



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA A ZPRACOVÁNÍ TRUBEK

PRODUCTION AND PROCESSING OF TUBES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Rytíř

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Martin Rytíř
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Kamil Podaný, 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:

Výroba a zpracování trubek

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o zpracování literární studie technologií, které se využívají pro výrobu bezešvých a švových trubek.

Cíle bakalářské práce:

- provést průzkum v oblasti technologií výroby trubek,
- popsat princip metod,
- zhodnotit využitelnost a problémy,
- uvést příklady použití.

Seznam doporučené literatury:

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

SCHULER GMBH. Handbuch der Umformtechnik. Berlin Heidelberg: Springer, 1996, 565 s. ISBN 35-406-1099-5.

SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. Speciální technologie tváření. vydání 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010-2011, 2 sv. (134, 155 s.). ISBN 978-80-214-4406-52.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření. Brno: RVO VA, 1994. 214 s.

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 35-403-3216-2.

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

RYTÍŘ Martin: Výroba a zpracování trubek.

Práce se zabývá rozborem jednotlivých metod využívaných při výrobě bezešvých a švových ocelových trubek. Jedná se o literární studii, která popisuje podstatu jednotlivých přístupů výroby, jejich srovnání a použití na domácím trhu. Konkrétně popisuje bezešvé trubky produkované odstředivým litím a metodou tváření, jež je dále dělí na válcování, protahování, lisování a tažení, a švové, vyráběné z plechů a pásů, které jsou zformovány do tvaru trubky a svařeny příslušnou metodou spadající pod kategorii tavného nebo tlakového svařování.

Klíčová slova: švová trubka, bezešvá trubka, výroba trubek, tváření, svařování

ABSTRACT

RYTÍŘ Martin: Manufacture of tubes and its use.

This thesis presents the analysis of individual methods used in the production of seamless and seam steel pipes. It is a literature review that describes the essence of individual approaches to production, their comparison and use in the domestic market. In particular, it describes seamless tubes produced by centrifugal casting and a forming method which further divides them into rolling, pressing and drawing, and seams, made of sheets and strips, which are formed into a tube shape and welded by an appropriate method falling under the category of fusion or pressure welding.

Keywords: seam tubes, seamless tubes, tubes production, forming, welding

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RYTÍŘ, Martin. *Výroba a zpracování trubek* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124938>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

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 Brně dne 26. 6. 2020

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za jeho připomínky a rady, jenž přispěly při zpracování této bakalářské práce. Dále také své rodině a kamarádům za neutuchající podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
ÚVOD	9
1 BEZEŠVÉ TRUBKY	10
1.1 Válcování	11
1.1.1 Dutý předvalek	11
1.1.2 Tratě a stolice	13
1.2 Lisování	15
1.2.1 Dutý výlisek	15
1.2.2 Protlačování	16
1.3 Tažení	16
1.4 Protahování	18
1.5 Odstředivé lití	19
2 ŠVOVÉ TRUBKY	20
2.1 Příprava plechu	21
2.2 Svařování tlakem	22
2.2.1 Spojité svařování v plynové peci	22
2.2.3 Odporové svařování	23
2.3 Svařování tavné	23
2.3.1 Automatické svařování pod tavidlem	24
2.3.2 Svařování v ochranných plynech	24
3 SROVNÁNÍ METOD A PŘÍKLADY POUŽITÍ	26
4 ZÁVĚRY	29

Seznam použitých zdrojů

Seznam obrázků

Seznam tabulek

ÚVOD [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]

Trubky jsou jedním z hlavních konstrukčních prvků napříč celým průmyslovým spektrem. S různými průměry, tloušťkami i délkami vstupují jako polotovar do bezpočtu aplikací (obr 1), ať už se jedná o plastové potrubí, drobnou injekční jehlu, či ropovod táhnoucí se přes půl kontinentu. Klíčovou je v tomto ohledu již samotná výroba a materiál, kde z běžně používaných lze zmínit kupříkladu plast, hliník, mosaz či měď, avšak nejběžnější a nejčastěji využívaná je právě trubka ocelová, jejíž výrobou se tato práce zabývá.

Definováním pojmů bezešvá a švová trubka, lze získat dva základní přístupy k výrobě ocelových trubek, jejichž výroba započala již v 19. století a mnohé principy zůstaly zachovány dodnes. Švové trubky, které dominují světové produkci a trhu, vznikají skružováním plechů nebo pásoviny, jenž se následně spojí svarem podélným či ve tvaru šroubovice. Bezešvé trubky mají obecně lepší mechanické vlastnosti, jsou však náročnější na výrobu, která probíhá objemovým tvářením, popřípadě odstředivým litím.



Obr. 1 Příklady použití trubek [4, 5, 6, 7]

1 BEZEŠVÉ TRUBKY [2, 8, 9, 10, 11, 12]

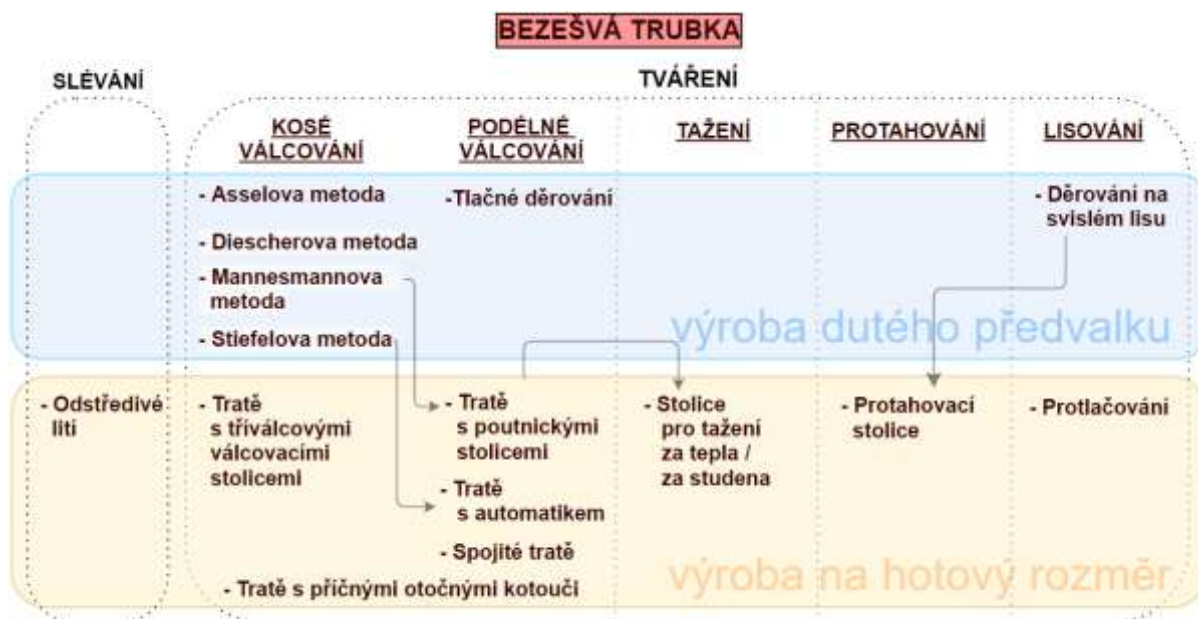
Bezešvé trubky se začaly vyrábět v 19. století z důvodu nedostatečné odolnosti tehdejších svařovaných vůči vnitřnímu přetlaku. I přes výrazné zdokonalení výroby současných švových trubek se tento důvod zachoval dodnes, čímž si uchovávají svou nezastupitelnost v průmyslové praxi. Schopnost vydržet přetlaky netkví jen v celistvosti stěn, ale především v možnostech výrazně větších tloušťek, jež jsou dosaženy zpracováním kvalitních vstupních materiálů specifickou výrobou. Používané metody s příklady možných postupů při výrobě jsou naznačeny šipkami na obrázku 3.



Obr. 2 Sochor čtvercového průřezu [11]

Samostatně postavená metoda odstředivého lití, jež spočívá v odlévání roztaveného kovu do rotující formy, patří pod výrobu sléváním, zatímco ostatní postupy náleží do kategorie tváření, při kterém dochází ke změně výchozího tvaru působením vnějších sil při zachování celkového objemu materiálu. Dle těchto deformačních sil se výroba tvářením dále dělí na válcování, protahování, tažení a lisování.

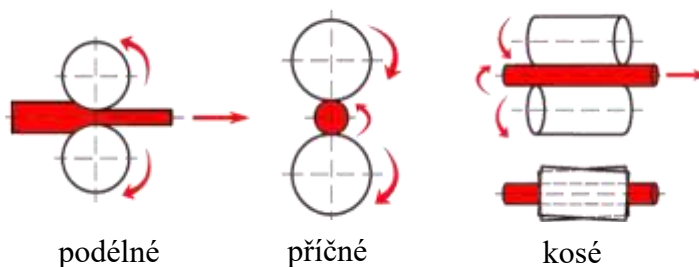
Samotná výroba začíná výběrem výchozího materiálu, jenž se bude pro různé metody lišit jak svým objemem (obsahem průřezu a hmotností daného polotovaru) tak tvarem čelní plochy. Lze využít ingoty a sochory kruhového, čtvercového (obr. 2) či osmihranného průřezu, nebo již duté odstředivě lité předlitky. Polotovary prochází ohřevem v peci, a aby je bylo možné tvářet za tepla, dosahuje teplota oceli až 1260°C. V tomto stavu, kdy je kov ohřát nad 70 % své teploty tání, se výrazně zvyšuje plasticita materiálu, což umožňuje používání menších sil pro změnu tvaru. Toho je možno dosáhnout i tvářením za studena, a to obecně při teplotách nižších, než je 30 % teploty tání. Takovýmto tvářením však dochází k deformačnímu zpevňování a je nutné vynaložit násobně větší síly pro dosažení výsledného tvaru.



Obr. 3 Schéma výrobních postupů bezešvých trubek

1.1 Válcování [2, 8, 13, 14, 15, 16]

Způsob tváření spočívá v působení všestranně tlakových vnějších sil, jež jsou způsobeny rotujícími válci, mezi kterými se nachází válcovaný materiál, v němž na základě těchto sil vzniká trojosá napjatost, která má za následek změnu tvaru provalku (pojem předvalek, provalek a vývalek označuje stav polotovaru před, v průběhu a po válcování). Z hlediska vzájemné polohy os válců a tvářeného polotovaru jsou rozlišovány tři základní přístupy válcování, a to podélné, příčné a kosé (obr. 4). Při příčném je největší deformace v materiálu rovnoběžná s osami rotujících válců, a tedy i kolmá k jejich obvodové síle, zatímco při podélném je směr deformace i této síly shodný. Při kosém válcování se nachází osa provalku šikmo vůči směrům otáčení válců, tudíž sílu generovanou válci lze rozdělit do složky kolmé a rovnoběžné k ose provalku. Kolmá složka se uplatňuje k vyvození obvodové síly válců, zatímco rovnoběžná určuje směr hlavní deformace.



Obr. 4 Schéma válcování [16]

V první fázi prochází polotovar děrovacím procesem. Dutého předvalek je možno docílit tlačným podélným, nebo kosým válcováním.

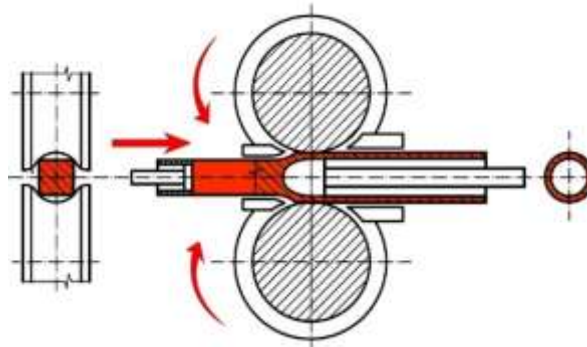
Následuje druhá fáze, kde se vyrobí trubka válcováním na hotový rozměr. To probíhá na konkrétně konstruovaných stolicích a tratích.

V praxi obě tyto hlavní tvářecí fáze přímo navazují, a proto lze generalizovat název metody výroby trubky dle typu tratě a způsobu válcování, kterým trubka v druhé fázi prochází. Další tvářecí operace se liší dle konkrétního případu. Nároky na rozměry trubky mohou přesahovat výrobní možnosti dané tratě, proto mohou být kupříkladu dalšími válcovacími procesy redukovány nebo rozšiřovány na určitý kalibr.

1.1.1 Dutý předvalek [2, 8, 9, 15, 17, 18, 19, 20, 21],

Z ingotu či sochoru vzniká dutý předvalek, vhodný jakožto polotovar pro následnou výrobu hotové trubky. Při válcovacích operacích výroby, tzv. děrování, se běžně užívá trnu. Ten se nachází mezi válci většinou v místě, kde dochází k samovolnému rozrušování materiálu v ose provalku vlivem válcovacích sil. Ve většině případů plní pouze kalibrovací roli třetího válce, jenž vyhlazuje povrch vzniklé dutiny. Metody výroby dutého předvalek jsou následující:

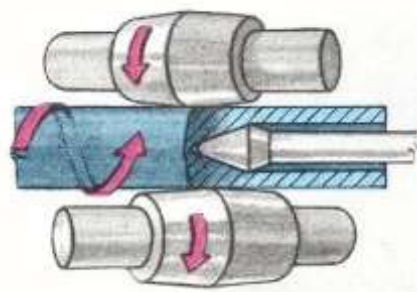
- Děrování tlačným podélným válcováním – proces probíhá na dvouválcové stolicí kruhovými kalibry, mezi nimiž je umístěn sféricky zakončený trn ve stále poloze. Na tento trn je polotovar podélně válcován, čímž vzniká dutina. Tímto způsobem se mimo obvyklých polotovarů s kruhovým průřezem děrují i sochory s pravidelným čtvercovým průřezem (obr. 5), jenž jsou v důsledku značné deformace při tváření na výsledný průřez mezikružší dokonale



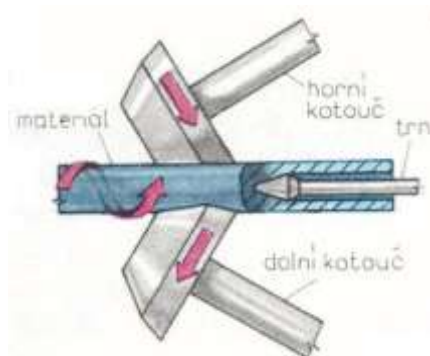
Obr. 5 Děrování tlačným podélným válcováním [18]

protvářeny. Procesem se provalek prodlouží maximálně o 20 % původní délky a získá značně nerovnoměrnou tloušťku stěny. Proto dále následuje kosé nebo podélné válcování v elongátoru, pro prodloužení a snížení excentricity.

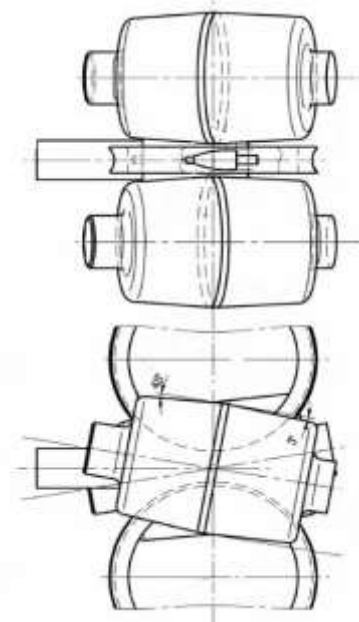
- Mannesmannova metoda - výchozím polotovarem je ingot nebo sochor kruhového průřezu. Deformace provalku nastává kosým válcováním osově mimoběžnými komolými dvojkužely (obr. 6). Ty jsou navzájem vyoseny o 3 až 7° a mají stejný smysl otáčení. Provalek je vtažen mezi válce za samovolného vzniku dutiny v nejužším místě mezi nimi. Trn umístěný v ose provalku zastává funkci třetího válce, který kalibruje stěnu dutiny. Zhotovený provalek je tlustostěnný s výrazně menším poměrem délky k průměru, než tomu je u hotové trubky. Dále zpravidla putuje na trať s poutnickou stolicí.
- Stiefelova metoda – funguje na stejném principu kosého válcování jako metoda Mannesmannova. Výchozí materiál, sochor kruhového průřezu, má však menší objem. Válcovací kotouče hříbovitého tvaru jsou uloženy letmo s osami vzájemně mimoběžnými, i vůči provalku (obr. 7). I zde plní trn kalibrační roli. Provalky dále zpracovávané trati s automatikem prochází touto fází i dvakrát až třikrát. Výsledný provalek je dlouhý a tenkostěnný.
- Diescherova metoda - děrovací stolice, která je složená ze dvou párů mimoběžných a podélných válců, kombinuje kosé a podélné válcování. Hlavní deformaci způsobují mimoběžné válce obdobného principu již zmiňovaných metod. Vůči nim je o 90° otočen pár kotoučů se samostatným pohonem, vytvářející kalibr dle průměru provalku. Opět je přítomen pevný trn, na který může být provalek tlačěn (obr. 8).
- Tříválcové děrovací stolice - fungují na stejném principu jako dvouválcové stolice, nicméně přidáním třetího mimoběžného válce je tento děrovací stroj schopen válcovat podstatně delší předvalky (obr. 9).



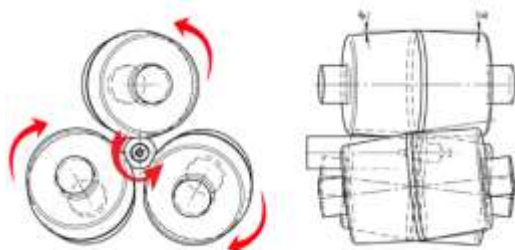
Obr. 6 Děrování Mannesmannovou metodou [19]



Obr. 7 Děrování Stiefelovou metodou [19]



Obr. 8 Děrování Diescherovou metodou [20]

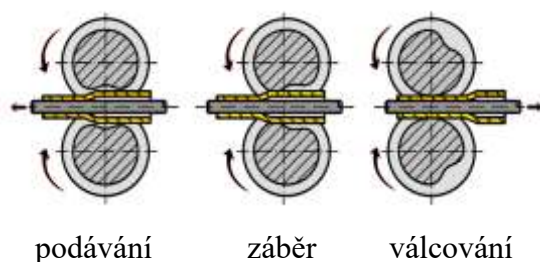


Obr. 9 Děrování na tříválcové stolici [21]

1.1.2 Tratě a stolice [2, 8, 9, 17, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28]

V praxi obě hlavní tvářecí fáze výroba dutého předvalku a hotové trubky, přímo navazují, a proto lze generalizovat název metody výroby trubky dle typu tratě a způsobu válcování, kterým trubka v druhé fázi prochází. Další tvářecí operace se liší dle konkrétního případu. Nároky na rozměry trubky mohou přesahovat výrobní možnosti dané tratě, proto mohou být dalšími, i válcovacími, procesy redukovány na určitý rozměr. Typy tratí jsou:

- Poutnické válcování – samotnému procesu předchází nasazení dutého předvalku na poutnický trn, který je delší než předvalek. Poté začíná periodický pohyb, ve kterém je materiál provalku podélně válcován párem zužujících se kalibrů, přičemž se otáčí na trnu zhruba o 90° kolem své osy při ukončování každé periody. Tento proces lze dělit na přístup válcování za tepla či za studena.
 - Za tepla – proces je specifický především v tom, že kalibrovací válce jsou ustaveny v pevné konstrukci a do procesu válcování je předvalek periodicky nasunován poutnickým trnem. Při záběru kalibru dochází k deformaci a prodloužení provalku za zpětného posuvného pohybu směrem do výchozí pozice (obr. 10), kde dojde k již zmiňovanému osovému otočení. Poté, co projde celá trubka stolicí, je nutné odříznout konce trubky, které nebyly kalibrem deformovány (obr. 11), čímž je vytvořen nezbytný technologický odpad. Tímto podélným válcováním vzniká horší jakost povrchu než u ostatních typů válcovacích tratí, protože je materiál otáčen o čtvrt otáčky deformován po šroubovici.



Obr. 10 Válcování na poutnické stolici za tepla [22]



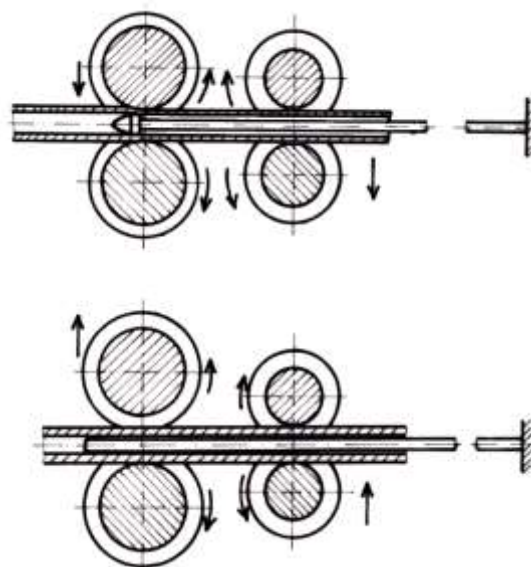
Obr. 11 Neobrobený konec trubky po poutnickém válcování za tepla [23]

- Za studena - kromě tvářecí teploty, je rozdíl především v konstrukci poutnické stolice. Poutnické válce jsou umístěny na pohyblivé konstrukci vykonávající periodický translační pohyb vůči provalku, jenž je pevně umístěn na poutnickém trnu. V krajní poloze při vyběhnutí kalibrů ze záběru, otočí trn s provalkem podélně kolem osy o 60 až 90°. Další rozdíl je v podlouhlém kuželovitě tvaru trnu, po kterém je materiál periodicky odvalován (obr. 12). Tímto způsobem nevzniká nežádoucí šroubovitá deformace, jako tomu je při tváření za tepla.



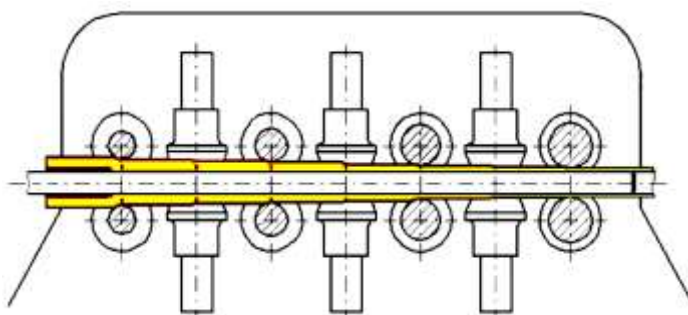
Obr. 12 Poutnické válcování za studena [24]

- Trať s automatikem – zde jsou zpracovávány dlouhé a tenkostěnné předvalky z čehož vyplývá, že největší deformace z celého procesu výroby trubky probíhá právě v první fázi výroby Stiefelovou metodou kosého válcování. Při samotném tváření na automatiku již k tak velkým deformacím nedochází. Automatik spočívá v podélném válcování kruhovými kalibry, kterými prochází polotovar uchycený na trnu. Průchod zpět je zajištěn rozevřením pracovních a záběrem vratných válců, které zajistí odvalení na výchozí pozici (obr. 13). Tam proběhne otočení provalku o čtvrt otáčky kolem své osy a výměně trnu. Proces se opakuje dvakrát až třikrát. Následně se uchytí na nový trn a za příčného válcování prochází hladicí tratí, na které se ještě lehce zvětší průměr, především se však vyhladí nerovnosti z předešlých procesů.



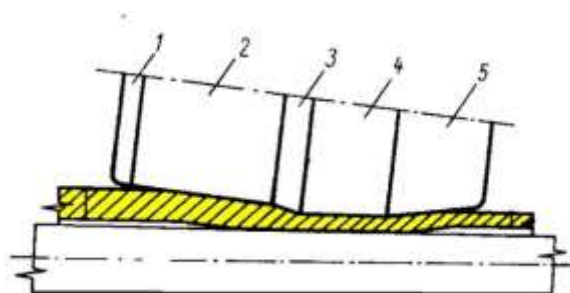
Obr. 13 Schéma válcování na automatiku [25]

- Spojité tratě – výchozí předvalek tlustostěnného charakteru je uchycen na dlouhý trn (až 8 m). Trať se skládá ze 7 až 11 párů kalibrovacích válců, pro podélné válcování (obr. 14). Každý následující pár redukuje při průchodu kalibrem vnější průměr i tloušťku stěny provalku. Po průchodu všemi páry a vysunutí trnu je trubka připravena ke kalibraci nebo dalším operacím.



Obr. 14 Postavení válců na spojité válcovací trati [26]

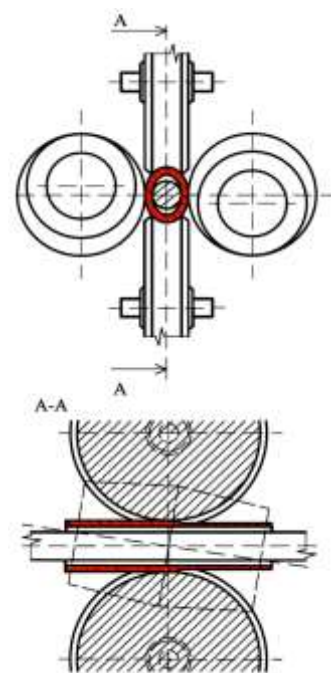
- Trať s tříválcovými stolicemi - předvalek se umístí na trn s vůlí. Válcování začíná posuvem provalku na trnu do záběru tří válců se stejným smyslem otáčení. Válce mají vzájemně mimoběžné osy, přičemž s osou válcování zaujímají sklon 10 - 15° s možností nastavení válců o dalších 3 - 9° pro regulaci účinků sil a směru deformace. Rozhodující vliv deformace má mimo sklonu os válců také jejich tvar, který se dá rozdělit na pět úseků (obr. 15), 1. středící úsek, nemá vliv na deformaci; 2. záběrový kužel, uvádí provalk do deformace;



Obr. 15 Schéma válce tříválcové stolice [27]

3. hřeben – pásmo největší deformace (hlavní snížení tloušťky a průměru); 4. rozvalovací kužel s konstantní mezerou mezi trnem a kuželem válcuje provalek na konečnou tloušťku stěny; 5. výstupní kužel - deformuje provalek jen do té míry, aby bylo možné odejmout trn z dutiny. Proces se opakuje dvakrát až třikrát kvůli protváření na 3. úseku. Následná kalibrace probíhá též na tříválcové stolici, válce však již nemají oblast hřebenu.

- Tratě s příčnými otočnými kotouči - vycházejí z Diescherovy metody válcování. Princip je tedy obdobný jako v případě děrovacího stroje touto metodou. Zde je však již dutý předvalek umístěn na trnu, na kterém je následně válcován mimoběžnými komolými dvojkružely (obr. 16). Současně v záběru je též, o 90° vůči prvnímu páru, vyosená dvojice podélných souhlasně otáčejících se válců se směrem posuvu. Válce vytváří kruhový kalibr, jehož obvodová rychlost je vyšší než rychlost posuvu, což zajišťuje značné prodloužení.



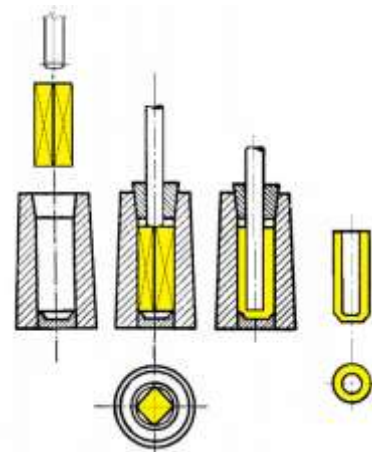
Obr. 16 Postavení válců při Diescherově metodě [28]

1.2 Lisování [2, 8]

Způsob tváření spočívá v působení vnějších tlakových sil, jež jsou způsobeny posuvným pohybem lisovacího nástroje, který způsobuje v materiálu trojosou napjatost a mění jeho tvar směrem daným konstrukcí lisu. Do kategorie tváření lisováním, patří z hlediska výroby trubky dvě výrobní operace, které však spolu nesouvisí. Tlustostěnný dutý polotovár se dále zpracovává na protahovacích stolicích, či kosým válcováním, zatímco protlačování je samostatný proces výroby trubky na hotový rozměr

1.2.1 Dutý výlisek [2, 8, 9]

Výchozí materiál je sochor, nebo plynule litý polotovár čtvercového průřezu, který je dělen na délky 500 – 1000 mm a po ohřevu na tvářecí teploty (1250 – 1280°C) je kalibrován na dvouválcové stolici, pro zpřesnění rozměrů. Proces lisování probíhá ve svislém lisu válcového tvaru, do kterého se přesně na střed uloží kalibrovaný polotovár. Následně dochází k prolisování trnem cylindrického tvaru, jenž vytvoří dno (obr. 17). Jelikož je materiál deformován pouze jednoosým tlakem ve svislém směru, není potřebná tvářecí síla tak velká (např. trn průměru 140 mm protváří sochor 200 x 200 mm lisovací silou 6300 kN). Jelikož se mění čtvercový průřez na tvar mezikruží, dochází k zásadní změně tvaru, čímž se materiál ve většině svého objemu kvalitně protváří. Výsledkem je dutý výlisek s pevným dnem, který se dále upravuje kosým válcováním pro úpravu tloušťky, průměru a prodloužení.

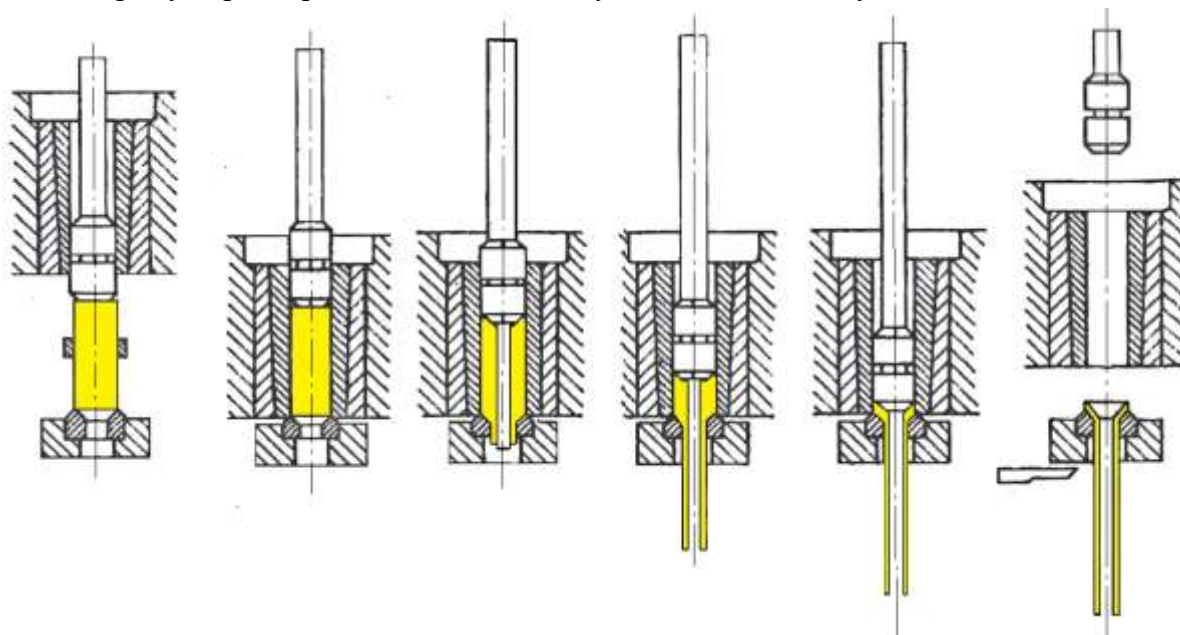


Obr. 17 Svislé lisování [29]

1.2.2 Protlačování [2, 8, 9]

Proces, který je též známý jakožto průtlačné lisování, umožňuje výrobu trubky během jedné operace na hotový rozměr. Při této metodě je sochor kruhového průřezu umístěn v lisu, kde je vystaven tlaku průtlačníku, jehož posuv udává směr deformace materiálu otvorem v matrici.

Na povrch ohřátého sochoru (přibližně na 1200°C) je před vložením do lisu nanesena skelná vata nebo grafit v kašovitém stavu, což slouží po roztavení, jakožto mazání třecích ploch vzniklých mezi průtlačnicí, vodícím trnem a polotovarem. V první fázi je prolisován sochozem vodící trn. Ten spolu s otvorem v matrici tvoří prostor, kterým je materiál vytlačován z průtlačníku ven s rozměrem hotové trubky. Po ukončení lisování zůstane v průtlačnici nutný technologický odpad v podobě nedolisku, který se od hotové trubky oddělí (obr 18).



Obr. 18 Analogie procesu protlačování trubky [30]

1.3 Tažení [2, 9, 31, 32, 33]

Tažení je proces tváření vykonávaný za studena na tažných stolicích. Tažený materiál při něm prodlužuje svoji délku při zmenšení průřezu, čemuž napomáhá průvlak způsobující radiální tlak.

V případě bezešvých trubek je taženým polotovarem trubka válcovaná za tepla s upraveným koncem, který je možno prostrčit průvlakem a uchytit v čelistech tažného vozíku. Ten následně koná posuv směrem od průvlaků, kterými trubku táhne. Tímto způsobem prochází trubka i několikrát, dle potřeb průměru a tloušťky stěny. Na obrázku 19 je možno vidět vozík (vpravo), jenž táhne trubky skrz kalibry umístěné v držáku (uprostřed).

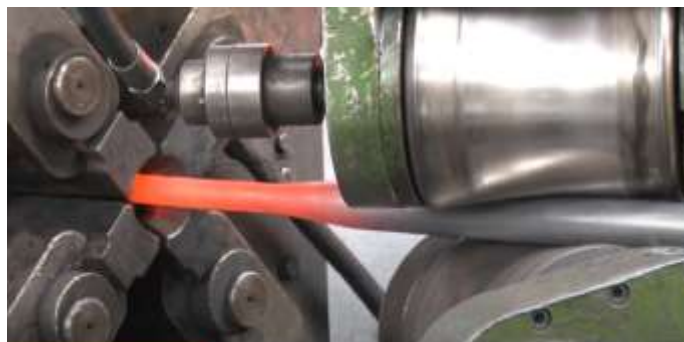


Obr. 19 Tažná stolice [31]

Úprava konců se provádí hrotováním za tepla (obr. 20) nebo za studena na bucharu nebo stroji k tomu určenému. Kupříkladu na obrázku 21 se nachází hrotovací stroj Kieserling/Csepel AVS 25T určený pro průměr trubky 10 – 75 mm. K úpravě konce dochází většinou mimo tažnou stolici. Tento způsob je obvyklý pro tažení na tyči. Při tažení na trnu je možnost zúžit konec trubky na vhodně upraveném kroužku přímo na tažné stolici.



Obr. 20 Ohřev konce trubky pro hrotování za tepla [32]



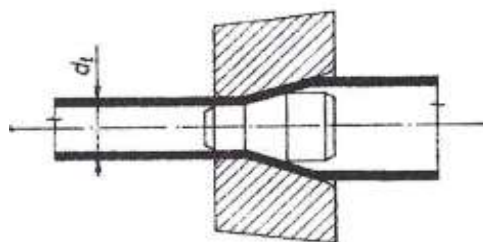
Obr. 21 Hrotování zúžením průměru [32]

Po úpravě konců se z povrchů trubek odstraňují okuje vzniklé předchozím tepelným zpracováním. To je zajištěno mořením, jehož konkrétní postup je závislý na chemickém složení materiálu. Kratší trubky s dostatečně velkým vnitřním průměrem je též možno zbavit okují mechanickým otryskáním. Následuje proces moření v kyselině chlorovodíkové, kde jsou odstraněny nečistoty a okuje, čímž se sníží odpor při tažení. Trubka se ponoří do lázně s mazivem, které po vychladnutí trubky ulpí na povrchu.

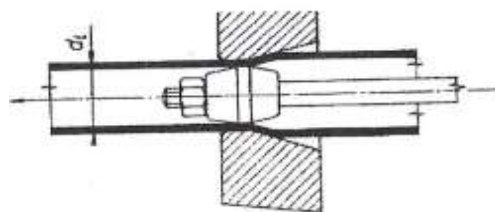
Dále jsou využívány různé metody tažení, které se liší dle způsobu vymezení vnitřního průměru během procesu. Vnější průměr je vždy vymezen průvlekem. Rozlišované způsoby jsou:

- tažení na volném trnu (obr. 22)
- tažení na uchyceném trnu (obr. 23)
- průvlečné tažení (obr. 24)
- tažené na tyči (obr. 25)

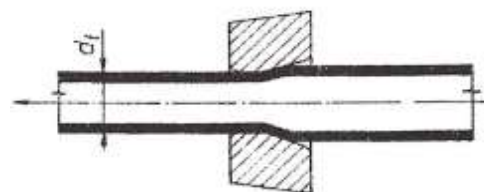
Tažnou sílu v prvních třech případech přenáší trubka, jen ve čtvrtém je to sama tyč, kterou je na konci procesu nutno z konce trubky odválcovat, aby bylo možné ji vysunout.



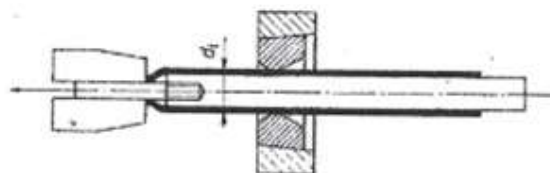
Obr. 22 Tažení na volném trnu [33]



Obr. 23 Tažení na uchyceném trnu [33]



Obr. 24 Průvlečné tažení [33]



Obr. 25 Tažení na tyči [33]

1.4 Protahování [2, 8, 34, 35]

Protahováním je označován proces tváření, při kterém je provalek tažen na protlačovacím trnu průvlekky (obr. 26), které vyvíjejí deformaci válcováním nebo tažením dle typu kalibru.

V této metodě jsou uplatněny především duté polotovary se dnem vyrobené příčným lisováním a následně prodlouženy na elongátoru. Takového tvaru lze dosáhnout i válcováním na stolicích, jaké lze vidět na trati s automatikem. V takovém případě však nevznikne opora trnu, a proto se konec zaková nebo zúží (obr. 27). Takový přístup je známý pod názvem CPE a značně zlepšil využití vsázkového materiálu.

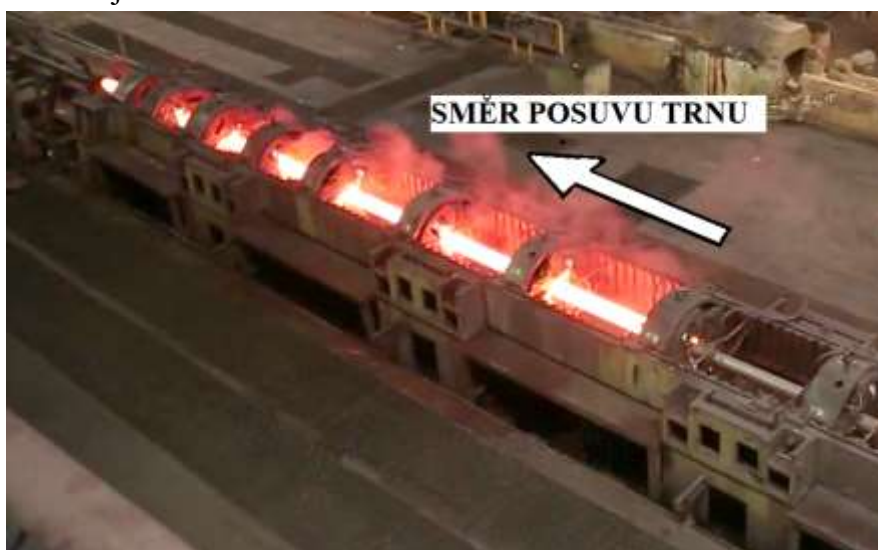
Trn se předehřeje na 300 - 400°C a zasune do dutiny. Poté táhne polotovary protahovací stolicí. Jeho délka by přitom měla být alespoň o 100 mm delší než je rozměr hotové trubky. Při takovém tváření za tepla je potřeba dno chladit, kvůli mechanickému zpevnění, tedy prevenci protrhnutí. Současně se na trn přenáší teplo z tvářeného materiálu. Proto jsou trny v dutině v průběhu protahování vyměňovány (pracovní sadu tvoří 18 – 25 trnů). Vnější průměr trnu určuje vnitřní průměr trubky. Podél stolice jsou umístěny průchozí kalibry. Ty zajišťují deformaci, dle konstrukce daného průvleku, který může představovat:

- Sada válcovacích průvlečných kalibrů - skládá se ze čtyř rovnoměrně umístěných válečků (obr. 28), jejichž rotaci způsobuje provalek pouze vzájemnou třecí silou při pohybu stolicí. Protahovaný materiál je zde tváren válcováním.
- Vysoustružené průvlekky - mají tvar kroužku s kuželovitým vnějším obrysem a zaoblenou pracovní plochou. Průvlečný kroužek je umístěn v opěrném rámu protahovací stolice a zajišťuje objemové tváření tažením.

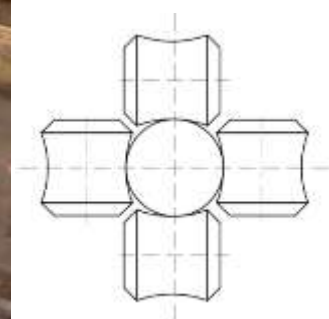


Obr. 27 Sevřený konec trubky [34]

Poté co trn protlačí trubku celou stolicí, je nutné jej odejmout z dutiny, kde je pevně sevřen. Při tomto procesu je průměr trubky příčným válcováním rozšířen o 1,5 až 2 mm a trn vysunut. Následuje kalibrace válcováním za studena.



Obr. 26 Trubka tvářená kalibry na protahovací stolicí [34]



Obr. 28
Protahovací válcový kalibr [35]

1.5 Odstředivé lití [12, 36, 37, 38]

Odstředivé lití je druh odlévání, při kterém se kov roztavený do tekutého stavu, taveniny, odlévá do osy horizontálně rotující kokily (obr 29). Celý tento proces začíná tavením materiálu, které probíhá většinou v indukční peci, odkud se po kontrole chemického složení tekutý kov přesouvá lící pánví k procesu lití. Trychtýř a kokila prochází před samotným litím přehřevem. Vnitřní rotační této rotační nádoby jsou též žáruvzdorně povlakovány, např. keramickým povlakem, proti vzniku vad a připékání taveniny. Konec je opatřen vhodným rtěsněním, které zabraňuje výtoku kovu po odlití.

Kov se nevlévá přímo do trubky. Prochází přes trychtýř, kterým je sváděn do osy rotace. Tato metoda, při které je kov sváděn do osy rotace, kterážto je taktéž osou vyráběné součásti, se nazývá pravé lití. Kov je vlivem odstředivé síly rozprostřen po stěně kokily, přičemž otáčky jsou regulovatelné řádově od 300 do 3000 otáček za minutu. Při rotaci jsou těžší části taveniny tlačeny co nejdál, od osy rotace. To způsobuje, že případné bubliny a méně hustý materiál se nachází ve vnitřní části vzniklé trubky. Rotující kokila je ochlazována, tudíž materiál v ní tuhne od vnější stěny směrem dovnitř. Po ztuhnutí je odejmuto těsnění kokily a trubka se hákem vytáhne (obr. 30). Následně putuje na chladník a k dalším operacím jako žhání, pískování, obrábění, broušení nebo dělení. Takto vyrobená trubka má jemnozrnnou strukturu bez bublin.



Obr. 29 Schéma horizontálního prostého odstředivého lití [36]

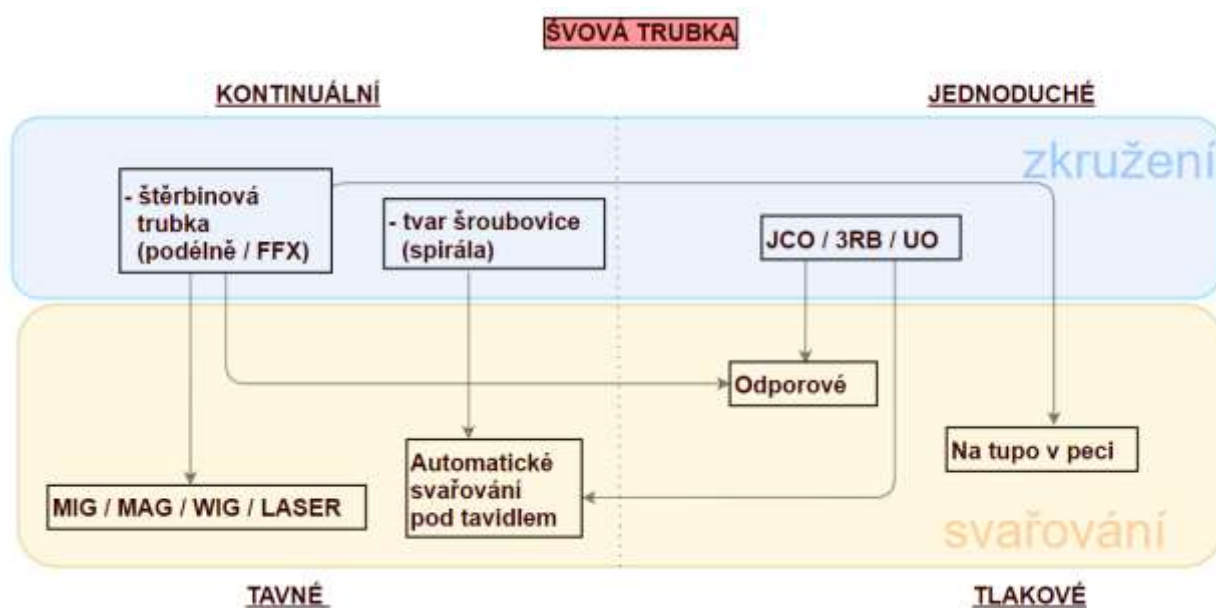


Obr. 30 Vytahování trubky z rotační kokily [38]

2 ŠVOVÉ TRUBKY [1, 3, 8, 39, 40, 41]

Švové trubky jsou vyráběny zkruhováním pásové oceli, která je následně svařena. Jejich výroba prudce narostla ve 30. letech minulého století s nástupem elektrického svařování, jenž je ekonomicky výhodnější, než do té doby používaná metoda překlátování a svařování v peci, či svařování plamenem. Švové trubky nedosahují takových tlouštěk jako trubky bezešvé, tudíž jsou lehčí a tím i levnější. Z toho důvodu nacházejí uplatnění v aplikacích, kde nejsou zapotřebí atributy trubek bezešvých, jako je například odolnost vůči vnitřnímu přetlaku.

Současná výroba lze rozdělit do mnoha fází, avšak ty nejzásadnější z hlediska vzniku trubky jako takové, se dají zredukovat na přípravu plechu pro svařování, samotný proces svařování a následné dělení. Dále je možný proces redukce hotových trubek na jiné, užší rozměry. Následující schéma naznačuje příklady možných zjednodušených výrobních postupů švových trubek, jakožto kombinace typu zkružení a metody svařování (obr. 31).



Obr. 31 Schéma výrobních postupů svařovaných trubek

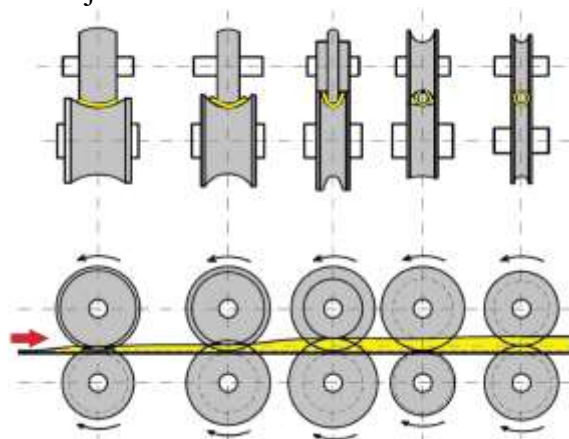
Šev vzniká vytvořením svaru se stejnými nebo podobnými mechanickými vlastnostmi jakými disponuje zbytek trubky, nikdy však nesmí být nejslabším místem. Za vhodných podmínek jsou svařováním vytvářeny nové meziatomární vazby mezi okraji plechu, čímž vznikne nerozebíratelný spoj. Základní dělení metod výroby svařovaných trubek vyplývá z principu provedení svaru, a to buď tlakem, nebo tavením. Pro vytvoření vhodných termodynamických svařovacích podmínek, se užívá tepla z hoření elektrického oblouku, odporu vůči průchodu elektrického proudu materiálem, ohřevu v pecích, nebo zaměřeného laserového paprsku.

2.1 Příprava plechu [3, 40, 41, 42, 43]

Polotovarem pro výrobu švových trubek jsou plechy a pásová ocel válcovaná za tepla či za studena. Před samotnou změnou tvaru plechu dochází k úpravě okrajů, které jsou předpokladem kvalitního svaru. Úprava okrajů většinou spočívá v očištění a zkosení hrany pod určitým úhlem. Dále následuje formování plechu v podélnou štěrbinovou trubku či do tvaru šroubovice. Tento proces může probíhat kontinuálně v nekonečném procesu nebo s plechy konečné délky a to za tepla, po ohřevu plechu v peci, či za studena.

Při kontinuálním procesu je pás plechu odvíjen do akumulátoru, kde je hromaděn a dále postupně tažen do zkrúžovacího procesu. Při vyčerpání svitku se na konec plechu navařuje začátek nového, dřív než se spotřebuje nahromaděná zásoba v akumulátoru, čímž se zajistí kontinuita procesu. Typy formování plechu jsou následující.

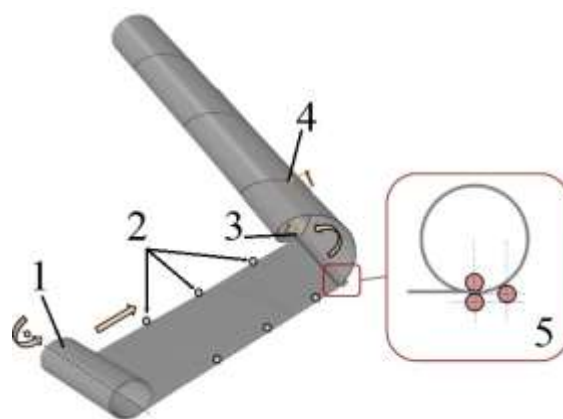
- podélně štěrbinová trubka – proces probíhá protahováním plechu deskami s kalibrovacími průvlaky, jež jsou umístěny ve stojanech za sebou, nebo podélným válcováním různě tvarovanými páry válců. Oběma přístupy dochází k postupné změně rovného plechu do cylindrického tvaru trubky (obr. 32).
- FFX metoda – (flexible forming excellent) jedná se o podélné kontinuální zkrúžování. Kalibrovací válce jsou však polohovatelné a v jednom stojanu jsou až 4 (tzn. dvě dvojice, každá kalibruje jeden okraj plechu), což značně rozšiřuje výrobní možnosti průměrů i tlouštěk vyráběných trubek, bez nutnosti výměny válců.
- Plech navinutý do tvaru šroubovice – plech je šikmo navíjen na válcový trn o vnitřním průměru trubky, u velkých průměru pak dochází k zakrúžování mezi válci (obr. 33).



Obr. 32 Kontinuální zkrúžování [42]

Jednoduchý proces zkrúžování určité délky plechu, probíhá na zakrúžovacích strojích, lisech, či v kalibrovacích pouzdech. Tímto způsobem jsou zakrúžovány většinou plechy větších tlouštěk. Metody zakrúžování jsou následující.

- JCO – jedná se o postupné zkrúžování vertikálním lisem o podélné kontaktní ploše, nejdříve do tvaru „J“ následně „C“ a nakonec „O“.
- tříválcový ohýbací stroj – neboli 3RB (z anglického three roll bending), plech je vsunut horizontálně mezi tři hydraulické polohovatelné válce, které plech zkrúžují do štěrbinové trubky.
- UO – v první fázi je plech podélně ohnut do tvaru „U“ v půlválcové formě o vnějším průměru trubky, následně je shora deformován druhou polovinou kalibru do tvaru „O“.



- 1 - svitek;
 2 - rovnací válce;
 3 - místo vytváření vnitřního svaru;
 4 - místo vytváření vnějšího svaru;
 5 - zkrúžování mezi třemi válci)

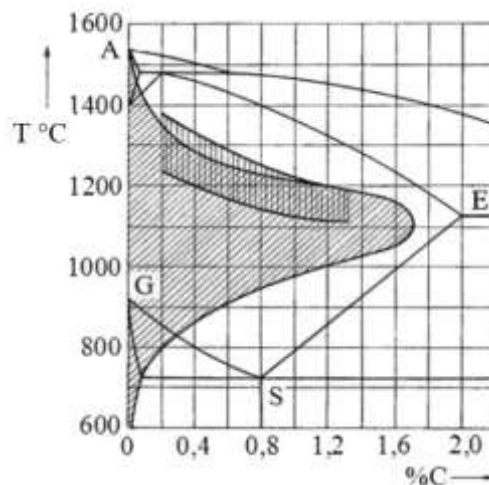
Obr. 33 Kontinuální formování do šroubovice [43]

2.2 Svařování tlakem [3, 8, 44]

Podstata svařování tlakem spočívá v zahřátí okrajů svařovaného polotovaru na vysokou teplotu a následným stlačením proti sobě, čímž dojde k jejich spojení. Podmínkou pro vznik vazeb na atomární úrovni je dokonalá plasticita materiálu v místě svaru. Vhodné teploty (obr. 34), se pohybují v oblasti austenitu (šikmé šrafy), konkrétně pak pod křivkou solidu (svislé šrafy), což je z hlediska svařování technologicky nejvhodnější oblast. Svařovací tlak se pohybuje v desítkách MPa,

Pod tuto kategorii svařování lze zařadit v současnosti hojně užívané metody:

- svařování ve spojitých pecích na tupo
- odporové svařování.

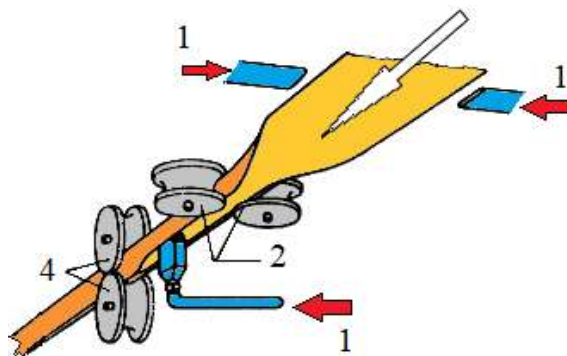


Obr. 34 Oblast vhodných teplot pro svařování tlakem [44]

2.2.1 Spojité svařování v plynové peci [3, 8, 39, 45]

Fretz - Moonův proces, jak je též tato metoda nazývána, spočívá ve vytváření švové trubky kontinuálním tlakovým svařováním podélně zkruženého plechu.

Výchozí ocelový pás válcovaný za tepla je odvíjen vysokou rychlostí do akumulací smyčky, odkud je následně tažen do rovnacích válců. Dále putuje do pece, ve které je zvyšována jeho teplota spalovanými plyny. Ohřev je záměrně nerovnoměrný tak, aby střed pásu byl méně ohřátý a vzdoroval síle vyvozené vtahováním do svařovacího stroje. Okraje mají při výstupu z pece až o 80°C vyšší teplotu, přičemž jsou navíc ofukovány vzduchovými ventilátory, které kromě eliminace okují navyšují teplotu až na 1540°C, při níž dochází k částečnému natavení hran. Následně je plech válcován tratí, kde získává tvar trubky. Děje se tomu v 6 - 12 párech válcovacích kalibrů, které jsou umístěny podél tratě tak, že každý následující pár je vzájemně vyosený o 90° vůči tomu přechozímu. Funkcí těchto párových válců je zakružování a svařování válcovaného plechu a následně redukování vzniklé trubky. Vlivem zakružování se z povrchu odlupují okuje, které by po svaření ulpěly na vnitřní stěně trubky, proto se trubka tvaruje směrem dolů a před kalibr uzavírající profil je umístěna tryska, jež ofukem eliminuje nečistoty, které před uzavřením profilu vypadnou. V následujících kalibrech je profil uzavřen a vyvozením tlaku na okraje svařen (obr. 35). Redukční kalibry zmenšují průměr za efektu zpevňování svaru. Výsledná jakost závisí na teplotě okrajů plechu, tlaku redukčních kalibrů a geometrii kontaktních svarových ploch. Proto jsou okraje plechů pro trubky průměrů nad 1" zkoseny pod úhlem 7 - 17°, což po zkružení zajišťuje dokonalý kontakt, a tedy i svar v celé tloušťce.



- 1 - vzduchové trysky;
- 2 - zkružovací pár válců;
- 3 - svařovací pár válců;
- 4 - svařovací válce

Obr. 35 Zjednodušené schéma spojitého svařování na tupo v peci [45]

2.2.3 Odporové svařování [3, 8, 39, 46, 47]

Metoda známá pod názvem ERW (electric resistance welding) spočívá v tlakovém svaření okrajů zkružovaného plechu, vyrobeného válcováním za tepla či za studena, jehož okraje byly nataveny teplem z odporu materiálu vůči procházejícímu proudu.

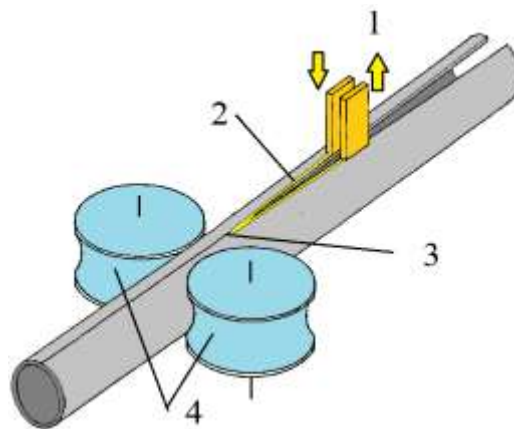
Proces ERW linky sestává z přípravy výchozího polotovaru v podobě čištění a rovnání plechu odvíjeného ze svitků. Následuje podélné válcování za studena v kalibrovacích válcích za vzniku štěrbinové trubky. Svaření předchází natavení okrajů plechu, přičemž teplo je získáváno z odporu materiálu vůči procházejícímu elektrickému proudu, jenž je přiváděn do materiálu dvěma možnými metodami.

- Indukce – štěrbinová trubka prochází sekundární cívkou transformátoru, čímž je v trubce indukován proud po zapojení primárního obvodu do přívodné elektrické sítě (obr. 36).
- Kontaktní elektrody – vstup proudu do trubky je zajištěn vzájemně odizolovanými elektrodami, jež jsou v těsném kontaktu s okraji trubky podél štěrbiny, těsně před místem uzavření svařovacím kalibrem. Proud takto prochází trajektorií ve tvaru „V“ (obr. 37).

Velikost vyvinutého tepla je přímo úměrná době svařování, proto je žádoucí, aby svar byl proveden v co nejkratší době. S narůstajícím časem ohřevu vzniká, mimo teplotní ztráty a snížení účinnosti svařování, též hrubozrná struktura natavovaných okrajů, což z hlediska pevnosti spoje není žádoucí. Z těchto důvodů je výhodné svařovat vysokofrekvenčním proudem (až 450000 Hz), který zahřívá na vysokou teplotu jen tenkou povrchovou vrstvu materiálu za vzniku rovnoměrného svaru a nevytváří výronek na povrchu trubky. Výronek je kov vytlačený při svařování a pro hladký povrch trubky je nutné jej zhoblovat. Následně je možno hotovou trubku dále redukovat a dělit na požadované délky.



Obr. 36 Indukční ohřev štěrbinové trubky [46]



1 - elektrody; 2 - trajektorie proudu ve tvaru „V“; 3 - bod svaru; 4 - svařovací kalibry

Obr. 37 Schéma kontaktního svařování [47]

2.3 Svařování tavné [3, 8, 39]

Tento přístup spočívá ve vyplnění mezery mezi svarovými plochami roztaveným materiálem, který po ztuhnutí vytvoří trvalý spoj, tzv. svarovou housenku. Jakožto zdroj tepla se užívá elektrického oblouku, a to u metody automatického svařování pod tavidlem a obloukového svařování v ochranných plynech, méně časté laserové svařování potom užívá přesně zaměřený paprsek

2.3.1 Automatické svařování pod tavidlem [3, 8, 39, 48, 49, 50]

Metoda je též známá pod zkratkou APT či SAW (submerged arc welding). Většinou je užívána pro tlustší plechy, nicméně je možné s ní svařovat i ty tenčí, řádově několikamilimetrové. Při svařování tlustých plechů se předpokládá větší množství roztaveného kovu, proto probíhá svařování v horizontální poloze. Obecně však automatické svařování probíhá i pod jiným úhlem. Teplo k roztavení elektrody je získáváno hořením elektrického oblouku, jehož okolí má až 3000°C. Vstupní proud oblouku a průměr drátu elektrody závisí na tloušťce svařované trubky. Lázeň, která vzniká tavením okrajů plechu a elektrody je zasypávána tavidlem s malou tepelnou vodivostí v práškovém stavu a v takovém množství, aby byl kov plně odizolován od oxidace způsobené okolní atmosférou. Spodní část svaru je pojištěna měděnou nebo keramickou podložkou, aby nedocházelo k prokapávání taveniny, zatímco povrch roztaveného kovu je pokryt roztavenou struskou, na níž po odsátí zbytku prášku ulpí vrstva neroztaveného tavidla (obr. 38). V takto uzavřeném tepelně koncentrovaném místě vznikají příznivé podmínky pro metalurgické procesy svaru, jehož výsledná jakost se odvíjí i od chemického složení elektrody a tavidla.

Pro zvýšení efektivity APT se užívá i více elektrod v tandemovém postavení za sebou, jež jsou taveny do jedné svarové lázně. Může jich být až 6, každý s vlastním proudovým zdrojem, přičemž v takovémto sestavení při rychlostech svařování 2,5 m.min⁻¹ lze očekávat výkon odtavení až 90 kg.h⁻¹. Tato metoda značně krátí čas svařování



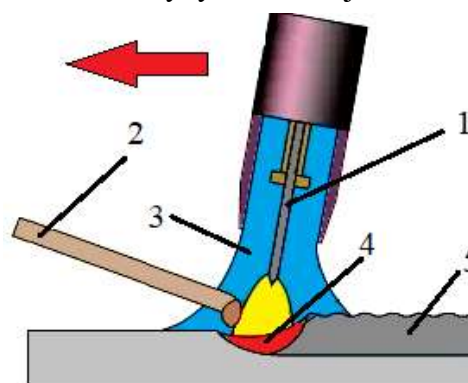
Obr. 38 Automatické tavné svařování pod tavidlem [50]

2.3.2 Svařování v ochranných plynech [3, 8, 39, 51, 52, 53, 54, 55]

Tavné svařování pracuje s principem izolace svarové lázně před vlivy okolní atmosféry ochrannými plyny, jež obklopují elektrodu při procesu svařování. Plyny se rozlišují dle toho, zda do reakce se svarovou lázní vstupují či nikoliv. Jsou rozeznávány inertní plyny (např. argon, hélium), které plní pouze izolační funkci, a aktivní (např. oxid uhličitý), které kromě ochranné funkce i ovlivňují vznikající svar.

Elektroda vystavená teplu vyvolaného elektrickým obloukem může být dvojího typu, a to buď tavící se, jež se následně ve formě taveniny stává součástí lázně, nebo wolframovou elektrodou, u které k tavení nedochází. V takovém případě je do žáru elektrického oblouku postupně podáván drát, jež se taví a stává se součástí lázně. Obecně používané kombinace svařování tohoto typu jsou:

- MIG – (metal inert gas) svařování v inertním plynu tavící se elektrodou
- MAG – (metal activ gas) svařování v aktivním plynu tavící se elektrodou
- WIG – (wolfram inert gas) svařování v inertním plynu netavící se elektrodou (obr. 39)

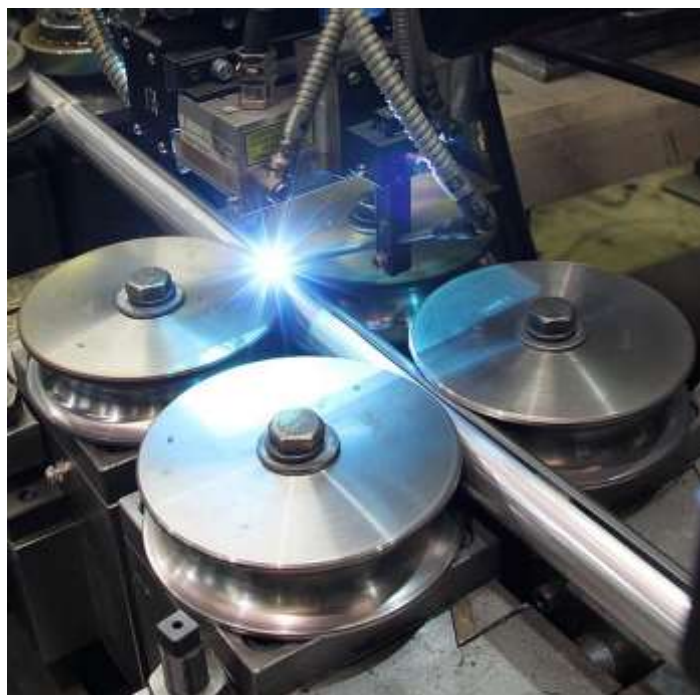


1 – netavící se elektroda;
2 – tavící se drát;
3 – inertní plyn; 4 - svarová lázeň; 5 – svar;
šipka udává směr svařování

Obr. 39 Princip WIG [52]

Speciální metodou známou již od 60. let minulého století je svařování laserem (obr. 40). Využívá se při ní jiný zdroj tepla než elektrického oblouku, a to paprsku laseru, který proniká až do plné tloušťky materiálu technikou tzv. „klíčové dírky“. Laserový paprsek se přitom zaměří na prostor o průměru maximálně 0,5 mm, což velice rychle zahřívá kov, který se vlivem tepla začne vypařovat. Tlak výparů udržuje „klíčovou díru“ otevřenou, díky čemuž paprsek proniká ještě hlouběji do materiálu a vytváří hluboce provařenou oblast při velice malých tepelných ztrátách. Při tomto druhu tavného svařování se obvykle nevyužívá přídavného materiálu, i když tato možnost existuje kupříkladu v kombinaci s metodou WIG.

Proces formování plechů pro laserové svařování je obdobný, jako je tomu u ostatních kontinuálně zkružovacích linek a díky rychlému tepelnému ovlivňování je celý proces rychlejší a tím efektivnější. Laser je tedy možné implementovat do již fungujících linek a vyměnit tak pomalejší obloukové svařování. Avšak jelikož je paprskem ovlivněn jen velmi malý prostor, jsou vyžadovány vysoké přesnosti obroběných hran plechu, jejichž maximální mezera musí být menší, než je průměr tepelně ovlivněné zóny. Stejně tak maximální rozdíl ve výškovém nesouladu okrajů plechu by měl být maximálně 15 % celkové tloušťky stěny, jelikož tavná lázeň generovaná laserem nekompensuje tento rozdíl žádným výronkem.



Obr. 40 Svařování laserem [55]

3 SROVNÁNÍ METOD A PŘÍKLADY POUŽITÍ [2, 3, 8, 37, 39, 56, 57..., 64, 65]

Při výrobě bezešvých trubek je nejvyužívanější technologií válcování, jež je možné aplikovat za tepla i za studena. Při srovnání těchto dvou přístupů vychází najevo, že za tepla není třeba vynakládat tolik energie pro změnu tvaru materiálu, ovšem výsledný produkt neposkytuje tak přesně rozměry, jako tomu je při tváření za studena. Například při poutnickém válcování za studena je možno dosáhnout tloušťky stěny od 0,5 – 15 mm, s průměrem 12 – 250 mm a délkou až 30 m, přičemž tolerance průměru nepřevyšuje odchylku 1,5 %, a to při velmi dobré struktuře povrchu. V tabulce 1 se nachází srovnání s jednotlivými způsoby válcování za tepla a dále v tabulce 2 srovnání s ostatními metodami výroby bezešvých trubek. Rozměry uvedené v tabulkách jsou orientační.

Tab. 1 Srovnání metod válcování za tepla. [2, 8]

způsob válcování	průměr [mm]	tloušťka [mm]	délka [m]	výhody	nevýhody
Poutnická stolice	50 - 660	2,25 - 60	36 a více	rychlá přestavba trati na jiný rozměr	nutný technologický odpad v odřezání konců trubky horší jakost povrchu vlivem válcování po šroubovici
Trat' s automatikem	40 - 400	3 - 60	15	výkonná trat' pro hromadnou výrobu	podélné vnitřní rýhy při nepečlivé práci, nelze válcovat delší trubky než 15 metrů, nákladná přestávka na větší rozměr trati
Tříválcová stolice	34 - 200	2,5 - 50	12	rychlá přestavba trati na jiný rozměr, nízké pořizovací náklady	
Spojité trat'	38 - 168	2 - 25	20	dobré rozměrové přesnosti, možnost použití stejného vstupního sochoru pro různé rozměry trub	nákladná přestavba trati na jiný rozměr
Tratě s příčnými otočnými kotouči	50 - 150	2,5+	15	dobrá jakost povrchu, rovnoměrná tloušťka stěny	menší výkony než trat' s automatikem, vysoká cena a opotřebení válců

Tab. 2 Srovnání metod výroby bezešvých trubek. [2, 8, 37]

metoda	rozměry [mm]	výhody	nevýhody
Válcování	průměr 34 – 660, tloušťka 2 - 60	odolnost vůči přetlakům,	oxidace a tvorba okují při procesu,
Tažení	průměr 0,2 – 380, tloušťka 0,05 - 6	přesně rozměry a dobrá struktura povrchu	nutnost mazání pro snížení tření, nutnost vyvinout vyšší tvářecí síly
Protlačování	průměr 42 – 300; tloušťka do 50	výroba hotové trubky během jedné tvářecí operace, přesnosti srovnatelné s tažením za studena,	omezená životnost nástrojů
Protahování	průměr 60 – 219 tloušťka 3,5 - 8	výchozí materiál (čtvercové sochory) je levnější, dobrá metoda pro obtížně tvářitelné a legované oceli	možný vznik výstřednosti, povrchových rýh, utrnutí dna
Odstředivé lití	průměr 70 – 1500 tloušťka 8 - 150	malý technologický odpad, dobré přesnosti, nízké výrobní náklady, možnost velkých průměrů,	omezené délka max. 5,5 metrů, horší jakost povrchu vnitřní stěny, malosériová výroba

Ve výrobě švových trubek malých a středních průměrů je nejběžněji používanou metodou odporové svařování a pro velké průměry automatické svařování pod tavidlem.

Tab. 3 Srovnání metod výroby švových trubek. [3, 8, 39]

metoda	průměr [mm]	tloušťka [mm]	výhody	nevýhody
Spojité na tupo v peci	10 - 164	2 - 14	ekonomické pro velkovýrobu	nevhodné pro korozní prostředí, pouze nízkotlaké použití
Odporové	60 - 762	0,5 - 16	vysoká rychlost výroby, vhodné pro automatizaci, žádné přídavné materiály	nevhodné pro oceli s obsahem uhlíku nad 0,3%
Automatické pod tavidlem	140 - 4064	0,5 - 50	svar bez rozstříku, bez nutnosti odsávání spalin, vysoká produktivita	svařování jen ve vodorovné poloze, tavidlo brání vizuální kontrole svaru, nákladné
MIG/MAG/WIG	6 – 456	0,6 - 5	dobrá jakost svaru	nákladné
Laser			lze svařovat jakékoliv rozměry, dobrá jakost svaru	nákladné, nutnost precizní přípravy okrajů plechu pro svar

Výroba trubek je přímo ovlivněna reakcí trhu a to především olejařským průmyslem, jenž zastává zhruba 50 % celkového odbytu. V roce 2018 světová produkce činila 172,6 mil. tun (129,1 mil. tun švových a 43,5 mil. tun bezešvých), z toho 8 % bylo vyrobeno v Evropě na zhruba 240 výrobních místech. V České republice historicky převažuje výroba bezešvých trubek. Konkrétní podniky s příklady použití zmíněných procesů jsou následující:

- Aperam – sídlící v Ústí nad Labem, vyrábí švové trubky z korozivzdorné a speciální oceli. Vstupním materiálem jsou svitky o váze přibližně 20 tun, které jsou podélně řezány na menší pásy, podélně zkružovány a svařeny vysokofrekvenčně, laserem či WIG metodou. Takto vzniklá trubka dělená po 6 metrech může mít průměr 8 – 75 mm a tloušťku stěny 0,8 – 2 mm.
- ArcelorMittal Karviná – ArcelorMittal je světová jednička v produkci oceli. V České republice vyrábí podélně svařované tenkostěnné trubky, jenž jsou taženy na výsledný průměr 12 – 120 mm s tloušťkou stěny 0,5 – 5 mm. Roční produkce činí 350 000 tun.
- Liberty Steel Ostrava – vyrábí bezešvé trubky z plynule litých předliték na dvou tratích Stiefelovou metodou (trať St 4 - 10" a St 140) a to v průměrech 21,3 – 273 mm a tloušťce stěny 2,3 – 25 mm. Švové trubky jsou zkružovány ze svitků válcovaných za tepla do tvaru šroubovice a následně svařovány automaticky pod tavidlem. Výrobní rozměry se pohybují 323,9 – 1020 mm v průměru s tloušťkou stěny 5 – 16 mm. Roční produkce podniku činí 340 000 tun.
- Válcovny trub Chomutov – předeřtý ingot je zde děrován na vertikálním lisu, poté válcován na elongátoru a poutnické stolici. Po odříznutí nerovných konců následuje ohřev na tvářecí teploty a kalibrace podélným válcováním pro přesnou kruhovitost. Trubky jsou vyráběny s průměrem 273 – 660 mm a tloušťkou stěny 9,5 – 72 mm s roční produkcí 85 000 tun.
- Sandvik Chomutov Precision Tubes – dříve tvořila jednu firmu společně s válcovnou trub Chomutov, nyní vyrábí především korozivzdorné bezešvé trubky pro olejařský průmysl, tepelné výměníky a hydraulické či vysokoteplotní aplikace v objemu 8000 tun ročně.
- Válcovna trub Třinecké železářny – podnik disponuje dvěma tratěmi, jež vyrábí Mannesmannovým způsobem válcování bezešvé trubky o průměru 60,3 – 406,4 mm s minimální tloušťkou stěny 6,3 mm z legovaných i nelegovaných ocelí. Roční produkce je přes 100 000 tun ročně.

Obecná snaha firem je maximální zisk, a tedy efektivita, z čehož vyplývají potřeby inovace zmíněných výrobních procesů. Ty mohou spočívat například v digitalizaci a automatizaci výroby a zlepšení kontroly nad procesem a konečným produktem, či slučování samostatných kroků výroby do jedné operace. Příkladem může být německá firma SMS Group, která mimo jiné vyrábí tvářecí linky pro plynulé válcování na dvouválcových (MPM), či tříválcových stolicích (PQF®), jenž například nespotřebovává tolik energie pro opětovný ohřev mezi procesy válcování, jako konvenční metody, ze kterých vychází.

4 ZÁVĚRY

Předmětem práce byl průzkum v technologických oblastech výroby trubek, kdy v souladu se zadáním bylo kromě popisu principů příslušných způsobů výroby provedeno také zhodnocení předností a problémů jednotlivých metod a uvedeno jejich použití v praxi.

Ocelové trubky jsou nedílnou součástí průmyslové praxe, přičemž přístupy výroby bezešvých a švových trubek jsou rozlišovány již od 19. století. Bezešvé je možno vyrábět odstředivým litím či tvářením, přičemž nejčastěji je užíváno válcování. Výroba sestává ze dvou hlavních tvářecích fází, děrování a následného válcování na hotový rozměr. Trubka je odolná vůči vnitřním přetlakům a vyznačuje se celistvou stěnou beze švu. Nevýhodou je vyšší cena oproti trubce svařované. Ta je vyráběna nejčastěji z plechu válcovaného za tepla, který je formován do podélného nebo šroubovicového tvaru. Okraje plechu jsou následně permanentně spojeny tavným nebo tlakovým svařováním, přičemž nejvíce rozšířené je vysokofrekvenční odporové svařování malých a středních průměrů a automatické svařování pod tavidlem průměrů velkých. Švové trubky jsou na trhu dlouhodobě dominantní a své uplatnění nachází především v nízkotlakých aplikacích. V současnosti mnohdy vyhovuje nárokům i trubka svařovaná, která se tak stává levnou plně validní alternativou trubky bezešvé. Jednotlivé metody výroby obou typů trubek jsou adekvátní pro konkrétní potřeby zákazníka, jež se liší především objemem výroby, mechanickými vlastnostmi výsledného produktu, potřebami v následných aplikacích, či finančních možnostech, takže nelze jednoznačně určit nejlepší možný způsob výroby.

Z důvodů konkurenceschopnosti firmy modernizují své výrobní procesy, především automatizací a digitalizací, vznikají však i inovační metody výroby. Lze zmínit kupříkladu metodu tvářením plechu FFX, jež rozměrově rozšiřuje výrobní možnosti svařovací tratě, či výrobní linky PQF a MSM společnosti SMS Group, které zefektivňují klasické metody válcování.

Největší světový odbyt trubek se nachází v olejářském průmyslu (51% v roce 2018), pro potřeby transportu plyných a kapalných médií, především ropy. Česká produkce přes půl milionu tun ročně sestává z bezešvých i švových trubek a mezi její největší zástupce patří Liberty Steel Ostrava, ArcelorMittal Karviná, či Válcovna trub Třineckých železáren.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [65]

1. The difference between seamless pipe and seamed pipe. *Construction review online* [online]. 2018 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://constructionreviewonline.com/2018/12/the-difference-between-seamless-pipe-and-seamed-pipe/>
2. POČTA, Bohumil. Ocelové trubky: Bezešvé trubky. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963, 413 s.
3. POČTA, Bohumil. Ocelové trubky: Svařované trubky. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964, 225 s.
4. Injekční jehla [foto]. In: *Lékárna* [online]. [cit. 2020-06-24]. Převzato z: <https://www.lekarna.cz/upload/ch/ir/chirana-injekcni-jehla-0-5x25-oranzova-jednorazova-100-ks-2272305-1000x1000-fit.jpg>
5. Nickel Alloy Tubes [foto]. In: *Indiamart* [online]. [cit. 2020-06-24]. Převzato z: <https://5.imimg.com/data5/FL/EY/MY-692779/nickel-alloy-tubes-500x500.jpg>
6. Nadzemní vedení Kopisty [foto]. In: *Petrol* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.petrol.cz/aktuality/cesky-system-ropovodu-je-jedinecnym-technologickym-dilem-6993>
7. Marcel Breuer, Chair (model B33) [foto]. In: *Smarthistory* [online]. [cit. 2020-06-24]. Převzato z: <https://smarthistory.org/wp-content/uploads/2019/09/Breuer-B33-300x378.jpg>
8. ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN 80-03-00651-1.
9. LENFELD, Petr. *Technologie II*. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. ISBN 978-80-7494-304-1.
10. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-807-2315-796
11. Bloom [foto]. In: *David A. Marshall Consulting* [online]. © 2016, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.damarshall.consulting/wp-content/uploads/2020/04/bloom-1568604_640.jpg
12. Princip odstředivého lití. *VÚHŽ a.s.* [online]. © 2017 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.vuhz.cz/odstredive-odlitky/princip-odstrediveho-liti>
13. SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. *Speciální technologie tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4220-7.
14. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 3rd ed. New York: Cambridge University Press, c2007. ISBN 978-0-521-88121-0.
15. FABÍK, Richard. *Tváření kovů: učební text: studijní materiály pro studijní program Metalurgické inženýrství Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2572-4.

16. Princip podélného, příčného a kosého válcování [foto]. LENFELD, Petr. Převzato z: *Technologie II*. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016, s. 25. ISBN 978-80-7494-304-1.
17. Seamless Tube Rolling Process. In: *Industry Today* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://industrytoday.com/wp-content/uploads/2018/02/The-Birth-of-the-Main-Seamless-Tube-Rolling-Process.pdf>
18. ELFMARK, Jiří. Děrování tlačným podélným válcováním [foto]. Převzato z: ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1991, s. 437. ISBN 80-03-00651-1.
19. Princip kosého válcování trubek [foto]. LENFELD, Petr. Převzato z: *Technologie II*. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016, s. 30. ISBN 978-80-7494-304-1.
20. PATER, Z. a J. KAZANECKI. Scheme of the analyzed rotary piercing process [foto]. Převzato z: PATER, Z. a J. KAZANECKI. Complex Numerical Analysis of the Tube Forming Process Using Diescher Mill. *Archives of Metallurgy and Materials*. 2013, 58(3), s.718 . DOI: 10.2478/amm-2013-0060. ISSN 1733-3490. Dostupné také z: <http://journals.pan.pl/dlibra/publication/101594/edition/87609/content>
21. PATER, Zbigniew, Łukasz WÓJCIK a Patrycja WALCZUK. Scheme of the three-roll piercing proces [foto]. Převzato z: PATER, Zbigniew, Łukasz WÓJCIK a Patrycja WALCZUK. Comparative Analysis of Tube Piercing Processes in the Two-Roll and Three-Roll Mills. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2019, 13(1), s. 39. DOI: 10.12913/22998624/102766. ISSN 2080-4075. Dostupné také z: <http://www.journalssystem.com/astrij/Comparative-analysis-of-tube-piercing-processes-in-the-two-roll-and-three-roll-mills,102766,0,2.html>
22. FABÍK, Richard. Schéma poutnického válcování [foto]. Převzato z: FABÍK, Richard. *Tváření kovů: učební text: studijní materiály pro studijní program Metalurgické inženýrství Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012, s. 166. ISBN 978-80-248-2572-4.
23. Fernsehen bildet. Wie Stahlrohre hergestellt werden. In: *YouTube, LLC* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=Nev9_GYiADY
24. MSTTubePipe. State-of-the-Art Cold Pilger Mill. In: *YouTube, LLC* [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=Nev9_GYiADY
25. FABÍK, Richard. Schéma válcování na automatiku [foto]. Převzato z: FABÍK, Richard. *Tváření kovů: učební text: studijní materiály pro studijní program Metalurgické inženýrství Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012, s. 168. ISBN 978-80-248-2572-4.
26. POČTA, Bohumil. Schéma válcování trubek na spojité válcovací trati [foto]. Převzato z: POČTA, Bohumil. *Ocelové trubky: Bezešvé trubky*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963, s. 32.
27. ELFMARK, Jiří. Tvar válců tříválcových stolic [foto]. Převzato z: ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1991, s. 445. ISBN 80-03-00651-1.

28. ELFMARK, Jiří. Válcování na stolicích s příčnými otočnými kotouči [foto]. Převzato z: ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1991, s. 448. ISBN 80-03-00651-1.
29. ELFMARK, Jiří. Lisování dutých výlisků [foto]. Převzato z: ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1991, s. 440. ISBN 80-03-00651-1.
30. LENFELD, Petr. Technologie výroby trubek protlačováním [foto]. Převzato z: LENFELD, Petr. *Technologie II*. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. s. 57. ISBN 978-80-7494-304-1.
31. Železiarne Podbrezová. Proces výroby bezšvíkových ocelových rúr. In: *YouTube, LLC* [online]. 2016 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=2YT4sA0E1Bo>
32. Železiarne Podbrezová. Hrotovač za tepla prevádzkarne ťaháreň rúr. In: *YouTube, LLC* [online]. 2017 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=B8lAtAAAEKw>
33. LENFELD, Petr. Technologické postupy tažení [foto]. Převzato z: LENFELD, Petr. *Technologie II*. 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016. s. 51 - 52. ISBN 978-80-7494-304-1.
34. TheNetworkingnews. MSL CPE Technology Process Video. In: *YouTube, LLC* [online]. 2016 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=bLC_8ecUnQ8
35. ELFMARK, Jiří. Protlačovací kalibr [foto]. Převzato z: ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1991, s. 449. ISBN 80-03-00651-1.
36. Horizontální lití [foto]. In: *VÚHŽ a.s.* [online]. © 2017 [cit. 2020-06-24]. Převzato z: <https://www.vuhz.cz/images/slevarna/sortiment/strojni-opracovani/strojni-opracovani-horizontalni.jpg>
37. Centrifugal Casting. *CustomPartNet* [online]. © 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.custompartnet.com/wu/centrifugal-casting>
38. McWane Ductile. Centrifugal Casting of Ductile Iron Pipe (De Lavaud Process). In: *YouTube, LLC* [online]. 2018 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=3G2sBqXkRT8>
39. Production processes for Welded Pipes. *Ispatguru* [online]. © 2019, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.ispatguru.com/production-processes-for-welded-pipes/>
40. Superiority of FFX forming technology in straight seam welded pipe. *Tianjin Youfa Steel Pipe Group* [online]. © 2014-2018 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.steelsupplierchina.com/superiority-of-ffx-forming-technology-in-straight-seam-welded-pipe/>

41. Latest developments in LSAW pipe production. SMS Meer pipe making technology JCO. In: *DocPlayer* [online]. © 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://docplayer.net/54556776-Latest-developments-in-lsaw-pipe-production-sms-meer-pipe-making-technology-jco.html>
42. POČTA, Bohumil. Schéma postupu při zakružování trubky [foto]. Přejato z: POČTA, Bohumil. Ocelové trubky: Svařované trubky. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964, s. 77.
43. SARVANIS, Gregory C. Schematic representation of spiral forming processes. [foto]. Přejato z: *ResearchGate GmbH* [online]. © 2008-2020, 2019 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/331327528/figure/fig3/AS:730564441157634@1551191544412/Schematic-representation-of-spiral-forming-processes_W640.jpg
44. POČTA, Bohumil. Oblast teplot svařování pro svařování tlakem [foto]. Přejato z: POČTA, Bohumil. Ocelové trubky: Svařované trubky. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964, s. 27.
45. Schematic of Fretz-Moon forming and welding process for pipes [foto]. Přejato z: *Ispatguru* [online]. © 2019, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.ispatguru.com/wp-content/uploads/2020/02/Schematics-of-Fretz-Moon-forming-and-welding-process.jpg>
46. ERW: Electric resistance welding. In: *Over-blog* [online]. © 2004-2020, 2016 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: https://img.over-blog-kiwi.com/1/93/27/59/20160422/ob_149de8_welded-tube.jpg
47. The Basics of HF Welding [foto]. Přejato z: *Sunny Steel Enterprise Ltd.* [online]. © 2011 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://www.sunnysteel.com/images/electric-resistance-welding-at-a-glance-hf-contact-welding-description.jpg>
48. Svařování pod tavidlem (SAW). *SVARINFO* [online]. 2010 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2009010801>
49. Cesty zvýšení produktivity svařování pod tavidlem – projekt ICE™. *KONSTRUKCE Media, s.r.o* [online]. © 2002 - 2020, 2012 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/cesty-zvyseni-produktivity-svarovani-pod-tavidlem-projekt-ice/>
50. WHAT IS SUBMERGED ARC WELDING? [foto]. In: *NuSteel* [online]. ©2014, 2015 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://nusteelfab.com/wp-content/uploads/2015/03/Subarc.jpg>
51. MIG nebo MAG? Jaký je rozdíl? *SVARINFO* [online]. 2008 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2007101501>
52. Tungsten Inert Gas Welding [foto]. Přejato z: *Quora* [online]. 2016 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-755c80301c7f4c744da4528470f6c356.webp>
53. Laser welding. *Ssab* [online]. © 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.ssab.com/services/processing-services/laser-welding>

54. Technology considerations for laser welding tubes and pipes. *The fabricator* [online]. 2014 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/tubepipejournal/article/laserwelding/technology-considerations-for-laser-welding-tubes-and-pipes>
55. Well-rounded – Laser Welding of Quality Tubes [foto]. In: *Opli Inc.* [online]. © 2006-2016, 2014 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.opli.net/media/3388/co2-slab-lasers-rofin-march-img-1.jpg>
56. *ITA Tube Journal* [online]. 2019 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: https://www.itatube.org/download/ITATUBE_Journal/ITATUBE_Journal_02_19lowres.pdf
57. MAP: Europe, Middle East tube & pipe producers, 2019. In: *Fastmarkets* [online]. © 2020, 2019 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.fastmarkets.com/article/3899391/map-europe-middle-east-tube-pipe-producers-2019>
58. *Aperam Stainless Services & Solutions Tubes CZ* [online]. © 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://aperam-usti.cz/>
59. *ArcelorMittal Tubular Products Karviná a.s* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.jakl.cz/>
60. *LIBERTY Steel Group* [online]. © 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://libertyostrava.cz/>
61. *Z-Group hutní skupina* [online]. © 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.steel-holding.cz/index.php/cs/>
62. *Sandvik AB* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.materials.sandvik/en/>
63. *TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY, a. s. (provoz VT - Válcovna trub)* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.trubky.cz/uvod>
64. *SMS group GmbH* [online]. © 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.sms-group.com/>
65. *CITACE PRO: Generátor citací* [online]. (c) 2012–2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://citace.lib.vutbr.cz/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady použití trubek [4, 5, 6, 7].....	9
Obr. 2 Sochor čtvercového průřezu [11]	10
Obr. 3 Schéma výrobních postupů bežešvých trubek.....	10
Obr. 4 Schéma válcování [16]	11
Obr. 5 Děrování tlačným podélným válcováním [18]	11
Obr. 6 Děrování Mannesmannovou metodou [19]	12
Obr. 7 Děrování Stiefelovou metodou [19]	12
Obr. 8 Děrování Diescherovou metodou [20]	12
Obr. 9 Děrování na tříválcové stolici [21]	12
Obr. 10 Válcování na poutnické stolici za tepla [22]	13
Obr. 11 Neobrobený konec trubky po poutnickém válcování za tepla [23]	13
Obr. 12 Poutnické válcování za studena [24]	13
Obr. 13 Schéma válcování na automatiku [25].....	14
Obr. 14 Postavení válců na spojitě válcovací trati [26]	14
Obr. 15 Schéma válce tříválcové stolice [27]	14
Obr. 16 Postavení válců při Diescherově metodě [28]	15
Obr. 17 Svislé lisování [29]	15
Obr. 18 Analogie procesu protlačování trubky [30]	16
Obr. 19 Tažná stolice [31]	16
Obr. 20 Ohřev konce trubky pro hrotování za tepla [32].....	17
Obr. 21 Hrotování zúžením průměru [32]	17
Obr. 22 Tažení na volném trnu [33]	17
Obr. 23 Tažení na uchyceném trnu [33]	17
Obr. 24 Průvlečné tažení [33]	17
Obr. 25 Tažení na tyči [33]	17
Obr. 26 Trubka tvářená kalibry na protahovací stolici [34]	18
Obr. 27 Sevřený konec trubky [34]	18
Obr. 28 Protahovací válcový kalibr [35]	18
Obr. 29 Schéma horizontálního prostého odstředivého lití [36].....	19
Obr. 30 Vytahování trubky z rotační kokily [38]	19
Obr. 31 Schéma výrobních postupů svařovaných trubek	20
Obr. 32 Kontinuální zkružování [42].....	21
Obr. 33 Kontinuální formování do šroubovice [43]	21
Obr. 34 Oblast vhodných teplot pro svařování tlakem [44]	22
Obr. 35 Zjednodušené schéma spojitého svařování na tupo v peci [45]	22
Obr. 36 Indukční ohřev štěrbinové trubky [46]	23
Obr. 37 Schéma kontaktního svařování [47]	23
Obr. 38 Automatické tavné svařování pod tavidlem [50].....	24
Obr. 39 Princip WIG [52]	24
Obr. 40 Svařování laserem [55]	25

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Srovnání metod válcování za tepla. [2, 8]	26
Tab. 2 Srovnání metod výroby bezešvých trubek. [2, 8, 37].....	27
Tab. 3 Srovnání metod výroby švových trubek. [3, 8, 39]	27