



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGIE ZAVÁLCOVÁNÍ TRUBEK DO TRUBKOVNICE

TECHNOLOGY EXPANDING PIPES INTO TUBE SHEET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Podstata

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marek Štroner, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Jan Podstata
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Marek Štroner, Ph.D.
Akademický rok:	2016/17

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:

Technologie zaválcování trubek do trubkovnice

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provést literární rešerši z oblasti zaválcování trubek do trubkovnic. Zhodnotit charakteristiky možných variant řešení zaválcování trubky. Zmapovat možné použitelné nástroje pro válcování. Zhodnotit výhody a nevýhody dané technologie.

Cíle bakalářské práce:

1. Literární rešerše.
2. Možné druhy spojů a jejich poruchy.
3. Používané nástroje.
4. Příprava technologie (otvor trubkovnice, konec trubky),
5. Závěr - zhodnocení dané technologie.

Seznam literatury:

BABINEC, František a Petr SCHNEIDER. Konstrukce výrobních zařízení. Brno: Vysoké učení technické, 1985.

SCHNEIDER, Petr. Základy konstruování procesních zařízení. Brno: PC-DIR Real, 1999. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1483-9.

SMRČKA, Karel a Zdeněk KOVÁŘ. Zaválcování trubek. Praha: SNTL, 1966. Knižnice strojírenské výroby.

VEJVODA, Stanislav. Stavba procesních zařízení: hodnocení odolnosti materiálů tlakových nádob proti jejich poškození v provozních podmínkách. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-214-2302-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

PODSTATA Jan: Technologie zaválcování trubek do trubkovnice.

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru Strojírenské technologie předkládá literární rešerši z oblasti zaválcování trubek v trubkovnici. Z historie i ze současnosti máme několik možností, jak trubku rozválcovat. Práce obsahuje rozbor druhů spojů a jejich charakteristiku. Otvory v trubkovnicích i konce trubek musejí být upravené a v určité toleranci. Máme několik druhů nástrojů, kterými je možné trubku zaválcovat. Nástroj je volen podle typu a polohy spoje.

Klíčová slova: výměník tepla, trubkovnice, trubka, zaválcování

ABSTRACT

PODSTATA Jan: Technology expanding pipes into tube sheet.

The project developed within the Bachelor's degree program in Engineering Technology presents literary research in the field of tubing expanding in the tubing. There have been known several possibilities how to roll the tube from the history as well as new modern ways. The work includes an analysis of the types of joints and their characteristics. The openings in the tube and the ends on the tube must be adjusted and of particular tolerance. There are also several types of tools that can be used to roll the tube. The tool is chosen according to the type and the position of the joint.

Keywords: heat exchanger, sheet, tube, expanding

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PODSTATA, Jan. *Technologie zaválcování trubek do trubkovnice*. Brno, 2017. 35s, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Marek Štroner, Ph.D.

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 26.5.2017

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce, Ing. Marku Štronerovi, Ph.D. za vstřícnost, cenné rady, ochotnou pomoc a poskytnuté materiály, které mi umožnili zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Janu Volejníkovi, DiS. a Antonínovi Ševčíkovi z Královopolské a.s. za cenné rady a poskytnuté materiály. Také bych rád poděkoval rodině, přítelkyni a přátelům za podporu během celého studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
ÚVOD	9
1 ZAVÁLCOVÁNÍ TRUBEK	10
1.1 Výbuchem	10
1.2 Hydraulické	11
1.3 Pneumatické	12
1.4 Mechanické	13
2 SPOJE	15
2.1 Charakteristika válcového spoje	15
2.2 Druhy spojů	18
2.3 Konstrukční požadavky spojů	22
2.4 Zvláštnosti spojů	24
2.5 Kontrola spojů	24
3 PŘÍPRAVA TECHNOLOGIE	27
3.1 Příprava otvoru pro trubky	27
3.2 Úprava konců trubek	31
4 ZAVÁLCOVACÍ STROJKY	33
4.1 Zaválcovačky šroubové.....	33
4.2 Zaválcovačky samoposuvné.....	34
5 ZÁVĚRY	35

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

ÚVOD [1], [3], [4], [12], [14], [15]

V mnoha oblastech lidské činnosti, jako například chemický průmysl nebo energetika, se objevuje potřeba přenosu tepla mezi dvěma látkami o různých teplotách. Tuto funkci plní například výměníky tepla. Teplo se přenáší z prostoru uvnitř trubky do prostoru okolo trubek nebo opačně. Trubky končící ve stěnách (trubkovicích) musejí být kvalitně utěsněny.

Trubky jsou vsazovány do děr v trubkovicích a následně roztaženy (zaválcovány) na průměr děr. Máme několik metod a nástrojů, jak potřebné technologie dosáhnout. Nejčastěji se používají válcovací strojky (zaválcovačky). Pro vyšší těsnost jsou v některých případech trubky poté ještě přivařeny. Nejčastěji jsou trubky přivařeny metodou TIG (WIG). Vlastnosti a charakteristika spoje jsou dány hlavně prostředím, ve kterém se bude spoj nacházet.

Cílem této práce je seznámit s metodou zaválcování trubek. Ukázat možnosti, jak trubky zaválcovat a jaké nástroje použít. Charakterizovat přípravu otvorů v trubkovicích a konců trubek. Na závěr popsat výhody a nevýhody dané technologie.



Obr. 1 Výměníky tepla s trubkovicemi

1 ZAVÁLCOVÁNÍ TRUBEK [3], [10], [12], [14]

Zaválcování lze provádět několika způsoby. V minulosti se provádělo zaválcování výbuchem. V dnešní době se tento způsob využívá minimálně. Další ze způsobů, který lze použít, je hydraulické zaválcování. Tento moderní způsob je rozšířený, ale více se používá zaválcování pneumatické a mechanické.

1.1 Výbuchem [4],[10], [14]

Metoda upevňování trubek explozí byla propracována v 60. letech. Tato technologie má mnoho společných vlastností s technologií výbuchového plátování materiálů a je s ní velice podobná. Umožňuje dvě možnosti:

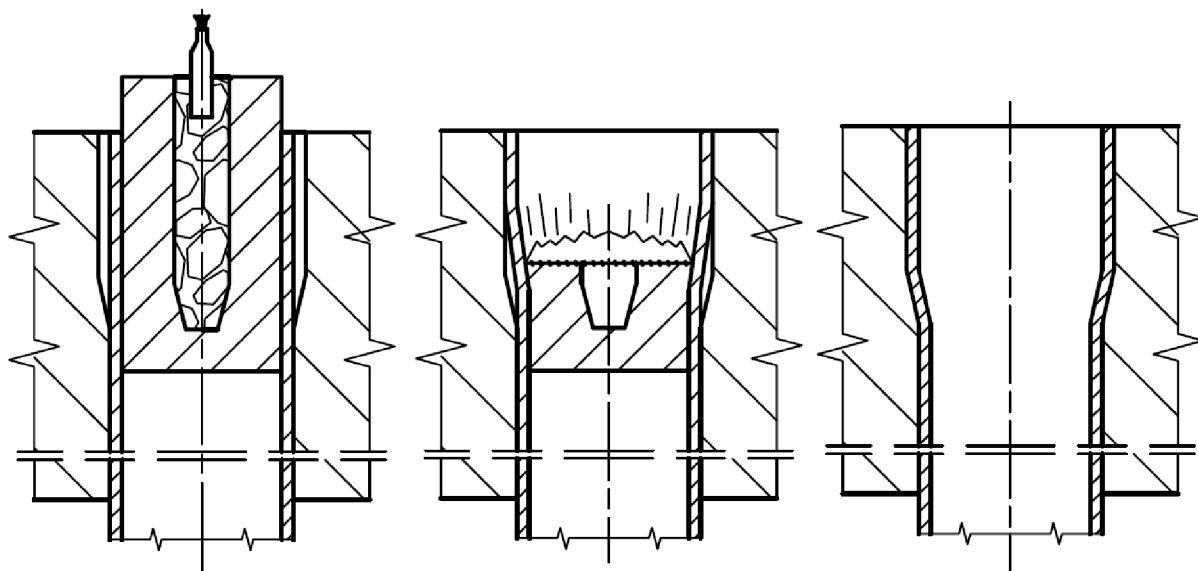
- a) zhotovení spoje explozí, kde stále existuje viditelná hranice mezi trubkou a trubkovnicí
- b) svaření spoje explozí, kde vznikne nerozebíratelný, dokonalý svarový spoj obou částí

Obě možnosti se liší pouze jedinou veličinou - rychlostí nárazu trubky na stěnu otvoru v trubkovnici.

Několik charakterizujících údajů dané technologie:

- a) detonační rychlost trhaviny je v rozmezí $155 - 4500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- b) nárazová rychlost trubky je přibližně $100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- c) tlak na stykové ploše dosahuje až $1,3 \times 10^4 \text{ MPa}$

Aby se mohl uplatnit specifický mechanismus explozivního děje, je potřeba upravit otvor v trubkovnici, viz obr. 2.

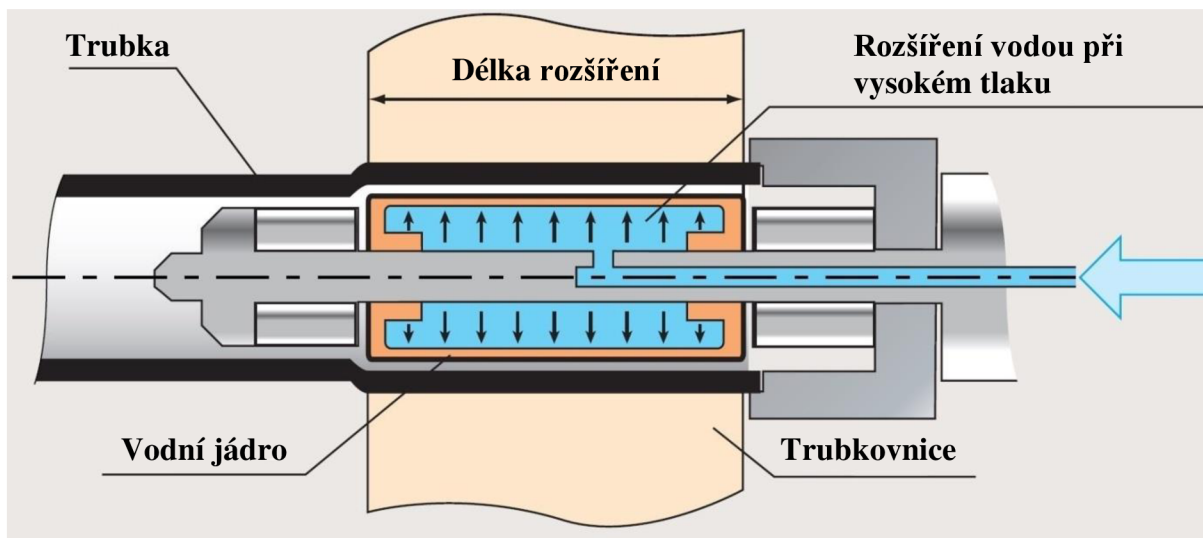


Obr. 2 Zaválcování výbuchem [10]

1.2 Hydraulické [4],[10], [14]

Trubka vložená do otvoru v trubkovnici se pomocí speciální sondy natlakuje vodou. Trubka se rozpíná s rostoucím tlakem nejdříve elasticky, pak plasticky, a po dosednutí na povrch otvoru se dále deformuje i otvor v trubkovnici.

Pracovním nástrojem zaválčovačky je sonda, která se zasouvá do trubky na přesně stanovenou hloubku. Hloubka musí být menší, než je tloušťka trubkovnice. Tlaková voda se přivádí hadicí do sondy a dále je rozváděna systémem kanálků. Tlakový prostor vymezují dva speciální těsnící kroužky.



Obr. 3 Hydraulické zaválčování [17]

Hydraulické rozpínání trubek je celkem nová metoda, která má řadu výhod oproti tradičnímu zaválčování trubek:

- celkový čas provedení spoje trvá pouze několik vteřin a nezávisí na délce spoje
- vylučuje se mechanické opotřebení nástrojů, které je u mechanického a pneumatického zaválčování výrazné
- možnost provádět spoje na těžko dostupných místech - uvnitř aparátu
- proces tlakování trubky lze snadno matematicky modelovat
- proces zaručuje stejnou kvalitu u všech spojů



Obr. 4 Hydraulická zaválčovačka ASG-35 Sugino [17]

1.3 Pneumatické [9], [10], [13]

Pneumatické zaválčovačky jsou velice podobné mechanickým. Hlavním rozdílem je pohon, který zde udává vzduch. Pneumatické expanzní jednotky pracují na principu mechanického přednastavení vypínacího krouťícího momentu v hlavě pohonné jednotky. Při dosažení nastaveného momentu (stupně zaválcování) se jednotka automaticky přepne na levé otáčky k vytažení nástroje. Přepnutí při dosažení nastaveného momentu zajišťuje vnitřní pružinová spojka.

Nízká hmotnost pohonné jednotky a její ergonomická konstrukce usnadňují a zrychlují samotné zaválcování.

Pro bezporuchový provoz pohonných jednotek je nezbytné napájení čistým, suchým a přimazaným vzduchem v dostatečném objemu a tlaku. Po dosažení těchto podmínek je zajištěno přesné a opakovatelné zaválcování.



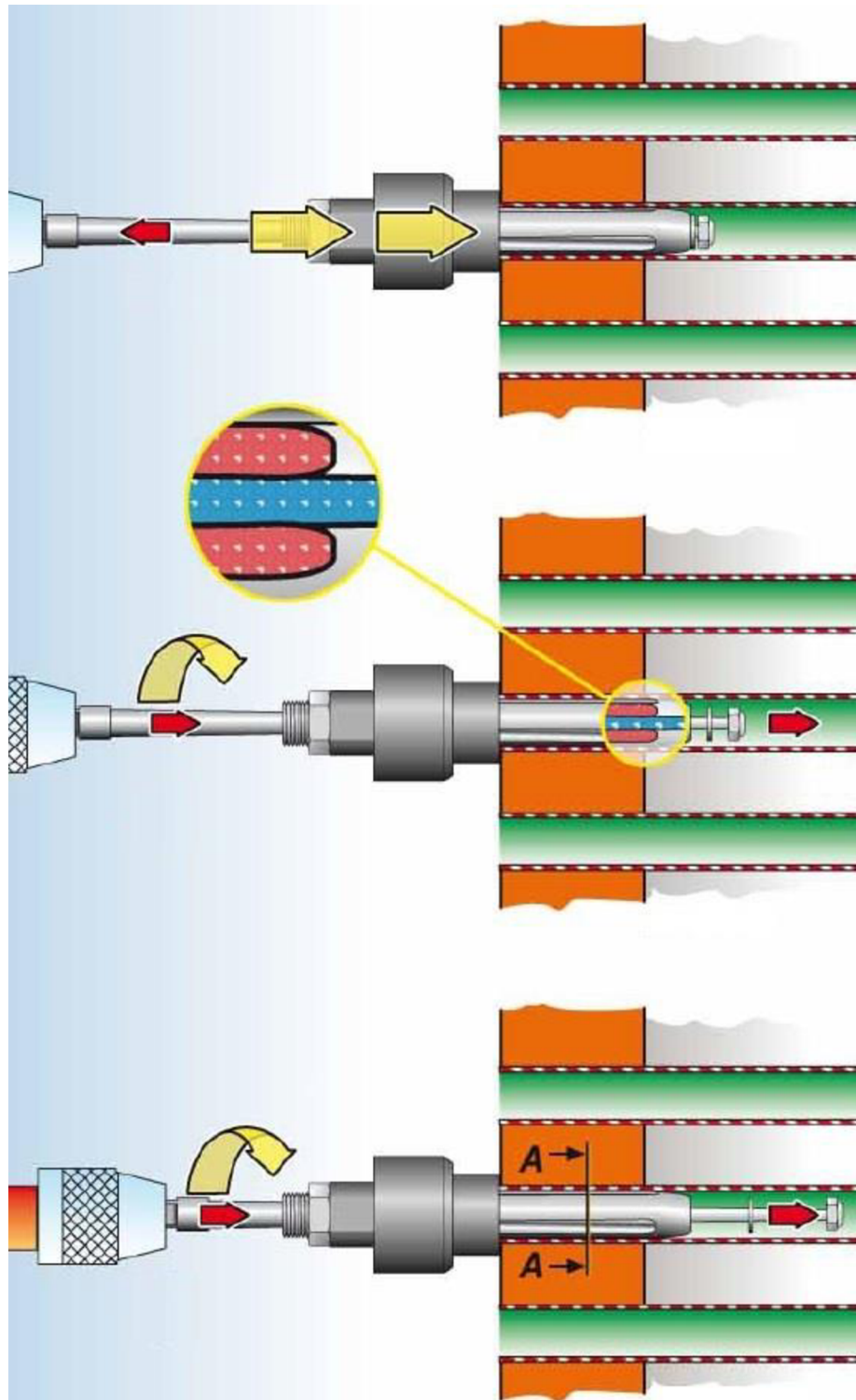
Obr. 5 Pneumatická zaválčovačka PZ 400 UNiT PLUS [9]



Obr. 6 Pneumatická zaválčovačka D-720-1800 [13]

1.4 Mechanické [3], [4], [10], [12], [14], [15], [16], [17]

Pro mechanické zaválcování trubky do otvoru vyvrtaného v trubkovnici se používá zaválcovacího strojku, viz obr. 7. Takovýto strojek je osazen lichým počtem válečků. Nejvíce se používají zaválcovačky se 3 nebo 5 válečky. Osa válečků je o 2 až 3° skloněna oproti kuželovému trnu. Při otáčení trnu dochází k otáčení válečků a k posouvání trnu vpřed.

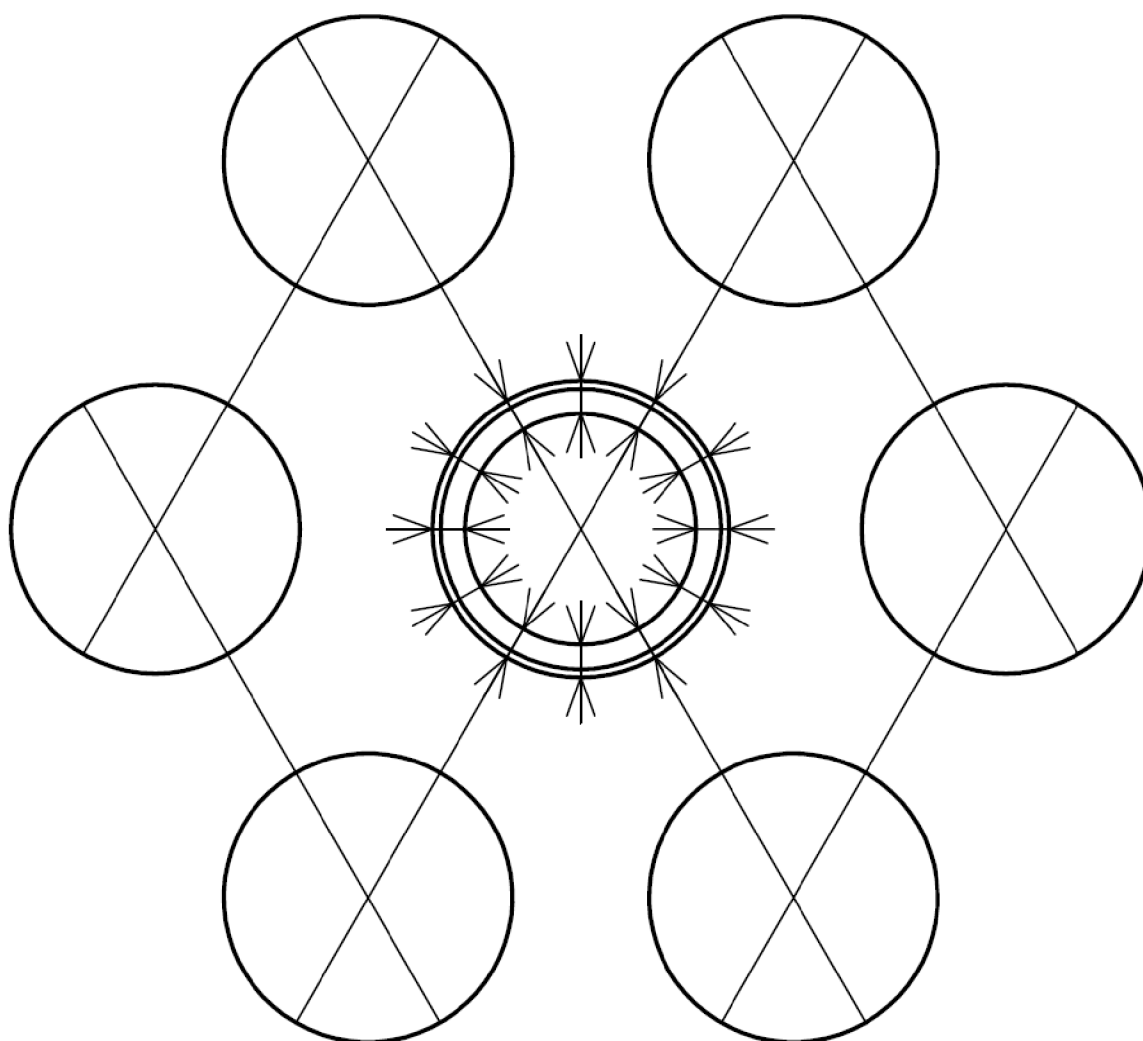


Obr. 7 Postup mechanického zaválcování [16]

Rozválcování trubek po celém obvodu probíhá do té doby, dokud nepřilne na stěnu předvrtaného otvoru. Při dalším zaválcování by docházelo k deformaci materiálu trubky. Většina částic kovu teče směrem, který klade nejmenší odpor, tj. ve směru osy trubky. Trubka se tak prodlužuje.

Prodlužování trubky je na obou stranách omezeno třením. Na vnější straně vzniká tření mezi vnějším povrchem trubky a materiálem trubkovnice. Toto tření je větší než tření mezi vnitřním povrchem trubky a leštěnými válečky strojku. Tendence k tečení je tedy na vnitřním povrchu a trubka se prodlužuje na vnitřní straně.

Během periody válcování stoupá radiální namáhání (pnutí) v materiálu trubky a v materiálu obklopující trubkovnice. Pružná napětí vznikají i ve stěně otvoru trubkovnice. Trubka je tlačena na stěny otvoru, které tlačí na trubku napětím opačného směru. Vše je vidět na obr. 8.



Obr. 8 Pružná napětí zaválcované trubky [12]

2 SPOJE [3], [4], [10], [12], [14], [15]

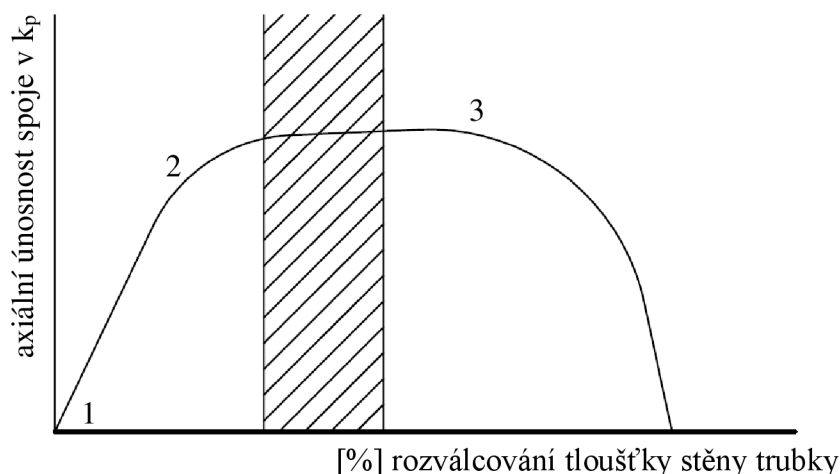
Rozválcováním trubky v otvoru trubkovnice nám vznikne spoj. Kvalita a těsnost spoje závisí na zručnosti a schopnosti obsluhy válcovacího stroje.

Důležitým faktorem v jakosti spoje je správná volba trubky. Výběrem trubky ze špatného materiálu nedosáhneme požadovaného rozválcování a spoj nebude těsnit. Při zvolení špatného průměru dojde k nedoválcování nebo převálcování. Od průměru trubky a průměru otvoru se také odvíjí volba spoje. V případech, kdy spoj bude speciálně namáhán nebo vystaven agresivnímu prostředí, musejí být spoje konstrukčně upraveny.

2.1 Charakteristika válcového spoje [3], [4], [12], [14], [15]

Pokud v zaválcované části trubky dochází v celém průřezu k plastické deformaci a v trubkovnici dochází k pružnému napětí, vzniká nejdokonalejší zaválcovaný spoj. V praxi s ohledem na výrobní tolerance trubky není toto prakticky možné. Zaválcovací síla se tedy volí menší. Plastická deformace pak vzniká v části trubky blíže k válečkům strojku. V menší části povrchu trubky zůstává materiál ve stavu na mezi kluzu nebo na mezi pružnosti. V případě velké zaválcovací síly se materiál trubkovnice plasticky zdeformuje a dochází k převálcování.

Závislost procenta rozválcování tloušťky stěny trubky na axiální únosnosti spoje je znázorněna na obr. 9.



Obr. 9 Závislost procenta rozválcování tloušťky stěny trubky na axiální únosnosti spoje [12]

V úseku křivky (1-2) se lineárně zvyšuje procento rozválcování tloušťky stěny trubky s axiální únosností spoje. V úseku (2-3) se pouze mírně zvyšuje axiální pevnost spoje i přes další zvětšování intenzity zaválcování.

V kritickém bodě (3) je vlivem příliš intenzivního tváření překročena mez pružnosti materiálu trubkovnice, ze kterého zmizela pružná pnutí. Činností zaválcovacího strojku se začne otvor zvětšovat a odstraní se i pružná napětí. Zaválcovaný spoj je převálcován.

Ve skutečnosti na dosažení ideálního přílnavého spojení má vliv několik okolností, které musejí být při zaválcování zohledněny.

V prvé řadě platí podmínka, že tvrdost trubek má být alespoň o 10 H_B menší než stěny trubkovnice, nebo pevnost o 2,5 až 3 kg/mm² menší. Nedodržení této podmínky má značný vliv na jakost spoje a nedoporučuje se takový spoj namáhat na vysoký tlak a teplotu.

Druhou podmínkou jakosti spoje je poměr tloušťky trubkovnice a průměru trubky. V praxi je potvrzen vzorec:

$$t = \geq \frac{d_T}{8} + 5 \text{ mm} \quad (2.1)$$

kde: t - minimální tloušťka trubkovnice [mm]

d_T - vnější průměr trubky [mm]

Pro jakostní zaválcování napevno je důležité znát vzájemnou souvislost tlaků na trn a rychlosti otáček strojku. Prakticky stejného rozválcování dosáhneme dvěma způsoby.

- Zvýšením tlaku při menším počtu otáček
Zvýšení tlaku zajišťuje zrychlení průběhu technologie zaválcování trubky. Na stěnu otvoru trubkovnice působí nástroj větším tlakem. Stěna trubky je ale méně dotčena.
Tento poznatek se uplatňuje i u některých zvláštních typů spojů. Materiál trubky a trubkovnice jsou skoro shodné. Zvětšením tlaku na trn přivádíme stěnu otvoru k plastické deformaci. Zrychlením průběhu zaválcování se tato deformace omezuje jen na tenkou vnější vrstvu a do hloubky zůstává deformace pružná.
- Snížením tlaku při zvýšeném počtu otáček
Snížení tlaku způsobuje zpomalení průběhu technologie zaválcování trubky. Menší tlak na trn a rychlejší otáčky způsobují delší kusový čas. Při stejném stupni rozšíření trubky (jako při prvním způsobu) se získá její důkladnější přetvoření při menším vlivu na trubkovnici.
Tento poznatek se uplatňuje v podmínkách dostatečných rozdílů pevnosti materiálů a menších tloušťek stěn zaválcovaných trubek.

Zaválcování trubky napevno je úspěšné jen při plynulých otáčkách strojku za postupného stoupání trnu na válečky.

Stanovení síly pro zaválcování trubky vychází z přetvoření tloušťky stěny trubky, které se pohybuje v rozmezí 7 až 13 %.

Toto procento závisí na průměru trubky, jakosti materiálu trubky a trubkovnice, tloušťce stěny trubky, délce zaválcovaného spoje, tlaku a teplotě, za nichž spoje pracují. Tato hodnota je známá z praxe a je brána s ohledem na vlastnosti typu materiálu.

Z praxe byla obecně stanovena doporučená procenta rozválcování trubky z různých materiálů. Vždy je důležité provést konkrétní zkoušky. Procento rozválcování je stanoveno pro obě tloušťky stěny trubky. Procenta rozválcování můžeme vidět v tabulce 2.

Tab. 1 Procenta rozválcování u základních materiálů (obecně) [14]

Materiál trubky	Procento rozválcování %
Hliník a jeho slitiny	6 – 9
Mosaz – měď	8 – 10
Uhlíková ocel pro tlaky do 2,5 MPa	9 – 10
Uhlíková ocel pro vysoké tlaky	10 – 12,5
Nízkolegované oceli	10 – 12,5
Vysokolegované oceli	10 – 12,5

Optimální světlost průměru trubky v místě zaválcování můžeme stanovit dvěma způsoby. Obecným výpočtem nebo pomocí empirického vztahu. Na ukázkou si uvedeme příklad.

- **Známe:**
Skutečný průměr vyvrtaného otvoru byl naměřen $\varnothing D = 51,6 \text{ mm}$. Do tohoto otvoru máme zaválcovat trubku s vnějším průměrem $\varnothing d_T = 51 \text{ mm}$ o tloušťce $s = 3 \text{ mm}$. Rozválcování je 10 %.

- **Postup:**
Měření rozválcování přímo na stěně trubky je značně obtížné, a tím i nepřesné. Proto se procento rozválcování nejčastěji kontroluje odečítáním od skutečného průměru vyvrtaného otvoru.

Od skutečného průměru vyvrtaného otvoru odečteme dvě tloušťky stěny trubky. Získáme tak velikost světlosti trubky za předpokladu, že při zaválcování trubka dosedla na stěny otvoru. Dále připočteme procento rozválcování tloušťky stěny trubky.

- **Obecný výpočet:**

$$\varnothing d = (\varnothing D - 2 \cdot s) + (2 \cdot s \cdot 10 \%) = (51,6 - 2 \cdot 3) + (2 \cdot 3 \cdot 0,1) = 46,2$$

- **Empirický vztah:**

$$d = D - 2 \cdot s \cdot \left(1 - \frac{z}{100}\right) \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

kde: d – světlost (vnitřní průměr) trubky po zaválcování [mm]

D – skutečný průměr vyvrtaného otvoru [mm]

s – tloušťka stěny trubky [mm]

z – procento rozválcování [%]

- **Odpověď:**

Po správném rozválcování bude tedy naměřena světlost trubky v místě zaválcování 46,2 mm.

2.2 Druhy spojů [4], [10], [12], [14], [15]

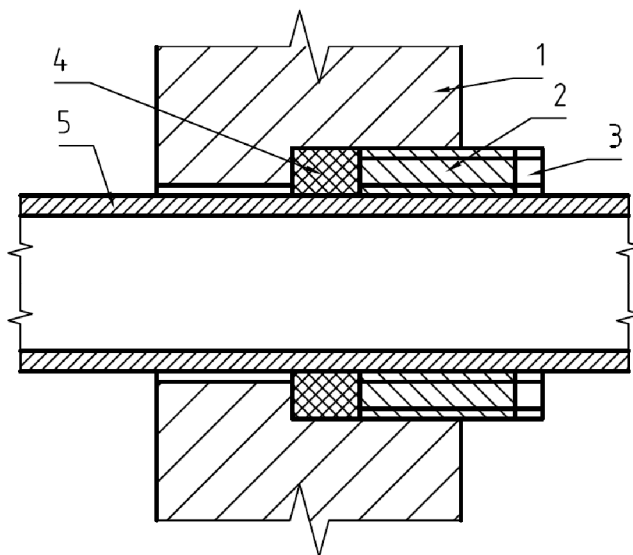
Máme několik druhů spojů. Závitové spoje využívané hlavně v minulosti. Zatrněné spoje používané v případě malých průměrů děr a trubek. Spoje s rozpěrnými kroužky v případě opravy netěsnosti. Nejčastěji používané jsou spoje svařované nebo kombinované (zaválcované a svařované). Druh spoje volíme v závislosti na prostředí, kterému bude spoj vystaven. Hlavním faktorem je také médium, které bude skrze trubky proudit.

2.2.1 Závitové spoje [4], [12], [14], [15]

Spojení trubky s trubkovnicí na závit se kromě zcela speciálních případů vůbec nepožívá. Tímto způsobem se upevňují tzv. kotevní trubky u kotlů a zařízení s rovnými čely, jako jsou lodní kotle nebo kotle na odpadní teplo. Otvor i trubka mají obvykle závit s deseti chody na jeden anglický palec. Závit je průběžný na obou koncích. Trubky bývají zesíleny buď celé, nebo jen na koncích. Po pevném zatažení je trubka těsně zaválcována, popřípadě olemována a přituzena.

Nebezpečí vzniká u některých zařízeních, kde plášť nádoby je z plechu a trubky z mosazi nebo jiného materiálu s podstatně větším součinitelem roztažnosti. Trubka se vlivem pnutí prohne nebo uvolní ve spoji s trubkovnicí. Značným rozdílem teplot stěn trubek proti teplotě pláště může vzniknout stejná závada. Použitím speciálního šroubového spoje lze zabránit prohnutí trubky nebo jejímu vytržení ze spoje s trubkovnicí. Takový spoj při zachování těsnosti umožňuje axiální posunutí trubky ve spoji.

V trubkovnici (1) je vyřezán závit (2), který má na svém konci zápich 6 až 10 mm a hloubky asi 5 mm. Po uložení trubky (5) do otvoru se na trubku nasadí těsnicí kroužek (4), který se maticí se zářezy (3) vtláčí do místa zápichu. Dalším přitážením matice se těsnicí kroužek napěchuje mezi trubku a trubkovnici a tím je spoj utěsněn. Materiál těsnění se volí podle teploty. U kondenzátorů se jako těsnění používají pryžové kroužky. Nejčastěji se utěsnění s uvedeným spojem používá tak, že jeden konec trubky je pevně zakotven v trubkovnici zaválcováním a druhý konec je utěsněn podle obr. 10.



Obr. 10 Spoj na závit [12]

(1) trubkovnice, (2) závit, (3) matice, (4) těsnicí kroužek, (5) trubka

Nevýhodou závitových spojů je prostor mezi závity. V agresivním prostředí může být zdrojem koroze. To je zvláště nevhodné pro výměníky tepla v chemickém průmyslu. Velmi nákladné a výrobu sťažující je také řezání závitu jak na trubkách, tak v trubkovnicích.

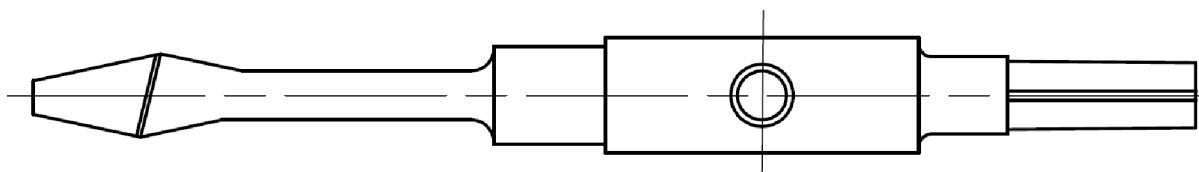
2.2.2 Zatrněné spoje [4], [12], [14], [15]

K upevňování trubek hlavně malých průměrů lze používat tzv. trnění (rozrážení). Válcovací strojek by byl v tomto případě moc malý a nevyvinul by dostatečný tlak. Otvory v trubkovnici jsou vrtány s minimální vůlí. První zatrnění se provede kuželovitým trnem s kuželovitostí 1:50, který se uvolňuje oklepem ze strany. Pro druhé trnění se použije trn s kulíčkovým koncem. Trn je upnutý do pneumatického kladiva s vibrací při zpětném tahu, anebo do kladiva ručního, při kterém je trn vytahován zpět pomocí šroubového přípravku.

Doporučuje se používat pro jednu velikost trubky tři trny. Velikost je odstupňována po 0,15 mm vzhledem k různým tolerancím trubek a otvorů. Trn je potřeba mazat. Vhodným mazacím prostředkem je chlorovaný olej nebo olej s přísadou sirníku molybdeničitého. Pro zvýšení trnu se jeho hlavice chromuje, popř. se zhotovuje vložka ze slinutých karbidů.

Výhodou trněných spojů je rychlost zpevnování materiálu. Axiální tok materiálu je značně větší než u zaválcování.

Mezi nevýhody trněných spojů patří průhyb trubky. Osové prodloužení trubky je větší, takže často nastává u trubek zatrněných na obou koncích značný průhyb. Zatrněním nejdříve na jedné straně a poté na druhé se dosáhne menšího průhybu. Při trnění druhé strany se osvědčilo malé umělé prodloužení trubky způsobené nahřátím až do zatrnění. Nahřátá trubka se po zatrnění prodloužením prohnula a po zchlazení srovnala.



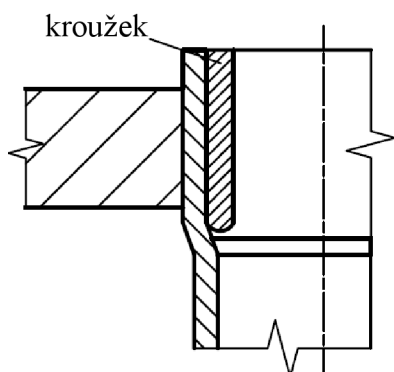
Obr. 11 Trn [12]

2.2.3 Spoje s rozpěrnými kroužky [4], [12], [15]

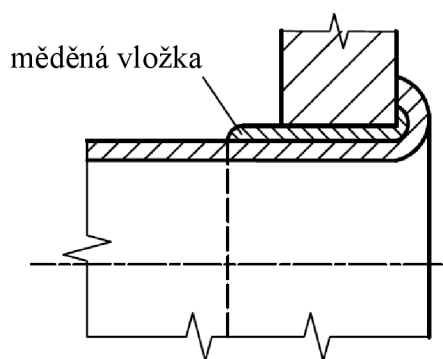
Výstužných kroužků vložených do spoje se využívá v případě opravy netěsných spojů a trubek s menší tloušťkou stěn. Pružící síla trubky není dostatečná k dosažení žádané těsnosti. Kroužky jsou zhotoveny z trubky nejbližších menších rozměrů, viz obr. 12. Šířka kroužku je 40 -50 mm. Kroužek se vkládá do trubky po zaválcování a je zpevněn přiválcováním. Jeho vnitřní konec je zaoblen, aby nepoškodil trubku. Kroužek je velmi účinný u vychlazovaných spojů.

Spoje podle obr. 13 byly použity při konstrukci lokomotivních kotlů. Zde se dává mezi trubku a trubkovnici měděná vložka tloušťky asi 2 mm. Rozválcovává se současně při válcování trubky.

Tento způsob se v dnešní době už nepoužívá. Nyní se dává přednost zavaření trubky do otvoru.



Obr. 12 Výstužný kroužek [4]



Obr. 13 Spoj s měděnou vložkou [4]

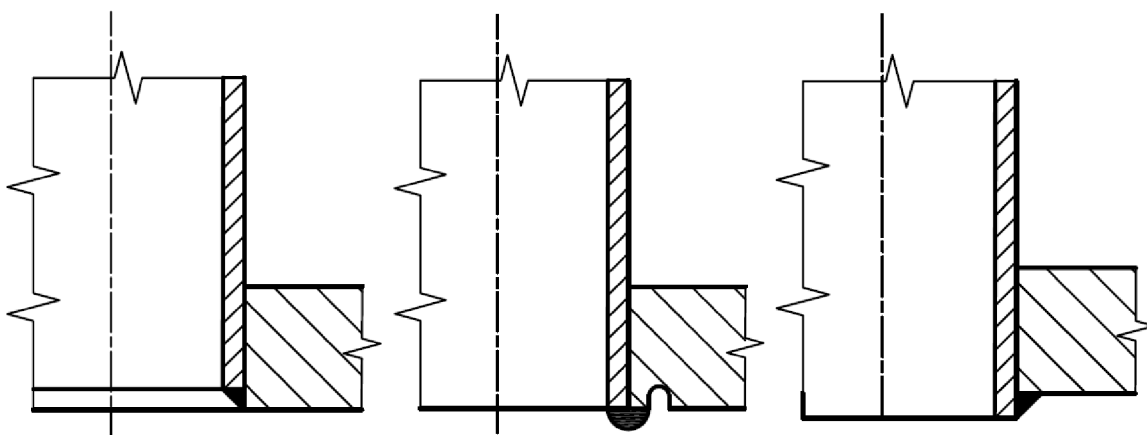
2.2.4 Spoje kombinované (zaválcované a svařované) [4], [10], [12], [14], [15]

Se zvyšováním provozních parametrů vyráběných zařízení (hlavně v chemickém průmyslu) se stále častěji používá spojů svařovaných nebo kombinovaných, tj. svařovaných a zaválcovaných. Svary jsou z konstrukčního hlediska nosné nebo těsnící. Těsnící svary jsou vhodné u spojů kombinovaných, kde pevnostního spoje se dosáhne zaválcováním.

Vhodný typ svarového spoje závisí na:

- a) materiálu spojovaných součástí
- b) způsobu svařování
- c) provozních parametrech daného zařízení

Svařování značně tepelně namáhá materiál spojovaných součástí, v nichž mohou vzniknout trhliny. U ocelí náchylných k praskání se nepříznivý vliv pnutí snižuje odlehčovací drážkou podle obr. 14.



Obr. 14 Odlehčovací drážka [12]

Obr. 15 Vnitřní koutový svar [12]

Obr. 16 Vnější koutový svar [12]

Tento způsob má určité nevýhody. Vyžaduje větší rozteče mezi jednotlivými trubkami a komplikuje a zdražuje přípravu trubkovnice pro svařování. Pro malé rozteče se používají koutové svary podle obr. 15, u nichž se však často vyskytují trhliny ve svarovém kovu. Při ručním svařování obalenými elektrodami se pro malé namáhání používají vnější koutové svary podle obr. 16.

Pro větší mechanické namáhání se zvětšuje výška svaru tím, že se okraj otvoru v trubkovnici zkosí.

Trubky lze vzhledem k otvoru trubkovnice svařovat ve třech polohách:

- a) trubka přečnívá rovinu trubkovnice
- b) trubka je v úrovni trubkovnice
- c) trubka je zapuštěna do otvoru trubkovnice

Pevnost svařeného spoje je větší než pevnost nejlépe zaválcovaného spoje. Oba spoje ale z hlediska pevnosti vyhovují. U svařovaných spojů se trubky často při trhacích zkouškách poruší mimo svar.

U nosných svarů bez zaválcování zbývající části trubky do otvoru trubkovnice musíme počítat s korozí ve svarech.

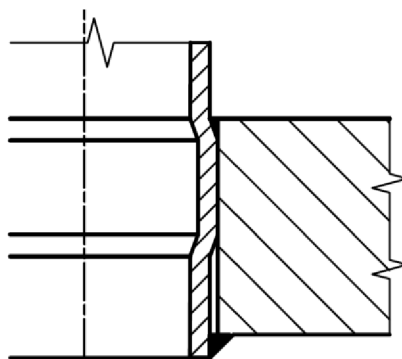
Správně zaválcovaný spoj je dostatečně pevný a těsný při běžném použití. Pracuje-li spoj v korozním prostředí, nebo je namáhán proměnným nebo vibračním namáháním, pevnost i těsnost se zhorší. Nepatrné netěsnosti mohou tedy vzniknout i u dobře zaválcovaného spoje. Vliv agresivního prostředí může pak ohrozit správnou funkci zařízení. V chemickém průmyslu se požaduje, aby byl spoj trubky odolnější a zaručoval dlouhodobý bezporuchový provoz. Využívá se tedy spoj kombinovaný. Jako pojištění dokonalé nepropustnosti je kromě zaválcovaného spoje ještě těsnící svar.

Problémy technologie kombinovaných svarů:

- a) Po zaválcování spoje a po následném svařování se ve většině případů uvolňuje napětí v zaválcovaném spoji.
- b) Pokud spoj svařujeme nejdříve, je nebezpečí, že tvářením se vytvořený těsnící svar utrhne.

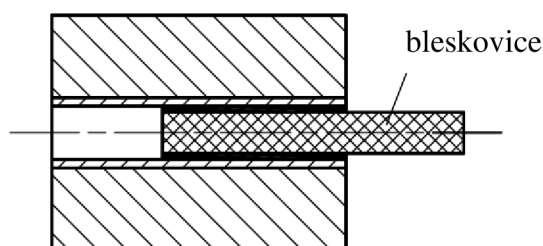
Technologie výroby kombinovaného spoje:

- a) Postup, při kterém se spoj nejdříve lehce zaválcuje. Trubka dosedne na povrch otvoru a následuje svařování. Jak můžeme vidět na obr. 17, spoj je poté převálcován v oblasti mimo svar. V takto zhotoveném spoji vzniká osové napětí. Toto napětí vznikne z důvodu axiálního prodlužování trubky při konečném zaválcování.



Obr. 17 Kombinovaný spoj zaválcovaný a svařený [12]

- b) Další možný postup je vytvoření spoje roztažením trubky do otvoru výbuchem. Po roztažení se spoj svaří. Mezi trubkou a otvorem trubkovnice u takto zhotoveného spoje není nebezpečí koroze. Svar je jak těsnící, tak i nosný. Prostřednictvím technologie tvářením velkou deformační rychlostí se využívá detonační vlny. Pro potřebu ztlumení detonační vlny se mezi trhavinu a stěnu trubky vkládá vrstva. Pro trubky o vnitřním průměru 8 až 10 mm se používá uspořádání nástroje podle obr. 18.



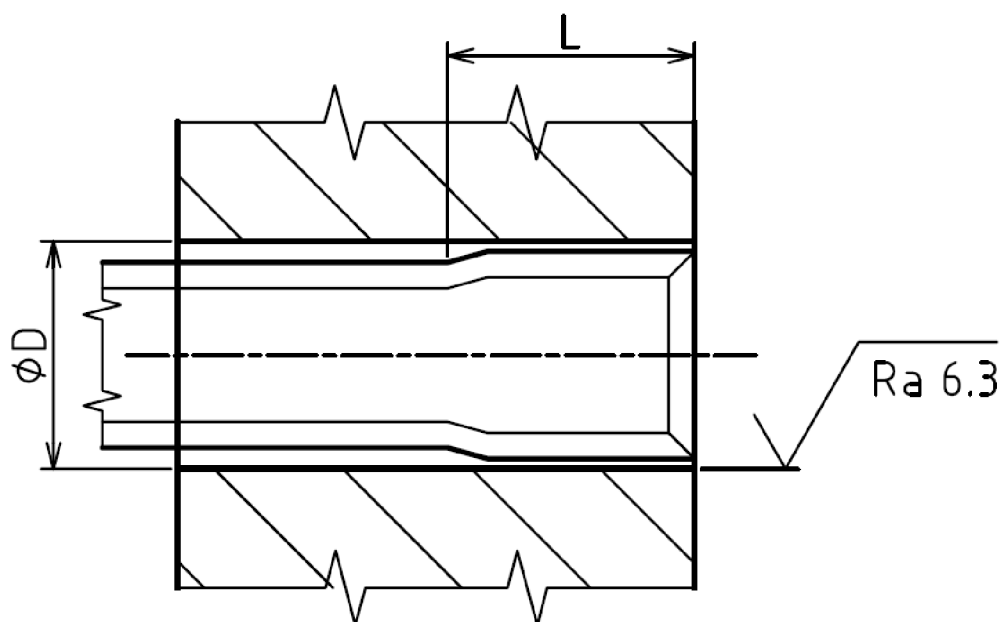
Obr. 18 Upevňování trubek malých průměrů výbuchem [15]

2.3 Konstrukční požadavky spojů [4], [10], [12], [14], [15]

Zaválcování trubek do trubkových čel se používá v mnoha průmyslových odvětvích. Z důvodu vyhovění požadavkům kladeným na kvalitu spoje se otvory pro zaválcování různě upravují.

- Zaválcování kondenzátorů parních turbín a nízkotlakých výměníků tepla:

Otvor je obvykle vyvrtán na drsnost povrchu $6,3 \mu\text{m}$. Délka zaválcovaného spoje v kotlářské praxi nepřesahuje obvykle $L = 40 \text{ mm}$, viz obr. 19. Při zaválcování dlouhých spojů obvyklou technologií by docházelo k nadměrnému tečení materiálu axiálním směrem a k nerovnoměrnému zaválcování v podélném směru.



Obr. 19 Provedení otvorů nízkotlakých zařízení [12]
L – délka zaválcování, D – průměr otvoru v trubkovnici

- Zaválcování zařízení pro chemický průmysl

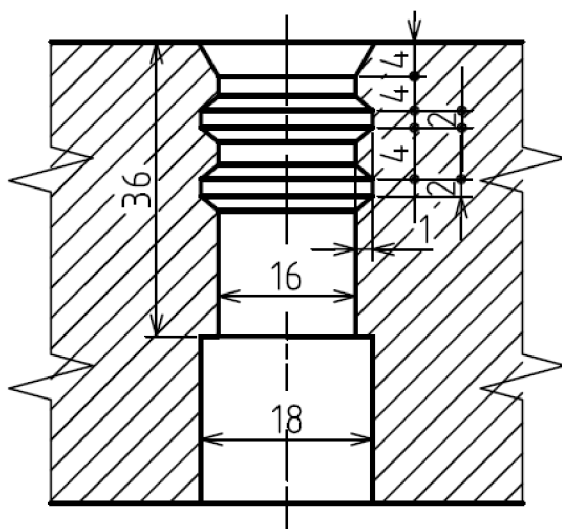
Pokud zaválcování trubky neumožní pevně zaválcovaný spoj, je možno předpokládat, že i úzká spára mezi trubkou a trubkovnicí může být v agresivním prostředí zdrojem koroze trubkového spoje.

Otvor se v trubkovnici odstupňuje, aby délka zaválcování byla jako délka válečků, nebo se trubka zaválcovává po celé délce, což vlastní zaválcování komplikuje.

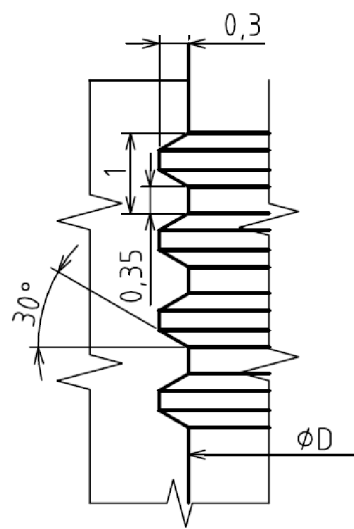
- Zaválcování zařízení pro vysoké tlaky

Spoje, které jsou namáhány vyššími tlaky, mají otvory vyvrtané s drsností povrchu $3,2 \mu\text{m} - 6,3 \mu\text{m}$. Díry jsou opatřeny jednou nebo i několika drážkami, viz obr. 20. Trubka se zajišťuje rozválcováním do drážky v otvoru trubkovnice.

Použití drážky nebo několika drážek umožňuje zvýšit pevnost spoje proti vytržení, ale nepřispívá ke zlepšení těsnosti spoje. Materiál dokonale nevyplní celý profil drážky.



Obr. 20 Provedení otvorů vysokotlakých zařízení [12]



Obr. 21 Uspořádání hřebínkového spoje [12]

- Hřebínkování

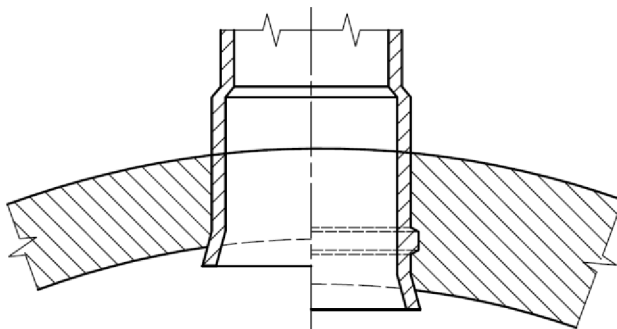
Ke zlepšení těsnosti spoje je výhodné využít technologie hřebínkování. Do otvoru se vyrobí až 7 mělkých drážek vedle sebe ve tvaru hřebínku. Můžete vidět na obr. 21. Hloubka drážek je 0,3 mm.

Zatékání materiálu do drážek je podstatně lepší. Dokonale zaválcovaný hladký spoj s hřebínkem je plně vyhovující. Takoveto spoje plně vyhovují do přetlaku 8 - 10 MPa.

- Spojení kotlové trubky s bubnem

Zvláštním případem velmi namáhaného spoje je spojení kotlové trubky s bubnem, popř. parojemem. Jeho provedení je znázorněno na obr. 22. Tyto spoje pracují při přetlaku 8 - 15 MPa a teplotách 400 – 450 °C. Kromě požadavku absolutní těsnosti musí spoj vydržet i značné axiální namáhání od zavěšených trubkových částí.

Pro zvětšení axiální únosnosti jsou konce trubek těchto spojů rozlemovány pod úhlem 15°. Lemování se provádí speciální zaválcovačkou, nikoli rozrážením. V některých případech je nutno zaválcovat i spoje, jejichž otvory nejsou vrtány v ose tělesa.



Obr. 22 Spojení kotlové trubky s bubnem [12]

Levá strana: méně namáhaný spoj

Pravá strana: axiálně velmi namáhaný spoj – nutnost drážky

2.4 Zvláštnosti spojů [3], [4], [12], [14], [15]

Jedním z problémů zaválcování spojů je zakotvení trubek z tvrdých materiálů v trubkovnicích z měkčího materiálu. Někteří by tvrdili, že spolehlivé zaválcování takového spoje je nemožné. Měkčí materiál ustupuje při zaválcování před tvrdším materiálem trubky. Z praxe ale vyplývá, že takovýto spoj jde utěsnit.

Tvrdość materiálu je určena vnitřními napětími ve struktuře. Tyto vlastnosti se dají upravit tváření. Předvrtaný otvor se převálcuje ještě před nasazením trubky. Přídavek na vyvrtání otvoru se rovná asi 10% tloušťky stěny trubky. Převálcujeme otvor stejným zaválcovacím strojkem, jakým provádíme vlastní zaválcování. Válcujeme s přístrojem s nastavitelnou hodnotou krouticího momentu tak dlouho, až rozválcujeme přídavek. Převálcováním otvoru se tak vytvořilo i napětí v celém okolí. Trubkovnice se vytvrdila a vyztužila.

Za zvláštní můžeme považovat i zaválcované spoje, které pracují za teplot pod bodem mrazu. Bude-li chladnější trubka z materiálu s větší tepelnou roztažností, smrští se více než otvor. Při dosažení určité teploty se samovolně uvolní. Do trubky tedy vložíme kroužek ze stejného materiálu se stejnou roztažností, jako je materiál trubkovnice. Nejdříve zaválcujeme trubku, a potom do ní tenkostěnný kroužek. Za provozu je poté trubka sevřena mezi stěnou otvoru v trubkovnici a vloženým kroužkem.

2.5 Kontrola spojů [1], [4], [12], [14], [15]

Při skončeném zaválcování se prohlédnou všechny spoje a posuzuje se jejich jakost. Jestliže byly dodrženy všechny podmínky přípravy, budou spoje bez závad. Do podmínek patří:

- a) příprava otvorů
- b) příprava konců trubek
- c) správné sestavení
- d) zvolen vhodný nástroj
- e) vhodný pracovní postup

Prohlédnout se musí všechny zaválcované spoje. Závady se mohou objevit důvodem válcovacího pochodu, např. pleny, závalky, zdvojeniny nebo tvorba můstků u trubkovnic. Kontrolování probíhá už během samotného zaválcování, aby se závady odstranily ihned.

Při válcování může docházet k těmto vadám a chybám:

- a) trubka s podélnou nebo příčnou prasklinou
- b) šikmé nasazení trubky do otvoru
- c) válcované místo příliš blízko ohybu
- d) použití válečků s nesprávným výběhem
- e) příliš velkým tlakem na válečky dojde k abnormálnímu ztenčení stěny
- f) použitím strojku s jinými (kratšími) válečky při opravách spojů
- g) nesterjnoměrné zaválcování

Po prohlídce následuje samotná zkouška těsnosti.

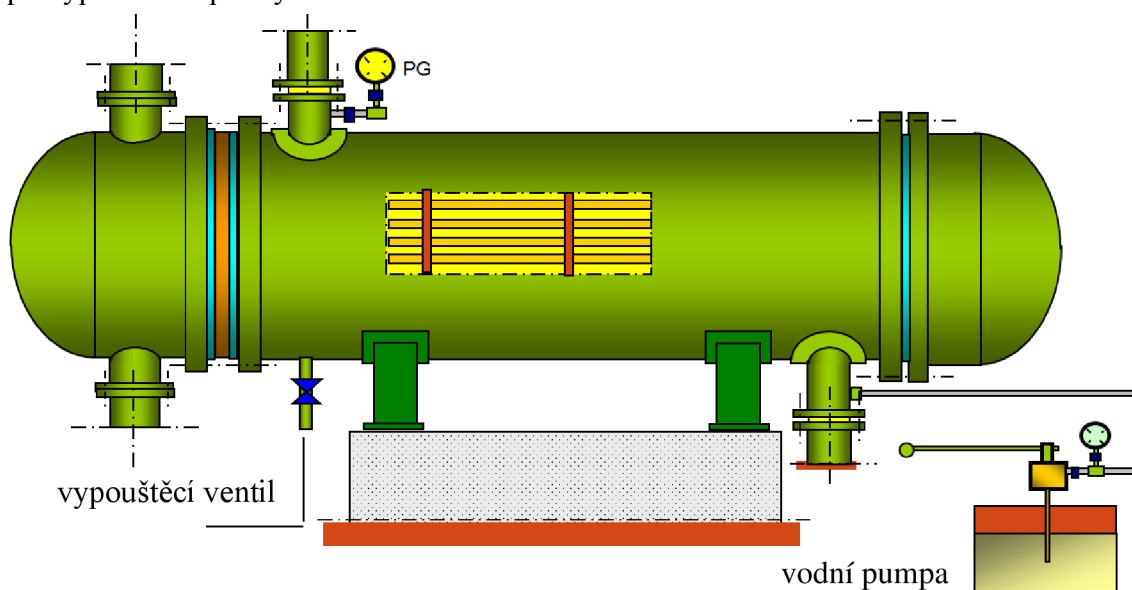
2.5.1 Zkouška tlakem kapaliny [1], [2], [4], [12], [14], [15]

V praxi je tato zkouška nejčastější. Zkouší se obvykle tlakem vody převyšujícím o 50 % vypočtený tlak. Zkouškou se zjišťují především netěsnosti spojů. Pro zlepšení citlivosti zkoušky se přidávají smáčedla na snížení povrchového napětí vody z hodnoty 75 dyn/cm na hodnotu 30 dyn/cm. Přidáním 2 % smáčedel se voda svými vlastnostmi blíží petroleji, jehož povrchové napětí je 25 dyn/cm.

Nevýhodou smáčedel je možnost vzniku koroze, pokud chemické složení smáčedel prostředkem tuto možnost nevyloučí.

Někdy se do vody přidávají látky, které při dopadu ultrafialových paprsků fluoreskují. Nevýhodou tohoto způsobu je větší spotřeba fluoreskující látky (podle obsahu výměníku).

Zkouška tlakem vody má nevýhodu v tom, že při opravě svařovaného netěsného spoje se voda při ohřevu vypaří a pára způsobuje pórovitost a bubliny ve svaru. Opravuje se vždy až po vypuštění kapaliny.



Obr. 23 Zkouška tlakem kapaliny [2]



Obr. 24 Tlaková zkouška výměníku s U-trubkami

2.5.2 Zkoušky tlakem plynu [1], [2], [12], [14], [15]

Používají se zkoušky plynem za nízkého tlaku do 1 MPa. Je potřeba zajistit bezpečnostní opatření. Zkouška sama nemůže při nízkém tlaku objevit všechny netěsnosti, které by byly zjistitelné při vysokém tlaku. Vzhledem k vlastnostem plynu je výrazně citlivější než zkouška kapalinou.

Při zkoušce se povrch trubkovnice pokryje souvislou vrstvou mýdlového roztoku. Netěsnosti se zjišťují vznikem bublin. Zkoušené zařízení lze při menších rozměrech ponořit do vody.

2.5.3 Zkoušky netěsnosti [2], [4], [12], [14], [15], [18]

Netěsnost je charakterizována množstvím plynu v l/s, který proniká porušeným místem. Odčerpáme-li z daného prostoru vzduch, můžeme na citlivém vakuometru zjišťovat porušení vakuu. Z různých vakuometrů jsou vhodné vakuometry citlivé na zkušební plyn. Vakuometry se v běžné praxi málo používají.

V zahraničí se netěsnosti zkoušejí také indikátorem, kdy tlakový prostor je naplněn např. CO₂. Znamé jsou také zkoušky akustické s využitím stetoskopu nebo zkoušky zjišťování netěsnosti pomocí radioaktivních plynů.



Obr. 25 Zkouška netěsnosti [18]

3 PŘÍPRAVA TECHNOLOGIE [3], [12], [14], [15]

Zaválcované spoje vznikají pomocí tření. Zvětšováním tření a odporu proti klouzání dosáhneme lepší pevnosti zaválcovaného spoje. Záporný vliv na těsnost spoje má hrubý povrch stěn. Vodotěsnost spoje zaručuje hladká dotyková plocha. Příčinou netěsností je vrstva třísek hromadící se mezi trubkou a stěnou otvoru. Tyto třísky jsou výstupky na povrchu trubkovnice a při rozválcování se odtrhnou od základního materiálu. Je tedy nutné otvor a konce trubek s co největší přesností připravit.

3.1 Příprava otvoru pro trubky [3], [12], [14], [15]

V případech, kde není potřeba velké těsnosti, stačí otvor vyvrtat. Drsnost povrchu nesmí překročit 50 μm . Na stěně trubkovnice nesmí být šroubovitě rýhy přes celou hloubku otvoru. U nízkotlakých přístrojů, jako jsou například kondenzátory, postačí u otvorů obrobených výhrubníkem drsnost povrchu 12,5 μm . U více namáhaných spojů se drsnost povrchu pohybuje od 3,2 μm do 1,6 μm . Takovéto drsnosti dosáhneme vystružením otvoru.

V zařízení pro vyšší tlaky může mít otvor drsnější povrch. V takovýchto případech je trubka například měděná a trubkovnice ocelová. Při zaválcování kov trubky vyplní nepravidelnost povrchu otvoru. Odpor proti klouzání se zvyšuje a pevnost spoje stoupá.

U zařízení kotelen a rafinerií se tvrdost materiálu trubek blíží tvrdosti materiálu trubkovnice. Vztah mezi trubkou a otvorem je v tomto případě obrácený. Výstupky na stěnách otvoru jsou zatlačovány do kovu trubky. Pro zvýšení pevnosti materiálu se otvory předem rozválcují. Dochází k pevnějšímu spoji. V případě, kdy materiál trubkovnice je měkčí než materiál konce trubky, je předběžné válcování výbornou konečnou úpravou.

Otvory pro trubky jakékoliv velikosti a typu musejí být přesně kruhové. Souvislé vady by v tomto případě umožňovaly pronikání média z jednoho konce spoje na druhý.

Spirálová rýha neprůchozí může být občas tolerována. Takováto rýha je ukončena nejméně 55 mm od kraje otvoru. Netolerována je rýha podélná. Otvory s takovou vadou musí být opraveny přeštroužením a označeny. Konce trubek jsou poté roztaženy na větší průměr. Protože svarový kov má jinou pevnost než základní materiál, nelze otvor navařením opravit.

Na zaválcování trubky má rozhodující vliv mezera mezi trubkou a otvorem. Větší mezera může mít vliv na praskání trubek, zejména švových. Prodlužuje se i čas potřebný pro prvotní roztažení trubky na stěny otvoru. Průměr otvorů se volí větší než průměr trubky o toleranci trubky a součinitele. Tento součinitel zaručuje dobré nasazení a zaválcování trubek. Podle zkušeností lze doporučit tolerance otvorů v tabulce 2.

Vyhotovení drážky nebo jiné úpravy se doporučuje dělat před konečnými úpravami otvoru. Konečným vystružováním se odstraní rýhy vzniklé drážkovacím nástrojem.



Obr. 26 Trubkovnice s otvory



Obr. 27 Otvor v trubkovnici s odlehčovací drážkou

Tab. 2 Doporučené tolerance otvorů [12]

Průměr trubky	Materiál trubky ČSN	Průměr otvoru [mm]	Průměr vrtáku [mm]	Průměr vrtací hlavy [mm]	Průměr výhrubníku [mm]	Průměr výstružníku [mm]	Pro spoj
15	ocel (15 111)	15,3 + 0,2	14		15	15,35	vysokotlaký
20	ocel (15 111)	20,3 + 0,2	19		20	20,35	vysokotlaký
20	Mosaz (42 3239.1)	20,3 + 0,2	19		20,4		nízkotlaký
25	Mosaz (42 3239.1)	25,3 + 0,2	24		25,4		kondenzátoru
38	Ocel (15 111)	38,5 + 0,3	37		38,3	38,65	vysokotlaký
40	Ocel (10 370)	40,5 + 0,5	41				bez tlaku
51	Ocel (12 022)	51,6 + 0,3	49,5		51,7		nízkotlaký
60	Ocel (12 022)	60,8 + 0,4	58		60,65	61,2	vysokotlaký
83	Ocel (15 111)	83,8 + 0,5	25	80	83,65	84,0	vysokotlaký
10	Ocel (12 022)	108,9 + 0,5	25	106	108,7	109,2	vysokotlaký

3.1.1 Vrtání otvorů [3], [5], [6], [7], [12], [14], [20], [21]

Šroubovitými vrtáky, které jsou na obr. 28, je doporučeno vrtat od 2 – 20 mm. Tyto vrtáky mají vysokou produktivitu a jsou za nízké náklady. Posuv na otáčku je až 0,7 mm/ot a řezná rychlost až 220 m/min. Z důvodu povlakování s vysokou tepelnou odolností mají vysokou životnost. Kvalita otvoru je vysoká, není nutné navrtávání.



Obr. 28 Šroubovitý vrták SECO Feedmax [7]

Vrtáky s vyměnitelnou korunkou se používají k vrtání otvorů o průměru přibližně 10 - 26 mm. Nízké náklady na řeznou hranu umožňují vysoké řezné rychlosti. Máme různé geometrie korunek pro optimalizované řezné podmínky. Korunky mají dlouhou vodící plošku, tudíž vynikající vedení. Není nutné navrtávání. Na vrtácích se vyměňuje pouze korunka. Z tohoto důvodu mají vrtáky dlouhou životnost a žádné náklady na přebrušování.



Obr. 29 Vrták M&V DORMER [21]



Obr. 30 Vrták SECO Crownloc® Plus [20]

Pro otvory o průměru 15 - 85 mm se používají vrtáky s vyměnitelnými destičkami. Silné destičky mají čtyři řezné hrany a jsou dostupné v několika materiálových třídách. Vysoká tuhost tělesa vrtáku a povlak na tělese vrtáku poskytují vynikající produktivitu, viz obr. 31.

Pro větší otvory se používají hrubovací vyvrtávací hlavy. Je nutné předvrtání otvoru menšího průměru. Je možné využití plného výkonu destičky vzhledem k tomu, že držák destiček je opřen během obrábění celou svou plochou o těleso vyvrtávací. Široká řada materiálových tříd destiček pro všechny typy materiálů.



Obr. 31 Vrtací hlava SECO Perfomax® [6]



Obr. 32 Hrubovací vyvrtávací hlava SECO EPB 610 [5]

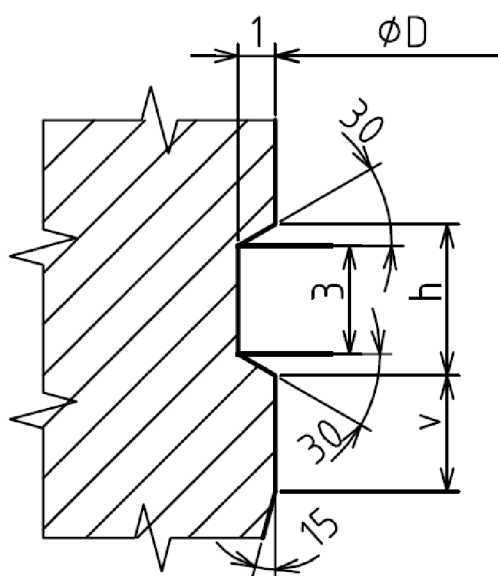
Volba vrtáků a jejich vlastností je vždy zvolena pro konkrétní vrtání. Zde jsem uvedl příklad vrtáků od firmy Seco Tools CZ s.r.o. Jiné firmy doporučují své vrtáky na trochu odlišné průměry.

3.1.2 Drážkování otvorů [3], [12], [14], [15], [17]

U spojů namáhaných hlavně na tah a tlak se otvor drážkuje. Drážkování také používáme u trubek namáhaných na tepelné změny střídavě oběma směry v podélném směru. Šířka, tvar a hloubka drážek musejí být jednotné s ohledem na průměr otvoru nebo tloušťku materiálu. Doporučené rozměry drážek a detail provedení znázorňuje obr. 33. Drážka se základnou 4 mm se všeobecně používá pro kotlové bubny. Minimální vzdálenost drážky od okraje otvoru, a tím i šířka válcové plochy otvoru, nesmí nikdy být menší než 7 mm. Tím je také určena hranice tloušťky plechu vhodného pro drážkování.

Drážka má tvar lichoběžníku, který má širší základnu do otvoru. Boční strany svírají úhel 30° do maximální hloubky 1 mm. Tvar drážky zajišťuje vtlačení materiálu do drážky. Při namáhání na vytržení šikmé plochy přebírají značnou část síly.

Trubkovnice větších tloušťek musí být zásadně drážkovány. Přetvářený materiál trubky se prodlužuje jak ve směru radiálním, tak ve směru axiálním. Zpracovaný materiál tedy ustupuje do drážky a vyplňuje ji. V případě drážkovaných otvorů probíhá válcování mnohem lehčeji. Strojek je méně namáhán a napětí je stejnoměrněji rozloženo.



Šířka drážky u sběrných komor apd.:

- pro $t < 22$; $h = 2 \text{ mm}$
- pro $t = 22$ až 26 ; $h = 3 \text{ mm}$
- pro $t > 26$; $h = 4 \text{ mm}$

Šířka drážky u bubnů všeobecně:

$$h = 4 \text{ mm}$$

Okrajová vzdálenost v :

- pro $t < 25$; $v = \frac{t-5}{2}$; min 7
- pro $t \geq 25$; $v = 10$

Obr. 33 Detail drážky [3]

V případě, kde na válcované spoje působí váha celého trubkového systému, se používá spoj s drážkou a nosným lemem. Takový spoj najdeme u vysokotlakých kotlů.

Spoj s větším počtem drážek se používá v konstrukci některých aparátů pro chemická zařízení, aparátů na zpracování ropy a aparátů pracujících za zvlášť nepříznivých tepelných poměrů. Trubky jsou zasazovány s určitým předpětím.



Obr. 34 Drážkovací nástroj SUGINO GT 102 [17]

3.2 Úprava konců trubek [3], [10], [12], [14], [15]

Pro správné zaválcování je také potřeba věnovat se úpravě konců trubek. Před nasazením trubek do otvorů se doporučuje každý konec zkontrolovat. Trubka nesmí mít dutiny, trhliny ani pleny. Podélné rýhy nesmí ztenčovat stěnu o více jak 0,1 mm její tloušťky. Trubky s trhlínami se vyřadí. Trubky dodávané z hutí mají předepsané určité tolerance a musí vyhovovat podmínkám příslušných norem. Nedodržení těchto tolerancí má nepříznivý vliv na jakost spoje. Konce, určené k zaválcování, se nesmějí řezat plamenem. Na hraně nesmějí zůstat vruby, které by mohly způsobit tvoření trhlin při zaválcování. Máme několik druhů úprav konců trubek.

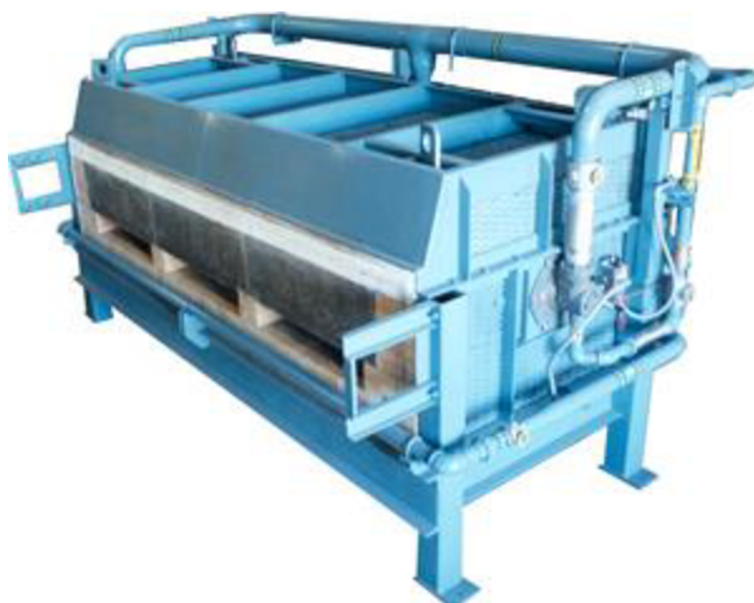
3.2.1 Žihání trubek [3], [11], [12]

Konce trubek určené k zaválcování je třeba žihat vždy, kdy jde o tlakový spoj. Nedoporučuje se žihat trubky na montážních pracovištích, která nejsou vybavena řádným zařízením. Například kontrolními přístroji na měření teplot.

Žihání na měkko se provádí vyhřátím konce trubky v délce rovnající se dvěma délkám válcovaného spoje. Poté se pozvolna ochlazuje. Trubky z ocelí uhlíkových a ušlechtilých třídy 11 a 12 se rovnoměrně zahřívají na teplotu 680 až 720 °C. Pro kontrolu teploty stačí pozorovat zbarvení trubky do hnědočervena. Ochlazování probíhá v suchém popelu nebo v ovzduší. Není vhodné žihat trubky v zimě na volném pracovišti ve větru a dešti nebo za sněžení. U legovaných materiálů třídy 15 je potřeba zůstat na teplotě minimálně 10 minut. Čas, který je nutno setrvat na teplotě ohřevu, se dá přibližně stanovit $t [\text{min}] = \text{tloušťka stěny trubky} [\text{mm}] \times 4$. Teplota je stanovena v materiálových listech.

K žihání je nejlepší používat tepelný zdroj s nepřímým přístupem vzduchu a paliva s nejmenším obsahem síry. Zabraňuje se tak nadměrnému tvoření okují. Nejméně vhodným je kamenné uhlí a koks. Nejvhodnějším palivem na žihání pro ohřev je dřevěné uhlí, dřevo nebo plynové pece. Hořák těchto pecí musí být seřízen tak, aby byl plamen neutrální. Na obr. 35 máme komorovou plynovou pec, která se dá využít i na žihání trubek.

V době mezi vyžiháním a zaválcováním nesmí uběhnout doba delší než dva měsíce. V materiálu by došlo k rekrytalizaci a návratu k původním hodnotám mechanických vlastností.



Obr. 35 Komorová plynová pec [11]

3.2.2 Čištění konců trubek [3], [8], [10], [12], [14], [15]

Po vyžhání konců trubek je nutno očistit vnitřek trubky. Čistí se drátěným rotujícím kartáčem uchyceným v pneumatické nebo elektrické ruční nebo strojní brusce. Čištění probíhá v délce rovnající se 1,5 násobku délky válcovaného spoje. Při žhání vznikají uvnitř trubek okuje. Při zaválcování by se vmačkávaly do materiálu trubky a ničily by válečky zaválcovacího strojeku. Životnost takového strojeku značně klesá.



Obr. 36 Mechanické čištění trubek strojkem RIGID [8]

Vnější povrch konců trubek se čistí na čistý kov. Délka začištění je dvojnásobek délky zaválcovaného spoje. Mastnota a rez způsobují mezivrstvu mezi povrchem trubky a stěnou trubkovnice. Tyto nečistoty jsou častou příčinou netěsnosti spoje.

Z důvodu pracnosti čištění trubek je výhodný přístroj, který brousí oba konce najednou. Dlouhý stojan, na němž jsou umístěny na každé straně pneumatické brusky. Trubka je vložena mezi kotouč a podpěrnou kladku. Obě brusky se vzhledem k ose pohybují tak, aby trubku zároveň držely proti vyskočení. Pracovník, stojící uprostřed, pohybuje trubkou. Tím jsou čištěny oba konce.

Dalším vhodným zařízením na očištění trubek jsou přenosné otryskávače. Ty se napojují na potrubí stlačeného vzduchu. Otryskávač se skládá ze svařované skříně obsahující několik trysek. Tyto trysky pracují na principu injektoru. Vznikajícím podtlakem v tryskách nasávají ocelovou drť, která je ve spodní části skříně.

Pro vysokotlaké spoje se konce trubek po žhání a očištění ještě kalibrují.

3.2.3 Obecné zásady pro úpravu trubek před zaválcováním [3], [10], [12], [14], [15]

- Drsnost očištěného konce by neměla přesahovat hodnoty 12,5 μm . Jestliže chceme, aby spoj trubky s trubkovnicí co nejvíce těsnil, musí být povrch trubky co nejhladší.
- Lehké přesmirkování je doporučeno u vysokotlakých spojů. Provádí se těsně před vložením do trubkovnic. Tím je dosaženo naprosté čistoty.
- Na očištěném konci nesmějí být podélné rýhy.
- Konce trubek musí být zarovnané.
- V případě navaření konců trubek musí být svar umístěn za trubkovnicí ve vzdálenosti rovnající se průměru trubky + max. 50 mm. Toto pravidlo platí také pro jakékoliv ohyby na trubce.

4 ZAVÁLCOVACÍ STROJKY [4], [12], [15], [16]

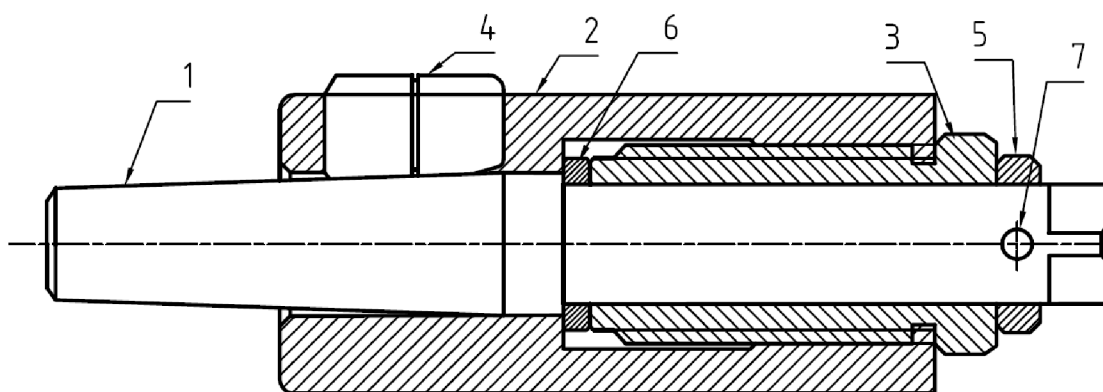
Pro zaválcování trubek do trubkových čel (trubkovnic) používáme zaválcovacích strojků, zkráceně nazývaných zaválcovačky. Tyto strojky rozdělujeme podle konstrukčního zpracování. Zaválcovačky šroubové, posuvné a s nastavitelným zaválcováním. Ve všech skupinách se vyskytují druhy pro válcování ruční nebo strojní.

4.1 Zaválcovačky šroubové [4], [12], [14]

Válcovací strojky se šroubovým ústrojím pro posuv kuželovitého trnu mezi válečky byly používány hlavně v minulosti. V dnešní době se tento typ zaválcovaček používá minimálně.

Šroubové zaválcovačky jsou složité na výrobu, obtížně se s nimi pracuje a mají zdlouhavý válcový pochod.

Ruční válcové strojky byly užívány pro zachycování trubek před definitivním zaválcováním. Používaly se u spojů, kde bylo potřeba velmi opatrného postupu například u šikmých spojů, tenkých stěn trubek nebo malých můstků mezi otvory. Práce se šroubovou zaválcovačkou je namáhavá a její výsledek závisí na zkušenosti valčíře.



Obr. 37 Šroubová ruční zaválcovačka [12]

- (1) kuželové vřeteno, (2) náboj, (3) tlačný šroub, (4) váleček, (5) omezovací kroužek, (6) bronzový kroužek, (7) kolík

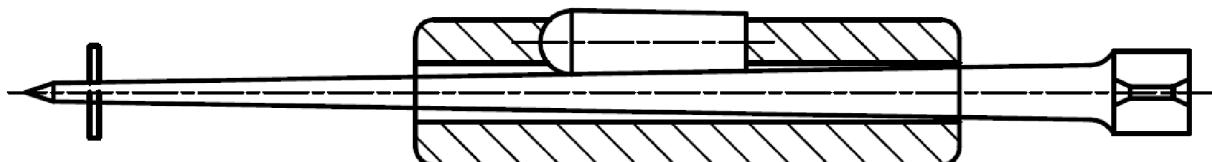
Válcovačka šroubová ruční, viz obr. 37, se skládá z vřetena (1) s kuželovitostí 1:6 až 1:10 (podle velikosti průměru). Vřeteno je osazeno pro tlačnou plochu šroubu a se čtyřhranným unášečem na válcovém konci. Pracovní kuželovitá část je tepelně zpracována na požadovanou tvrdost a obroušena. Náboj (2) se závitovou částí (většinou s plochým závitem) a vybráním pro válečky (4) je zhotoven z požadované oceli a zakalen. Vybrání pro válečky jsou rovnoběžná s osou náboje a musí být jen tak velká, aby válečky nevypadávaly při největším rozpětí. Tlačný šroub (3) má buď šestihran pro klíč, nebo otvory pro utahování ve válcové části. Zpětnému axiálnímu pohybu šroubu zabraňuje kroužek (5) upevněný kolíkem (7). Mezi tlačný konec šroubu a osazení na vřetenu se doporučuje vložit třecí kroužek (6) z tvrdého bronzu. Rozválcování konce trubky se dosáhne otáčením trnu (1), po kterém se odvalují válečky (4). Po několika otáčkách trnem je nutno pootočit šroubem (3), který přes bronzový kroužek (6) vtlačí trn směrem ven z náboje (2).

Válcovačky musí mít po sestavení volný chod válečků v hnízdech tělesa a přesně válcovou plochu válečků dosedajících na vřeteno.

Ruční šroubová válcovačka má být při práci řádně mazána hustým tukem a má být přitahována a otáčena klíči a vratidly přiměřené délky.

4.2 Zaválcovačky samoposuvné [4], [10], [12], [14], [15], [16], [17]

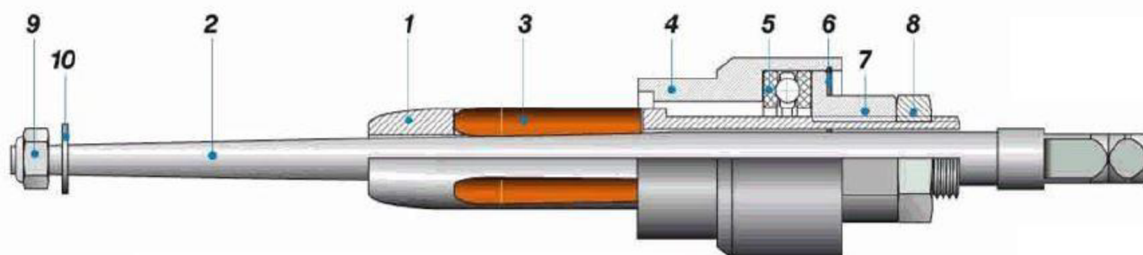
Starší konstrukce je zobrazena na obr. 38. Skládá se ze tří částí. Kuželový trn je nasazen v pouzdře s drážkami pro válečky. Tlakem ruky valcíře se roztáhne konec trubky. Pohonem těchto strojků byl většinou pneumatický nebo mechanický utahovák. Otáčením trnu a axiálním tlakem rukou se trn otáčí vpravo a současně posouvá vpřed. Válečky se odvalují po trnu, unášejí s sebou pouzdro a roztahují trubku do otvoru. Výsledek zaválcování spoje je závislý na zkušenosti valcíře.



Obr. 38 Zaválcovačka samoposuvná [12]

Nové konstrukce válcovacích strojků (obr. 39) mají válečky uloženy šikmo pod úhlem $1,5 - 3^\circ$. Pouzdro (1) válečků (3) se přes axiální ložisko (5) opírá do hlavice (7), která je závitově pevně spojena s opěrkou (4). Opěrka (4) se opírá o trubkové čelo. Šikmé uložení válečků způsobuje, že trubka je ze zařízení vytahována.

U těchto strojků lze povolením utahovací matice (8) přestavit polohu hlavice (7) proti pouzdru (1), a tím nastavit hloubku zaválcování. Vypadnutí trnu (2) ze strojku znemožňuje pojistná podložka (10) a matice (9).



Obr. 39 Nová konstrukce samoposuvných zaválcovaček MAUS R-série [16]
(1) pouzdro, (2) kuželový trn, (3) váleček, (4) opěrka, (5) axiální ložisko, (6) těsnění,
(7) hlavice, (8) utahovací matice, (9) matice, (10) podložka

Vzhledem k různým vzdálenostem místa zaválcování od kraje trubkovnice je potřeba vyrábět zaválcovací strojky s dlouhou klecí se závitem, který umožňuje velký rozsah přestavení (obr. 40).

Mají-li být konce trubek rozlemovány, používají se pro zaválcování samočinné lemovací zaválcovačky trubek podle obr. 41. Trn se vtahuje šikmým uložením válečků. Opírání hlavice v ložisku je v tomto případě zbytečné. Strojek se opře o lemující válečky.



Obr. 40 Zaválcovací strojček s dlouhou klecí [17]



Obr. 41 Samočinná lemovací zaválcovačka [17]

5 ZÁVĚRY

Daná bakalářská práce předkládá soubor základů technologie zaválcování trubek do trubkovic. Nejprve byly zohledněny používané druhy metod, z nichž jak bylo uvedeno, jsou nejpoužívanější metody mechanického a pneumatického zaválcování. Specifikou těchto metod je již od historie práce pracovníka - valcíře. Zaválcovačka, jako nástroj, byla patentována již v roce 1853. Ve svém principu je stále nezměněná. Přibližně od roku 1950 se tato technologie nezměnila. Vývoj této technologie spočívá pouze ve zkvalitňování zaválcovacích strojků. Přestože je tento způsob upevňování trubek nejstarší, je stále nejvíce používaný. Úplné zautomatizování není možné. Stále je zapotřebí člověka, který zaválcovacím strojkem bude postupně díru po díře zaválcovávat. Nevýhodou je, pokud člověk není zručný. Převálcování nebo nesouměrné zaválcování se musí poté opravovat. Takové opravy jsou dosti nákladné. Jak již bylo řečeno, využití průmyslových robotů nebo manipulátorů není v této technologii možné. Zaválcování musí být přesné a velkou roli v správném zaválcování hraje právě lidská zručnost a přesnost. Následně je zohledněno v dané práci, jaké druhy spojů se používají. Moderní a nespolehlivější spoje jsou při zavařování trubek do trubkovic, které se používají pro vysoce namáhané aparáty a tam, kde se jedná o spolehlivé oddělení nebezpečných médií. Také při vyšších teplotách (nad 300°C) se používá svařování. Spoj pouze zaválcovaný nesplňuje podmínku absolutní těsnosti spoje. Uvážíme-li velký počet typů spojů, vysoké požadavky na tvarovou dokonalost a dokonalost z hlediska vnitřních vad, je spolehlivý způsob při použití svařovacího automatu. Tato technologie s sebou samozřejmě přináší i negativní účinky s ohledem na přípravu otvoru v trubkovnici a úpravy konců trubek, které jsou pracné a časově zdlouhavé.

Poněvadž je výroba agregátů, tzn. kondenzátorů, tepelných výměníků a parních kotlů v podmínkách např. chemického průmyslu nezbytná, můžeme říci, že daná technologie se do budoucna bude řadit mezi technologie příštího tisíciletí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BABINEC, František. *Konstrukce výrobních zařízení*. 2. vyd. Brno: VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0416-7.
2. *Floating head heat exchanger: Maintenance* [online prezentace]. SRIVASTAV, Abhishek. 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/mailabhisoon21/floating-head-heat-exchanger-maintenance>
3. HANTYCH, Martin. *Zaválcování trubek: určeno pro pracovníky provozu, mistry, dělníky a montéry*. Praha: UTEIN, 1956. Technické informace. Ř. 4.
4. HANTYCH, Martin. *Zaválcování trubek: určeno pracovníkům kotlárů i tepelných elektrárů*. Praha: UTEIN, 1957. Technické informace. R. 1957. Ř. 10.
5. Hrubovací vyvrtávání. *Seco Tools CZ, s.r.o.* [online]. Brno [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://www.secotools.com/#article/m_7174
6. Modulární vrtací hlavy. *Seco Tools CZ, s.r.o.* [online]. Brno [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://www.secotools.com/#article/m_7170
7. Monolitní karbidové vrtáky. *Seco Tools CZ, s.r.o.* [online]. Brno [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://www.secotools.com/#article/m_7148
8. Odhrotování a čištění trubek. *Ant s.r.o.* [online]. Bratislava [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://ridgidtools.cz/ridgid-stroj-na-delenie-odhrotovanie-a-cistenie-rur>
9. Pneumatické zaválcovačky. *UNIT PLUS s.r.o.* [online]. Plzeň, c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.unitplus.cz/pneumaticke-zavalcovacky-pz-400>
10. SCHNEIDER, Petr. *Základy konstruování procesních zařízení*. Brno: PC-DIR Real, 1999. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1483-9.
11. Slot. *ARMIL C.F.S., Inc.* [online]. South Holland, c2016 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.armilcfs.com/slot/>
12. SMRČKA, Karel a Zdeněk KOVÁŘ. *Zaválcování trubek*. Praha: SNTL, 1966. Knižnice strojírenské výroby.
13. Stroje a nástroje pro opravy chladičů a výměníků. *Hala-welding.cz s.r.o.* [online]. Ústí nad Labem: hala-welding.cz, 2011 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.hala-welding.cz/file.php?nid=5135&oid=2374646>
14. ŠTRONER, Marek. *Technologie zaválcování trubek I.,II.: Spojení materiálů procesních zařízení*. Brno, 2007. Dostupné také z: http://ustbr.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/hne__nekonvencni_technologie__zavalcovani%20trubek__stroner.ppt

15. Technologie zaválcování trubek. *Odbor technologie tváření kovů a palstů* [online]. Brno: Nakladatelství VUT BRno, c2005 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/nekonvencni_technologie__cviceni_1__stroner.pdf
16. Tube expanders. *Maus Italia s.p.a.* [online]. Bagnolo Cremasco: Maus Italia F. Agostino, c2010 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.mausitalia.it/catalogs/b1f3bf36d858c0a75349ba1ad2e4c226.pdf>
17. Tube Expanders & Accessories. *Sugino Machine Limited* [online]. Tokyo, c2009 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://sugino.cz/pdf/Sugino%20TUBE%20Expanders%20L3235E.pdf>
18. Tube Leak Detector Kit. *Subzero Tube Tools Pvt Ltd* [online]. Mumbai [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.subzerotubetools.com/tube-installation-tools.html>
19. VEJVODA, Stanislav. *Stavba procesních zařízení: hodnocení odolnosti materiálů tlakových nádob proti jejich poškození v provozních podmínkách*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-214-2302-1.
20. Vrtáky s vyměnitelnými korunkami. *Seco Tools CZ, s.r.o.* [online]. Brno [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://www.secotools.com/#article/m_7164
21. Vysoce výkonné vrtáky s výměnnou vrtací hlavou. *Pramet Tools, s.r.o.* [online]. Šumperk [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.dormerpramet.com/downloads/hydra_cz.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
d	Světlost (vnitřní průměr) trubky po zaválcování	[mm]
d_T	Vnější průměr trubky	[mm]
D	Skutečný průměr vyvrtaného otvoru v trubkovnici	[mm]
h	Šířka drážky	[mm]
L	Délka zaválcování	[mm]
S	Tloušťka trubky	[mm]
t	Minimální tloušťka trubkovnice	[mm]
v	Okrajová vzdálenost	[mm]
z	Procento zaválcování	[%]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Výměníky tepla s trubkovnicemi	9
Obr. 2 Zaválcování výbuchem.....	10
Obr. 3 Hydraulické zaválcování.....	11
Obr. 4 Hydraulická zaválcovačka ASG-35 Sugino.....	11
Obr. 5 Pneumatická zaválcovačka PZ 400 UNiT PLUS.....	12
Obr. 6 Pneumatická zaválcovačka D-720-1800.....	12
Obr. 7 Postup mechanického zaválcování.....	13
Obr. 8 Pružná napětí zaválcované trubky.....	14
Obr. 9 Závislost procenta rozválcování tloušťky stěny trubky na axiální únosnosti spoje.....	15
Obr. 10 Spoj na závit.....	18
Obr. 11 Trn.....	19
Obr. 12 Výztužný kroužek.....	19
Obr. 13 Spoj s měděnou vložkou.....	19
Obr. 14 Odlehčovací drážka.....	20
Obr. 15 Vnitřní koutový svar	20
Obr. 16 Vnější koutový svar.....	20
Obr. 17 Kombinovaný spoj zaválcovaný a svařený.....	21
Obr. 18 Upevňování trubek malých průměrů výbuchem.....	21
Obr. 19 Provedení otvorů nízkotlakých zařízení.....	22
Obr. 20 Provedení otvorů vysokotlakých zařízení.....	23
Obr. 21 Uspořádání hřebínkového spoje.....	23
Obr. 22 Spojení kotlové trubky s bubnem Levá strana: méně namáhaný spoj.....	23
Obr. 23 Zkouška tlakem kapaliny.....	25
Obr. 24 Tlaková zkouška výměníku s U-trubkami.....	25
Obr. 25 Zkouška netěsnosti.....	26
Obr. 26 Trubkovnice s otvory.....	27
Obr. 27 Otvor v trubkovnici s odlehčovací drážkou.....	27
Obr. 28 Šroubovité vrták SECO Feedmax.....	28
Obr. 29 Vrták M&V DORMERObr.....	29
Obr. 30 Vrták SECO Crownloc® Plus.....	29
Obr. 31 Vrtací hlava SECO Perfomax®.....	29
Obr. 32 Hrubovací vyvrtávací hlava SECO EPB 610.....	29
Obr. 33 Detail drážky.....	30
Obr. 34 Drážkovací nástroj SUGINO GT 102.....	30
Obr. 35 Komorová plynová pec.....	31
Obr. 36 Mechanické čištění trubek strojkem RIGID.....	32
Obr. 37 Šroubová ruční zaválcovačka.....	33
Obr. 38 Zaválcovačka samoposuvná.....	34
Obr. 39 Nová konstrukce samoposuvných zaválcovaček MAUS R-série.....	34
Obr. 40 Zaválcovací strojek s dlouhou klecí.....	34
Obr. 41 Samočinná lemovací zaválcovačka.....	34

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Procenta rozválcování u základních materiálů (obecně)	17
Tab. 2 Doporučené tolerance otvorů.....	28