecích kolíků kalibrem [22]

2.3 Úprava konců trubek připojovaných pájením [22], [23]

Pokud je vedlejší trubka připojována k límci pájením, je zapotřebí její konec upravit pomocí speciálních pákových nůžek (viz obr. 21). Jak už bylo zmíněno, konec trubky se upravuje tak, že nůžky na obou stranách konce trubky vystříhnou půlměsíkový profil a vytvarují dva důlky (viz obr. 11). Půlměsíkové profily kopírují vnitřní tvar hlavní trubky a tím zlepšují proudění přepravovaného média ve vytvořené odbočce. Spodní důlky slouží k tomu, aby při vkládání připojované trubky do límce, zajistily konkrétní hloubku zasunutí (viz obr. 22). Horní důlky, které se nachází 6 mm nad spodními, slouží ke kontrole pájeného spoje.



Obr. 21 Pákové nůžky T-drill [22]



Obr. 22 Znázornění funkce důlků [22]

1. Důlek pro kontrolu pájeného spoje
2. Omezovací důlek
3. Připojovaná trubka
4. Průběžná trubka

Postup je takový, že jsou nůžky položeny na vodorovný povrch. Poté je disk s otvory otočen tak, že je potřebný otvor nasměrován ven od páky nůžek. Upravovaná trubka je vložena do příslušného otvoru a páka stlačena úplně dolů. Tím je upravena jedna strana

trubky, pro upravení druhé strany trubky je potřeba otočit trubkou o 180° a opakovat předchozí postup.

Konec trubky lze také upravit pomocí pneumaticky poháněného PND-54, který je uveden na obr. 23. Stroj je nejprve nastaven na potřebný průměr a konec trubky vložen do příslušného otvoru. Úprava je následně provedena sešlápnutím pedálu.



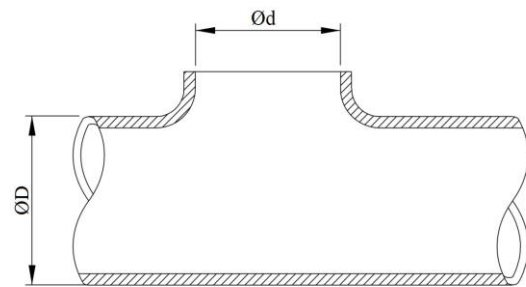
Obr. 23 PND-54 [23]

2.4 Tabulky kapacit [22], [24]

Tabulky kapacit slouží ke správnému určení maximální možné tloušťky stěny hlavní trubky, nebo k vybrání správné tvarovací hlavy. Jedna z těchto tabulek je uvedena níže, viz tab. 1.

Používání tabulek kapacit

- Jsou vybrány tabulky podle materiálu trubky a potřebných jednotek.
- Poté je nalezen sloupec, kde je hodnota vnitřního průměru límce a řádek, kde je hodnota vnějšího průměru hlavní trubky (viz obr. 24.).
- Tam, kde se protne vybraný řádek a sloupec, je maximální možná hodnota tloušťky stěny hlavní trubky.



Obr. 24 Vnitřní průměr límce a vnější průměr trubky [22]

Tab. 1 Tabulka kapacit stroje T-drill T-35 [24]

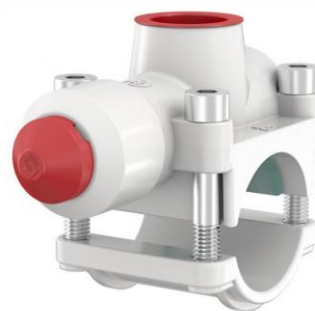
Vnější průměr hlavní trubky (ØD)	Vnější průměr odbočné trubky (Ød)								
	mm	8	10	12	15	18	22	28	35
15	0,8	1,0	1,2	1,2	-	-	-	-	-
18	0,8	1,0	1,2	1,5	1,2	-	-	-	-
22	0,8	1,0	1,2	1,5	1,5	1,5	-	-	-
28	0,8	1,0	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	-	-
35	0,8	1,0	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
42	0,8	1,0	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0
54	0,8	1,0	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0
64	0,8	1,0	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0
76,1	0,8	1,0	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0

3 JINÉ ZPŮSOBY VÝROBY ODBOČEK [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40], [41]

V této kapitole jsou rozebrány alternativní způsoby výroby pravoúhlých odboček. Jsou zde popsány postupy výroby těchto odboček, a také je poukázáno na kladné a záporné vlastnosti těchto metod za účelem srovnání s patentovanou T-drill metodou.

3.1 Flamco T-Plus [25], [26], [27]

Armatura pro vytváření odboček bez nutnosti odstávky systému. Funguje tak, že je armatura nejprve připevněna na potřebné místo pomocí čtyř šroubů. Připojovaná trubka je zašroubována do závitů armatury. Poté je sundáno víčko ze závitů a na něj je následně našroubována spoušť. Pojistným kolíkem je otáčeno po směru hodinových ručiček tak, aby jeho pozice umožňovala vytažení kolíku. Spoušť je aktivována tak, že je těsnění přestípnuto a rychlým pohybem vytáhnut pojistný kolík. Tím je zajištěn čistý řez v hlavní trubce a vytvořena odbočka. Nakonec jsou dotaženy šrouby a odstraněna spoušť. Daný postup je znázorněn na obr. 26. Existují dvě verze, litinová pro silnostěnné ocelové trubky a mosazná verze pro měděné trubky, tenkostěnné ocelové trubky a trubky z korozivzdorné oceli.



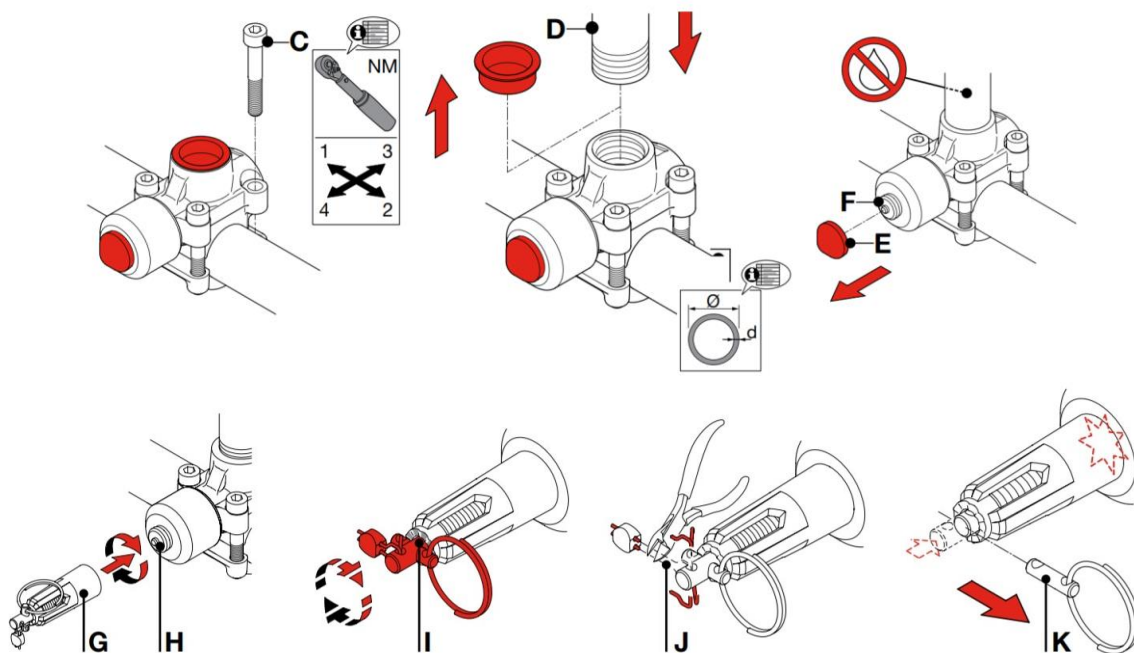
Obr. 25 Flamco T-Plus [26]

Výhody:

- velice rychlý proces,
- vytváří odbočky za provozu, není potřeba systém vypouštět, nedochází ke zavzdušnění a znečištění,
- lze aplikovat i v omezeném prostoru.

Nevýhody:

- drahé řešení,
- vhodné pouze pro trubky o průměrech 21,3-88,9 mm.



Obr. 26 Postup výroby odbočky pomocí Flamco T-Plus [27]

3.2 Řemeslná výroba hrdla [28], [29]

Při tomto způsobu výroby vyhrdlení je potřeba pracovat velice přesně, aby se dosáhl požadovaný tvar a rozměr límce. V průběžné trubce je vyvrtán otvor. Průměr vrtáku je spočítán z podmínky, že výška lemu musí být třikrát větší než tloušťka stěny odbočující trubky.

Pro výpočet vhodného průměru vrtáku je v praxi využíván vzorec (viz obr. 27):

$$d_b = d_a - (2 \cdot 3s) = d_a - 6s, \quad (3.1)$$

kde: d_b – průměr vrtáku [mm]

d_a – vnější průměr odbočné trubky [mm]

s – tloušťka stěny odbočné trubky [mm]

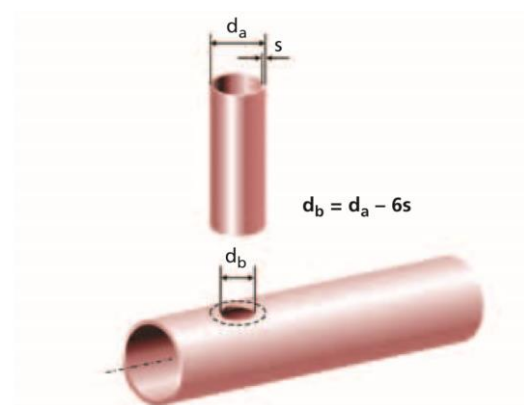
Poté je pomocí roztahovacích kleští rozšířena vyvrtaná díra. Dále je kladivem a tvarovacím trnem vytvarován lem (obr. 28). Otvor je nakonec zkorigován na potřebný rozměr buď expandérem na rozšiřování konců trubek, nebo pomocí ocelového trnu a kladiva. A to tak, že je do otvoru vsunuta vedlejší trubka a límec je na ni natemován (obr. 29).

Výhody:

- potřebné je pouze levné běžně sehnatelné nářadí.

Nevýhody:

- náročnost pro řemeslníka,
- velice dlouhý výrobní čas,
- odbočka není přípustná pro dopravu plynu.



Obr. 27 Výpočet průměru vrtáku [28]



Obr. 28 Tvarování límce [29]



Obr. 29 Korigování tvaru límce [29]

3.3 Vyhrdlovač ROTHENBERGER [28], [30], [31]

Tento způsob se principem podobá patentované T-drill metodě. Sada těchto nástrojů se skládá z nastavitelného vrtáku, vyhrdlovače s tvarovacím hákem, ráčny a hrotovacích kleští. Výroba probíhá tak, že je nejprve nastaven vrták na potřebný průměr a s ním vyvrtán otvor do průběžné trubky. K tomu, aby tento nástroj vydržel co nejdéle, také aby docílil lepších pracovních výsledků, je zapotřebí používat maziva, která neobsahují tuk.

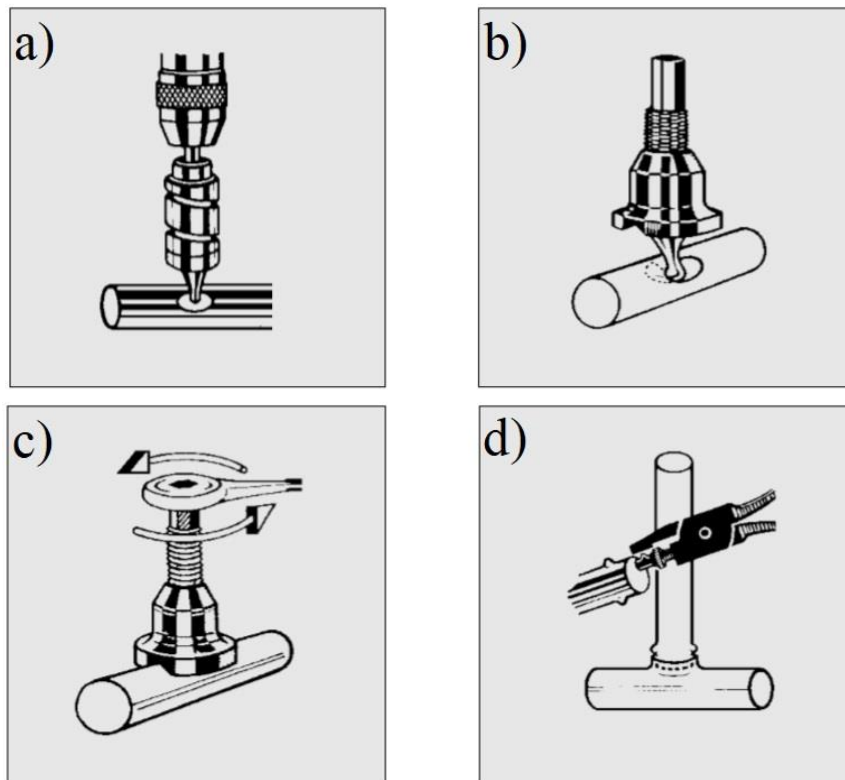
Po vyvrtání otvoru (obr. 30a) je do něj vsunut vyhrdlovací hák, klobouček vyhrdlovače je položen na trubku (obr. 30b). Ráčnou, připojenou k vyhrdlovači, je otáčeno doleva a tím je vytvářen límec (obr. 30c). Na konci připojované trubky jsou vytvořeny dva důlky z důvodu přesné míry zasunutí (obr. 30d).

Výhody:

- pevný spoj,
- dobré proudové charakteristiky,
- minimální počet pájených míst nebo svarů.

Nevýhody:

- rozmezí průměrů vyhrdlovaných trubek je pouze 10-42 mm,
- nelze připojit odbočky o stejném průměru, jako je průměr hlavní trubky,
- delší výrobní časy.



Obr. 30 Postup výroby hrdla [31]

3.4 Tvarovky [6], [28], [32], [33], [34]

Vytvoření odbočky pomocí tvarovek je nejběžnějším způsobem. Metoda je ideální pro nízkou objemovou výrobu, jelikož s ní lze jednoduše vytvořit kvalitní spoj několika možnými způsoby: pomocí závitů (obr. 31), pájením (obr. 32), svařováním, svěracími kroužky, lisováním (obr. 33) apod.

Výhody:

- dostupnost tvarovek,
- výběr vhodného způsobu spojení,
- silný a kvalitní spoj.



Obr. 31 Závitová tvarovka [32]

Nevýhody:

- T-kusy jsou relativně drahé,
- k dispozici jsou většinou pouze normalizované kusy, když jsou zapotřebí jiné velikosti, užívané v HVAC, jsou velice drahé,
- spojení je zprostředkováno pomocí 3 svarů (pájených míst), což mohou být potenciální místa úniku přenášeného média. Také je zapotřebí více spojovacího materiálu a více času na výrobu spoje,
- spoj je náchylnější k poškození při vystavení vibracím než ostatní způsoby,
- metoda vyžaduje řezání trubek a následné zbavování otřepů.



Obr. 32 Pájecí tvarovka [33]



Obr. 33 Lisovací T-kus [34]

3.5 Otvory [6], [35], [36]

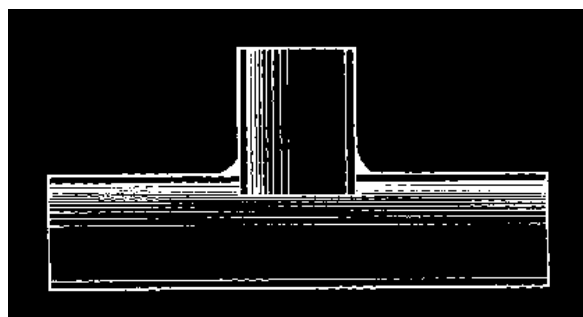
Tento způsob spočívá v tom, že je do průběžné trubky vytvořen otvor, do kterého je vsunuta odbočná trubka a následně přivařena nebo připájena (viz obr. 34). Díky své jednoduchosti je tento způsob využíván pro produkci malých množství odboček.

Otvor je možné vytvořit vrtáním (obr. 35). Je však zapotřebí vybrat správný vrták, za účelem redukce otřepů. Vhodný je vrták na plechy. Nastavení rychlosti posuvu a otáček vrtáku závisí na vrtaném materiálu, například pro měď je to 1000-1500 ot/min, pro ocel 500 ot/min. Životnost nástroje lze prodloužit použitím vhodných rezných olejů.

Dalším způsobem tvorby otvorů je externí děrování pomocí lisu (obr. 36). Při této výrobě není potřeba používat rezných olejů a pokud jsou nástroje dobře udržovány, vzniklý otvor neobsahuje téměř žádné otřepy.

Výhody:

- rychlé výrobní časy,
- nízká výrobní cena.



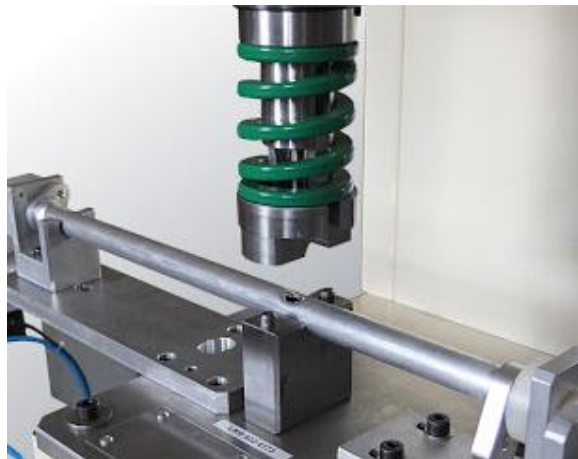
Obr. 34 Odbočná trubka vsunutá do trubky hlavní [6]



Obr. 35 Vyvrtané otvory [35]

Nevýhody:

- nízká pevnost kvůli malému kontaktu mezi spojovanými trubkami,
- špatné proudové charakteristiky, jelikož je odbočná trubka zasunuta do hlavní,
- nutnost zbavování se otřepů (především u vrtání).



Obr. 36 Vylisovaný otvor [36]

3.6 FlowDrill [37], [38], [39], [40], [41]

FlowDrill je moderní metoda vrtání tenkostěnných profilů (obr. 38). Funguje tak, že je nástroj za vysokých otáček vtlačován do materiálu trubky. Materiál trubky se třením zahřeje a změkne. Nástroj následně pronikne dovnitř trubky a vytlačí část materiálu dovnitř a část ven (obr. 37). Výsledná délka vytvořeného otvoru může být třikrát větší než tloušťka materiálu. Odbočná trubka je následně vložena do otvoru a připevněna pájením či svařováním.

Výhody:

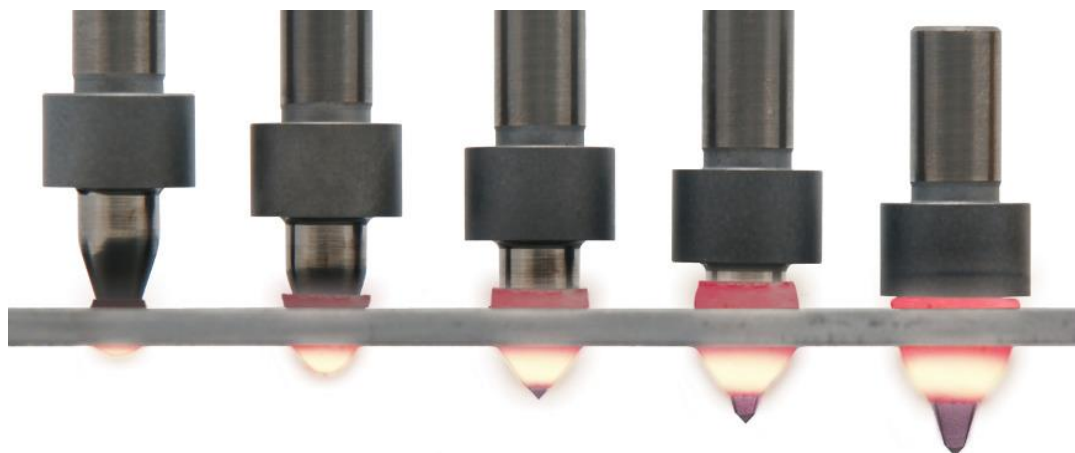
- dlouhá životnost nástroje,
- rychlé výrobní časy.

Nevýhody:

- rozmezí výrobitelných průměrů pouze 1,8-40 mm,
- materiál proniklý dovnitř trubky zhoršuje proudové charakteristiky odbočky.



Obr. 37 Vrtání trubky metodou FlowDrill [40]



Obr. 38 FlowDrill [41]

4 PŘEHLED STROJŮ T-DRILL [42], [43], [44]

V této kapitole je vytvořen přehled vyhrdlovacích strojů od firmy T-drill. U každého typu jsou uvedeny parametry polotovarů s jakými stroj pracuje a hodnoty průměrů, které je stroj schopen vytvořit, a také možná rozšíření.

- **T-DRILL S-54** – (obr. 39) je automatický vyhrdlovací stroj, který vytváří límce o průměru 6–54 mm na Ø8-108 mm trubkách vyrobených z mědi, hliníku, korozivzdorné oceli a jiných tvárných materiálů. Polotovary lze ke stroji upnout mnoha různými způsoby, což umožňuje práci s rovnými ale i ohnutými trubkami. S-54 je využívám například v HVAC aplikacích a automobilním průmyslu.

Samotný stroj lze rozšířit o manuální posuvný stůl, automatický posuvný stůl, nebo může být součástí automatického vyhrdlovacího centra. Manuální posuvný stůl (obr. 40) umožňuje tvorbu límců po celé délce trubky a to tak, že je s ní axiálně posouváno, navíc jí lze natáčet kolem své osy. Typ upínání trubky závisí na jejím konci, tedy jestli je otevřený nebo uzavřený. Nastavení konkrétní pozice obrobku je prováděno pomocí tří šablon nebo pomocí pneumatické brzdy ovládané pedálem. Uživatel může stroj rozšířit o digitální displej ukazující souřadnice polohy obrobku. Natáčení trubky je možné standardně po 15°, pokud je nutný jiný interval, lze použít jinou šablonu. Jejich výměna je jednoduchá.

Stůl je vyráběn ve verzích pro 1500, 2500, 3500, 4500, a 6000 mm dlouhé trubky.

Automatický posuvný stůl (obr. 41) koná, po provedení upnutí trubky, všechny výrobní operace automaticky. Stůl je programován pomocí dotykového displeje, na kterém jsou zobrazovány pokyny pro uživatele. Do systému je možné uložit 300 různých programů o 300 krocích a mohou být následně upravovány. Je možné zahrnout i mezikroky, které nesouvisí se samotným T-drill procesem. Výrobní časy závisí na počtu a průměru vyhrdlení, také na materiálu trubky. Například výroba deseti límců o průměru 8 mm, které jsou od sebe vzdáleny 100 mm, trvá 65 sekund.

Rozdíl mezi automatickým posuvným stolem a automatickým vyhrdlovacím centrem (obr. 42) je ten, že u centra obrobek zůstává ve stacionární poloze a pohyb vykonává vyhrdlovací jednotka. To je výhodné, jelikož takto navržený stroj, šetří místo potřebné pro svoji činnost.



Obr. 39 T-drill S-54 [42]



Obr. 40 T-drill S-54 manuální posuvný stůl [42]



Obr. 41 T-drill S-54 automatický posuvný stůl [42]



Obr. 42 T-drill S-54 automatické vyhrdlovací centrum [42]

- **T-DRILL T-115** – (obr. 42) vyrobí hrdla o průměru 19-114,3 mm na Ø33,7-323,9 mm trubkách, vyrobených z hliníku, mědi, oceli. Celý výrobní proces, frézování pilotního otvoru, tvarování límce a jeho úprava, je vykonáván na jedno upnutí. Je však zapotřebí manuálně měnit nástroje (frézu na tvorbu pilotní díry, tvarovací hlavu s náhradními kolíky, frézu na úpravu límce) mezi jednotlivými operacemi. Také je nutné předem nastavit tvarovací hlavy na potřebné průměry. Stroj je ovládán pomocí operačního panelu, který navádí uživatele krok po kroku.



Obr. 43 T-drill T-115 [43]

T-115 je pouze 800 mm široký a navržený tak, aby jej bylo možné přesouvat paletovým vozíkem. K samotnému stroji je také dodáván stůl držící nástroje. Toto vyhrdlovací centrum je využíváno ve výrobě potrubí z korozi-vzdorné oceli, v HVAC aplikacích, lodním, automobilovém a leteckém průmyslu.

Samotný stroj lze rozšířit o stůl, který umožňuje přesné nastavení pozice polotovaru (obr. 44). Při manipulaci s trubkou lze sledovat axiální a radiální souřadnice na digitálním displeji s přesností



Obr. 44 T-drill T-115 pozicovací stůl [43]

$\pm 0,5$ mm. Když je dosaženo požadované pozice, je trubka upnuta a vyhrdlena. Stůl je vyráběn ve verzích pro trubky do délky 3000 nebo 6000 mm.

- **S-80** – (obr. 45) má automatický výrobní cyklus (frézování pilotního otvoru, tvarování límce a jeho úprava) plně řízený servomotory. Obsahuje automatickou výměnu nástrojů, což je výhodou, jelikož je možné vytvářet límce o různých průměrech během jednoho pracovního cyklu. Vzniklá vyhrdlení mají průměr 8-80 mm na trubkách o maximálním průměru 114,3 mm. Vhodný je pro trubky z hliníku, mosazi, mědi, oceli a korozi vzdorné oceli.

S-80 splňuje mnoho požadavků kladených při výrobě potrubních systémů, lze ho tedy využít v mnoha průmyslových aplikacích.



Obr. 45 T-drill S-80 [43]

- **SEC-100** – (obr. 46) je kombinací dvou vyhrdlovacích jednotek v jedné konstrukci. První jednotka vyfrézuje pilotní otvor pomocí stopkové frézy, poté druhá jednotka vytvaruje límec tvářecí hlavou a upraví jej frézou. Tvářecí hlava se musí před výrobou ručně nastavit a nainstalovat do stroje. Samotná výroba hrdla je automatická.

SEC-100 pracuje s trubkami z téměř všech tvárných materiálů o průměru 33,7-219,1 mm. Odbočné trubky mohou být v rozsahu $\text{Ø}26,9$ -114,3 mm.

SEC-100 TBC (obr. 47) je automatické vyhrdlovací centrum, které lze využít pro velké i menší projekty. Je to rozšíření SEC-100, který se pohybuje podél upnuté trubky. Polotovar je možné natáčet kolem své osy.



Obr. 46 T-drill SEC-100 [43]



Obr. 47 T-drill SEC-100 TBC [43]

- **TEC-150** – (obr. 48) slouží k výrobě vyhrdlení pro odbočné trubky o průměru v rozmezí 21,3-168,6 mm. Stroj pracuje s hliníkovými, měděnými, ocelovými trubkami o průměrech 33,7-550 mm.

Před začátkem výroby je nutné do systému zadat příslušné parametry, ty se dají i uložit a využít vícekrát. Poté je možné začít s výrobou. Nejprve je vyvrtán otvor,

to je kontrolováno manuálně pomocí boční páky. Stisknutím příslušného tlačítka je spuštěno automatické frézování pilotního otvoru, po jeho dokončení je fréza zasunuta zpět do stroje pomocí boční páky a celý panel ručně posunut směrem k zadní části stroje. Následně je do otvoru vsunuta tvarovací hlava a spuštěno automatické tvarování límce. Hlava je zaměněna frézou, která límec upraví. TEC-150 je využíván například v lodním průmyslu.

Verze TEC-150-8 oproti té základní nepracuje s měděnými trubkami, zato vyrobí límce o průměru až 219,1 mm, jelikož má větší vřeteno i nástroje. U límců nad $\text{Ø}168,3$ mm musí být pilotní otvor vyřezán manuálně plazmou.

TEC-150 HD (obr. 49) a TEC-150-8 HD dokáží vyhrdlit trubky s tloušťkou stěny 12,7 mm, základní TEC-150 pracuje s trubkami o maximální tloušťce stěny 6,3 mm. TEC-150-8 HD tvoří límce až do průměru 219,1 mm, nad průměr 168,3 mm musí mít však stěna trubky tloušťku opět 6,3 mm.

TEC-150-Cu (obr. 51) je verze optimalizovaná na vyhrdlování měděných trubek. Oproti základní verzi je pilotní otvor vrtán a límec není upravován.

TEC-150 APS (obr. 50) je automatický vyhrdlovací systém. Jeho hlavní součástí je vždy jedna z TEC-150 výrobních jednotek, která se pohybuje po kolejnicích podél obrobku.



Obr. 48 T-drill TEC-150 [43]



Obr. 49 T-drill TEC-150 HD [43]



Obr. 50 T-drill TEC-150 APS [43]



Obr. 51 T-drill T-150-Cu [43]

- **CEC-170** – (obr. 52) obsahuje automatické nastavení pozice obrobku a výrobu límce. Navíc má také detekci poškození frézy a automatickou výměnu nástrojů. Základní verzi lze rozšířit o další příslušenství, například o dodávací systém trubek do stroje. Spouštění výroby je možné na místě, nebo na dálku z osobního počítače. Vyhrdlovat lze trubky téměř z každého tvárného materiálu o průměru 19-254 mm. Vzniklé límce mají průměr 19-168,3 mm.



Obr. 52 T-drill CEC-170 [43]

- **T-850** – (obr. 53) tvaruje vyhrdlení zastudena i zatepla, to kvůli vestavěnému ramenu. Vyrábí límce o průměru 168-880 mm na hliníkových a ocelových trubkách o průměru 254-1430 mm. T-850 je využíván například k výrobě elektrických rozvaděčů.



Obr. 53 T-drill T-850 [43]

- **PLUS-500** – (obr. 54) je navržen pro výrobu nádrží, velkých potrubních systémů a v lodním průmyslu. Jeho výhodou je naklápěcí vyhrdlovací jednotka, která umožňuje výrobu límců jak seshora, tak pod úhlem (až do 90°). Klasická výroba límců seshora je možná u trubek do průměru 1600 mm, když se tvarovací hlava naklopí, může být průměr neomezeně velký.

Stroj dokáže vyhrdlit trubky o průměru větším než 273 mm vyrobených z téměř všech tvárných materiálů. Je také možné lemovat otvory rovných plechů. Vzniklé límce mají průměr 217–508 mm. Samotný PLUS-500 lze rozšířit o nástroje pro



Obr. 54 T-drill PLUS-500 [43]

zešikmení okraje límce a předehřívací systém polotovarů, vhodný pro hliníkové a tlustostěnné profily.

- Firma T-drill vyrábí také portabilní stroje pro produkci odboček. Model T-65 má verzi pro ocelové trubky o průměru 17-54 mm (obr. 55). Je také verze pro měděné trubky o průměru 15-108 mm s vyhrdleným límcem Ø8-54 mm (obr. 56). K dispozici je také model T-35 (obr. 58), který pracuje pouze s měděnými trubkami. Rozmezí průměrů trubek a límců zvětšit pomocí rozšíření PLUS 115 (obr. 59, obr. 60). Takto lze vyhrdlit ocelové trubky až do průměru 219,1 mm, měděné trubky do Ø206 mm. Práci s oběma výše zmíněnými modely lze zefektivnit pomocí stolu HFT-2000 (obr. 61, obr. 62). Vyhrdlovací stroj je upevněn k stolu tak, že s ním lze pohybovat podél trubky, a tak snadněji vytvářet límce pro odbočné trubky.



Obr. 55 T-drill T-65 SS [44]



Obr. 56 T-drill T-65
pro měděné trubky [44]



Obr. 57 T-drill T-65
s akumulátorem pro měděné
trubky [44]



Obr. 58 T-drill T-35 [44]



Obr. 59 T-drill PLUS 115 pro ocelové trubky [44]



Obr. 60 T-drill PLUS 115 pro měděné trubky [44]



Obr. 61 T-drill HFT-2000 pro ocelové trubky [44]



Obr. 62 T-drill HFT-2000 pro měděné trubky [44]

5 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce pojednává o metodě vyhrdlení otvoru trubky systémem T-drill. Jedná se o moderní způsob výroby odboček, T-kusů a napojení v potrubních systémech. V práci je popsán princip metody a vytvořen přehled průmyslových odvětví, ve kterých se tyto stroje využívají. Rozebrány jsou i jednotlivé operace, ze kterých se výrobní proces skládá a popsány rozdíly ve výrobních postupech, když je odbočná trubka nakonec připojena buď pájením nebo svařováním. Uvedeny jsou i jiné způsoby výroby odboček včetně jejich výhod i nevýhod. Také je vytvořen přehled vyhrdlovacích strojů firmy T-drill.

Co se týče výroby potrubních odboček, existuje mnoho způsobů jejich produkce. Každý má své vhodné využití a kladné i záporné vlastnosti například pevnost, způsob výroby nebo cenu výsledného spoje. T-drill metoda je však univerzální, jelikož nabízí mnoho různých typů strojů, které lze vybavit rozšířeními a přizpůsobit tak produkci pro konkrétní aplikace. Tyto stroje pracují s rovnými i ohnutými trubkami o průměrech nad 8 mm, vyrobených z téměř všech tvárných materiálů. Průměry límců mohou mít i nenormalizované hodnoty, což lze využít například v HVAC. Celkově lze tedy říct, že je T-drill metoda velice dobrým řešením pro výrobu většího množství odboček.

SEZNAM ZDROJŮ [45]

1. MIKULA, J. a a KOLEKTIV. *Potrubí a armatury*. Praha: SNTL, 1974, 585 s.
2. T-DRILL T-65 Portable Collaring machine 2017. In: *Youtube* [online]. 2017 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=oFpOL0VOZKU>
3. T-35 TEE FORMING TOOL. In: *Archello* [online]. [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: <https://archello.com/product/t-35-tee-forming-tool>
4. SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. *Speciální technologie tváření. Část II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 155 s. : obr., čb. fot., grafy, tabulky ; 30 cm. ISBN 978-80-214-4406-5.
5. Collaring. *T-DRILL* [online]. Laihia [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <http://t-drill.fi/technologies/collaring/>
6. SMALL DIAMETER TUBE BRANCHING. In: *TubeNet* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: http://www.tubenet.org.uk/technical/bill1_m.html
7. T-65 SS & T-65B SS HEAVY DUTY TEE FORMING MACHINE. In: *T-DRILL* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: https://t-drill.com/content/uploads/2016/11/T-DRILL_Brochure_T-65_SS__T-65B_SS_EN-US_HQ.pdf
8. Company Profile. *T-DRILL* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://t-drill.com/company-profile/>
9. HVAC Applications. *T-DRILL* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://t-drill.com/sectors/hvac-applications/>
10. Automotive Industry. *T-DRILL* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://t-drill.com/sectors/automotive-industry/>
11. Shipbuilding. *T-DRILL* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://t-drill.com/sectors/shipbuilding/>
12. Stainless Process Pipes. *T-DRILL* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://t-drill.com/sectors/stainless-process-pipes/>
13. Special Applications. *T-DRILL* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://t-drill.com/sectors/special-applications/>
14. Plumbing. *T-DRILL* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://t-drill.com/sectors/plumbing/>
15. Copper T-Drill. In: *Brecke* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://brecke.com/mechanical-services/plumbing/copper-t-drill/>
16. HUMÁR, A. TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část. In: *ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE: VUT* [online]. Brno, 2004 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
17. HUMÁR, A. TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část. In: *ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE: VUT* [online]. Brno, 2004 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
18. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. : il. ISBN 80-214-2683-7.

19. T-Drill T-65 and T-35 Training Video. In: *Youtube* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=j_eNOCxDlxohttps://
20. OKOLIČÁNYI, P. *Re: Bakalářská práce na téma T-drill* [e-mailová komunikace]. 16.3.2020 9:25 [cit. 2020-04-10].
21. T-DRILL COLLARING AND FLANGING. In: *TubeNet* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: http://www.tubenet.org.uk/technical/collflan_m.html
22. *T-35 Instruction manual: Spare parts list* [online]. In: . [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://product-docs.ramirent.digital/114010-putkenhaaroitus-paineeton-t-drill-t-35-instructions-and-spare-parts-us.pdf>
23. Power Notcher PND-54. In: *T-DRILL* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://t-drill.com/power-notcher-pnd-54/>
24. T-DRILL Brochure Portable Collaring Machine T-35. In: *T-DRILL* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: https://t-drill.com/content/uploads/2016/11/T-DRILL_Brochure_Portable_Collaring_Machine_T-35_EN_HQ.pdf
25. T-plus | Vytváření odboček během provozu systému. In: *Flamco* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://flamcogroup.com/cz/pageid/landingpage-tplus>
26. 90518 - T-plus 18 x G 1/2 M. In: *Flamco* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://flamcogroup.com/cz/catalog/zakladni-ventily-a-armatury/t-plus/t-plus/t-plus-material-mosaz/90518/groups/g+c+p+a+nr+view>
27. T-plus Návod k instalaci a obsluze. In: *Flamco* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: https://flamcogroup.com/media/files/manuals/man_t-plus_v8.0.pdf
28. ODBORNÁ INSTALACE MĚDĚNÝCH TRUBEK. In: *Měděné rozvody* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: https://medenerozvody.cz/sites/default/files/publication_files/odborna_instalace_cu_cz_2018.pdf
29. Copper branch fabrication. *Youtube* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=cA7dtOoDyM4>
30. TEE EXTRACTING. In: *ROTHENBERGER* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://rothenberger.com/gb-en/products/installation/expanding-extracting-flaring/extracting.html>
31. ROTHENBERGER 2015/2016. In: *DOCPLAYER* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/14877099-2015-2016-www-rothenberger-cz.html>
32. NPFC-T-3G14-F (8030236) T-fitting. In: *Landefeld* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.landefeld.com/artikel/cs/npfc-t-3g14-f-8030236-t-fitting/OT-FESTO039908>
33. Tvarovka 5130 - Měděný T kus, T kus Cu hrdlo 15 mm pájecí 1513015. In: *Topení nejlevněji s.r.o.* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.topeninejlevneji.cz/cz/e-shop/944924/c75594-rozvody-trubky-a-tvarovky-medene-cu/tvarovka-5130-medeny-t-kus-t-kus-cu-hrdlo-15-mm-pajeci-span1513015-span.html>
34. Lisovací T-kus Sanha Press 76x54x76 6130. In: *DEK* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: https://www.dek.cz/produkty/detail/6000062414-cu-lis-t-kus-red-76x54x76-6130-1-6?tab_id=parametry

35. Going Super Vertical. In: *THE HORTICULT* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://thehorticult.com/going-super-vertical-how-to-build-a-copper-pipe-trellis-without-soldering/>
36. Automobilový průmysl. In: *Tarpo* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <http://www.tarpo.cz/galerie/automobilovy-prumysl-11cs.html>
37. Flowdrill. *Flowdrill* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: https://www.flowdrill.com/eu_en/products#category-title
38. Flowdrill brochure. In: *Flowdrill* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: https://www.flowdrill.com/media/wysiwyg/pdf/flowdrill_folder_EN_-_DEF_-_HighRes_-_A4.pdf
39. Vrtání metodou FLOWDRILL. In: *PRO-DOMA* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://hutni.pro-doma.cz/sluzby/vrtani-metodou-flowdrill-9483>
40. The Thermdrill® method solves an old problem. In: *THERMDRILL* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://thermdrill.com/threaded-bushing-flowing-drill-instead-of-rivet-nut/>
41. Flow Drill & Tap. In: *Swanglen Metal Products* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.swanglenmetalproducts.co.uk/flow-drilling-and-tapping/>
42. COLLARING MACHINES - BRAZED JOINTS. *T-DRILL* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://t-drill.com/category/collaring-brazed-joint/>
43. COLLARING MACHINES - WELDED JOINTS. *T-DRILL* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://t-drill.com/category/collaring-butt-welded-joint/>
44. PORTABLE TOOLS. In: *T-DRILL* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://t-drill.com/category/portable-collaring-solutions/>
45. *Citace PRO* [online]. 2020 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://citace.lib.vutbr.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
d_a	Vnější průměr odbočné trubky	[mm]
d_b	Průměr vrtáku	[mm]
s	Tloušťka stěny odbočné trubky	[mm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vyhrdlovací stroje T-drill [2], [3]	9
Obr. 2 Princip metody T-drill [7]	10
Obr. 3 T-drill Laihia [8]	10
Obr. 4 Trubky upravené stroji T-drill [9]	11
Obr. 5 Trubky pro automobilní průmysl [10].....	11
Obr. 6 Mobilní vyhrdlovací stroj T-drill [15]	12
Obr. 7 Příložení stroje k trubce [19]	14
Obr. 8 Vrtání stěny trubky [19]	14
Obr. 9 Vysunutí tvářecích kolíků [19]	14
Obr. 10 Tvarování límce zpětným chodem stroje [19]	14
Obr. 11 Upravený konec měděné trubky [19]	14
Obr. 12 Podmínka výšky límce [20]	14
Obr. 13 Vyfrézovaný pilotní otvor [21]	14
Obr. 14 Tvarování límce [21]	15
Obr. 15 Frézování čela límce [21]	15
Obr. 16 Vyhrdlovací hlava T-drill [22]	15
Obr. 17 Vysunutí tvářecích kolíků [22]	15
Obr. 18 Povolení šroubů na diskovém krytu [22]	16
Obr. 19 Znázornění kladného a záporného směru otáčení kuželového krytu [22]	16
Obr. 20 Kontrola hodnoty rozpětí tvářecích kolíků kalibrem [22]	16
Obr. 21 Pákové nůžky T-drill [22]	16
Obr. 22 Znázornění funkce důlků [22]	16
Obr. 23 PND-54 [23]	17
Obr. 24 Vnitřní průměr límce a vnější průměr trubky [22]	17
Obr. 25 Flamco T-Plus [26]	18
Obr. 26 Postup výroby odbočky pomocí Flamco T-plus [27]	18
Obr. 27 Výpočet průměru vrtáku [28]	19
Obr. 28 Tvarování límce [29]	19
Obr. 29 Korigování tvaru límce [29]	19
Obr. 30 Postup výroby hrdla [31]	20
Obr. 31 Závitová tvarovka [32]	20
Obr. 32 Pájecí tvarovka [33]	21
Obr. 33 Lisovací T-kus [34]	21
Obr. 34 Odbočná trubka vsunutá do trubky hlavní [6]	21
Obr. 35 Vyvrtané otvory [35]	21
Obr. 36 Vylisovaný otvor [36]	22
Obr. 37 Vrtání trubky metodou FlowDrill [40]	22
Obr. 38 FlowDrill [41]	22
Obr. 39 T-drill S-54 [42]	23
Obr. 40 T-drill S-54 manuální posuvný stůl [42]	23
Obr. 41 T-drill S-54 automatický posuvný stůl [42]	23
Obr. 42 T-drill S-54 automatické vyhrdlovací centrum [42]	24
Obr. 43 T-drill T-115 [43]	24
Obr. 44 T-drill T-115 pozicovací stůl [43]	24
Obr. 45 T-drill S-80 [43]	25
Obr. 46 T-drill SEC-100 [43]	25
Obr. 47 T-drill SEC-100 TBC [43]	25

Obr. 48 T-drill TEC-150 [43]	26
Obr. 49 T-drill TEC-150 HD [43]	26
Obr. 50 T-drill TEC-150 APS [43]	26
Obr. 51 T-drill T-150-Cu [43]	26
Obr. 52 T-drill CEC-170 [43]	27
Obr. 53 T-drill T-850 [43]	27
Obr. 54 T-drill PLUS-500 [43]	27
Obr. 55 T-drill T-65 SS [44]	28
Obr. 56 T-drill T-65 pro měděné trubky [44]	28
Obr. 57 T-drill T-65 s akumulátorem pro měděné trubky [44]	28
Obr. 58 T-drill T-35 [44]	28
Obr. 59 T-drill PLUS 115 pro ocelové trubky [44]	29
Obr. 60 T-drill PLUS 115 pro měděné trubky [44]	29
Obr. 61 T-drill HFT-2000 pro ocelové trubky [44]	29
Obr. 62 T-drill HFT-2000 pro měděné trubky [44]	29

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Tabulka kapacit stroje T-drill T-35	17
--	----