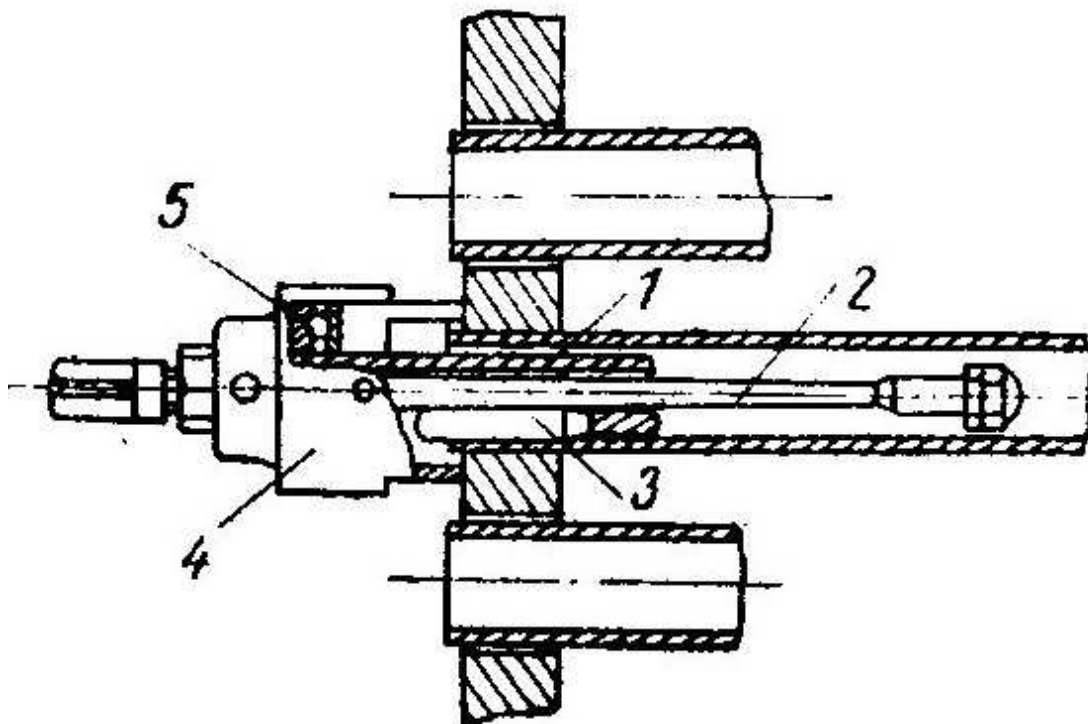


## 1. Technologie zaválcování trubek – úvod

Popis: Pro zaválcování trubky do otvoru v trubkovnici se používá zaválcovacího strojek, viz. obr. 1.



Obr. 1 Zaválcovací strojek

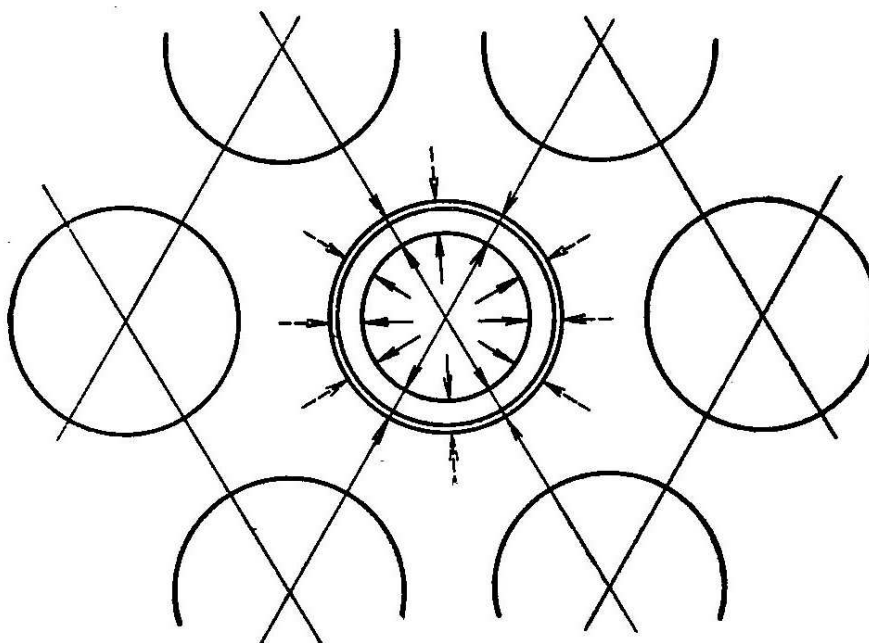
Princip práce: Osa válečků (3) zaválcovacího strojeku je skloněna proti ose kuželového trnu (2) o 2° až 3°, takže při otáčení trnu se současně otáčejí i válečky, vedené ve správné poloze klecí (1), a posouvají trn vpřed.

Trubka se rozválcovává po celém svém obvodu tak dlouho, až přilne na stěnu vyvrtaného otvoru. Při dalším zaválcování se pak materiál trubky dále deformuje. Většina částic kovu teče ve směru osy trubky, tj. směrem, který klade nejmenší odpor; tím se trubka prodlužuje.

Trubka je na obou stranách v prodlužování omezoována třením; na vnitřní straně třením mezi leštěnými válečky strojeku a vnitřním povrchem trubky; na vnější straně třením mezi vnějším povrchem trubky a materiálem trubkovnice. Jelikož tření mezi válečky a trubkou je menší než mezi trubkovnicí a trubkou,

tendence k tečení je větší na vnitřním povrchu trubky než na vnějším povrchu. Proto se trubka více prodlužuje na vnitřní straně. Velikost tření závisí na jakosti povrchu trubky a stěny otvoru.

Radiální namáhání (pnutí) v materiálu trubky a trubkovnice obklopujícím trubku během periody válcování stoupá. Tím vzniknou pružná napětí i ve stěně otvoru trubkovnice. Trubka je tlačena na stěny otvoru, viz. obr. 2, které tlačí na trubku napětím opačného smyslu.

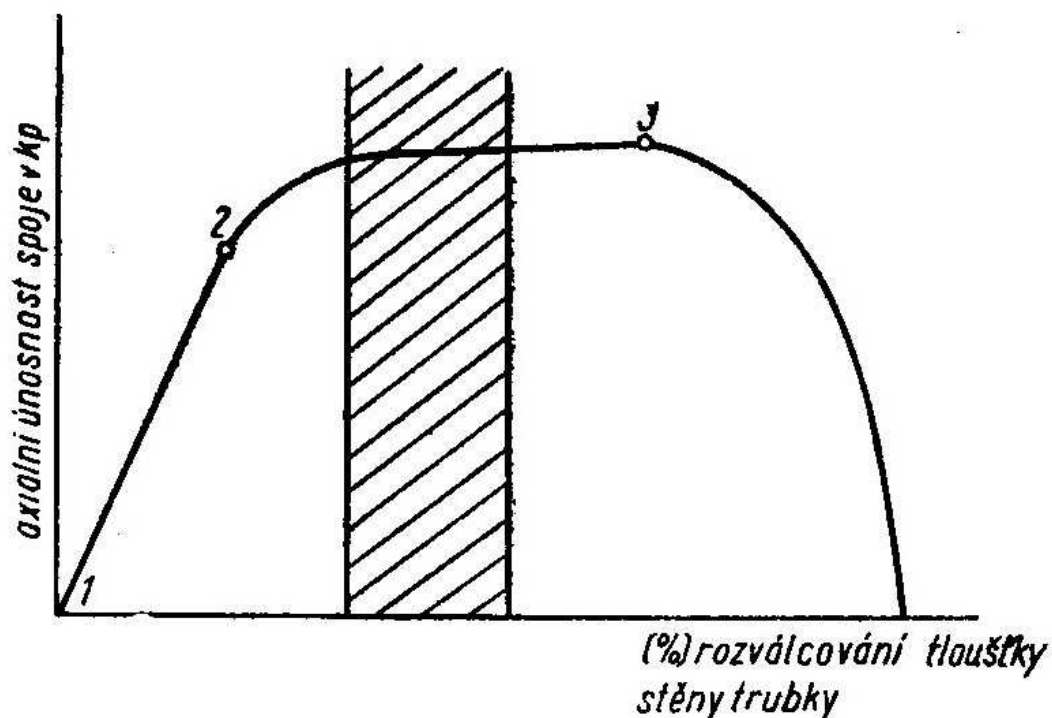


Obr 2. Pružná napětí zaválcované trubky

Nejdokonalejší zaválcovaný spoj vznikne tehdy, když v zaválcované části trubky došlo v celém jejím průřezu k plastické deformaci, zatímco v trubkovnici vznikla pouze pružná napětí.

Složitost pochodu záleží ve stanovení velikosti takové zaválcovací síly, při níž by bylo dosaženo plastické deformace trubky a pružného napětí v trubkovnici (v praxi není s ohledem k výrobním tolerancím trubky toto prakticky možné). Proto se volí zaválcovací síla menší. Tím vznikají v části trubky blíže k válečkům zaválcovacího stroju deformace plastické a v menší části povrchu trubky zůstává materiál ve stavu na mezi kluzu nebo mezi pružnosti. **Pozor !!!: Zaválcovací síla nesmí způsobit, aby se materiál trubkovnice plasticky deformoval. Takový spoj by již nemohl těsnit; říkáme, že spoj je převálcován.**

Závislost procenta rozválcování tloušťky stěny trubky na axiální únosnosti spoje je znázorněna na obr.3.



Obr.3 Závislost procenta rozválcování tloušťky stěny trubky na axiální únosnost spoje

Se zvyšováním procenta rozválcování tloušťky stěny trubky v úseku křivky (1-2) stoupá axiální únosnost spoje lineárně. V úseku (2-3) i přes další zvětšování intenzity zaválcování se pouze mírně zvyšuje axiální pevnost spoje.

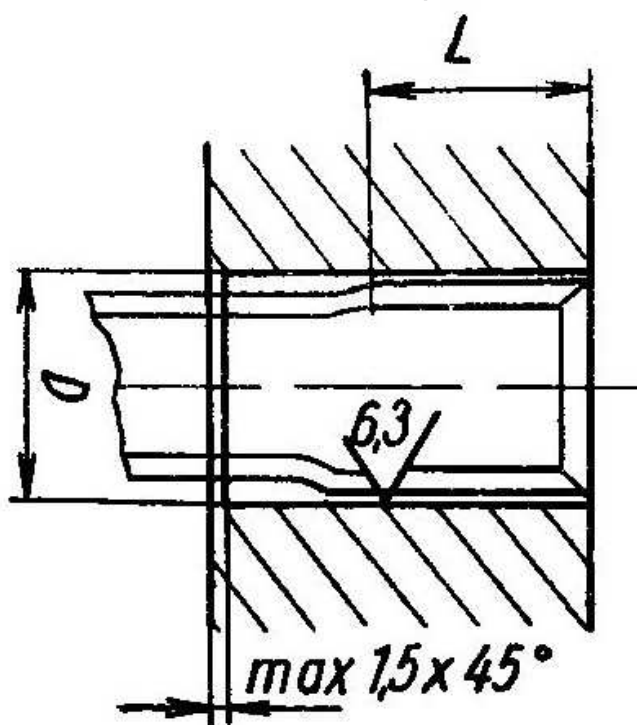
Kritický je bod (3). Od tohoto místa při dalším zaválcování je vlivem příliš intenzivního tváření překročena mez pružnosti materiálu trubkovnice, v kterém také zmizela pružná pnutí. Činnost zaválcovacího strojeku se přenáší na stěny otvoru, který se začne zvětšovat. Tím se odstraní i pružná napětí v otvoru. Zaválcovaný spoj je převálcován.

## 2. Konstrukční požadavky na provedení spojů

Zaválcování trubek do trubkových čel se používá v mnoha průmyslových odvětvích. Aby bylo vyhověno požadavkům

kladeným na kvalitu spoje, otvory se 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.4. Při zaválcování dlouhých spojů obvyklou technologií by docházelo k nadměrnému tečení materiálu axiálním směrem a k nerovnoměrnému zaválcování v podélném směru.



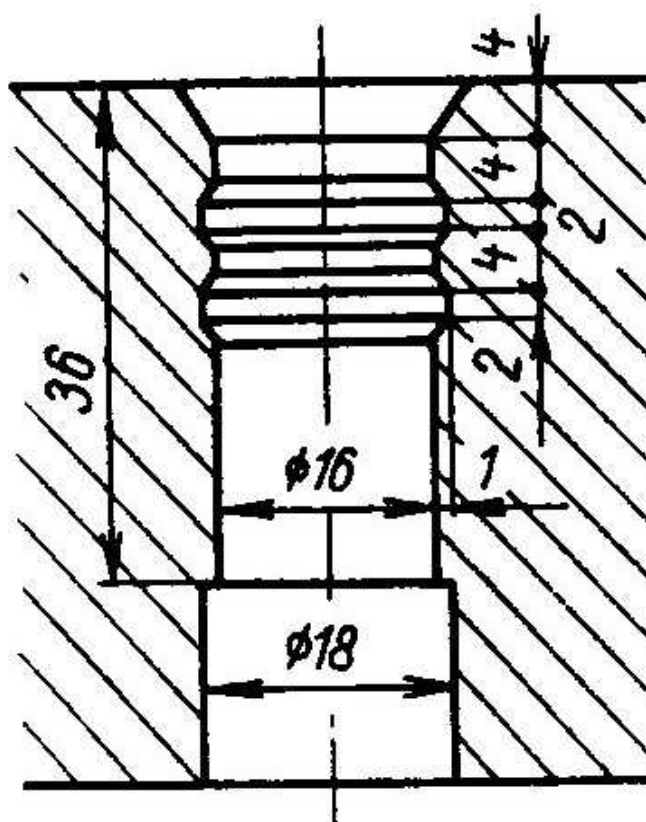
Obr.4 Provedení otvorů nízkotlakých zařízení:  
L – délka zaválcování, D – průměr otvoru v trubkovnici

Delší spoje se proto zaválcovávají v několika stupních nebo se použije zpětného zaválcování, které omezuje tečení materiálu směrem do svazku trubek.

- **Zaválcování zařízení pro chemický průmysl:** pokud zaválcování trubky neumožní pevně zaválcovaný spoj, je možno předpokládat, že i poměrně úzká spára mezi trubkou a trubkovnicí může být v agresivním prostředí zdrojem urychlené koroze trubkového spoje.

Proto se v tlusté trubkovnici buď otvor odstupňuje, aby délka zaválcování byla jako délka válečků, tj. asi  $L = 40$  mm, nebo se trubka zaválcovává po celé délce, což však vlastní zaválcování komplikuje (někdy nelze provést).

- **Zaválcování zařízení pro vysoké tlaky** – spoje, které jsou namáhány vyššími tlaky, mají otvory vyvrtané s drsností povrchu 3,2 až 6,3  $\mu\text{m}$ , opatřené **jednou i několika drážkami**, viz obr. 5. Trubka se zajišťuje rozválcováním do drážky v otvoru trubkovnice.

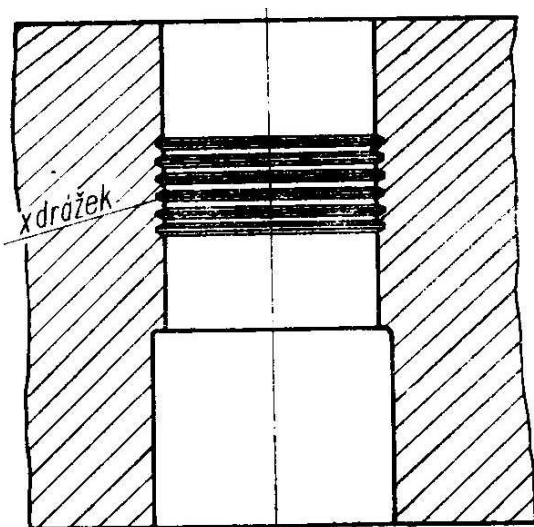


Obr.5 Provedení otvorů vysokotlakých zařízení

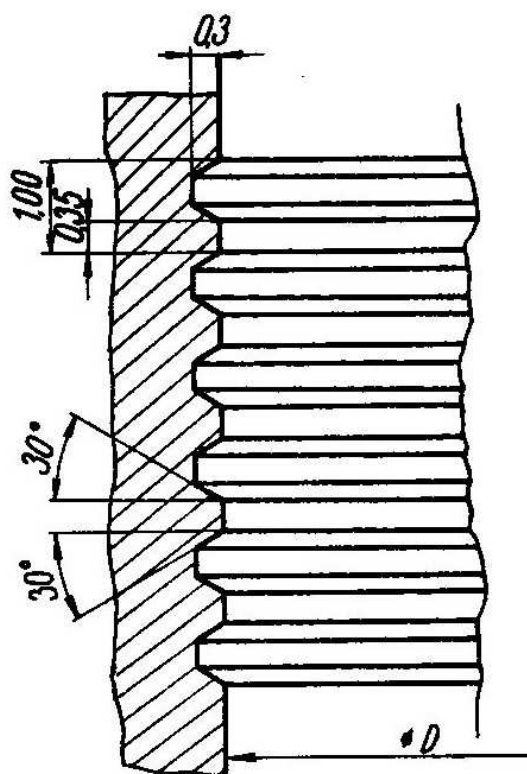
Použití drážky nebo několika drážek umožňuje zvýšit pevnost spoje proti vytržení, ale nepřispívá ke zlepšení těsnosti spoje, protože materiál nevyplní dokonale celý profil drážky.

Ke zlepšení těsnosti spoje je výhodné využít technologie **hřebínkování**. Do otvoru se vyrobí až 7 mělkých drážek vedle sebe ve tvaru hřebínku; hloubka drážek je 0,3 mm, viz. obr. 6 a obr. 7.





Obr. 6 Hřebínkový spoj



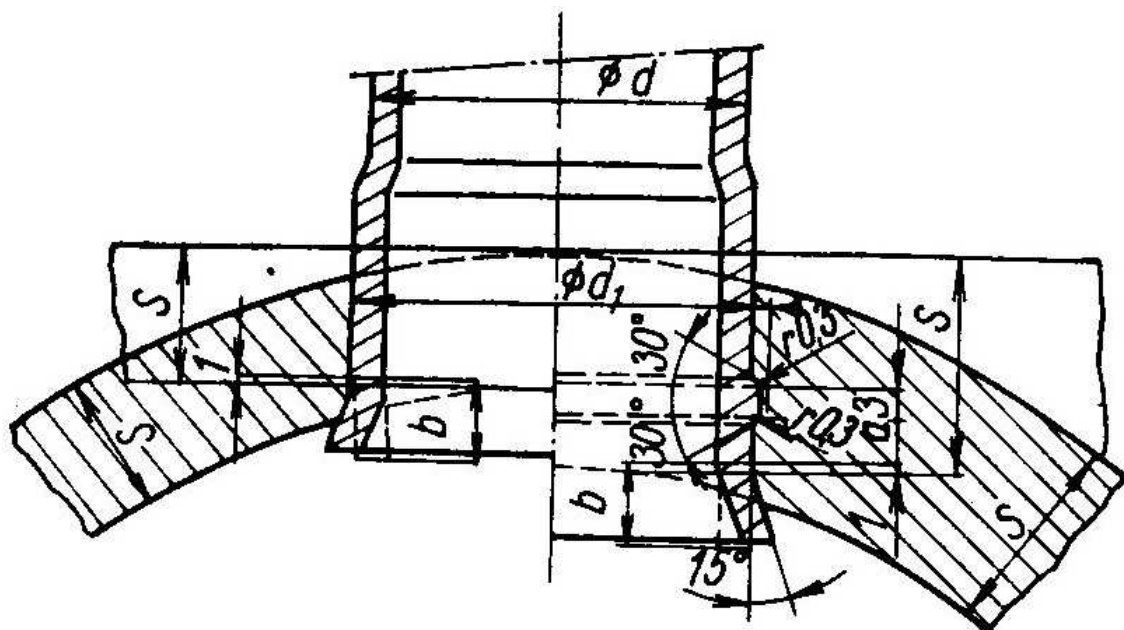
Obr. 7 Uspořádání  
hřebínkového spoje

Zatékání materiálu do mělkých drážek je podstatně lepší. Hladký spoj s hřebínkem dokonale zaválcovaný je plně vyhovující. Takovéto zaválcované spoje plně vyhovují do přetlaku 8 Mpa až 10 Mpa. Je možno je využít až do přetlaku 20 Mpa.

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

Konce trubek těchto spojů jsou pro zvětšení axiální únosnosti rozlemovány pod úhlem 15°. Lemování musí být zhotoveno speciální zaválcovačkou, nikoli rozrážením.

V některých případech je nutno zaválcovat i spoje, jejichž otvory nejsou vrtány v ose tělesa.

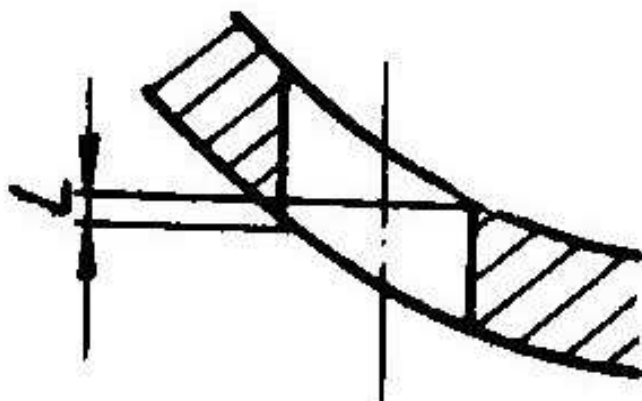


Obr.8 Spojení kotlové trubky s bubnem:

Levá strana: méně namáhavý spoj

Pravá strana: axiálně velmi namáhaný spoj – nutnost drážky

U spojů jejichž otvory nejsou vrtány v ose tělesa by měla být hodnota  $L$  vyznačená na obr. 9 co největší.



Obr.9 Šikmo vrtaný otvor

Je možno ve výjimečných případech zaválcovat i spoje při  $L = 0$ . Těmto případům je však nutno, pokud to lze, při konstrukci těchto zařízení se z hlediska obtížnosti dosažení spolehlivého spoje vyhnout.

- **Kombinované spoje zařízení (tj. svařované a zaválcované) a spoje zařízení svařované** – používají se při zvyšování provozních parametrů, převážně v chemickém průmyslu. Svary jsou z konstrukčního hlediska nosné nebo těsnicí.

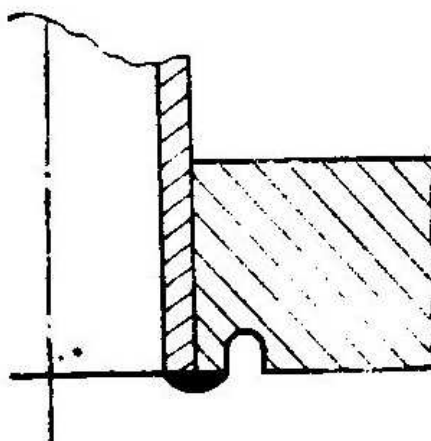
Těsnicí svary jsou vhodné u spojů kombinovaných, kde pevnosti spoje se dosáhne zaválcováním.

#### **Nevýhody svarového spoje:**

- ▶ Značně tepelně namáhá materiál spojovaných součástí, v němž mohou vzniknout trhliny.
- ▶ U nosných svarů, bez zaválcování zbývající části trubky do otvoru trubkovnice, je nutno počítat s korozí ve svarech.
- ▶ Zvýšené bezpečnostní předpisy a vyšší požadavky na kvalitu pracovníka (vyšší třída – vyšší plat).

Vhodný typ svarového spoje závisí na materiálu spojovaných částí, na způsobu svařování a na provozních parametrech daného zařízení.

U ocelí náchylných k praskání se nepříznivý vliv prnutí snižuje odlehčovací drážkou, podle obr. 10.

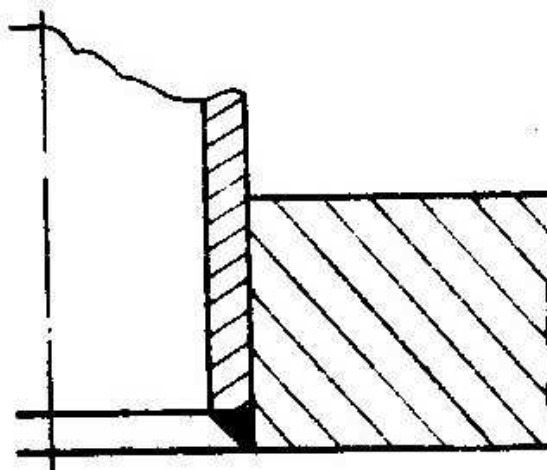


Obr. 10 Odlehčovací drážka

Tento způsob má určité nevýhody v tom, že komplikuje a zdražuje přípravu trubkovnice pro svařování a vyžaduje větší rozteče mezi jednotlivými trubkami.



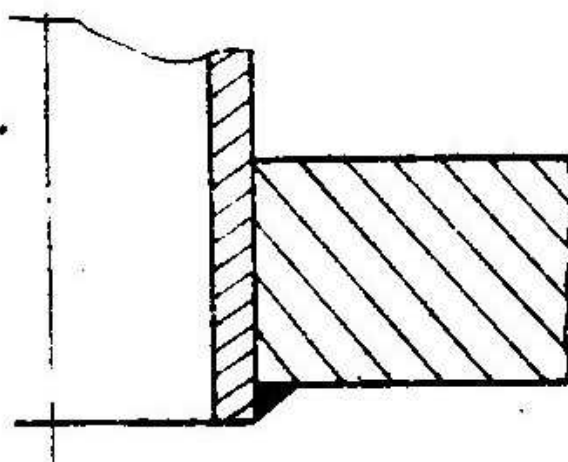
Pro malé rozteče se používají koutové svary, jak zobrazuje obr. 11.



Obr. 11 Vnitřní koutový svar

U koutových svarů se však velmi často vyskytují trhliny ve svarovém kovu.

Při běžném ručním svařování obalenými elektrodami se pro malé namáhání používají vnější koutové svary, jak zobrazuje obr.12.



Obr. 12 Vnější koutový svar

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:

- ▶ Trubka přečnívá rovinu trubkovnice.
- ▶ Trubka je v úrovni trubkovnice,
- ▶ Trubka je zapuštěna do otvoru trubkovnice.

**Pozor!!!: Pevnost svařovaného spoje je větší než pevnost nejlépe zaválcovaného spoje, i když oba spoje z hlediska pevnosti vyhovují (u svařovaných spojů se trubky často při trhacích zkouškách poruší mimo svar).**

#### **Kombinovaný svar (tj. svařovaný a zaválcovaný spoj):**

- ▶ Vhodný spoj do agresivního prostředí (koroze).
- ▶ Jeho použití je výhodné i do zařízení, která jsou namáhána proměnným nebo vibračním namáháním.
- ▶ Eliminuje možné netěsnosti i u dobrého zaválcovaného spoje, kdy mohou vzniknout nepatrné netěsnosti, které následně vlivem agresivního prostředí ohrožují správnou funkci zařízení.
- ▶ Zaručuje, že spoj trubky a trubkovnice je podstatně odolnější a zaručuje dlouhodobý bezporuchový provoz.
- ▶ Kombinovaný spoj zajišťuje dokonalou nepropustnost sekundárním pojištěním těsnícího svaru.

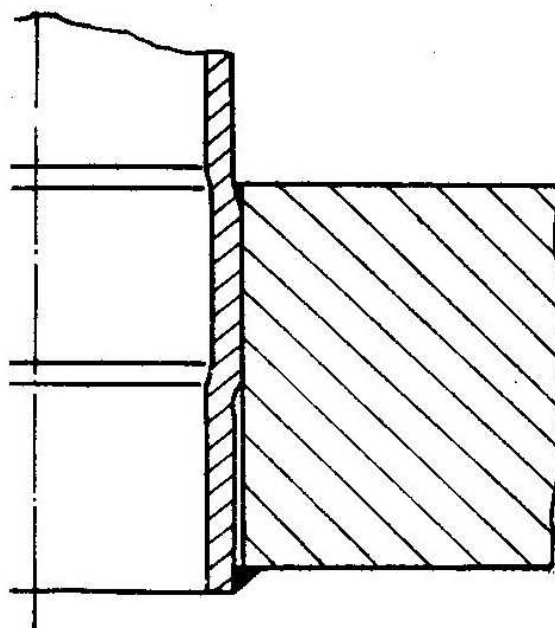
#### **Problémy technologie kombinovaných svarů:**

**Pozor!!!:** A) Po zaválcování spoje a 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.

#### **Optimální postupy technologie výroby kombinovaného spoje:**

1) Existuje postup, při kterém se spoj nejdříve lehce zaválcuje tak, až trubka dosedne na povrch otvoru, následuje svařování, po kterém se spoj převálcuje v oblasti mimo svar, viz. obr. 13. Lze však i v tomto případě namítnout, že v takto zhotoveném spoji vznikne osově napětí od axiálního prodlužování trubky při konečném zaválcování.

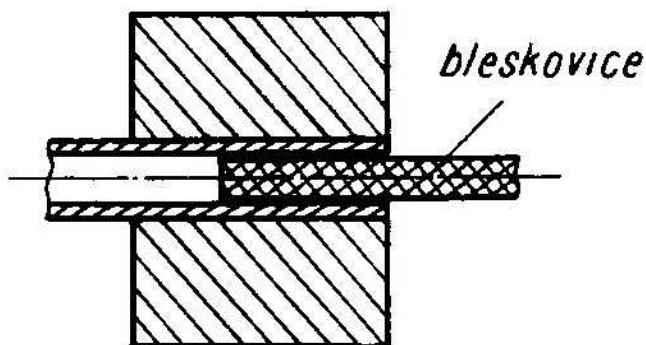


Obr. 13 Kombinovaný spoj zaválcovaný a svařený

2) Další možný postup je vytvoření **spoje roztažením trubky do otvoru výbuchem**; po roztažení se spoj svaří, viz. obr. 14 a obr. 15. U takto zhotoveného spoje není nebezpečí koroze mezi trubkou a otvorem trubkovnice. Svar je však nejen těsnicí, ale i nosný.

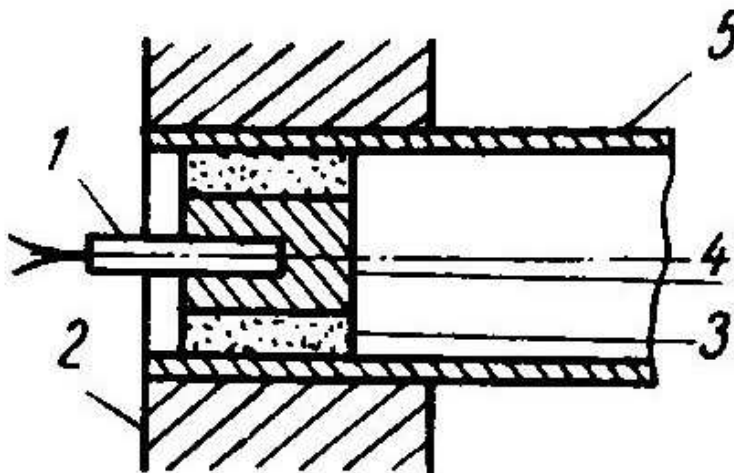
Prostřednictvím technologie tváření velkou deformační rychlostí se využívá detonační vlny, vznikající při detonaci trhavin v tzv. bleskovici. Mezi trhavinu a stěnu trubky se vkládá vrstva, tlumící v případě potřeby účinek detonační vlny do té míry, aby nevznikaly v trubce i trubkovnici trvalé deformace.

Pro trubky o vnitřním průměru 8 až 10 mm je možno použít uspořádání nástroje podle obr. 14.



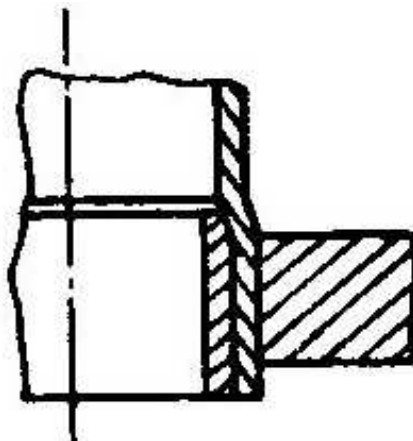
Obr. 14 Upevňování trubek malých průměrů výbuchem

Trubky o větším průměru lze upevňovat výbuchem podle obr. 15. Nálož je navíc středěna v trubce distanční vložkou.



Obr. 15 Středění nálože distanční vložkou  
1) rozbuška, 2) trubkovnice), 3) distanční vložka, 4) trhavina,  
5) trubka

Pro opravy netěsných spojů a v některých speciálních případech, u nichž pružící síla trubky nestačí k dosažení potřebné axiální únosnosti a těsnosti spoje, se používá výztužných kroužků, vložených do spoje. Tloušťka stěny vloženého kroužku se má maximálně rovnat tloušťce stěny zaválcované trubky. Často se kroužky volí z pevnějších materiálů. Šířka kroužku je 40 až 50 mm. Kroužek se ukládá do zaválcované trubky a je rovněž zpevněn zaválcováním. Hrany kroužků je nutno zaoblit, aby nepoškodily trubku. Tato úprava je patrná z obr. 16.



Obr. 16 Použití zpevňujícího kroužku

### 3. Zásady a postup zaválcování trubek

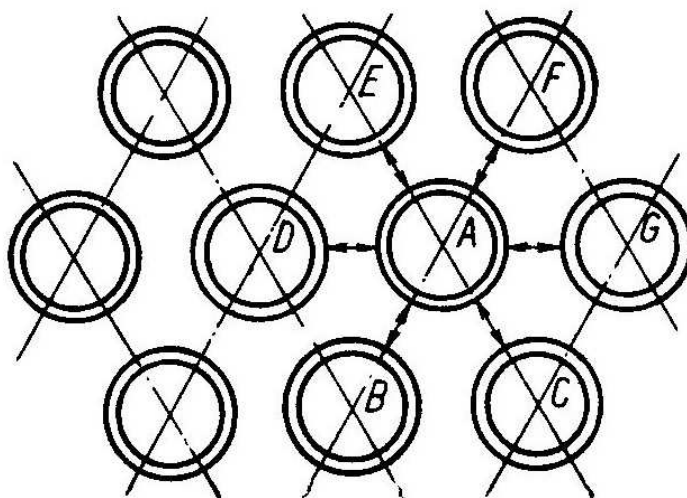
Při stanovení zásad a správného postupu zaválcování vyjdeme z rozboru známých nedostatků zaválcovaných spojů (např. u parního kotle při spojení trubek s tělesem kotle).

Zaválcování trubek je prováděno:

- Ručně poháněnými válcovacími strojkami (zaválcovačkami), přičemž jakost spoje závisela vždy na zkušenostech valčíře.
- Za pomoci pneumatických vrtaček.
- V současnosti za pomoci pneumatických utahováků a speciálních zaválcovaček.

Problémy při zhotovování spoje:

- Zaválcovaný spoj trubky netěsní – příčina netěsnosti bývá často v tom, že trubky jsou převálcovány, to znamená, že při válcování byl materiál konce trubky válcovačkou tak silně tvářen, že se překročila nejen jeho mez pružnosti, ale i mez pevnosti a v materiálu trubky vznikly trhliny.
- Při válcování trubek byla vyvozována nestejná síla – může být příčinou netěsnosti spoje. Například při tlakové zkoušce se zjistilo, že ze 300 zaválcovaných trubek jich 5 netěsní. Těchto 5 trubek se znovu převálcovalo a při opakované zkoušce netěsnily trubky v jejich těsné blízkosti. Důvod je prostý, viz. obr. 17, kde je nakreslena část trubkovnice se zaválcovanými trubkami:



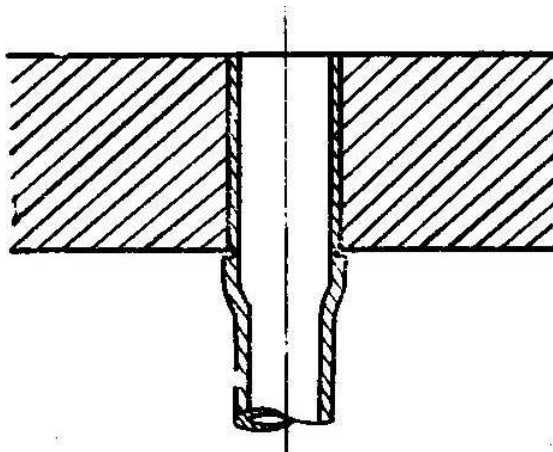
Obr. 17 Část trubkovnice



Začneme-li intenzívně převálcovávat trubku (A), přenesse se tlak na můstky mezi otvorem (A) a otvory sousedních trubek (B), (C), (D), (E), (F), (G). Můstky se částečně deformují a tím trubky v nich zaválcované se stanou netěsnými, viz. obr. 17.

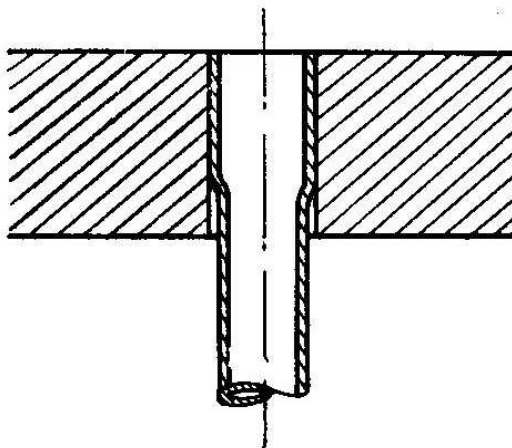
**Opatření:** V tomto případě je nutno převálcovat netěsnou trubku maximálně dovolenou plnou silou a ostatní pouze lehce !!!

- Převálcování trubky do délky – způsobuje netěsnosti spoje, viz. obr. 18. V tomto případě je převálcování trubky v délce větší, než je tloušťka trubkovnice, což způsobí zaříznutí trubky a následně vrub, který je příčinou utržení trubky.



Obr. 18 Převálcování trubky

- Nedoválcování trubky do délky – vzniká mezi trubkou a stěnou trubkovnice mezera, která se převážně u chemických zařízení vlivem koroze zvětšuje, až zkoroduje celý spoj.



Obr. 19 Nedoválcování trubky

- Pronášení trubek – což je závada, která vzniká při válcování trubek, přičemž průvodním jevem je namáhání těchto trubek na vzpěr tak, že se prohýbají uvnitř zařízení (má vliv na jeho funkci).

**Pozor!!!: Zásady správného zaválcování trubky tedy jsou:**

- ▶ Dokonalé zhotovení otvoru.
- ▶ Správné upravení konce trubek.
- ▶ Zaválcování všech trubek zařízení stejnou silou.
- ▶ Správné ustavení zaválcovacího strojeku tak, aby trubka byla zaválcována po celé délce předepsané výkresem.
- ▶ Používat zaválcovačky, která vyválcovává materiál trubky ven ze zařízení. Tím je zaručeno, že trubka nebude uvnitř zařízení prohnuta.
- ▶ Tvrdost materiálu trubky má být vždy menší nebo se má nejvýše rovnat tvrdosti materiálu trubkovnice.
- ▶ Na zkušebním tělese je předem nutno vyzkoušet správné nastavení zařízení, kterým je možno zkontrolovat procento rozválcování tloušťky stěny trubky. Je také nutno kontrolovat, zda přístroj správně vypíná.

**Praktický postup zaválcování konce trubky:**

Před vlastním zaválcováním se vnitřek konce trubky lehce namaže tukem, nejlépe technickou vazelínou, a to v délce válečku. Do trubky se ustaví zaválcovačka tak, aby její pracovní válečky zasáhly celou délku válcované části (viz. obr. 1).

Tlakem kuželového trnu se válečky rozepnou a roztahují trubky podle svého počtu v trojúhelník, popřípadě pětiúhelník tak dlouho, až přitlačí trubku ke stěně otvoru. Otáčením trnu se rotační pohyb přenáší na válečky a celý strojek se v trubce otáčí.

Dalším postupem se zasouvá kuželový trn dále mezi válečky pohybem odvozeným u samosvorných zaválcovaček od zvláštního sklonu válečků proti ose trnů tak dlouho, až trubka

úplně dosedne na stěny otvoru. U šroubových, popř. jiných druhů zaválcovaček je nutno trn podávat vpřed.

Při tomto pochodu je třeba pozorovat tvárnost trubky. Stává se, že trubka buď chybně, nebo vůbec nežíhaná se za válečky deformuje (vlní a vrací se jakoby zpět). Při tomto jevu je nutno válcování trubek přerušit, zjistit tvrdost trubky, popřípadě trubky opětovně žíhat.

Při správném průběhu této fáze zaválcování dosedne trubka již po několika málo otáčkách zaválcovacího strojeku do otvoru tak, že vyjme-li zaválcovačku a klepneme na konec trubky kladívkem, slyšíme sytý, nekřaplavý zvuk.

U zaválcovacích strojků, které mají kuličkové ložisko, jímž se zaválcovačka opírá o trubkovnici, vytlačuje se asi 70 % materiálu ven z trubkovnice směrem k valciři a 30 % materiálu trubky vniká dovnitř zařízení. U jiných druhů zaválcovaček je tento poměr 50:50.

Trvalá deformace v materiálu trubky musí vzniknout při první fázi válcování, aby po jejím skončení v následující druhé fázi zaválcování se dalším válčováním dosáhlo potřebného pružného napětí (na vnějším obvodu trubky a ve trubkovnici). Rozválcováním a prodloužením trubky v obvodě i na délku se zvětšuje pevnost trubky a současně vzniká pružné napětí ve stěně otvoru. Při dodržení správného poměru obou sil vznikne mezi oběma stěnami přilnavé napětí, které zaručuje spolehlivý spoj.

Pro jakostní zaválcování napevno je důležité znát vzájemnou souvislost tlaků na trn a rychlosti otáček strojeku, tedy **rychlost vlastního zaválcovacího průběhu**. Prakticky stejného rozválcování dosáhneme dvěma způsoby:

- **Zvýšením tlaku při menším počtu otáček** – zajišťuje zrychlení průběhu technologie zaválcování trubky, kdy nástroj působí větším tlakem na stěnu otvoru trubkovnice, přinejmenším na vnější vrstvy, zato však je méně dotčena stěna trubky.

Tento poznatek se uplatňuje i u některých zvláštních typech spojů, kdy pevnost materiálu trubky a trubkovnice jsou skoro shodné, popřípadě u trubkovnice s tenkou stěnou. Zvětšením tlaku na trn přivádíme sice stěnu otvoru až k plastické deformaci, avšak zrychlením průběhu zaválcování

se tato deformace omezuje jen na tenkou vnější vrstvu a do hloubky zůstává deformace pružná.

- **Snížením tlaku při zvýšeném počtu otáček** – způsobuje zpomalení průběhu technologie zaválcování trubky (menší tlak na trn a rychlejší otáčky – 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 stroju za postupného stoupání trnu na válečky.

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

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

Z praxe byla obecně stanovena doporučená procenta rozválcování trubky z různých materiálů (vždy je důležité provést konkrétní zkoušky), viz. tab.1 (procento rozválcování je stanoveno pro obě tloušťky stěny trubky).

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

Tab.1 Procenta rozválcování u základních materiálů (obecně)

**Příklad:** Stanovte optimální světlost  $\varnothing d$  trubky v místě zaválcování a to dvěma způsoby – obecně a za pomoci empirického výpočtu.

**Známe:** Skutečný průměr vyvrtaného otvoru byl naměřen  $\varnothing D = 51,6 \text{ mm}$ . Do tohoto otvoru máme zaválcovat trubku o vnějším průměru  $\varnothing d_T = 51 \text{ mm}$  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, tím získáme velikost světlosti trubky za předpokladu, že při zaválcování trubka dosedla na stěny otvoru. Dále připočteme procento rozválcování tloušťky stěny trubky.

Obecný výpočet:.....(doplnit).....

Empirický vztah:

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

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  $\varnothing d = ?$

(v praxi se někdy přibližně měří světlost trubky v místě zaválcování posuvným měřidlem – není přesné).



### 3.1 Příprava otvoru pro trubky k zaválcování

#### Zásady:

- Hrubý povrch stěny otvoru má záporný vliv na těsnost spoje.
- Hladké dotykové plochy snáze vytvářejí vodotěsné spoje.
- Čím hladší je stěna otvoru, tím dokonaleji lze trubku zaválcovat (výstupky na povrchu se při rozválcování trubky zčásti odtrhnou od základního materiálu trubkovnice a vytvoří vrstvu třísek mezi trubkou a stěnou otvoru, která je příčinou netěsnosti).

- **Vrtání otvorů** – používá se tam, kde není třeba velké těsnosti, např. u trubkových ohříváků vzduchu parních kotlů. Podmínkou je, že drsnost povrchu otvoru nepřekročí 50  $\mu\text{m}$ , a že ve stěně nejsou šroubovitě rýhy přes celou hloubku otvoru.
- **Vrtání a vyhrubování** – používá se u nízkotlakých zařízení, např. kondenzátorů, přičemž drsnost povrchu otvoru nesmí překročit 12,5  $\mu\text{m}$ .
- **Vrtání, vyhrubování a vystružování** – pro nejvíce namáhané spoje, přičemž by se mělo dosahovat drsnosti povrchu otvoru 3,2 až 0,4  $\mu\text{m}$ .
- **Vyvrátání** – pro nejvíce namáhané spoje, přičemž by se mělo dosahovat drsnosti povrchu otvoru 3,2 až 0,8  $\mu\text{m}$ .
- **Předběžné rozválcování otvorů** – zvyšuje se pevnost materiálu v otvoru pro trubky a v konečném důsledku by se to mělo projevit pevnějšími spoji.

- **Drsnější povrch otvoru** – je výhodný pro vyšší tlak, a to v případě, že materiál trubky je z materiálu měkčího, než je materiál trubkovnice, jako je tomu např. u měděných trubek v ocelových trubkovnicích.

Při zaválcování může kov trubky vyplnit nepravidelnost povrchu otvoru pro trubku. Tímto způsobem se odpor proti klouzání zvyšuje a pevnost spoje stoupá.

- **Velmi nízká drsnost povrchu otvoru** – je výhodná u trubek, jejichž tvrdost materiálu se blíží tvrdosti materiálu trubkovnice nebo je přibližně stejná (jak tomu bývá u zařízení kotelen a rafinérií), používá se obrobení na čisto (vrtání, vyhrubování, vystružování, popř. vyvrtávání).

V tomto případě je vztah mezi trubkou a otvorem pro trubku obrácený, protože výstupky na stěnách otvorů pro trubky jsou zatlačovány do kovu trubky.

- **Geometrická kvalita otvoru** – musí být dodrženy v rámci kvalitního spoje zaválcování trubek výrobní tolerance kruhovitosti a válcovitosti otvoru.

- **Vady** – A) Výjimečně lze připustit ojedinělé spirálové rýhy neprůchozí, tj. ukončené nejméně 5 mm od okraje otvoru.

B) Naprosto nepřipustné jsou rýhy podélné.

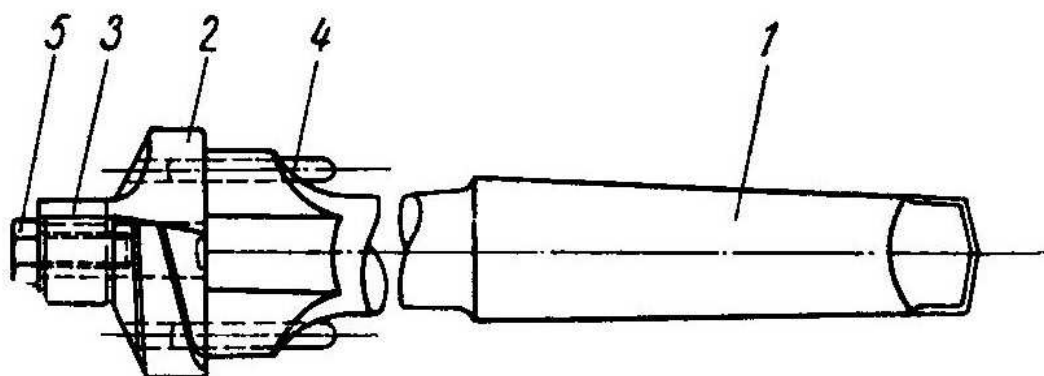
C) Otvory, u nichž se vyskytnou vady, musí být po opravě přeštroužením označeny, aby konce trubek mohly být při vložení do trubkovnice upraveny roztažením na větší průměr.

D) Opravení otvoru svařováním je nepřipustné, protože svarový kov má vždy jinou pevnost než základní materiál.

- **Průměr otvorů** – volí se větší než průměr trubky o toleranci trubky a součinitele, který zaručuje nasouvateľnost trubek a jejich dobrou zaválcovatelnost.
- **Vyhotovení drážky nebo jiné úpravy** – doporučuje se je dělat před konečným upravením otvoru, tj. např. před jeho vystružením, kterým se odstraní rýhy vzniklé drážkovacím nástrojem.

Do průměru 50 mm je výhodné vrtat otvory **šroubovitými vrtáky** (většinou s břitovými destičkami).

Otvory větších průměrů se zpravidla navrtají pro vedení nástroje a pro vrtání se používá např. výkonného vrtáku **Wisabo**, viz. obr. 20. Je to dvoubřitový vrták s výměnným nožem z rychlořezné oceli. Tvrdost nože je HRC 61 až 64.



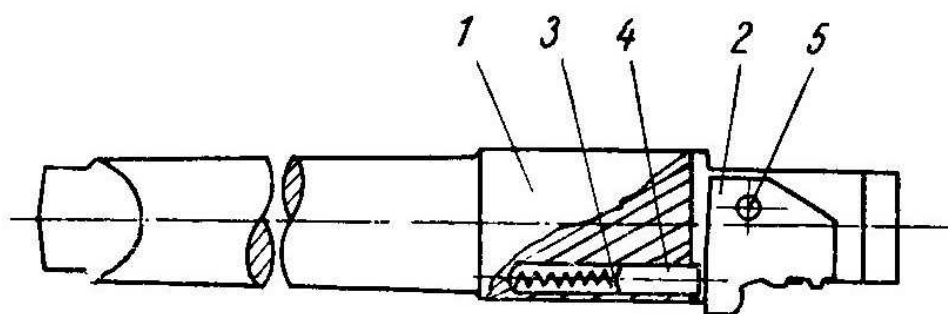
Obr. 20 Vrták Wisabo

(1) stopka, (2) nůž, (3) vodící čep, (4) kolík, (5) upevňovací šroub

Někdy se vyrábí prodloužený vodící čep nože, což umožňuje použití nástroje i pro vrtání otvorů ve značně klenutých nebo šikmých stěnách. Nástroj má spolehlivější vedení v otvoru. Vrtáků **Wisabo** se používá zpravidla do průměru 100 až 120 mm.

Pro průměry od 80 mm výše jsou výhodné **vyvrtávací (zapichovací) hlavy s vyměnitelnými noži**, stavitelné na potřebný průměr.

Pro zhotovení drážek nebo hřebínků se často používá jednoduchý **drážkovač**, viz. obr. 21.



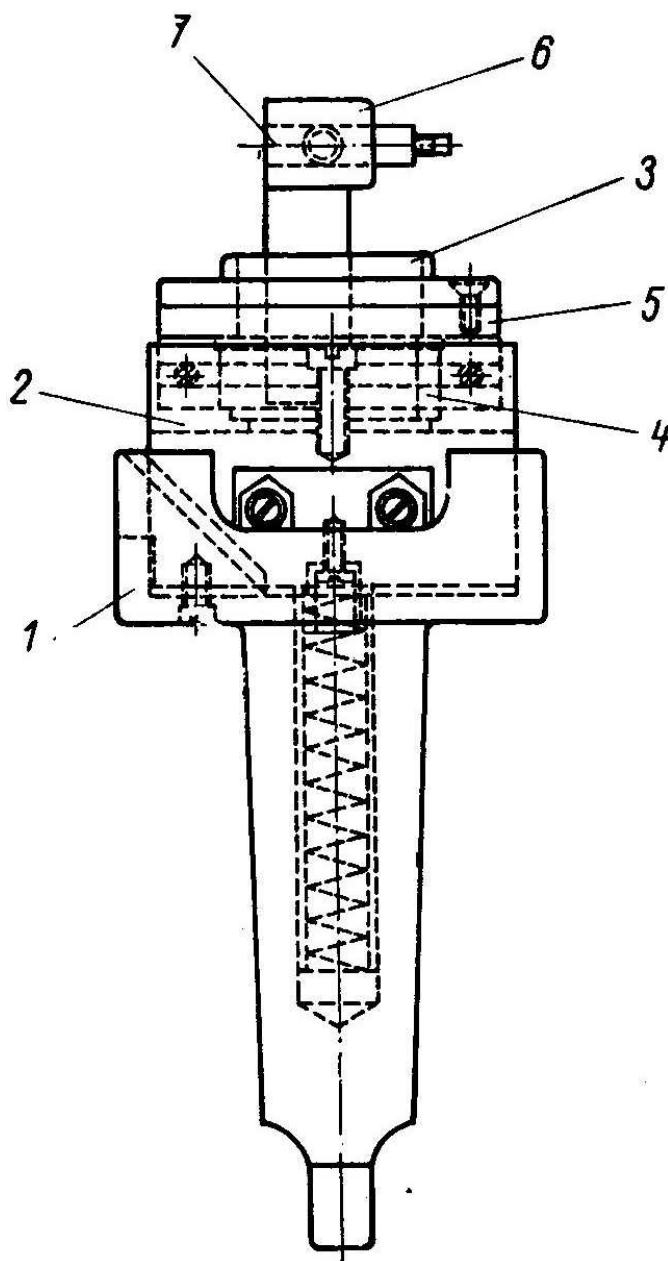
Obr. 21 Drážkovač

(1) Těleso drážkovače, (2) nůž, (3) pružina, (4) vratný čep, (5) čep

Tělo drážkovače (1) z konstrukční oceli má na čepu (5) otočně uložen řezací nůž (2). Při nasouvání drážkovače do otvoru odtláčuje odpružený čep (4) břity nože do roviny těla nástroje. Při zasouvání do otvoru výstupek nože (2) dosedne na

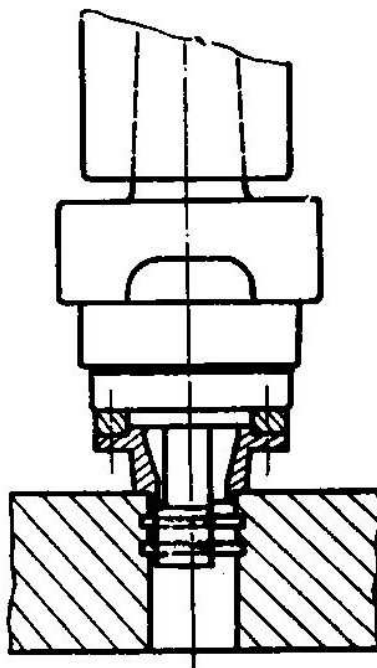
okraj otvoru, nůž překoná tlak pružiny (3), vyklopí se břity z roviny těla nástroje a je připraven k řezání.

Nejdokonalejším zařízením na drážkování je **drážkovací hlava**, systém **Blättry**, jejíž funkce je znázorněna na obr. 22. Touto hlavou lze vyříznout drážky libovolného tvaru hloubky i vzdálenosti od stěny trubkovnice v otvorech průměru 12 až 120 mm.



Obr. 22 Drážkovací hlava Blättry  
(1) trn, (2) vedení, (3) příruba, (4) kroužek, (5) pouzdro,  
(6) držák nože, (7) nůž

Na obr. 23 je znázorněno použití drážkovací hlavy při zhotovování dvou drážek současně.



Obr. 23 Zhotovení dvou drážek současně

#### 4. Porovnání mechanických vlastností druhů zaválcovaných spojů

K ověření nutnosti drážkování a zapouštění otvorů kondenzátorů parních turbín a výměníků tepla byly provedeny trhací zkoušky zaválcovaných spojů, viz. obr. 24.

Výsledky naměřených hodnot jsou zaneseny v grafu, kde na svislé ose je zatěžující síla  $F$  ( $1 \text{ kp} \cong 10 \text{ N}$ ), na vodorovné ose jednotlivé druhy zaválcovaných spojů (tvary otvorů). Vodorovná osa je u každého jednotlivého spoje rozdělena na dvě skupiny:

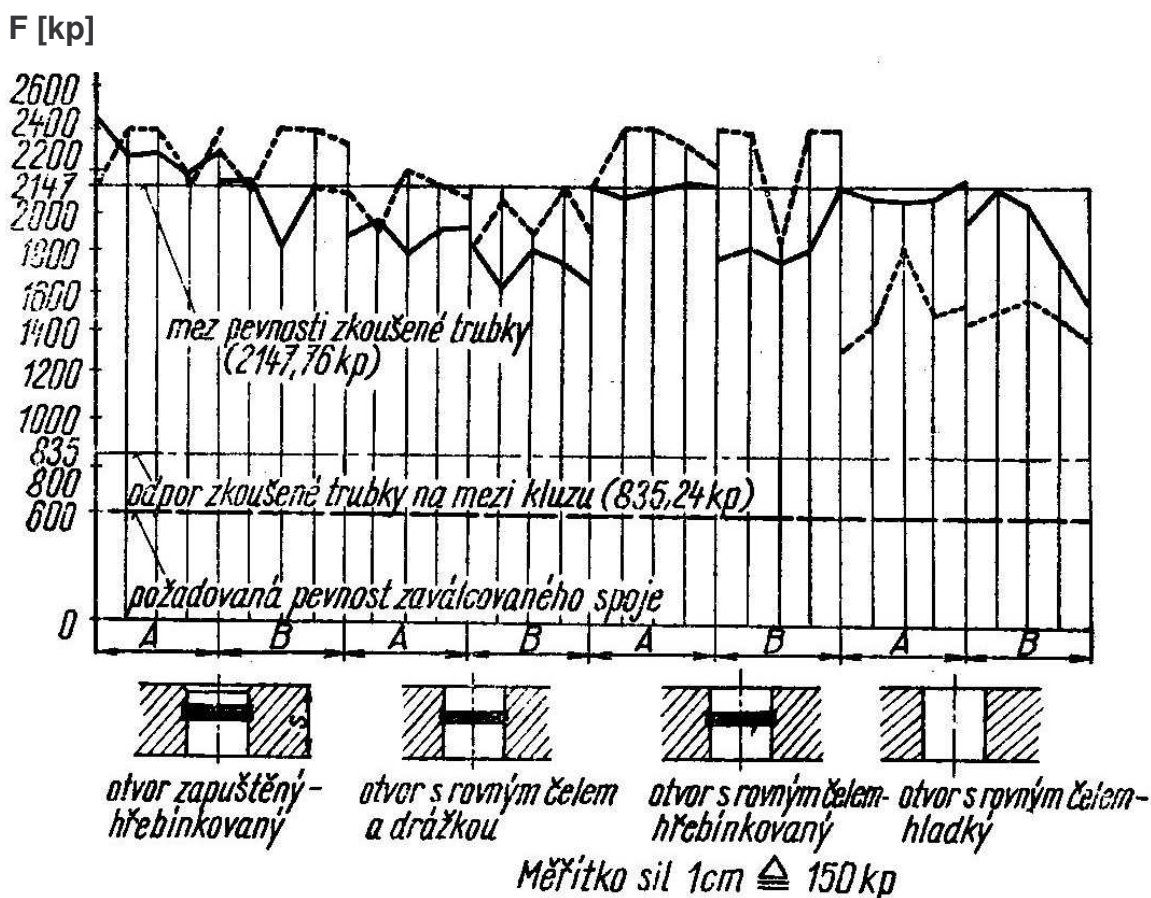
- (A) – skupinu se zaválcováním pomocí elektrického kontroléru, u kterého je měření krouticího momentu kontrolováno elektricky,
- (B) – skupinu se zaválcováním pomocí závitořezu, kde je krouticí moment kontrolován řehačkovým mechanismem.

Na svislé ose je kromě zatěžujících sil vyneseno ještě napětí materiálu zkoušené trubky na mezi kluzu a napětí zkoušené trubky na mezi pevnosti.



Při zaválcování byly zvoleny dvě různé délky zaválcování:

- Délka  $L = 25$  mm, která představuje tloušťku trubkovnice většiny nízkotlakých ohříváků. Hlavně kondenzátorů parních turbín (plná čára v diagramu).
- Délka 45 mm, která je max. doporučenou délkou pro obvyklé zaválcování (čárkovaná čára v diagramu).



Obr.24 Výsledky trhacích zkoušek u různých druhů spojů

**Vyhodnocení diagramu:** Z diagramu je patrné, že požadovaná pevnost zaválcovaného spoje 600 kp je ve všech případech dodržena. Rovněž všechny uvedené hodnoty jsou vysoko nad napětím trubky na mezi kluzu.

Protože konstruktér většinou nemůže počítat s napětím trubky větším než na mezi kluzu (dále trvalá deformace), je uvedený diagram jasným dokladem, že většina zaválcovaných spojů je předimenzována.

## 5. Úprava trubek před zaválcováním do otvoru

U konců trubek určených k zaválcování se před nasunutím do vyvrtaného a očištěného otvoru měly provádět tyto úpravy:

- **Žihání na měkko** – provádí se vyhřátím konce trubky, v délce rovnající se nejméně dvěma délkám válcovaného spoje a pozvolným ochlazováním. Teplota ohřevu materiálu třídy 11 a 12 je 680 až 720 °C, ochlazování v suchém popelnu, nebo v ovzduší zaručujícím velmi pozvolné chladnutí. U legovaných materiálů třídy 15 je třeba na teplotě setrvat po čas:  $(t [\text{min}] = \text{tloušťka stěny trubky} [\text{mm}] \times 4)$ , nejméně však 10 minut (teplota je určena v materiálových listech).

Pro žihání je nejvhodnějším palivem pro ohřev dřevo, dřevěné uhlí nebo plynové pece, jejichž hořák je seřízen tak, aby plamen byl neutrální.

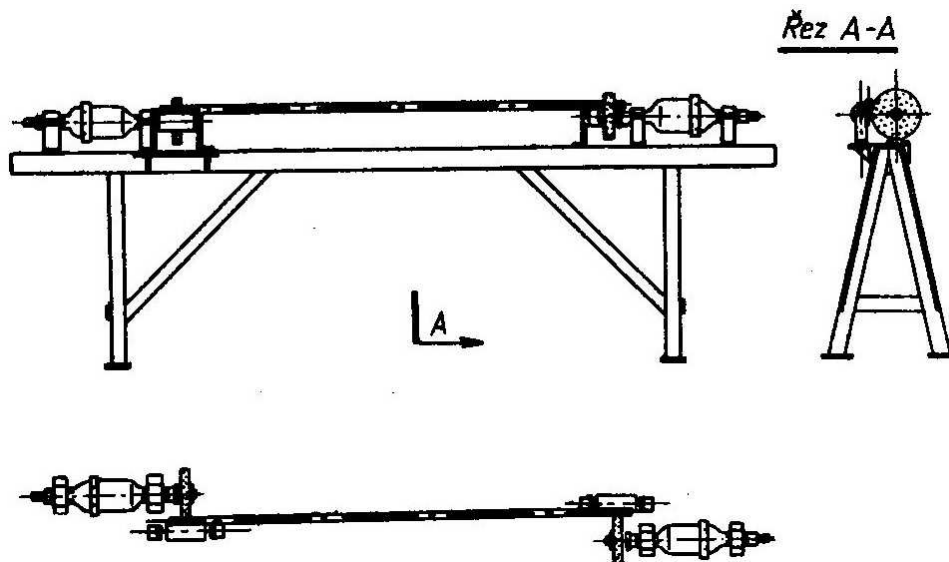
**Pozor!!!: Od vyžihání k zaválcování nesmí uplynout doba delší než dva měsíce** (v materiálu by došlo k rekrystalizaci a návratu k původním hodnotám mechanických vlastností).

- **Čištění a broušení vnitřního a vnějšího konce povrchu trubky** – provádí se po žihání, a to tak, že se očistí vnitřek trubky drátěným rotujícím kartáčem (ručně), uchyceným v pneumatické nebo elektrické ruční brusce. Čistí se v délce, rovnající se 1,5 násobku délky válcovaného spoje (odstraňují se tvrdé okuje, které vznikly předchozím žiháním, které by se zamačkávaly zčásti do materiálu trubky a tím zhoršovaly životnost válcovacího strojeku).

Vnější povrch konců trubek se čistí na čistý kov v délce, rovnající se dvojnásobku délky zaválcovaného spoje. Jakákoliv nečistota, a to platí zvláště o mastnotě a rzi, způsobuje mezivrstvu mezi povrchem trubky a stěnou trubkovnice, která je častou příčinou netěsnosti spoje.

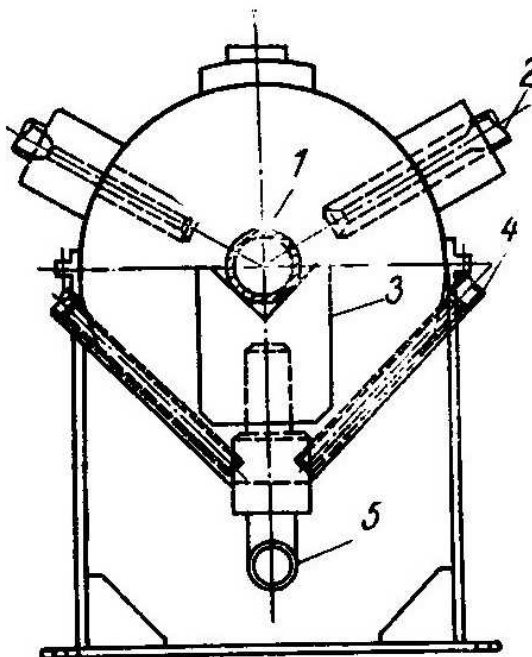
S ohledem k pracnosti čištění konců rovných trubek je výhodný **přípravek** na obr. 25, který brousí oba konce najednou. Skládá se z podstavce sestaveného z úhelníků, na němž jsou proti sobě umístěny dvě pneumatické brusky. Proti brusným kotoučům jsou podpěrné kladky. S přípravkem se pracuje tak, že trubku podložíme mezi brusný kotouč a podpěrnou kladku. Obě brusky se otáčejí (vzhledem k ose

trubky – jedna doleva a druhá doprava). Pracovník stojí uprostřed a trubkou posunuje doleva a doprava.



Obr. 25 Přípravek pro broušení konců rovných trubek

Dalším vhodným zařízením pro čištění trubek je **přenosné otryskávací zařízení**, které se napojuje na provozní potrubí stlačeného vzduchu, viz. obr. 26.



Obr. 26 Schéma otryskávače  
(1) trubka, (2) tryska, (3) opěrka trubky, (4) sběrná trubka,  
(5) přívod vzduchu

**Princip činnosti otryskávače:** Trysky pracují na principu injektoru, tj. vznikajícím pod tlakem v trysce nasávají ocelovou drť, která je ve spodní části skříně. Lze jej použít pro trubky až do průměru 102 mm.

- 
- **Kalibrování** – po žíhání a očištění konců trubek, je někdy velice důležité, zvláště pro budoucí vysokotlaké spoje konce trubek kalibrovat.
- 

### **Obecné zásady pro úpravu trubek před zaválcováním:**

Drsnost očištěného konce trubky by v žádném případě neměla být větší než 12,5 µm. Také zde platí pravidlo, že čím je povrch obroušené trubky hladší, tím lépe bude spoj těsnit.

U vysokotlakých spojů lze doporučit lehké přesmírkování očištěného konce, aby bylo dosaženo naprosté čistoty konce trubky těsně před jejím ustavením v zařízení.

Dále platí:

- Na očištěném konci nesmějí být podélné rýhy,
- Konce trubek musí být zarovnaný.
- Jsou-li konce trubek navařeny, musí být svar umístěn za trubkovnicí ve vzdálenosti rovnající se průměru trubky + max. 50 mm; totéž platí o jakýchkoli ohybech na trubce.

## **6. Zaválcovací strojky**

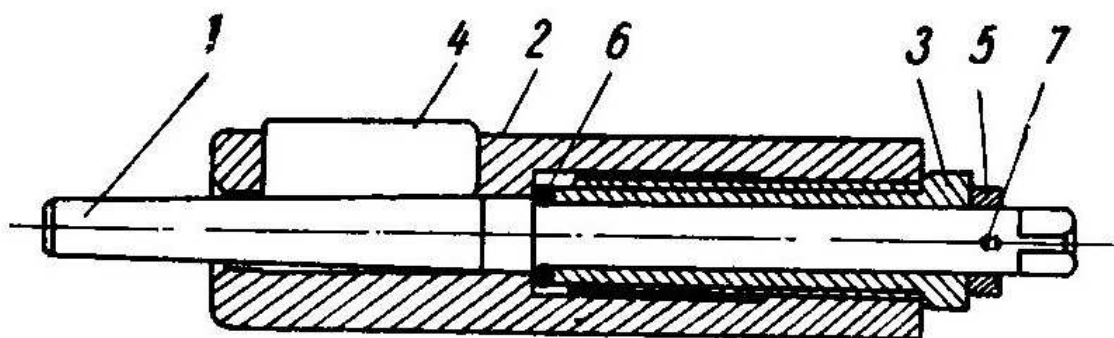
Pro zaválcování trubek do trubkových čel používáme **zaválcovacích strojků**, zkráceně nazývaných **zaválcovačky**. V zásadě rozeznáváme zaválcovačky podle konstrukčního zpracování, a to na:

**1] Zaválcovačky šroubové.**

**2] Zaválcovačky samoposuvné.**

**3] Zaválcovačky s nastavitelným zaválcováním trubky.**

**1] Zaválčovačky šroubové** – tento typ je zobrazen na obr. 27. Skládá se z kuželového vřetena (1), se čtyřhranným unášěčem.



Obr. 27 Zaválčovačka šroubová

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

Náboj (2) má závit a vybrání pro válečky (4). Tlačný šroub (3) má šestihran pro klíč nebo otvory pro utahování ve válcové části. Zpětnému axiálnímu pohybu zamezuje kroužek (5), upevněný kolíkem (7). Mezi tlačný konec šroubu a osazení na vřetenu je vložen bronzový kroužek (6). Rozválčování 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). Tím se zvětší průměr rozválčované trubky.

**Nevýhody šroubové zaválčovačky** – práce je namáhavá a její výsledek úplně závisí na zkušenosti valčíře. Při práci je velké opotřebení nástroje.

**Výhody šroubové zaválčovačky** – s výhodou se používá u šikmých otvorů.

**2] Zaválčovačky samoposuvné** – tento typ je zobrazen na obr.28. Starší konstrukce se skládají jen ze tří částí, viz. obr. 28.

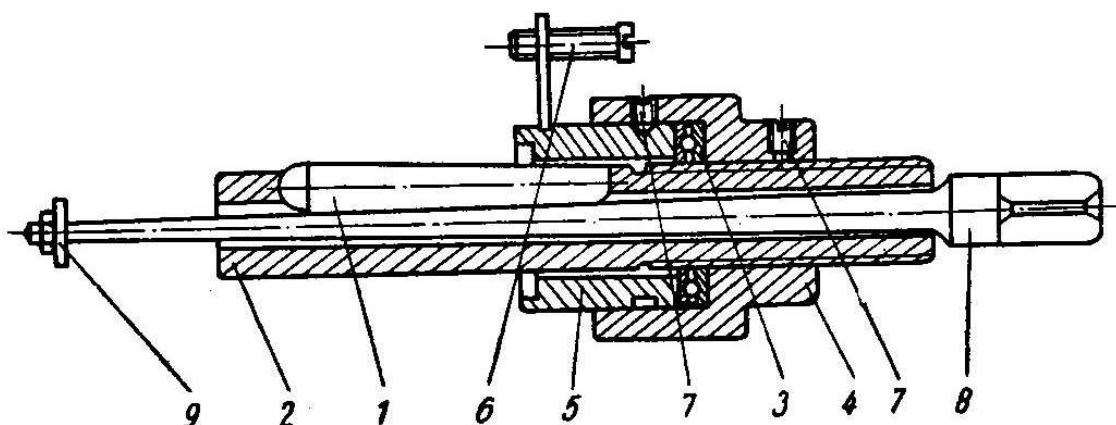


Obr. 28 Zaválčovačka samoposuvná



Kuželový trn je nasazen v pouzdře s drážkami pro válečky. Konec trubky se roztáhne tlakem ruky valcíře. Pohon těchto strojů je většinou pneumatickým utahovákem. 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.

Nové konstrukce válcovacích strojů mají válečky uloženy šikmo pod úhlem 1,5 až 3°, přičemž pouzdro (2) válečku (1) se přes axiální ložisko (3) opírá do hlavice (4), která je závitem pevně spojena s opěrkou (5), viz. obr. 29.



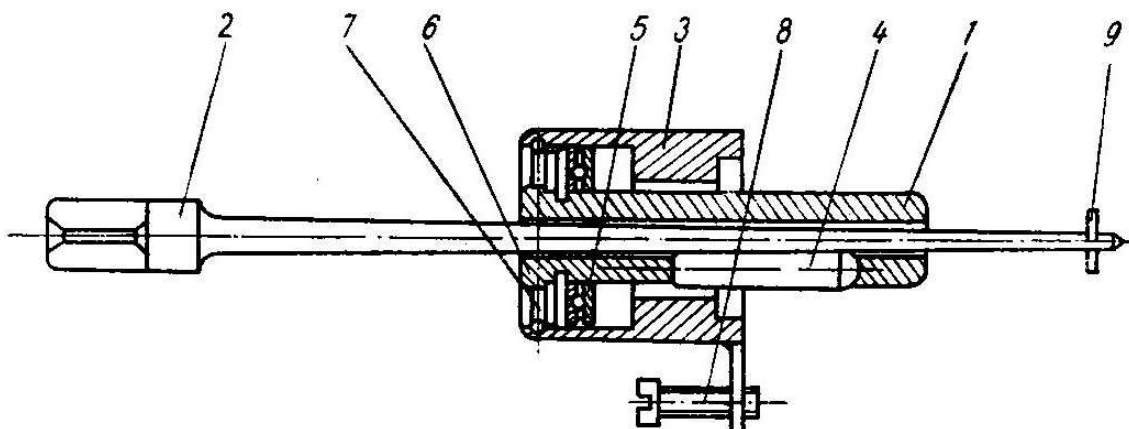
Obr. 29 Nová konstrukce samoposuvných zaválcovaček

Opěrka (5) se opírá o trubkové čelo. Šikmé uložení válečků způsobuje, že trubka je ze zařízení vytahována. Opěrný šroubek (6) zapadne do sousedního otvoru a zamezí tak pomocí vybrání v opěrce (5) otáčení trubky.

U těchto strojů lze povolením zajišťovacího šroubku (7) přestavit polohu hlavice (4) proti pouzdru (2) a tím nastavit hloubku zaválcování. Vypadnutí trnu (8) ze strojeku při vyjímání zaválcovaného strojeku ze zaválcovaného otvoru znemožňuje pojistný kroužek (9) a matice.

Dalším typem samoposuvné zaválcovačky je upravený typ První brněnské strojírny **I. BZKG**, viz. obr. 30.





Obr. 30 Samoposuvná zaválčovačka podle I. BZKG

**(1) těleso zaválčovačky** – které nese axiální ložisko (5), opěrné pouzdro (3), tři válečky (4) a opěrnou podložku (6).

**(2) trn zaválčovačky** – nese těleso zaválčovačky (1) s veškerým příslušenstvím a je pojištěn závlačkou (9) proti vypadnutí tělesa. Opěrné pouzdro (3) má drážku, do níž zapadá pružný kroužek (7), který zamezuje vypadnutí pouzdra s příslušenstvím.

Vnitřní vybrání kroužku umožňuje válcovat spoje do různých hloubek. To znamená, že pro max. hloubku válcovaného spoje se vybrání zaplní příslušnou podložkou a lze válcovat.

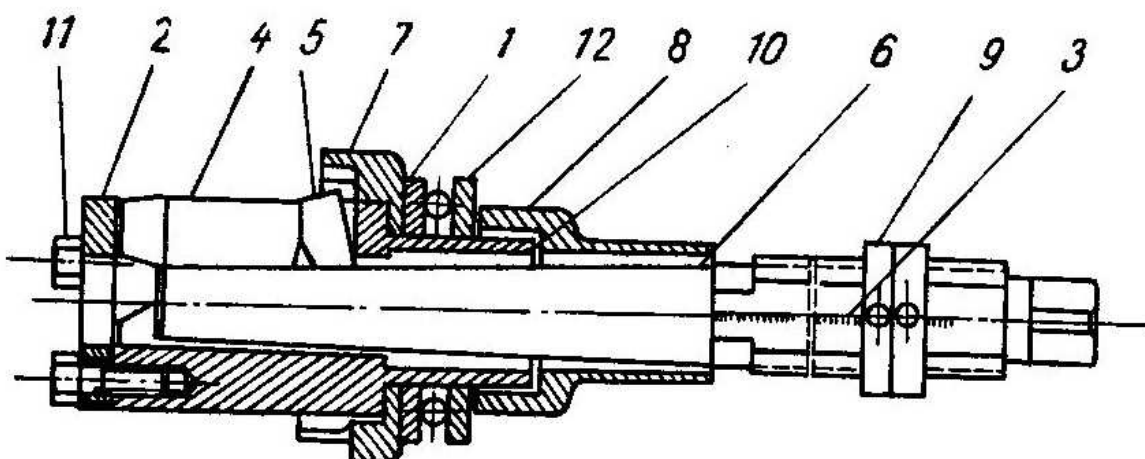
---

**3] Zaválčovačky s nastavitelným zaválčováním trubky** – pro rozválčování trubky hloubkou posuvu trnu je vhodná automatická zaválčovačka, kterou lze řešit rovněž jako kombinovanou s lemovacími válečky, viz. obr. 31. Automatické vypínání je závislé na roztažení trubky a nastavuje se na vřetenu. Kontrola stavění je možná na noniu (3).

Strojek se skládá z tělesa (1) s drážkami pro válečky (4) a (5). Poloha váleček vzhledem k ose vřetena je se sklonem jako u samoposuvných zaválčovacích strojků.

Roztažení trubky, závislé na šířce spáry mezi stěnou trubky a stěnou trubkovnice, se nastaví buď na začátku válcování zkusmo, nebo podle zkušebních vzorků a zajistí se na vřetenu maticí (9). Zaválčovačka se vkládá do trubky tak, aby narážka (7) dosedla na stěnu trubkovnice. Při otáčení kužele pracují válečky a roztahují trubku, přičemž je současně vtahován trn

mezi válečky a rozpíná je. Jakmile je kužel vtlačen na určitou nastavenou délku tak, že se matice (9) opře o pouzdro (8), přestane se dále posouvat mezi válečky a strojek se otáčí volně bez rozpínání. Tím se dosáhne nastavené hodnoty zaválcování.



Obr. 31 Automatická zaválcovačka

- (1) těleso, (2) víčko, (3) nonius, (4) (5) válečky, (6) kuželový trn,  
(7) otočná narážka, (8) pouzdro, (9) pojistná matice,  
(10) rozpěrací podložka, (11) šrouby

**Výhody** – poměrně jednoduchá konstrukce, která může být i robustnějšího charakteru (mohutnější), což umožňuje také zaválcování spojů kotlových trubek, na které jsou kladeny velké požadavky.

## 7. Kontrola zaválcovaných spojů

**A) Zkouška tlakem kapaliny** – v praxi je nejčastější. Zkouší se obvykle tlakem vody, převyšujícím o 50 % vypočtený tlak. Zkouškou se zjišťují především netěsnosti spojů.

Pro zlepšení citlivosti zkoušky se přidavkem smáčedel snižuje povrchové napětí vody z hodnoty  $75 \text{ dyn.cm}^{-2}$  (7,5 Pa) na hodnotu  $30 \text{ dyn.cm}^{-2}$  (3 Pa). Přidáním smáčedel se voda svými vlastnostmi blíží petroleji, jehož povrchové napětí je  $25 \text{ dyn.cm}^{-2}$  (2,5 Pa).

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

Někdy se do vody přidávají látky, které při dopadu ultrafialových paprsků fluoreskují. Nevýhodou tohoto způsobu je větší spotřeba fluoreskující látky (dle obsahu výměníku) a s tím spojené vyšší náklady na zkoušku.

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

**B) Zkouška tlakem plynu** – většinou se používají zkoušky plynem za nízkého tlaku do 1 Mpa. Je třeba zajistit vhodná bezpečnostní opatření. Zkouška sama nemůže při nízkém tlaku objevit všechny netěsnosti, které by byly zjištělné při vysokém tlaku, ale vzhledem k vlastnostem plynu je značně 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.

**C) Zkoušky netěsnosti s využitím vakuometrů** – netěsnost je charakterizována množstvím plynu  $l.s^{-1}$ , které proniká porušeným místem.

Odčerpáme-li z daného prostoru vzduch, můžeme na citlivém vakuometru zjišťovat porušení vakuu. Z různých systémů vakuometrů jsou vhodné vakuometry citlivé na zkušební plyn.

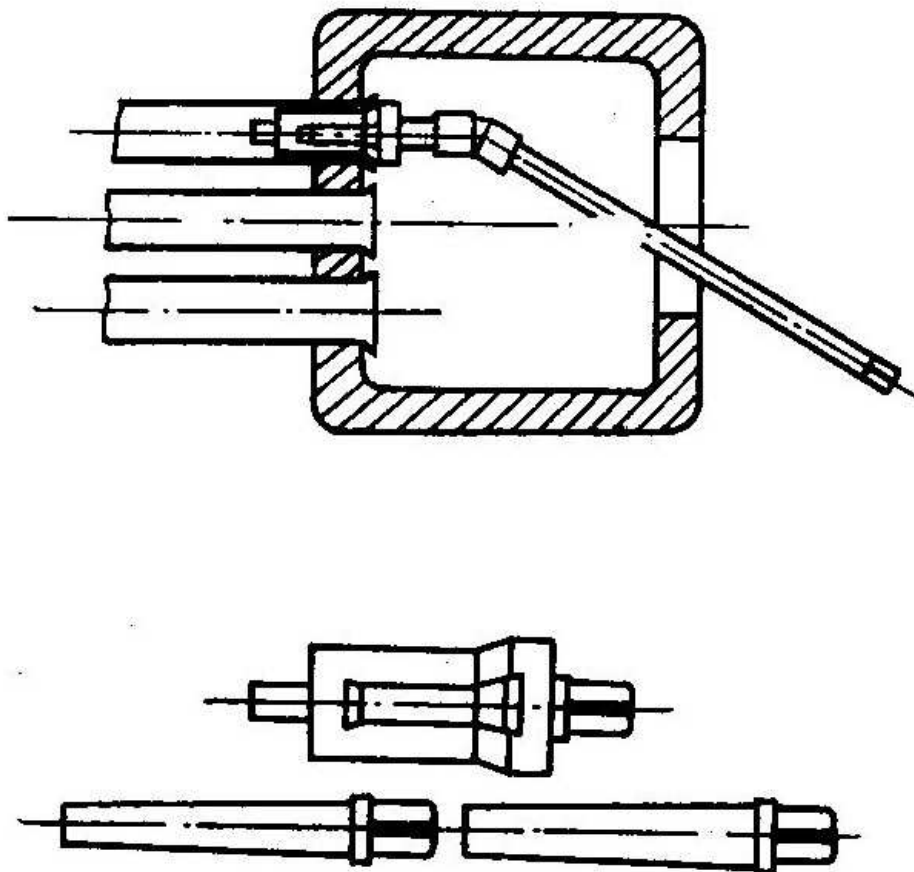
**D) Ostatní zkoušky** – jsou to zkoušky například akustické s využitím stetoskopu nebo zkoušky zjišťování netěsnosti pomocí radioaktivních plynů.

## **8. Zaválcování na externích montážích**

Pro zvýšení úrovně zaválcování na externích montážích je třeba převzít nejlepší zkušenosti z výroby a upravit podmínky tak, aby zaválcování probíhalo stejně nebo se co nejvíce blížilo

podmínkám ve výrobním závodě. Vzhledem ke ztíženým podmínkám na montáži je třeba používat vhodných **přípravků**.

**Prodlužovací tyč s kloubem** umožňuje zaválcování trubek ve sběračích, které neleží v ose se závěrným otvorem sběrače, viz. obr. 32.

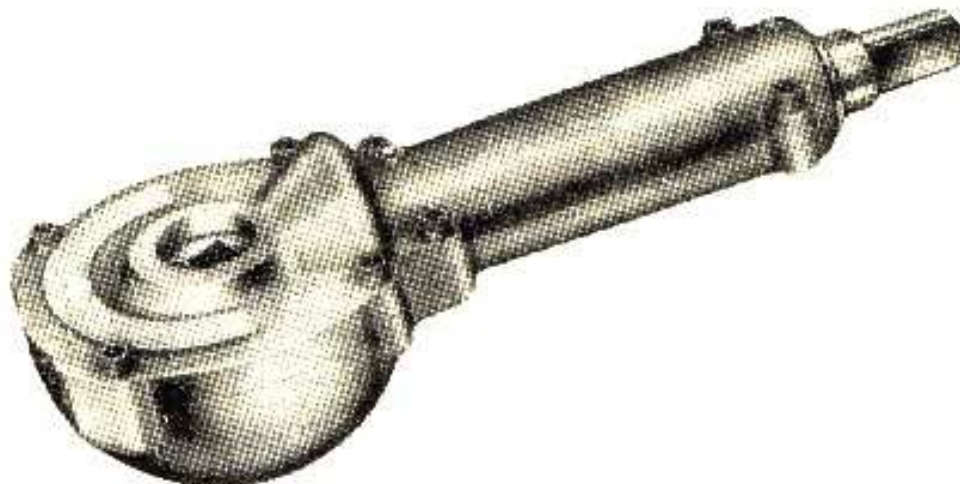


Obr. 32 Prodlužovací tyč s kloubem

Kromě toho se ve spojení s prodlužovací tyčí upravují velmi často délky zaválcovacích trnů, aby bylo vůbec možno zhotovit montážní spoj.

Nezastupitelné místo při zaválcování na externích montážích mají **úhlové pohony zaválcovaček**, které mají kromě své vlastní funkce zaválcování na nepřístupných místech i výhodu v tom, že svými převody mohou vhodně působit na rychlost zaválcování. Na obr. 33 je zobrazen **typ úhlového pohonu Ferrometall**, jehož technické údaje jsou: převodový

poměr 1:2, čtyřhran 14, popř. 16 mm, celková délka 290 mm, konstrukční výška 85 mm.

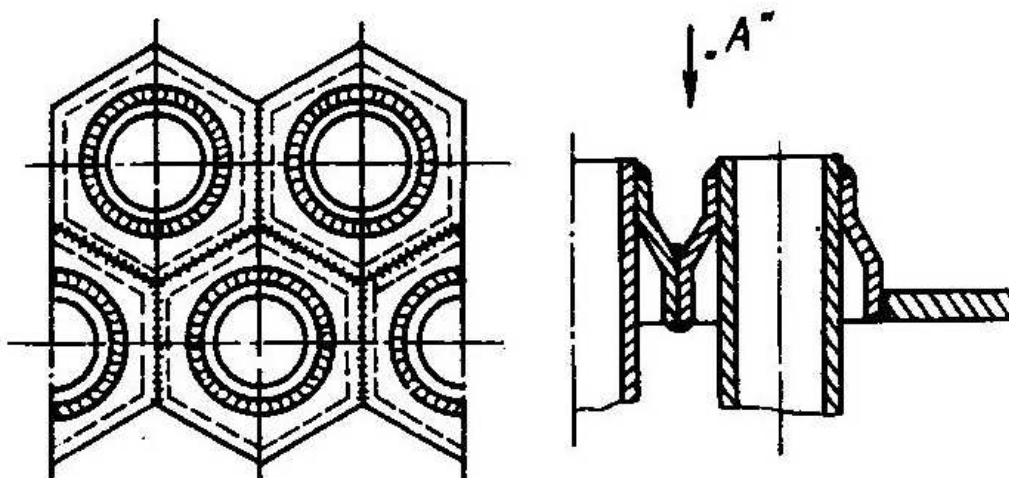


Obr. 33 Úhlový pohon Ferrometall

## 7. Nové způsoby upevňování trubek v trubkovnicích

Pro zajištění absolutní těsnosti spojů se v současné době využívá v průmyslu převážně svařování, a to ať již tradičního ručního, tak samozřejmě poloautomatického a automatického.

Také se zavádějí nové způsoby konstrukční práce, které např. odstraňují tradiční trubkovnici a nahrazují ji šestihrannými výlisky navzájem svařenými, které mají otvory pro zavaření trubek (švýcarský patent DPB 1023060), viz. obr. 34.



Obr. 34 Šestihranné výlisky navzájem svařované

Ze speciálních způsobů při zhotovování spojů trubek s trubkovnicemi je možno třeba ještě uvést např.

- Tváření tlakovými vlnami, vznikajícími elektrickým výbojem mezi elektrodami,
- Upevňování trubek v trubkovnicích elektromagnetickým impulsním způsobem, který je zvláště vhodný pro tváření válcových tvarů, zejména tenkostěnných trubek bez přenosového média,
- Difúzní spojení trubek s trubkovnicí.

### **Použitá literatura:**

[1] SMRČKA, K., KOVÁŘ, Z. Zaválcování trubek. SNTL Praha. 1966. 83 s. 04 – 253 – 66.

MODERNÍ PODKLADY - tajné