

Potrubi spoje



© Václav Pekař, 2023

iPotrubí.cz, Vysoké Mýto, 2023

Obsah:

1. POUŽITÉ VELIČINY A JEDNOTKY	4
2. ZATÍŽENÍ POTRUBNÍHO SPOJE	6
2.1. Přepočet zatížení momentem na zatížení silou u trubky.....	6
2.2. Přepočet zatížení momentem na zatížení silou u přírubového těsnění.....	7
2.3. Přepočet zatížení momentem na zatížení silou u přírubových šroubů.....	7
3. VÝPOČET PŘÍRUBOVÉHO SPOJE	9
3.1. Součásti a typy přírubového spoje a druhy přírubových spojů.....	9
3.1.1. Typy přírubového spoje a druhy přírubových spojů.....	9
3.1.2. Součásti přírubového spoje	9
3.2. Kontrola tlaku na těsnění	10
3.2.1. Výpočet tlaku na těsnění.....	10
3.2.1. Vlastnosti těsnění	10
3.3. Pevnostní výpočet přírubového spoje.....	14
3.3.1. Všeobecné informace	14
3.3.2. Trojúhelníkový diagram předpjatého spoje	15
3.3.3. Pružinové systémy u přírubových šroubů.....	16
3.3.4. Výstupy z výpočtu přírubového spoje	17
3.4. Těsnostně-pevnostní výpočet přírubového spoje.....	17
3.4.1. Těsnostně-pevnostní výpočet přírubového spoje – všeobecné údaje	17
3.4.2. Výpočet přírubového spoje pro dosažení požadované těsnosti	17
3.4.3. Podmínky pro dosažení vysoké těsnosti	19
3.4.4. Principy návrhu těsnostně-pevnostního výpočtu přírubového spoje	20
3.4.5. Vlastnosti těsnostně-pevnostního výpočtu přírubového spoje.....	20
3.4.6. Výstupy z výpočtu přírubového spoje	22
3.5. Pružinové systémy u přírubových šroubů.....	22
3.6. Výpočet utahovacího momentu z předepsané osově síly ve šroubu a materiálové vlastnosti šroubů a matic.....	25
4. POTRUBÍ S OBJÍMKOVÝMI SPOJI	29
5. LISOVANÉ SPOJE	32

6. SPOJENÍ Z MATERIÁLU SMA	33
7. VÝPOČET SVAŘOVANÉHO SPOJE.....	34
8. SPOJOVÁNÍ PLASTOVÝCH TRUBEK.....	35
9. SOUVISEJÍCÍ TECHNICKÉ NORMY A LEGISLATIVA	36
9.1. <i>Související legislativa.....</i>	36
9.2. <i>Související technické normy.....</i>	36
10. POUŽITÁ LITERATURA A LITERATURA PRO DALŠÍ STUDIUM	38
10.1. <i>Odborná literatura.....</i>	38
10.2. <i>Firemní literatura.....</i>	38
10.3. <i>Zajímavé internetové adresy</i>	39

1. Použité veličiny a jednotky

Značka	Zkratka jednotky	Název	Značka	Zkratka jednotky	Název
F	N	síla (všeobecně)	R	mm	vnější poloměr trubky, střední poloměr potrubí
M	Nm	moment síly (všeobecně)	P_{max}	$bar\ g$	maximální dovolený tlak PS
M_o	Nm	ohybový moment	α	úhlový stupeň	úhel sklonu natočení sváru k ose trubky se šroubovicovým svárem
σ	MPa	napětí (všeobecně)	ψ	-	koeficient sváru trubky se šroubovicovým svárem
σ_1, σ_o	MPa	hlavní napětí (osové napětí v trubce)	n	-	počet šroubů v přírubě
σ_2, σ_t	MPa	hlavní napětí (obvodové či tečné napětí v trubce)	F_A	N	osová síla na hrdlo aparátu
ε_1	%	poměrné osové prodloužení	F_x, F_z	N	síly kolmé na osu hrdla aparátu
ε_2	%	poměrné obvodové prodloužení	M_{omax}	Nm	ohybový moment maximální
R_e	MPa	mez kluzu materiálu při pokojové teplotě	g	m/s^2	gravitační zrychlení 9,81 m/s^2
R_m	MPa	pevnost materiálu při pokojové teplotě	L	m	délka (tj. původní) potrubí, redukována efektivní délka při vzpěru
μ	.	Poissonova konstanta	$\Delta L, \Delta l$	m	prodloužení potrubí
f, σ_{dov}	MPa	dovolené namáhání	A_{st}	mm^2	plocha průřezu stěny trubky
f_h	MPa	dovolené namáhání při maximální teplotě	A_i	mm^2	průřezová plocha šroubu v přírubě
f_{TS}	MPa	dovolené namáhání při nejvyšší dovolené teplotě TS	σ_F	MPa	napětí od osové síly v trubce
f_a	MPa	dovolené namáhání pro sekundární napětí způsobené tepelnou dilatací	σ_M	MPa	napětí od ohybového momentu
E	MPa	modul tahové/tlakové pružnosti	h	mm	tloušťka stěny potrubí
G	MPa	modul pružnosti ve smyku	D_o, D	mm	vnější průměr trubky
PT, P_{test}	$bar\ g$	zkušební tlak tekutiny	D_s	mm	střední průměr trubky
PS	$bar\ g$	nejvyšší dovolený tlak tekutiny	d	mm	vnitřní průměr potrubí, průměr výtlačného plechu, malý průměr vlnovce
p_{pt}	$bar\ g$	tlak na přírubové těsnění	J	mm^4	moment setrvačnosti průřezu (všeobecně)

p	<i>bar g</i>	výpočtový tlak tekutiny	J_x	mm^4	kvadratický moment setrvačnosti průřezu potrubí
y	<i>MPa</i>	minimální tlak na přírubové těsnění	J_p	mm^4	polární moment setrvačnosti průřezu potrubí
TS	$^{\circ}C$	nejvyšší dovolená teplota tekutiny	i	mm	kvadratický poloměr setrvačnosti průřezu
TD, t_c	$^{\circ}C$	výpočtová teplota tekutiny	Z, W_o	mm^3	průřezový modul potrubí pro ohyb
ρ	kg/m^3	hustota tekutiny	m	-	tlakový součinitel těsnění

tab. 1.1 Jednotky této kapitoly

2. Zatížení potrubního spoje

Přírubový spoj je vystaven za provozu vysokému namáhání, neboť se zde sečítají různé vlivy. Nejvíce je přírubový spoj namáhán nutným utažením přírubových šroubů, které vyvolává jeho předpětí. Další namáhání vznikne působením vnitřního přetlaku a také působením tepelného šoku stěnou za provozu.

K uvedeným namáháním přistupují další namáhání, zejména od sil a momentů vyvolaných teplotní dilatací potrubí, jeho vlastní vahou apod. Za ohřevu a chladnutí se zvyšuje namáhání přírubového spoje, neboť změna teploty přírubového listu a přírubových šroubů je různá.

2.1. Přepočítání zatížení momentem na zatížení silou u trubky

U trubky zatížené silou F a momentem M (podle obrázku) platí:
Napětí od síly vypočítáme za použití podmínky tenkostěnnosti:

$$\sigma_F = \frac{F}{A_{st}}, \quad \text{kdy } A_{st} = \pi D_s h$$

Napětí od momentu vypočítáme:

$$\sigma_M = \frac{M}{Z}, \quad \text{kdy } Z = \frac{J_x}{D/2}$$

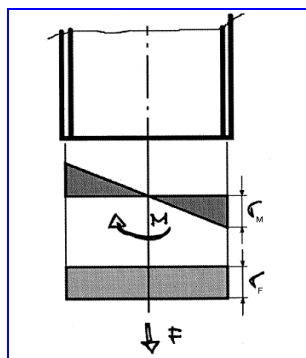
Pro tenkostěnnou trubku platí tento vztah mezi momenty setrvačnosti:

$$2J_x = J_p, \quad J_p = A \left(\frac{D_s}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} h D_s^3$$

Porovnáním obou napětí a dosazením

$$F = \frac{4M}{D}$$

Tento jednoduchý vzorec je výhodné používat pro přepočítání zatížení momentem na zatížení silou a obráceně pro výpočty napětí nebo namáhání (včetně přírub), neboť je odvozen porovnáním napěťových účinků těchto zatížení.



Obr. 2.1. Zatížení tenkostěnné trubky silou a momentem

2.2. Přepočítání zatížení momentem na zatížení silou u přírubového těsnění

V předchozí kapitole odvozený jednoduchý vzorec je výhodné používat pro přepočítání zatížení momentem na zatížení silou a obráceně pro výpočty napětí nebo namáhání (včetně přírub), neboť je odvozen porovnáním napěťových účinků těchto zatížení a využijeme ho i pro výpočet tlaku na těsnění. Jde o tento vzorec:

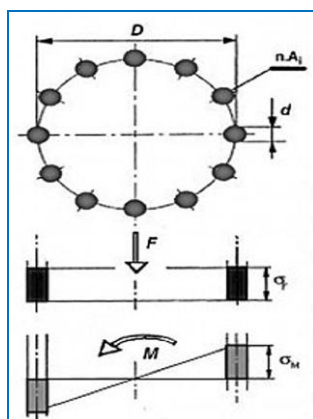
$$F = \frac{4M}{D}$$

Na přírubové těsnění (všeobecně na přírubový spoj) působí: Vnitřní tlak v potrubí, ohybový moment z potrubního systému a osová síla z potrubního systému. Při výpočtu tlaku od momentu je využito vztahu z předešlé kapitoly při převodu síla – moment. Vztah je potom takovýto:

$$P_{pt} = P + \frac{16M}{\pi D^3} + \frac{4F}{\pi D^2}$$

Tento vypočtený tlak musí být menší než maximální dovolený tlak na přírubové těsnění.

2.3. Přepočítání zatížení momentem na zatížení silou u přírubových šroubů



obr. 2.2. Zatížení přírubových spojů silou a momentem

Napětí ve šroubech od síly

$$\sigma_F = \frac{F}{n \cdot A_i}$$

Napětí ve šroubech od ohybového momentu

$$\sigma_M = \frac{M}{W}$$

kde W se dá vypočítat s polárního kvadratického momentu

$$J_0 = nA_i \left(\frac{D}{2} \right)^2$$

a dále

$$J_x = \frac{J_0}{2} \quad W = \frac{2J_x}{D}$$

Z toho plyne

$$\sigma_M = \frac{4M}{nA_i D}$$

A po porovnání obou napětí vyjde stejný vzorec jako v předešlé kapitole:

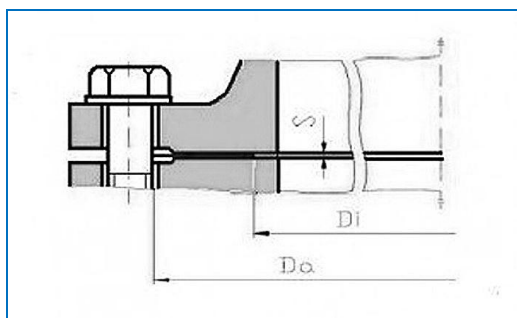
$$F = \frac{4M}{D}$$

3. Výpočet přírubového spoje

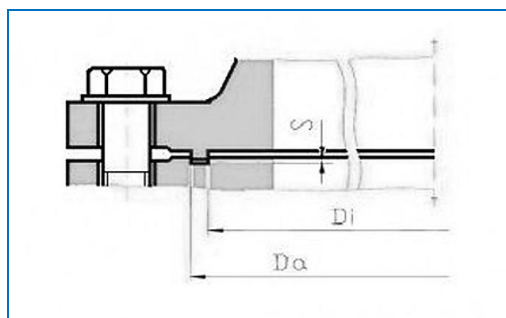
3.1. Součásti a typy přírubového spoje a druhy přírubových spojů

3.1.1. Typy přírubového spoje a druhy přírubových spojů

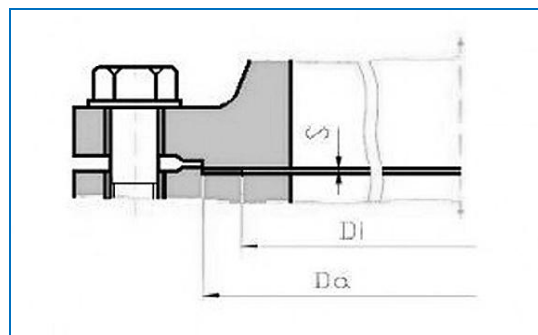
Typy těsnící plochy přírubového spoje:



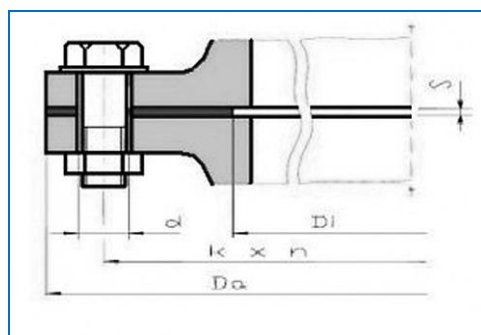
obr. 3.1. Těsnící lišta



obr. 3.2. Pero/drážka



obr. 3.3 Nákrůžek/Výkrůžek



obr. 3.4 Rovná plocha

3.1.2. Součásti přírubového spoje

Součásti přírubového spoje jsou:

- příruba, která je otočná anebo nerozebíratelně spojená s potrubím
- těsnění
- spojovací části, nejčastěji: šroub, podložka, matice.

3.2. Kontrola tlaku na těsnění

3.2.1. Výpočet tlaku na těsnění

Velmi často bývá do výpočtových programů zapracován jednoduchý výpočet kontroly tlaku na těsnění v přírubovém spoji od zatížení potrubního systému. Na přírubové těsnění (všeobecně na přírubový spoj) působí: Vnitřní tlak v potrubí, ohybový moment z potrubního systému a osová síla z potrubního systému. Tyto zatěžovací veličiny si program bere přímo z výpočtu a ve výsledcích nám signalizuje, zda je anebo není vypočítaný tlak na těsnění větší, než je tlak dovolený.

Vzorec pro výpočet tlaku na těsnění je potom takovýto:

$$P_{pt} = P + \frac{16M}{\pi D^3} + \frac{4F}{\pi D^2}$$

Smysl tohoto výpočtu je v tom, že výpočtový program kontroluje, zda se těsnění nezmačkne příliš, a to je tak, že ztratí pružnost a po odlehčení se již nevrátí do původního tvaru a netěsní. Je to jednoduchý výpočet a pro úplné zhodnocení šroubového spoje nepostačuje.

Pořadové číslo	Materiál těsnění	Maximální dovolený tlak na přírubové těsnění v MPa
1	Pryž	10
2	Azbest	15
3	Pryž s bavlněným tkanivem	10
4	Pryž s azbestem	20
5	Polytetrafluoretylen	20
6	Hliník a jeho slitiny. Hřebenové těs.	50
7	Měď a její slitiny. Hřebenové těs.	70
8	Nikl a jeho slitiny. Hřebenové těs.	70
9	Uhlíková ocel. Hřebenové těs.	70
10	Korozivzdorná ocel. Hřebenové těs.	100
11	Expandovaný grafit	70
12	Spirálové těs., PTFE, jeden kroužek	80
13	Spirálové těs., PTFE, dva kroužky	150
14	Spirálové těs., grafit, jeden kroužek	80
15	Spirálové těs., grafit, dva kroužky	180

tab. 3.1 Orientační dovolené hodnoty tlaku na těsnění

3.2.1. Vlastnosti těsnění

Těsnění má tyto základní vlastnosti:

1. Max. dovolený tlak na přírubové těsnění pro libovolný stav zatížení.

Je to tlak, který můžeme maximálně na těsnění dosáhnout (obvykle při montáži, aby těsnění neztratilo pružnost (tzn. aby se po uvolnění vrátilo do původní polohy) tento tlak udává výrobce těsnění. Postup pro kontrolu max. dovoleného tlaku je v předešlé kapitole.

2. Tlakový součinitel těsnění m , který definuje hodnotu minimálního tlaku na přírubové těsnění a to tak, že tento součinitel těsnění vynásobíme tlakem tekutiny p

3. Minimální tlak na přírubové těsnění - y ($v N/mm^2$) Je to tlak, který vznikne obvykle při provozu, kdy těsnění ještě odolává vnitřnímu tlaku tekutiny p . Společně s touto hodnotou je uváděn i tlakový součinitel těsnění m

Orientační hodnoty těsnění jsou v dále v tabulkách.

Pořadové číslo	Materiál těsnění	Maximální tlak na přírubové těsnění v MPa	Tlakový součinitel těsnění	Minimální tlak na přírubové těsnění v MPa
1	Pryž	10	0,5 až 1,0	1,4
2	Azbest	15	2,0 až 3,5	11
3	Pryž sbavlněným tkanivem	10	1,25	2,8
4	Pryž s azbestem	20	2,25 až 2,75	11
5	Polytetrafluoretylen	20	1,3	10
6	Hliník a jeho slitiny-hřebenové těs.	50	3,25	37,9
7	Měď a její slitiny-hřebenové těs.	70	3,50	44,8
8	Nikl a jeho slitiny-hřebenové těs.	70	3,75	62,0
9	Uhlíková ocel-hřebenové těs.	70	3,75	52,4
10	Korozivzdorná ocel-hřebenové těs.	100	4,25	69,5
11	Expandovaný grafit	70	1,3	10
12	Spirálové těs., PTFE, jeden kroužek	80	1,6	20
13	Spirálové těs., PTFE, dva kroužky	150	1,6	20
14	Spirálové těs., grafit, jeden kroužek	80	1,6	20
15	Spirálové těs., grafit, dva kroužky	180	1,6	50

Zpracováno z hodnot uvedených v ČSN EN 13445-3 Netopené tlakové nádoby – Část 3 Konstrukce a výpočet

Tabulka 3.2. Orientační dovolené hodnoty tlaku na těsnění

Typ těsnění	Chemická odolnost	Maximální teplota °C	Max. tlak v potrubí bar g
Vláknitopryžové	Všechny tekutiny, u páry riziko hydrolyzy	250	50
Grafit	Riziko oxidace	350 v oxidačním prostředí 550 v neoxidujícím	50
PTFE	Všechny tekutiny	120 čistý 225 modifikovaný	50
Spirálově vinuté	Riziko oxidace v případě grafitové vložky	600 grafitová vložka 250 PTFE vložka nad 600 vermikulitová vložka	400
Hřebenové	Riziko oxidace v případě grafitového obložení	600 250 v případě PTFE	400
S kovovým obložení	Většina tekutin	dle obložení	nad 400
Kovové	Závisí na konkrétním materiálu	vysoká	500
S kovovým kroužkem	Závisí na konkrétním materiálu	dle materiálu	nad 400
Expandovaný grafit	Všechny tekutiny	600	500

Zpracováno z hodnot uvedených v ČSN EN 13480-3 Kovová průmyslová potrubí – Část 3 Konstrukce a výpočet, Příloha P Přírubové spoje se šrouby

Tabulka 1 Tlakotepelná a chemická odolnost těsnění

Označovací číslice	Pracovní stupeň			Armatury Podle ČSN EN ISO 15848	Vhodné přírubové těsnění		
	Označení	Max. teplota	Rozsah tlaků		Označení	teplota	tlak
0.	N/A	150	25	t RT, t200	Přez	150	10
					Neexpandovaný PTFE	200	40
					Expandovaný PTFE	200	40
					Neazbestové vlákno s pojivem	200	40
1.	I.	200	160	t200	Přez	150	10
					Neexpandovaný PTFE	200	40
					Expandovaný PTFE	200	40
					Expandovaný grafit s kovovou vložkou	300	40
					Neazbestové vlákno s pojivem	200	40
					Grafitové vrstvy na nerez	500	160
					Hliník	300	40
					Měď, mosaz	300	40
					Měkká ocel	400	100
					Ocelový plášť s PTFE plnivem	200	100
					Niklový plášť s PTFE plnivem		
2.	II.	300	125	t400	Expandovaný grafit s kovovou vložkou	300	40
					PTFE vrstvy na oceli	300	40
					Grafitové vrstvy na měkké oceli	300	40
					Spirálové PTFE plnivo jedno i oboustranný kroužek	300	40
					Spirálové grafitové plnivo jedno i oboustranný kr.	400	40
					Grafitové vrstvy na nerez	500	125
					Hliník	300	40
					Měď, mosaz	300	40
					Měkká ocel	400	100
3.	III.	400	100	t400	Grafitové vrstvy na nerez	500	100
					Grafitové vrstvy na legované (teplně odolné) oceli	500	40
					Plášť z nerez s grafitovým plnivem a krytem	500	100
					Spirálové grafitové plnivo jedno i oboustranný kr.	400	40
					Měkká ocel	400	40
4.	IV.	425	100		Měkká ocel s grafitovým plnivem a krytem	400	40
					Grafitové vrstvy na nerez	500	100
					Korozivzdorná, teplně odolná ocel	600	100
					Grafitové vrstvy na legované (teplně odolné) oceli	500	40
					Plášť z nerez s grafitovým plnivem a krytem	500	100
					Spirálové grafitové plnivo jedno i oboustranný kr.	400	40
5.	V.	450	100		Měkká ocel	400	40
					Měkká ocel s grafitovým plnivem a krytem	400	40
					Grafitové vrstvy na nerez	500	100
					Korozivzdorná, teplně odolná ocel	600	100
					Grafitové vrstvy na legované (teplně odolné) oceli	500	40
					Plášť z nerez s grafitovým plnivem a krytem	500	100
6.	VI	475	100		Spirálové grafitové plnivo jedno i oboustranný kr.	400	40
					Měkká ocel	400	40
					Měkká ocel s grafitovým plnivem a krytem	400	40
					Grafitové vrstvy na nerez	500	100
					Korozivzdorná, teplně odolná ocel	600	100
					Grafitové vrstvy na legované (teplně odolné) oceli	500	40
7.	VII	500	100		Plášť z nerez s grafitovým plnivem a krytem	500	100
					Grafitové vrstvy na nerez	500	100
					Stříbrné vrstvy na nerez	600	100
					Korozivzdorná, teplně odolná ocel	600	100
					Grafitové vrstvy na legované (teplně odolné) oceli	500	40

Tabulka 3.4. Tabulka teplotních stupňů těsnění

Označovací číslice	Pracovní stupeň			Armatura Podle ČSN EN ISO 15848	Vhodné přírubové těsnění		
	Označení	Max. teplota	Rozsah tlaků		Označení	teplota	tlak
8.	VIII	525	100		Grafitové vrstvy na nerez	500	100
					Stříbrné vrstvy na nerez	600	100
					Korozivzdorná, tepelně odolná ocel	600	100
					Grafitové vrstvy na legované (tepelně odolné) oceli	500	40
					Plášť z nerez s grafitovým plnivem a krytem	500	100
9.	IX	550	100		Grafitové vrstvy na nerez	500	100
					Stříbrné vrstvy na nerez	600	100
					Korozivzdorná, tepelně odolná ocel	600	100
					Grafitové vrstvy na legované (tepelně odolné) oceli	500	40
					Plášť z nerez s grafitovým plnivem a krytem	500	100
10.	X	575	80		Grafitové vrstvy na nerez	500	80
					Stříbrné vrstvy na nerez	600	80
					Korozivzdorná, tepelně odolná ocel	600	80
11.	XI	600	60		Grafitové vrstvy na nerez	500	60
					Stříbrné vrstvy na nerez	600	60
					Korozivzdorná, tepelně odolná ocel	600	60
A.	A.	-50	160	t-46	Neexpandovaný PTFE	200	40
					Expandovaný PTFE	200	40
					Expandovaný grafit s kovovou vložkou	300	40
					Neazbestové vlákno s pojivem	200	40
					PTFE vrstvy na oceli	300	40
					Grafitové vrstvy na měkké oceli	300	40
					Grafitové vrstvy na legované (tepelně odolné) oceli	500	40
					Grafitové vrstvy na nerez	500	160
					Spirálové PTFE plnivo jedno i oboustranný kroužek	300	40
					Spirálové grafitové plnivo jedno i oboustranný kr.	400	40
B.	B.	-100	160		Neexpandovaný PTFE	200	40
					Expandovaný PTFE	200	40
					Expandovaný grafit s kovovou vložkou	300	40
					Neazbestové vlákno s pojivem	200	40
					PTFE vrstvy na oceli	300	40
					Grafitové vrstvy na měkké oceli	300	40
					Grafitové vrstvy na legované (tepelně odolné) oceli	500	40
					Grafitové vrstvy na nerez	500	160
					Spirálové PTFE plnivo jedno i oboustranný kroužek	300	40
					Spirálové grafitové plnivo jedno i oboustranný kr.	400	40
C.	C.	-200	160	t-196	Neexpandovaný PTFE	200	40
					Expandovaný PTFE	200	40
					Expandovaný grafit s kovovou vložkou	300	40
					Neazbestové vlákno s pojivem	200	40
					PTFE vrstvy na oceli	300	40
					Grafitové vrstvy na měkké oceli	300	40
					Grafitové vrstvy na legované (tepelně odolné) oceli	500	40
					Grafitové vrstvy na nerez	500	160
					Spirálové PTFE plnivo jedno i oboustranný kroužek	300	40
					Spirálové grafitové plnivo jedno i oboustranný kr.	400	40

Tabulka 3.5. Tabulka 2 teplotních stupňů těsnění

Typ těsnění	Chemická odolnost	Maximální teplota °C	Max. tlak v potrubí bar g
Vláknitopryžové	Všechny tekutiny, u páry riziko hydrolyzy	250	50
Grafit	Riziko oxidace	350 v oxidačním prostředí 550 v neoxidujícím	50
PTFE	Všechny tekutiny	120 čistý 225 modifikovaný	50
Spirálově vinuté	Riziko oxidace v případě grafitové vložky	600 grafitová vložka 250 PTFE vložka nad 600 vermikulitová vložka	400
Hřebenové	Riziko oxidace v případě grafitového obložení	600 250 v případě PTFE	400
S kovovým obložním	Většina tekutin	dle obložení	nad 400
Kovové	Závisí na konkrétním materiálu	vysoká	500
S kovovým kroužkem	Závisí na konkrétním materiálu	dle materiálu	nad 400
Expandovaný grafit	Všechny tekutiny	600	500
Zpracováno z hodnot uvedených v ČSN EN 13480-3 Kovová průmyslová potrubí – Část 3 Konstrukce a výpočet, Příloha P Přírubové spoje se šrouby			

Tabulka 2 Tlakotepelná a chemická odolnost těsnění

3.3. Pevnostní výpočet přírubového spoje

3.3.1. Všeobecné informace

V minulosti, která přetrvává až do dneška, vycházelo dimenzování přírubových spojů pouze z pevnostního hlediska, přičemž těsnost byla ve výpočtu zahrnuta odhadnutými hodnotami utahovacího tlaku y a součinitele těsnění m (ČSN, DIN, ASME.Code, BS aj.). Jde o výpočtovou metodu Taylor-Forgeovu.

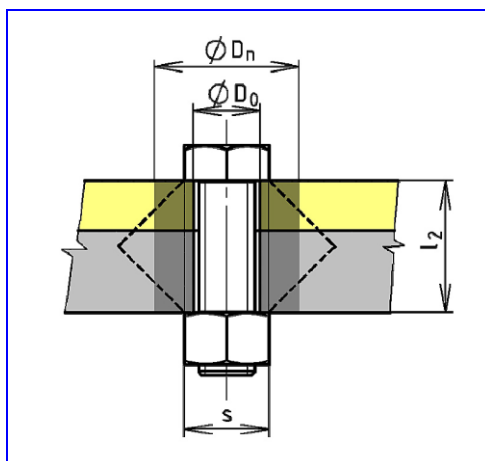
V současné době je v normách povolena metoda tato jako jedna z alternativ. Druhá alternativa je zde též představena, je to metoda následující v následující složce, tj. podle ČSN EN 1591 se zajištěním těsnosti.

Pro pevnostní výpočet přírubového spoje platí ve všeobecnosti následující postup:

Určení zatížení přírubového spoje. Nejprve vypočítáme provozní zatížení od tlaku v potrubí a od vnějších sil a momentů. Přepočtení zatížení momentem na zatížení silou najdeme, v jedné kapitole z předešlých.

Určení průměru a počtu šroubů přírubového spoje. Průměr a počet šroubů přírubového spoje zvolíme dle rozměrové normy jednotlivých přírub - konkrétně velikosti otvoru pro šroub. Dále určíme sílu připadající na jeden šroub a poté provedeme předběžnou kontrolu jeho velikosti podle tabulky uvádějících axiální únosnost jednotlivých šroubů

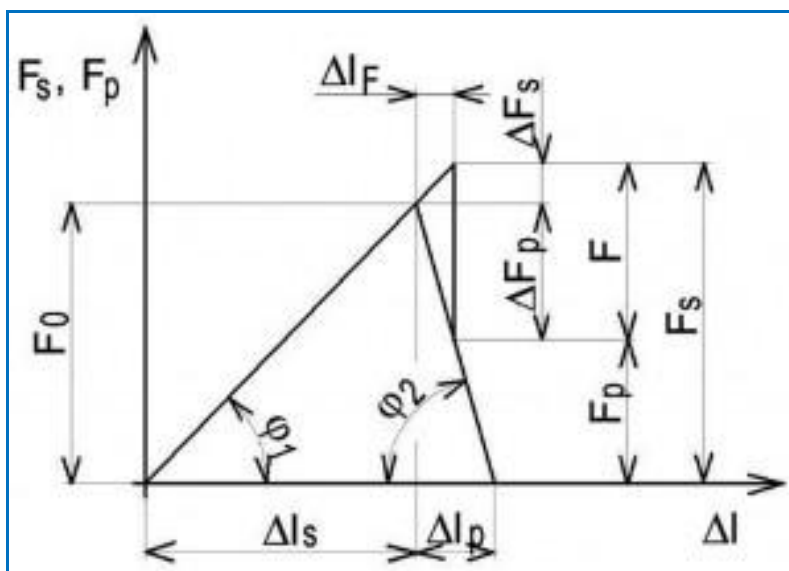
Určení silových účinků na přírubovém spoji. Deformační konstanta šroubu C_1 (mm/N) kde l_1 [mm] je délka spojovaných součástí (l_2) + výška matice (m). Deformační konstanta přírub C_2 (mm/N), kde D_n [mm] je vnější průměr náhradního dutého válce určený z deformačního dvojkužele spojovaných součástí.



obr. 3.5. Odvození deformační konstanty přírub

3.3.2. Trojúhelníkový diagram předpjatého spoje

Určení silových účinků na přírubovém spoji.



obr. 3.6. Trojúhelníkový diagram

Potřebná síla předpětí spoje F_0 (N),

$$F_0 = F \cdot \left(\psi + \frac{C_1}{C_1 + C_2} \right)$$

Hodnotu součinitele přetžitelnosti volíme z intervalu (0,2 až 1,2). Z rovnováhy sil na šroubu můžeme pomocí klasických vztahů odvodit potřebný utahovací moment M_u (N.mm).

Vzrůst osově síly na šroubu ΔF_s (N) vlivem zatežující síly F (síly připadající na jeden šroub)je takováto:

$$\Delta F_s = F \cdot \frac{C_2}{C_2 + C_1}$$

Celková síla zatěžující šroub (nárůst):

$$F_s = F_0 + \Delta F_s$$

Pokles těsnicí síly

$$\Delta F_T = F \cdot \frac{C_1}{C_2 + C_1}$$

Těsnicí síla v provozu:

$$F_T = F_0 - \Delta F_T$$

Odvozené vztahy z diagramu:

Platí-li, že síla od tlaku F

$$F = \Delta F_s + \Delta F_p$$

pak síla ve šroubech F_s

$$F_s = F_0 + \Delta F_s$$

Pevnostní kontrola šroubů:

- Zatížení při montáži. Šroub je při montáži namáhán tahem a krutem. Počítáme tedy velikost napětí v tahu a v krutu. Dále určíme redukované napětí a nakonec vypočítáme součinitel bezpečnosti k , který porovnáme s doporučenou hodnotou k_d .
- Zatížení při provozu. Šroub je zatížen pouze provozní silou v tahu F_s . Krutící moment po montáži v důsledku mikroposuvu částečně vymizí, proto jej neuvažujeme. Určíme tedy tahové napětí a poté stanovíme součinitel bezpečnosti k , který porovnáme s doporučenou hodnotou k_d .
- Přepočítání tahu ve šroubu na utahovací moment je uvedeno dále ve zvláštní kapitole
- Kontrola v závitech matice, kontrolujeme otláčení v závitech matice.

3.3.3. Pružinové systémy u přírubových šroubů

Nejvíce náchylné k netěsnostem jsou přírubové spoje s velkými změnami teplot. Přírubový spoj bez pružných elementů má jen malou zásobu pružnosti (pružné deformace), jak je patrné z horního náčrtu vlevo. Dolní náčrt znázorňuje, jak pružné elementy zvětší možnost vzájemného pružného posunu mezi natahovanými elementy (šrouby) a stlačovanými elementy (přírubami s těsněním), může to být až desetinásobně. To znamená, že stejný rozdíl deformací šroubů a přírub s těsněním, který nastává při přechodových provozních

stavech – najíždění a sjíždění – znamená u přírubového spoje bez pružných elementů relativně mnohem větší nárůst nebo úbytek síly ve spoji. Pružné elementy tedy toto kolísání sil ve spoji velmi omezují. Výhody pružných prvků:

- a) snížení potřebné síly pro předpětí (montáž)
- b) u cyklického zatížení snížení amplitudy síly roztahující šrouby,
- c) snížení relaxace síly při postupném utahování šroubů

Použití pružinového systému „Live Loading“, tj. pružinového systému s talířovými podložkami.

3.3.4. Výstupy z výpočtu přírubového spoje

Z výpočtu přírubového spoje je nutné jako výstup udávat tyto údaje:

- specifikace nebo potvrzení specifikace těsnění
- specifikace spojovacího materiálu (tj. šroubů, matic, podložek, pružných podložek atd.)
- tah ve šroubu. Přepočet tahu ve šroubu na utahovací moment je uveden dále v kapitole 11.6.

Předpokládáme použití normalizovaných přírub specifikovaných v potrubní třídě. I těsnění a spojovací materiál se poté zanesou do potrubní třídy.

3.4. Těsnostně-pevnostní výpočet přírubového spoje

3.4.1. Těsnostně-pevnostní výpočet přírubového spoje – všeobecné údaje

Přírubový spoj je vystaven za provozu vysokému namáhání, neboť se zde sečítají různé vlivy. Nejvíce je přírubový spoj namáhán nutným utažením přírubových šroubů, které vyvolává jeho předpětí. Další namáhání vznikne působením vnitřního přetlaku a také působením tepelného šoku stěnou za provozu. K uvedeným namáháním přistupují další namáhání, zejména od sil a momentů vyvolaných teplotní dilatací potrubí, jeho vlastní vahou apod. Za ohřevu a chladnutí se zvyšuje namáhání přírubového spoje, neboť změna teploty přírubového listu a přírubových šroubů je různá.

V současné době je v normách povolena čistě pevnostní metoda jako jedna z alternativ. Druhá alternativa je metoda následující, tj. podle ČSN EN 1591 se zajištěním požadované těsnosti.

3.4.2. Výpočet přírubového spoje pro dosažení požadované těsnosti

Zdroje emisí by zejména u vybraných anorganických a organických látek neměly překročit předepsané hodnoty. Povolené emise – jinými slovy množství netěsností – jsou tím definovány.

Tři třídy netěsností pro měkká těsnění odpovídají množstvím netěsností:

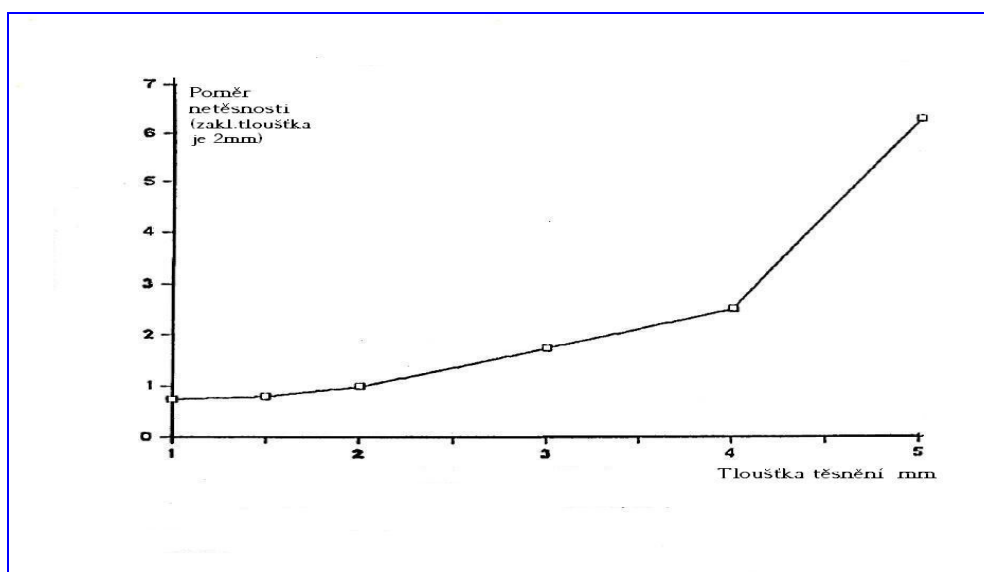
a) třída L1,0 (1 mg/s.m): požadavkům pro utěsnění většiny kapalin a nízkotlakých plynů, např. u rozvodů tlakového vzduchu;

b) třída L0,1 (0,1 mg/s.m): která přibližně kopíruje hodnotu 1 ml/min dusíku a je vhodná pro utěsnění kapalin s nízkým povrchovým napětím (např. naftu) a parám a plynům s vyšším přetlakem a teplotou;

c) třída L0,01 (0,01 mg/s.m): vhodná pro utěsnění nebezpečných látek, definovaných jako hořlavé, výbušné, jedovaté, toxické apod.)

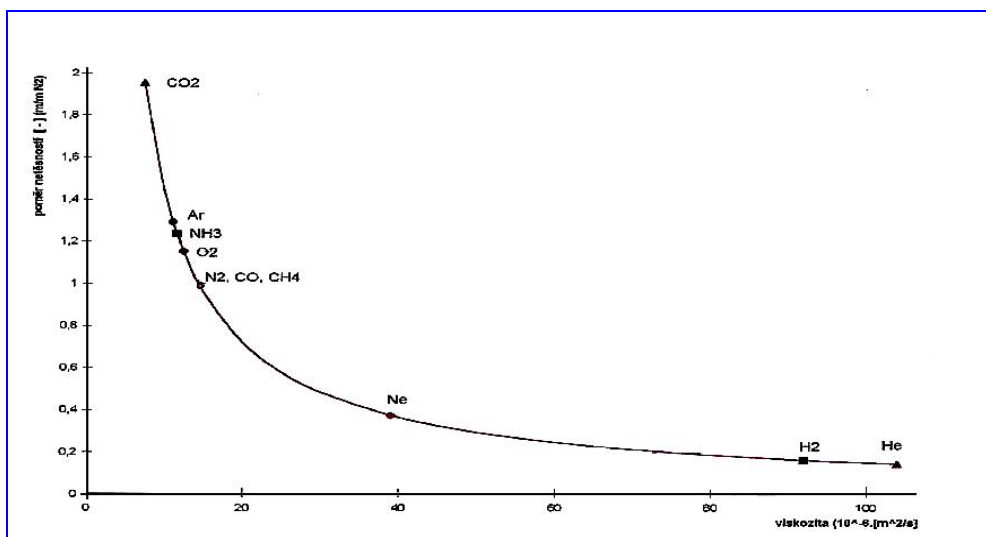
Z běžných těsnicích materiálů se pro třídu L1,0 a L0,1 hodí vláknitopryžová těsnění a expandovaný grafit v průmyslové čistotě, v třídě L0,01 PTFE nebo grafit v jaderné čistotě nebo kombinované těsnicí materiály a kovová těsnění, která mohou dosáhnout i vyšší těsnosti.

Vliv tloušťky těsnění a viskozity média. Pro vysvětlení: vznik netěsnosti u měkkých těsnicích materiálů se projevuje ve dvou cestách – první mezi těsněním a těsnicí plochou, druhá průchodem těsnicím materiálem. První závisí na tom, jak těsnění dokáže zaplnit výstupky a prohlubně drsností a vlnitostí těsnicích ploch (význam egalizace těsnicích ploch při opravách přírubových spojů).



Obr. 3.7. Vliv tloušťky těsnění na těsnost

Druhá je dána vlastností měkkého těsnicího materiálu: je to porézní těleso, které při stlačování těsnění z pórů vytlačuje vzduch, přičemž se póry zmenšují a tím se stává materiál těsnění těsnějším.



Obr. 3.8. Vliv viskozity látek na těsnost

Dosahované netěsnosti u měkkých materiálů viz tabulka:

Pořadové číslo	Materiál těsnění	Netěsnost v mg/s.m
1	aramid	0,1-0,6
2	grafit	0,1 a nižší
3	spirálové těs., grafit jako plnivo	0,1 a nižší
4	expandovaný grafit 98%	0,1
5	expandovaný grafit 99,75%:	0,001 a nižší
6	čistý PTFE	0,01 a nižší
7	expandovaný PTFE	0,01
8	spirálové těs., PTFE jako plnivo	0,01 a nižší

Zpracováno z hodnot uvedených v ČSN EN 1591

Tabulka 3.7. Dosahované netěsnosti u měkkých materiálů těsnění

3.4.3. Podmínky pro dosažení vysoké těsnosti

Podmínky pro dosažení vysoké těsnosti jsou:

- Užití těsnění, s vlastnostmi zjištěnými dle norem, která jsou zveřejňována na www.gasketdata.org a dále také na www.tesneni.cz
- Těsnostně pevnostní výpočet dle ČSN EN 1591-1
- Montáž přírubového spoje s odborně vyškolenými pracovníky montáže a údržby příp. s měřením utahovacích sil ve spoji (dle ČSN P CEN/TS 1591-4).

Těsnění certifikovaná podle TA-Luft musí mít určité úpravy, např. difúzní uzávěr (vnitřní nepropustný lem) a vůči těsnicím plochám musí mít úpravy, které zamezují průchod porézním měkkým těsnicím materiálem. I když tato těsnění vycházejí z určité konstrukce materiálu dosud užívaného v oblastech „průmyslových netěsností“, tedy ve třídách od 1 do 0,01. Těsnění podle TA-Luft musí mít příslušný certifikát.

Přírubové spoje sestavené ze tří různých konstrukčních prvků: přírub, šroubů a těsnění se nyní musí uvažovat jako jediný celek vzájemně se ovlivňujících součástí – nelze je uvažovat jako samostatné tři části spoje. I když byl těsnostně pevnostní výpočet přírubového spoje známý již několik desetiletí, teprve rozvoj počítačové techniky umožnil postupně spojit obě hlediska; dnes je tento výpočtový postup se zahrnutím všech provozních stavů, do kterých se spoj může během své činnosti dostat, popsán v normě ČSN EN 1591. V jednotlivých částech normy je popsáno, co je třeba pro výpočet znát a pro jaké podmínky platí. Povinný je zatím v jaderné energetice a pro zařízení produkující nebezpečné emise, v zahraničí se užívá i pro běžnější aplikace, protože ve spojení s řízenou montáží umožňuje bezpečnější a ekonomičtější provoz tlakových zařízení.

3.4.4. Principy návrhu těsnostně-pevnostního výpočtu přírubového spoje

Základní funkce tohoto spoje jsou zajištění pevnosti a těsnosti (viz třídy L). Výpočet je iterační proces, jehož jednotlivé kroky jsou řízeny výsledky průkazu těsnosti a průkazu pevnosti přírubového spoje. Nejprve se volí utahovací síla ve šroubech tak, aby zajistila vyplnění nerovností na těsnící liště použitým těsněním při montáži, nesmí však klesnout pod minimální hranici pro dosažení dané třídy těsnosti v definovaných provozních stavech. Dále se určí silové poměry ve spoji s tím, že se respektuje tuhost jednotlivých částí. Dále se zkontroluje měrný tlak na těsnění, pevnost přírub a šroubů. V případě, že jednotlivé kontroly nevyhovují, výpočet se opakuje.

Úkolem průkazu těsnosti je určit velikost předpětí spoje, která je nutná pro dosažení těsnících vlastností těsnění při montáži a dodržení potřebného tlaku na těsnění v provozu (viz třídy L).

Úkolem průkazu pevnosti je určit, zda všechny části přírubového spoje odolají silovému zatížení a to opět při montáži a za provozu.

3.4.5. Vlastnosti těsnostně-pevnostního výpočtu přírubového spoje

Výpočet těsnostně-pevnostního dimenzování je zahrnut ve 4 dílech normy ČSN EN 1591. Těsnostně pevnostní výpočty podle ČSN EN 1591-1 jsou složitější, než dosud užívané pevnostní výpočty přírub.

Výpočtová teorie je podobná u obou metod: působící síly na přírubový spoj jsou stejně definovány, uvažuje se průřez, příp. z toho vyplývající moment odporu. Tato metoda výpočtu se používá povinně v jaderných elektrárnách a pro vybrané nebezpečné látky. Pro ostatní přírubové spoje je doporučena.

ČSN EN 1591-1 ale nabízí tyto přednosti:

- zásadně se uvažuje chování celého systému: příruba + šrouby + těsnění;
- neposuzují se pouze kritéria pevnosti, ale i celkové deformační chování a těsnost;

- vhodnost vybraného těsnění vychází z pružnostní analýzy vztahu mezi zatížením a deformací všech částí přírubového spoje;
- potřebná těsnicí síla se současným stanovením účinné šířky těsnění se iterativně vyšetřuje pro každý případ zatížení (montáž, tlaková zkouška, provoz, ale i najíždění a sjíždění při zarážkách) – nesprávná zadání uživatelů výpočtových parametrů: tlaků, teploty a jejich změn mohou vést proto k nesprávným závěrům výpočtu;
- požadavky na snížení emisí dle nových emisních zákonů lze řešit pouze tímto výpočtem – to umožňuje přesnější přezkoušení těsnosti spoje;
- celé vyšetření vztahu síla – deformace platí pro různé tvary přírub (přivařené, točivé, obruby), šrouby a těsnění.

Navíc tato výpočtová metoda bere ohled na ovlivňující veličiny, jako:

- poddajnost spoje; ukazuje i názorně, jak např. zlepšit poddajnost šroubů: materiálem, průřezem, délkou, užitím pružin a jejich řazením (live loading, aj.); vliv modulů pružnosti při výpočtových teplotách všech částí spoje; dovolené natočení listů přírub ($\leq 1^\circ$); (poddajnost přírub, těsnění);
- zahrnuje vliv připojených částí (válec, kužel, koule, dna aj.) včetně elasticity přírubového spoje;
- vliv rozdílů součinitelů délkových roztažností částí spoje při jejich rozdílných teplotách;
- vliv vnějších sil a ohybových momentů vyvolaných např. teplotní dilatací kompenzačních útvarů (nejen u potrubí, ale i u trubkových výměníků, kde v konstrukčních podkladech tyto výpočty chybí a obtížně se počítají: stanovení rozdílů středních teplot pláště a trubek; vícechodé výměníky s plovoucí hlavou, aj.); v pevnostních výpočtech výrobců aparátů – tlakových nádob – takové údaje chybí;
- bere se ohled na maximálně možné zatížení materiálu těsnění (selhání: rozdrčení, zvýšené tečení aj.).
- utahovací postup šroubů a tím daný možný rozptyl dosažených utahovacích tlaků; vliv kvalifikované obsluhy při utahování spoje při montáži, vliv použitého nářadí, vliv měření dosažených sil ve šroubech, vliv mazání závitů šroubů a dosedacích ploch, vliv relaxace měkkého těsnění na těsnost (odhad ze zkoušky tlakové stálosti).

Přitom výpočtové hodnoty pro příruby a připojené skořepiny příp. šrouby vycházejí z databáze rozsáhlého sortimentu polotovárů: trubek bezešvých i svařovaných, plechů, výkovek, tyčí aj. kovových (příp. i nekovových) materiálů. Jsou zde uvedeny pevnostní vlastnosti, součinitelé délkových roztažností za teploty. Kromě toho jsou jako zvláštní databáze k dispozici výpočtové hodnoty těsnicích materiálů (měkkých, kombinovaných nebo kovových) v závislosti na teplotě.

3.4.6. Výstupy z výpočtu přírubového spoje

Z výpočtu přírubového spoje je nutné jako výstup udávat tyto údaje:

- specifikace nebo potvrzení specifikace těsnění
- specifikace spojovacího materiálu (tj. šroubů, matic, podložek, pružných podložek atd.)
- síla ve šroubu. Přepočet tahu ve šroubu na utahovací moment je uveden dále v kapitole 3.4.

Předpokládáme použití normalizovaných přírub specifikovaných v potrubní třídě. I těsnění a spojovací materiál se poté zanesou do potrubní třídy.

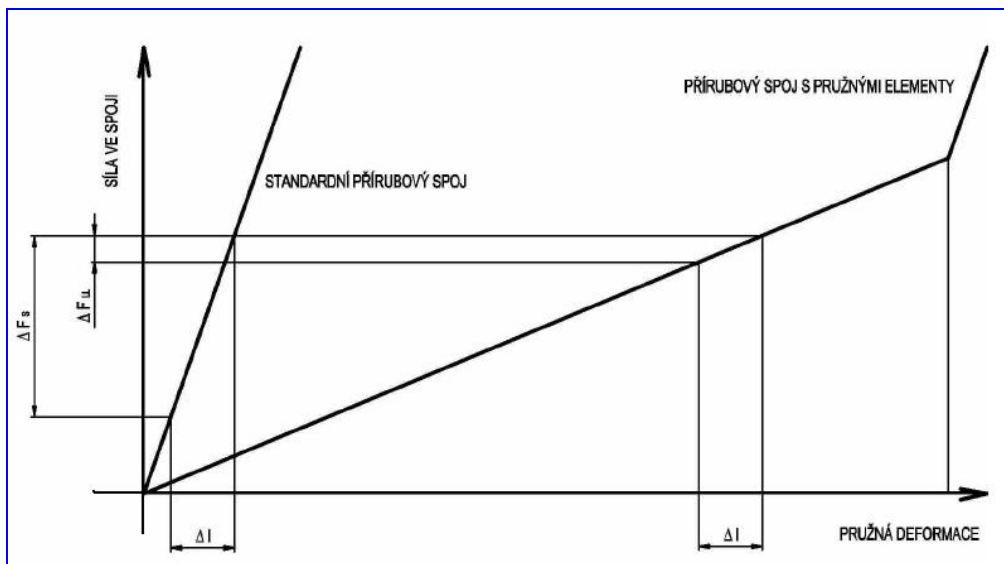
V této kapitole naší knihy jsme se zabývali principy výpočtu přírubového spoje, případně jejich vývojem. Není úmyslem naší knihy se zabývat např. konkrétními těsněními a jejich vlastnostmi, spojovacím materiálem a jeho mazáním, talířovými pružinami, flange managementem ani obsahem školení montážníků přírubových spojů. V takovýchto případech je nutné se obrátit na odborné firmy (např. viz inzerce v naší knize).

3.5. Pružinové systémy u přírubových šroubů

Nejvíce náchylné k netěsnostem jsou přírubové spoje s velkými změnami teplot. Přírubový spoj bez pružných elementů má jen malou zásobu pružnosti (pružné deformace), jak je patrné z horního náčrtu vlevo. Dolní náčrt znázorňuje jak pružné elementy zvětší možnost vzájemného pružného posunu mezi natahovanými elementy (šrouby) a stlačovanými elementy (přírubami s těsněním), může to být několika- až desetinásobně. To znamená, že stejný rozdíl deformací šroubů a přírub s těsněním, který nastává při přechodových provozních stavech – najíždění a sjíždění – znamená u přírubového spoje bez pružných elementů relativně mnohem větší nárůst nebo úbytek síly ve spoji. Pružné elementy tedy toto kolísání sil ve spoji velmi omezují. Výhody pružných prvků:

- a) snížení potřebné síly pro předpětí (montáž)
- b) u cyklického zatížení snížení amplitudy síly roztahující šrouby,
- c) snížení relaxace síly při postupném utahování šroubů

Použití pružinového systému „Live Loading“, tj. pružinového systému s talířovými podložkami.



Obr. 1.9. Schema pružinového systému „Live Loading“

Tuhost šroubů a těsnění lze ovlivnit těmito způsoby:

u šroubů:

- délkou šroubů l_s
- modulem pružnosti šroubů, který závisí na teplotě E_s
- průřezem šroubů S_s a plochou, jakou působí matice, hlava, příp. podložka na spoj u

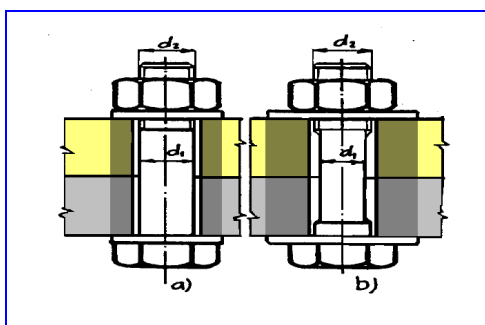
těsnění:

tloušťkou těsnění s_T

modulem pružnosti těsnění, který závisí též na utah.tlaku

plochou těsnění S_T

Snížení tuhosti šroubu změnou průřezu



Obr. 3.10.

tuhý šroub: $D_1 \approx 2 \cdot d_2$; $d_1 \approx d_2$

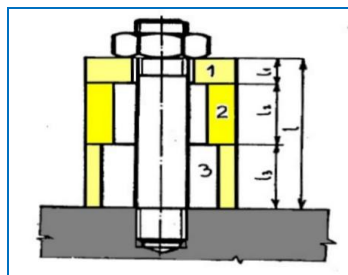
$$\frac{S_s}{S_p} = \frac{d_2^2}{D_1^2 - d_1^2} = \frac{d_2^2}{4 \cdot d_2^2 - d_2^2} = 0,33$$

pružný šroub + větší podložka: $D_1 \approx 3 \cdot d_2$; $d_1 \approx 0,8 \cdot d_2$

$$\frac{S_{\bar{s}}}{S_p} = \frac{(0,8 \cdot d_2)^2}{9 \cdot d_2^2 - d_2^2} = \frac{0,64}{8} = 0,08$$

touto změnou se podařilo snížit tuhost asi 4krát

Prodloužení délky šroubů, trubkové nástavce



Obr. 3.11.

celkové prodloužení Δl :

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \dots = F \cdot \left(\frac{l_1}{E_1 \cdot S_1} + \dots \right)$$

a poměrné prodloužení ε :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{F}{l} \cdot \left(\frac{l_1}{E_1 \cdot S_1} + \dots \right) = \frac{F}{l} \cdot \left(\frac{1}{c_1} + \dots \right)$$

a přitom redukovaný součinitel tuhosti

$$c_R = \frac{1}{\left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3} \right)}$$

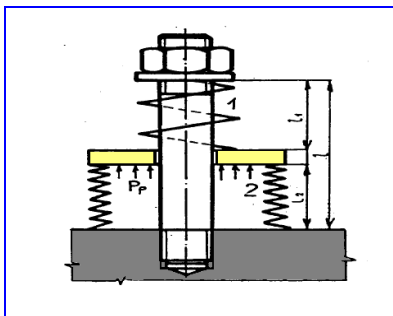
vliv teplotních deformací podle předchozího obr., tj. se šroubem:

$$\Delta l_t = l_1 \cdot \alpha_1 \cdot \Delta t_1 + \dots - l_{\bar{s}} \cdot \alpha_{\bar{s}} \cdot \Delta t_{\bar{s}} \quad \text{kde } \varepsilon_t = \frac{\Delta l_t}{l_t}$$

pro délku $l_t = l_{\bar{s}} - (l_1 + l_2 + l_3)$ a celková deformace od síly $F_{\bar{s}}$

$$\varepsilon_{\text{celk}} = F_{\bar{s}} \cdot \left(\frac{l_1}{E_1 \cdot S_1} + \dots - \frac{l_{\bar{s}}}{E_{\bar{s}} \cdot S_{\bar{s}}} \right) = F_{\bar{s}} \cdot \left(\frac{1}{c_R} - \frac{1}{c_{\bar{s}}} \right)$$

Vliv tažných a tlačných pružin (i tlačných talířových)



Obr. 3.12.

deformace od pružin

$$\Delta l_{pr} = F \cdot y_1 \cdot l_{1.nebo.2}$$

kde y_1 je poměrná deformace pružiny při zatížení jednotkovou silou

celková deformace ε_{celk} :

$$\varepsilon_{celk} = \varepsilon_s + \varepsilon_{pr} = F \cdot \left(\frac{l_s}{E_s \cdot S_s} + y_1 \cdot \frac{l_{1.nebo.2}}{l_s} \right) = \frac{F}{c_{celk}}$$

3.6. Výpočet utahovacího momentu z předepsané osová síly ve šroubu a materiálové vlastnosti šroubů a matic

Šroubové spoje vyžadují výpočet krouticího momentu pro zajištění správného předpětí tahu. Použití krouticího momentu na upevňovací prvky se běžně dosahuje pomocí momentového klíče.

Běžný vztah používaný k výpočtu utahovacího momentu pro požadované předpětí bere v úvahu geometrii závitu a tření v závitech a pod hlavou šroubu nebo maticí. Následující předpoklady podle Wikipedie (anglický jazyk) předpokládají, že se používají šrouby a závity podle normy ISO nebo národní normy:

$$M = k \cdot F_s \cdot d_s$$

kde

M je počítaný utahovací moment

k je součinitel matice

F_s je požadovaná osová síla ve šroubu předpětí

d_s je jmenovitý průměr šroubu

Součinitel matice k odpovídá geometrii závitu, tření, stoupání. Při použití závitů ISO je podle Wikipedie součinitel matice:

$$k = \frac{d_m}{2d_s} \left(\frac{\tan \psi + \mu \cdot \sec \alpha}{1 - \tan \psi \cdot \sec \alpha} \right) + 0,625 \mu_c$$

kde $\psi = s / (\pi \cdot d_m)$

d_m je střední průměr závitu

d_n je střední průměr kontaktu mezi maticí (hlavou šroubu, podložkou) a přírubou pod ní

s je stoupání závitu

μ je součinitel tření v závitech

α je polovina úhlu závitu (typicky $60^\circ/2 = 30^\circ$), jinak též sklon závitu

μ_c je součinitel tření pod hlavou šroubu nebo maticí

Když $\mu=\mu_c=0,15$, pak použité rozměry odpovídají libovolné velikosti hrubého nebo jemného závitu na šroubu a součinitel matice je $k \approx 0,20$, vztah utahovací moment/síla ve šroubu bude podle Wikipedie:

$$M=0,2.F_s.d_s$$

Dodle literatury [112] je vztah mezi momentem a předepsanou osovou silou takovýto

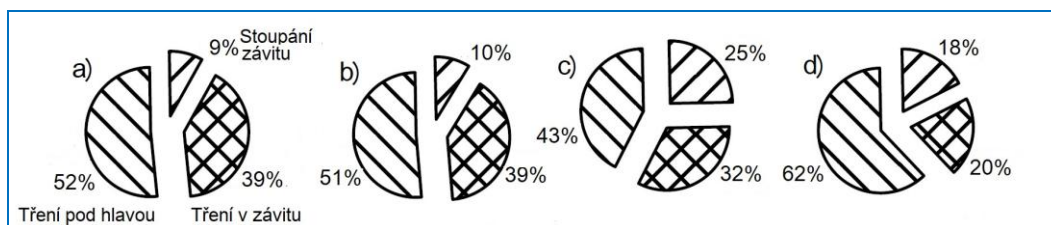
$$M = F_s \left(\frac{F_s}{2\pi} + \frac{\mu \cdot d_m}{\cos\alpha} + \mu_c d_n \right)$$

Pro metrické šrouby lze uvedený vztah upravit na

$$M = F_s (0,16.F_s + 0,58.\mu d_m + 0,5.\mu_c d_n)$$

Tento výraz dokumentuje tři nejvýraznější složky závislosti osově síly ve šroubu a utahovacím momentem: vliv stoupání závitu, tření pod hlavou a tření v závitu.

Vliv maziva. Mazivo má zásadní vliv na tření v závitu a pod hlavou matice. Toto tření může být ovlivněno aplikací maziva nebo jakékoli vrstvy snižující tření (např. lakem, pokovováním atd.). Na základě zkoušek popsanych v literatuře [112] lze shrnout vliv maziva do obr. 3.13. dále.



obr. 3.13. Podíl jednotlivých složek na celkovém momentu při různých mazáních: a) bez maziva, b) minerální olej pouze na závitu, c) tuhé mazivo s molikou pod hlavou a na závitu, d) kluzný lak pouze na závitu

Velká část použitého utahovacího momentu se ztrácí překonáváním tření pod utahovací hlavou šroubu nebo maticí a závitem. Jen zbývající malá část utahovacího momentu odvádí potřebnou práci pro natahování šroubu a zajištění jeho předpětí.

Zpočátku musí utahovací moment překonat statické tření pod hlavou šroubu nebo matice a v samotných závitech. Nakonec však převažuje dynamické tření.

Takto určený utahovací moment a mazivo se uvádí ve vhodném dokumentu do projektu.

Materiál šroubů	Třída pevnosti dle ČSN EN ISO 898-1										
Nové značení	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	6.9	8.8	10.9	12.9
Staré značení	3D	4D	4S	5D	5S	6D	6S	6K	8G	10K	12K
Jmenovitá pevnost v tahu MPa	300	400	400	500	500	600	600	600	800(do16) 830(od16)	1040	1220
Mez kluzu dolní anebo smluvní 0,2% v Mpa při 20°C	180	240	320	300	400	380	480	540	640(do16) 680(od16)	900	1080
Dtto při 100°C		210		250					590	875	1020
Dtto při 200°C		190		210					540	790	925
Dtto při 250°C		170		190					510	745	875
Dtto při 300°C		140		160					480	705	825
Min. pracovní teplota	-20 stupňů C										
Max. pracovní teplota	300 stupňů C										
Základní informace do tabulek této kapitoly jsou z publikace „Technické informace“, viz www.K2L.cz											

Tabulka 3.8. Oceli pro šrouby přírubového spoje a jejich charakteristiky

Nové označení šroubů se skládá ze dvou číslic ve tvaru X.Y	
Číslice	Význam
X	Označuje setinu minimální pevnosti v tahu
Y	Znamená poměr meze kluzu k pevnosti v tahu vynásobený deseti a zaokrouhlený na celé číslo

Tabulka 3 Vysvětlení systému nového označování šroubů

Příklady zařazení materiálů do pevnostních tříd šroubů	
3.6, 4.6	UQSt 36-2, UQSt 38-2, Cq 15
5.6, 6.8	Cq 22, Cq 35, C 35, Ck 35
8.8, 10.9	Cq 35, Cq 45, 38 Cr1, 46 Cr1, 34 Cr4
10.9	34 Cr4, 37 Cr4, 41 Cr4
12.9	37 Cr4, 41 Cr4, 34CrMo4
12.9	34CrMo4, 42CrMo4
12.9	34CrNiMo6

Tabulka 4. Příklady zařazení jednotlivých materiálů do pevnostních tříd

Materiál matice	Třída pevnosti dle ČSN EN ISO 898-1 Pd (MPa)									
	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	6.9	8.8	10.9	12.9
Ocel	40	50	75	70	90	110	120	150	200	250
Litina	25	30	45	40	55	70	80	90	125	150
Hliníkové slitiny	18	20	30	27	35	45	50	60	80	90

Tabulka 5. Hodnoty dovolených otačení v závitech šroubů a matic přírubového spoje

Materiál šroubů	Jakost oceli										
	1.0501	1.0503	1.7218					1.7709		1.4541	
Značení EN											
Značení ČSN	12040. 6	12050. 6	15130. 6	15233. .6	15233. 7	15236. 6	15236. 7	15320. 5	15330. 8	17246. .4	17248. .4
Pevnost v tahu MPa	540	640	690	590	690	790	790	790	930	500	500
Mez kluzu 0,2% MPa	325	390	490	440	480	540	590	590	785	210	205
Min. prac. teplota	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-50	-20	-200	-200
Max. prac. teplota	400	400	400	550	550	600	600	600	400	575	575

Tabulka 3.12. Oceli pro šrouby přírubového spoje a jejich charakteristiky

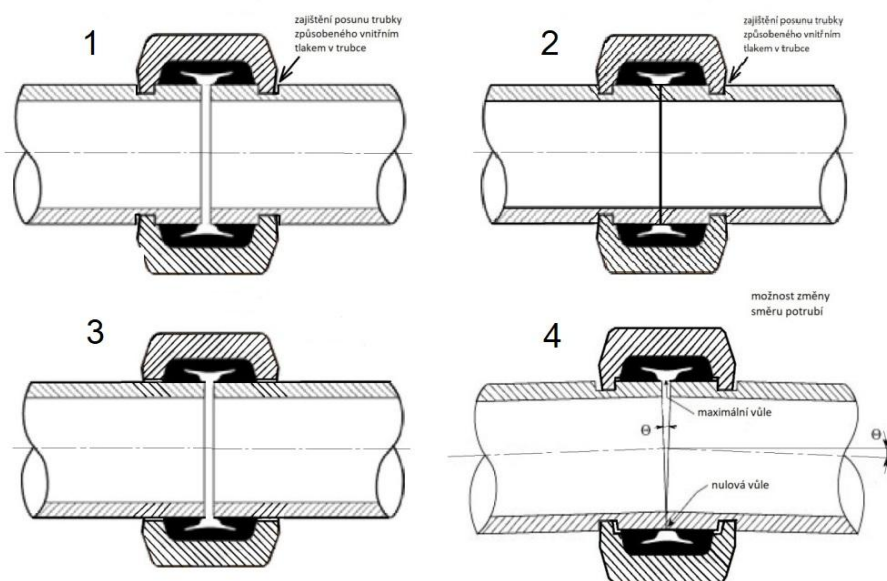
4. Potrubí s objímkovými spoji

Objímkový spoj potrubí je nepřírubový šroubovaný spoj. Vlastnosti objímkových spojů, které musíme zohlednit v konstrukci a výpočtu potrubní větve, jsou:

- zajištění proti posunu trubky způsobené vnitřním tlakem
- možnost funkce i při mírné změně směru potrubí ve spoji, a to opakované (ohebná objímka)

Máme tedy k dispozici tyto kombinace (ne všechny reálné systémy všechny možnosti obsahují):

1. Tuhý spoj se zajištěním proti posunu a s vůlí pro tepelnou dilataci
2. Tuhý spoj se zajištěním proti posunu a bez vůle pro tepelnou dilataci
3. Posuvný spoj bez zajištění trubky proti posunu od vnitřního tlaku
4. Ohebný spoj se zajištěním trubky proti posuvu od vnitřního tlaku
5. Ohebný spoj bez zajištění trubky proti posuvu od vnitřního tlaku – (je možné ho vyrobit, ale praktické uplatnění nemá)



obr. 4.1. Různé druhy objímkových spojů

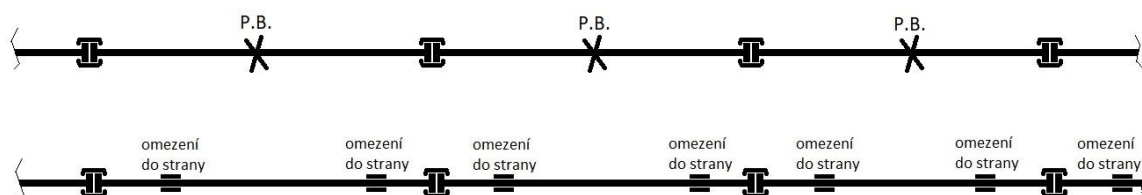
Všechny tyto možnosti mají jen některé typy objímkových spojů, je proto nutné tyto vlastnosti získat od výrobce. Dále je nutné se informovat na jaké maximální tlaky a teploty jsou tyto spoje konstruované a jaké silové a momentové zatížení vydrží.

Projektování potrubní trasy s použitím objímkových posuvných spojů bez zajištění trubky proti posunu od vnitřního tlaku.

- je nutné ochranu proti posuvu zajistit jiným způsobem, tj. pevným bodem anebo hrdlem nějakého zařízení.

- jestliže bude na každé trubce pevný bod nebo jen zajištění proti vybočení, je nutné zjistit, zda uvedený objímkový spoj absorbuje tepelnou dilataci potrubí

- jestliže bude na každé trubce pevný bod např. uprostřed, je nutné zjistit, zda potrubí na obou koncích udrží stabilitu a nevybočí.

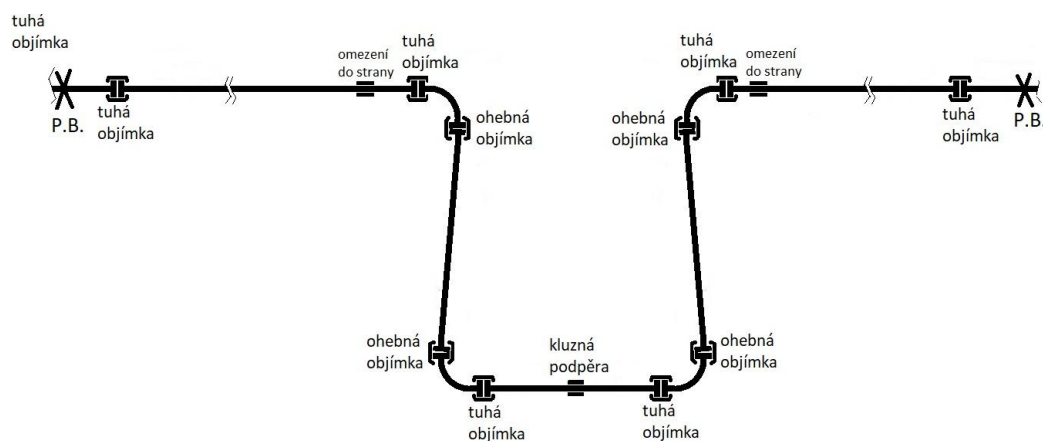


obr. 4.2 Uspořádání objímkových spojů I.

Projektování potrubní trasy při využití ohebných objímek:

- Jestliže je zároveň zaručena ochrana proti posuvu a používáme tuhé objímky bez vůle pro tepelnou dilataci, je možné využít možnost opakované změny směru potrubí při konstrukci tepelné kompenzace potrubí. Je možné vytvoření U-kompensátoru s ohebnými objímkami anebo kompenzátoru jiných tvarů.

- Je možné využitím ohebných objímek vytvořit oblouk o velkém poloměru



obr. 4.3. Uspořádání objímkových spojů II.

Vytvoříme si v místě objímkového spoje dva geometricky se překrývající nody, jeden bude patřit k pravé trubce, jeden bude patřit k levé trubce. Budeme dále mezi těmito nody vytvářet vazby pomocí systému „Restrains“. Při tuhém spoji budou zakázány vzájemné posuvy X, Y, Z a rotace jen dvě RY, RZ. Rotaci ve vlastní ose např. X umožníme.

Typ	1. Tuhý spoj se zajištěním proti posunu a s vůlí pro tepelnou dilataci	2. Tuhý spoj se zajištěním proti posunu a bez vůle pro tepelnou dilataci	3. Posuvný spoj bez zajištění trubky proti posunu od vnitřního tlaku	4. Ohebný spoj se zajištěním trubky proti posuvu od vnitřního tlaku	5. Ohebný spoj bez zajištění trubky proti posuvu od vnitřního tlaku
Posuv X osový (mm)	-1	0	Vazba 1	0	Vazba 1
Posuv Y boční (mm)	0	0	0	0	0
Posuv Z boční (mm)	0	0	0	0	0
Rotace RX v ose (úhl. stupeň)	Vazba 2	Vazba 2	Vazba 2	Vazba 2	Vazba 2
Rotace RY (úhl. stupeň)	0	0	0	1*)	1*)
Rotace RZ (úhl. stupeň)	0	0	0	0*)	0*)

*) RX a RZ alternativně 1, podle souřadného systému

„0“ znamená tuhá vazba bez posuvu

„1“, „-1“ znamená tuhá vazba s možným posuvem (gapem), velikost povoleného posuvu podle výrobce objímkového spoje

„Vazba 1“ znamená, že zde působí síla, která odtlačuje obě trubky od sebe (je závislá na vnitřním tlaku a vnitřní průřezové ploše) zmenšená o odpor (sílu) proti vysunutí. Odpor (sílu) proti vysunutí udává výrobce objímkového spoje, jestliže ji neudává, bereme ji jako nulovou

„Vazba 2“ znamená, že tuhost vazby udává výrobce objímkového spoje, v případě, že ji neudává, musíme zvolit konzervativní řešení, tj. tuhou vazbu.

Tab. 4.1. Posuvy a rotace v jednotlivých druzích objímkových spojů

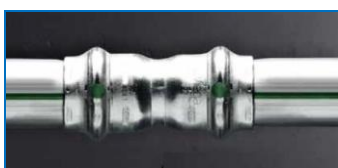
5. Lisované spoje

Lisovaný spoj musí mít jako ostatní spoje zajištěnou těsnost a pevnost. Těsnost zajišťuje nejšastěji O-kroužek instalovaný v místech opodle obrázku dále.



obr. 5.1. Řez lisovaným spojem s nasazenými lisovacími kleštěmi

Podle toho z jakého materiálu O-kroužek je (může být z plastů anebo z pryže), je určena maximální teplota telutiny uvnitř. Kromě toho je zde nutnost zalisování obou konců tvarovky. Zalisování se provádí přenosnými hydraulickými lisovacími kleštěmi.



obr. 5.2. Pohled na lisované spoje

Kromě toho je zde nutnost zalisování obou konců tvarovky. Zalisování se provádí přenosnými hydraulickými lisovacími kleštěmi.



obr. 5.3. Některé tvarovky pro lisované spoje



obr. 5.4. Kleště pro lisované spoje

6. Spojení z materiálu SMA

Materiál SMA (Shape memory alloy) je kov s tvarovou pamětí. Podstata spočívá v přechodu z jedné krystalické struktury do jiné a ve staze slitin dostat se do krystalické struktury, která je pro ni při dané teplotě energeticky nejvýhodnější. Fáze instalace:

1. Ochlazení spojky tak, aby vznikla martenzitická struktura
2. Zatížení martenzitu při nízké teplotě. Vzorek mění tvar v rámci superplasticity.
3. Odtížení spojky proběhne v rámci Hookova zákona
4. Zahřátí spojky tak, aby se vzorek transformoval do austenitu, tvar spojky se mění na původní

Slitina v tomto případě je slitina niklu s titanem.



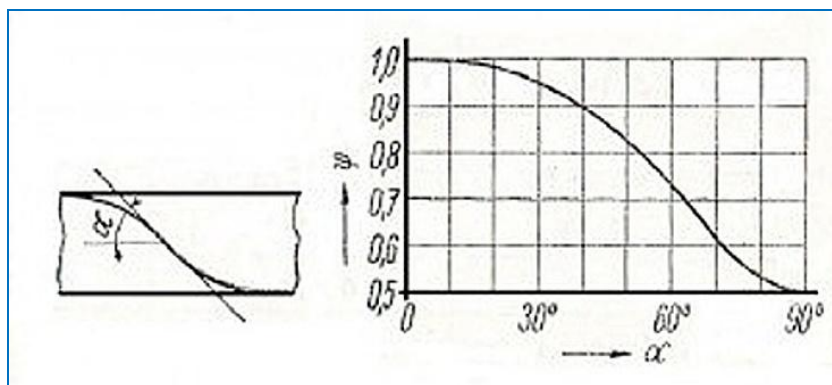
Obr. 2 Spojování potrubí materiálem SMA

7. Výpočet svařovaného spoje

U svařových spojů trubek nesmí součinitel hodnoty spoje ψ překročit následující hodnoty:

- u zařízení podrobených destruktivním a nedestruktivním zkouškám, které potvrzují, že celá skupina svarů nevykazuje žádné významné vady: 1,00
- u zařízení podrobovaných namátkovým nedestruktivním zkouškám: 0,85,
- u zařízení, která nejsou podrobována nedestruktivním zkouškám jiným než vizuální kontrole: 0,7.

U svařované trubky se šroubovým spojem se součinitel hodnoty spoje může korigovat koeficientem ψ , kterým se vydělí. Koeficient ψ je závislý na úhlu sklonu, který svírá svar s povrchovou přímkou, viz obr. :



obr. 7.1. Závislost koeficientu ψ na úhlu α

8. Spojování plastových trubek

Potrubi z plastů se může spojovat svařováním, lepením a přírubovým spojem.

a) Svařování se týká plastů, které se používají v kaučukovitém stavu, tedy všech kromě PVC. Tyto plasty je možné svářet svářet natupo, polyfúzně a elektrotvarovkami.

Polyfúzní svařování znamená využití speciálních tvarovek, které se po zahřátí nasazují na trubku s menším vnějším průměrem. Pro zahřátí obou konců se používá speciální elektrická nástroj.

Elektrotvarovky používají též speciální tvarovky, ve kterých je umístěn-zalisován odporový drát. Po montáži se k odporovému drátu připojí elektrický zdroj a tím se všechny díly, které se stýkají, zahřejí a svaří.

b) Lepení se týká plastů, které se používají ve skelném stavu, týká se to jen PVC

c) Přírubový spoj. Jako přírubový spoj u plastových potrubí je využívána ocelová točivá plochá příruba, navlečená na plastovou trubku zakončenou plastovým lemovým nákrůžkem. Nákrůžek je na trubku přivařen. Mezi nákrůžky je umístěno těsnění. Příruby stahuje k sobě sestava šroubového spoje.

Příruba. Jako přírubu je možno použít točivou plochou přírubu "typ 02" podle ČSN EN 1092-1. Je nutno však individuálně zkontrolovat, zda je možno k sobě použít vnitřní otvor příruby a vnější rozměr nákrůžku či trubky.

Renomovaní výrobci dodávají ocelovou točivou plochou přírubu přesně pasující do jimi dodávaných lemových nákrůžků. Uvedená příruba bývá i opatřena plastovou povrchovou vrstvou, aby odolávala korozi či jiné chemické agresivitě.

9. Související technické normy a legislativa

9.1. Související legislativa

1. Zákon 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky ve znění zákona č. 71/2000 Sb. zákona č. 205/2002 Sb., kterým se mění zákon č. 22/1997 Sb.
2. Zák. 102/2001 Sb. O obecné bezpečnosti výrobků tj.směrnice2001/95/EC General Product Safety
3. Zák. č. 353/1999 Sb. O prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky
4. NV č. 20/2003 Sb., kterým se stanoví požadavky na jednoduché tlakové nádoby (nařizuje pro nově vyráběné nádoby) – posouzení shody a vystavení prohlášení o shodě
5. NV č. 26/2003 Sb., Směrnice PED, kterým se stanoví technické požadavky na tlaková zařízení. 97/23/EC Pressure Equipment Directive (PED).původní
6. NV č. 219/2016 Sb., Směrnice PED, kterým se stanoví technické požadavky na tlaková zařízení. 2014/68/EU Pressure Equipment Directive (PED). Nová
7. Zák. č. 250/2021 Sb. o bezpečnosti práce v souvislosti s provozem vyhrazených technických zařízení,
8. NV 191/2022 Sb. O vyhrazených technických plynových zařízeních a požadavcích na zajištění jejich bezpečnosti
9. NV 192/2022 Sb. O O vyhrazených technických tlakových zařízeních a požadavcích na zajištění jejich bezpečnosti

9.2. Související technické normy

Situace týkající se technických norem se vyvíjí, proto to, co je uvedeno v následujících kapitolách nemusí být platné a beze změn v době, kdy tento text čtete.

ČSN 13 0108 Potrubí. Provoz a údržba potrubí. Technické předpisy

<http://seznam.normy.biz/trida.php?trida=13> Seznam platných norem ze třídy 13. potrubí

ČSN EN 13480-1 Kovová průmyslová potrubí.Část 1: Všeobecně

ČSN EN 13480-2 Kovová průmyslová potrubí.Část 2: Materiály

ČSN EN 13480-3 Kovová průmyslová potrubí.Část 3: Konstrukce a výpočet

ČSN EN 10216-1 Bezešvé ocelové trubky pro tlakové nádoby a zařízení. Technické dodací podmínky. Část 1: Trubky z nelegovaných ocelí se zaručenými vlastnostmi při okolní teplotě

ČSN EN 1092-1 Příruby a přírubové spoje – Kruhové příruby pro trubky, armatury, tvarovky a příslušenství s označením PN – Část 1: Příruby z oceli

ČSN EN 1092-2 Příruby a přírubové spoje – Kruhové příruby pro trubky, armatury, tvarovky a příslušenství s označením PN – Část 2: Příruby z litiny

ČSN EN 1591-1 Příruby a přírubové spoje. Pravidla pro navrhování těsněných kruhových přírubových spojů. Část 1: Výpočtová metoda

ČSN EN 1591-2 Příruby a přírubové spoje. Pravidla pro navrhování těsněných kruhových přírubových spojů. Část 2: Parametry těsnění.

ČSN P CEN/TS 1591-3 Příruby a přírubové spoje. Pravidla pro navrhování těsněných kruhových přírubových spojů. Část 3: Metody výpočtu přírubových spojů se stykem kov na kov

ČSN P CEN/TS 1591-4 Příruby a přírubové spoje. Pravidla pro navrhování těsněných kruhových přírubových spojů. Část 4: Kvalifikace personálu odpovědného za montáž šroubových spojů na zařízeních podléhajících směrnici pro tlaková zařízení.

ČSN EN 1515-1 Příruby a přírubové spoje. Šrouby a matice. Část 1: Výběr šroubů a matic

ČSN EN 1515-2 Příruby a přírubové spoje. Šrouby a matice. Část 2: Klasifikace materiálů šroubů pro příruby z oceli s označením PN

ČSN EN 1515-3 Příruby a přírubové spoje. Šrouby a matice. Část 3: Klasifikace materiálů šroubů pro příruby z oceli s označením Class

ČSN EN 1514-1 (131550) Příruby a přírubové spoje. Rozměry těsnění pro příruby s označením PN. Část 1: Nekovová plochá těsnění s vložkou nebo bez vložky

ČSN EN 1514-2 (131550) Příruby a přírubové spoje. Těsnění pro příruby s označením PN. Část 2: Spirálově vinutá těsnění pro ocelové příruby

ČSN EN 1514-3 (131550) Příruby a přírubové spoje. Rozměry těsnění pro příruby s označením PN. Část 3: Nekovová těsnění obalovaná PTFE

ČSN EN 1514-4 (131550) Příruby a jejich přírubové spoje. Rozměry těsnění pro příruby s označením PN. Část 4: Kovová vlnitá, plochá nebo hřebenová těsnění a plněná kovová těsnění používaná pro ocelové příruby

ČSN EN 1514-6 (131550) Příruby a přírubové spoje. Rozměry těsnění pro příruby s označením PN. Část 6: Hřebenová kovová těsnění s obložením pro ocelové příruby

ČSN EN 1514-7 (131550) Příruby a přírubové spoje. Těsnění pro příruby s označením PN. Část 7: Těsnění obalovaná kovovou fólií pro ocelové příruby

ČSN EN 1514-8 (131550) Příruby a přírubové spoje. Rozměry těsnění pro příruby s označením PN. Část 8: Elastomerové O-kroužky pro drážkované příruby

ČSN EN 13555 Příruby a přírubové spoje. Parametry těsnění a zkoušení vztahující se na pravidla dimenzování přírubových spojů s kruhovými přírubami a těsněním

10. Použitá literatura a literatura pro další studium

10.1. Odborná literatura

21. Kaláb K.: Návrh a výpočet dynamicky namáhaného šroubu přírubového spoje. Vysokoškolská příručka, VŠB-TU Ostrava, 2013
32. Lukavský J.: Přírubové spoje – dosažení požadované těsnosti, 2010 článek na portálu <https://www.technicka-zarizeni.cz/prirubove-spoje-dosazeni-pozadovane-tesnosti/>
33. Lukavský J.: Přírubové spoje: technická doporučení pro zlepšení spolehlivosti a životnosti, Tzb.info.cz, 2013
34. Macek K., Zuna P.: Strojírenské materiály, ČVUT 2003
38. Mikula J. a kol.: Potrubí a armatury, SNTL Praha, 1969
39. Mohinder L. N.: Piping Handbook, 7th Edition, McGraw-Hill, New York, 2000
40. Němec J.: Výpočty pevnosti tlakových nádob, SNTL Praha, 1962
41. Němec J.: Tuhost a pevnost ocelových částí, Nakladatelství ČSAV Praha 1963
43. Pekař V.: Jak na potrubí? Kniha nejen o pevnostních výpočtech potrubí, I. Vydání, APTI Líbeznice, 2021
47. Pospíšil F.: Závitová a šroubová spojení, SNTL Praha, 1968
54. Save M.A., Massonet C.E.: Plastic Analysis and Design of Plates, Shells and Disks, North Hill, 1872
56. Schneider P., Vykutíl J.: Stavba chemických zařízení IIa, Mikropočítačové aplikace MKP ve staticce rotačních skořepin, Ediční středisko VUT Brno 1986
64. Šejnoha J., Bittnarová J.: Stabilita skořepin, Vydavatelství ČVUT, Praha, 1999
65. Šubrt L.: Teorie desek a skořepin, Nakladatelství ČVUT Praha, 2007
66. Tichý M. a kol.: Zatížení stavebních konstrukcí, SNTL 1987
67. Timošenko Š.: Pružnost a pevnost I.díl, Technicko-vědecké vydavatelství, Praha, 1951
68. Timošenko Š.: Pružnost a pevnost II.díl, Technicko-vědecké vydavatelství, Praha, 1951
69. Timošenko S.: Theory of Plates and Shells, Mc Graw Hill, New York, 1940
71. Wald F., Sochor Z., Vrzba V., Gregor D.: K utahování šroubů třecích spojů, 2020, [K UTAHOVÁNÍ ŠROUBŮ TŘECÍCH SPOJŮ - PDF Free Download \(docplayer.cz\)](#)

10.2. Firemní literatura

1. CAEPIPE, User's Manual, SST Systems, Inc., 2003
2. CAESAR II Version 5.00 Applications Guide, COADE/ Engineering Physics Software, Inc, 2005

3. CAESAR II, User's Guide, COADE/ Engineering Physics Software, Inc, 2004
4. COADE: Technical reference manual, Houston, Texas, USA, 2007
5. CKTI – Vibroseism: Piping Flexibility and Stress Analysis software, St. Petersburg, Rusko, 2017
6. AUTOPIPE, User's manual, Bentley, Exton, PA 19341, USA
7. ROHR2 Feature list, SIGMA GmbH, Unna, Německo
8. PIPESTRESS Training, DST Computer Services S.A., Ženeva, Švýcarsko
15. Katalog průmyslových armatur, I.B.C. Praha: 2009
16. Katalog skleněných průmyslových aparatur a potrubí, Merkat, 2009
17. Trival: Principy výběru průmyslových armatur, Zpravodaj č.2/2004
18. Viega Smartpress, Viega Megapress
19. Victaulic Flexible coupling

10.3. Zajímavé internetové adresy

Adresa stránek	Téma stránek
https://ipotrubici.cz	Plno informací o potrubí pro profesionály
https://www.technicka-zarizeni.cz	O vybraných technických zařízeních
https://www.apti.cz	Asociace poskytovatelů technických informací
https://www.ticr.eu/	Technická inspekce České republiky
https://www.unmz.cz/	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
https://voda.tzb.info.cz	Technická zařízení budov, voda/kanalizace
https://vytapani.tzb.info.cz/	Technická zařízení budov, vytápění
https://topin.cz	Topenářství, instalace
https://tlakinfo.com	Informace o tlakových zařízeních
https://amtec.de	O přírubách a přířubových spojích
http://www.gasketdata.org	O přířubových těsněních
http://www.tesneni.cz	O přířubových těsněních
https://K2L.cz	O přířubovém spojovacím materiálu
https://www.viega.cz/	O lisovaných spojích
http://www.eurofitnet.org/	O únavě a creepu
http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/index.htm	Inženýrská statistika
http://seznam.normy.biz/trida.php?trida=13	Seznam platných norem ve třídě 13. potrubí