

Sumarizace drobné místní ztráty při projektování plastového potrubí

Summarization of the small local loss in case of plastic piping designing

Ing. Václav HÁK
Autorizovaný inženýr TZS
FIS CZ, spol.s r.o.,
pracoviště Sezimovo Ústí

Autor se snaží upozornit na přehlíženou místní ztrátu na vnitřním svalku do potrubí u plastových potrubních rozvodů svařovaných metodou „na tupo“. Řešený příklad potvrzuje, že tato ztráta při montáži dlouhých trubních soustav není zanedbatelná a že i její jednoduché vyčíslení je technicky dostačující a pro orientaci projektantů velmi důležité.

Klíčová slova: potrubní plasty, svar na tupo, vnitřní svalek, místní ztráta

Recenzent
doc. Ing. Karel Ondroušek, CSc.

The author tries to draw the attention to the neglected local loss caused by the internal weld reinforcement on plastic distribution piping welded by „butt welding“ method. The indicated case proves that this loss is not negligible in the case of the assembly of long piping systems and that even its simple evaluation is technically sufficient and very important for the orientation of designers.

Key words: piping plastics, butt weld, internal weld reinforcement, local loss

V projektech sanitární techniky a průmyslových technologií se budou stále více prosazovat potrubní plasty. Pro vytápění, v rozvodech teplé a studené vody, v klimatizaci, rozvodech stlačeného vzduchu a v chladírenství se v zahraničí již přes 10 let úspěšně používají dva nové materiály, o kterých se v naší odborné veřejnosti příliš nehovoří. Jsou to akrylonitril-butadien-styren ABS a polybuten PB 4137.

Lze běžně aplikovat do teplot 95 °C. Používá se také pro rozvody stlačeného vzduchu.

Základní fyzikální údaje

ρ = 930 kg/m³ (hustota, měrná hmotnost);
 E = 350 MPa (Youngův modul pružnosti);
 Rm = 33 MPa (pevnost v tahu);
 Ak = 40 J/kg (vrubová houževnatost);
 λ = 0,22 W/mK (měrná tepelná vodivost).

STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA POTRUBNÍCH PLASTŮ ABS A PB 4137

Kopolymer ABS akrylonitril-butadien-styren je stoprocentní ropný produkt bez halogenů, plně recyklovatelný. Je to kaučuk polymerovaný styrenem. Vyrábí se již přes 10 let v Anglii jako cíleně vyvinutý plast pro chladírenství a kryogeniku. Surovinové komponenty předurčují jeho vlastnosti takto:

Pro polybuten se udávají mezní hodnoty trvalého zatížení provozními parametry (95 °C/0,4 MPa/50let).

- A** akrylonitril – chemická odolnost a stálost chemických vlastností, možnost lepení a chemického svařování za studena;
- B** butadien – odolnost při nízkých podnulových teplotách, vrubová houževnatost, ohybová houževnatost;
- S** styren – pevnost a konstrukční tuhost, odolnost proti otěru.

Prakticky se používá pro stavbu instalací horké a studené vody jako potrubní stavebnice INSTAFLEX (PB-trubky, tvarovky, armatury včetně montážní technologie) od roku 1982 s tím, že na podporu jeho projektových aplikací je dodáván software DENDRIT, umožňující projektování v AUTOCADu včetně tvorby specifikací potrubního a montážního materiálu, rozpočtů a objednávek.

Základní fyzikální údaje

ρ = 1030–1050 kg/m³ (hustota, měrná hmotnost),
 E = 2100 MPa (Youngův modul pružnosti),
 Rm = 40 MPa (pevnost v tahu),
 Ak = 44 kJ/m² (vrubová houževnatost),
 λ = 0,20 W/mK (měrná tepelná vodivost).

TECHNOLOGIE SPOJOVÁNÍ POTRUBNÍCH PLASTŮ

Standardní potrubní plasty z hlediska montážních technologií dělíme do dvou skupin:

Pro tento potrubní plast se udávají mezní hodnoty trvalého zatížení (–40 °C/1 MPa/25let) a (60 °C/0,4 MPa/25let).

1. materiály spojované za studena (PVC–U, PVC–C, ABS)
 - chemickým svařováním za studena,
 - lepením.
2. materiály spojované za tepla (PP-H, PP-B, PP-R, PE-LD, PE-HD, PB)
 - polyfuzním svařováním,
 - elektrofuzním svařováním,
 - svařováním na tupo.

ABS snáší velká tlaková přetížení a první trhliny se objevují až při hodnotách přes 8 MPa. Má velmi nízký vyluh a představuje náhradu leštěných nerezů a mědi pro tzv. „bílé potrubní rozvody“ v chladírenství, vakuové technice, potravinářství a klimatizaci. Také se používá v průmyslu na potrubní rozvody procesních vod. Snáší chvění velkých čerpadel.

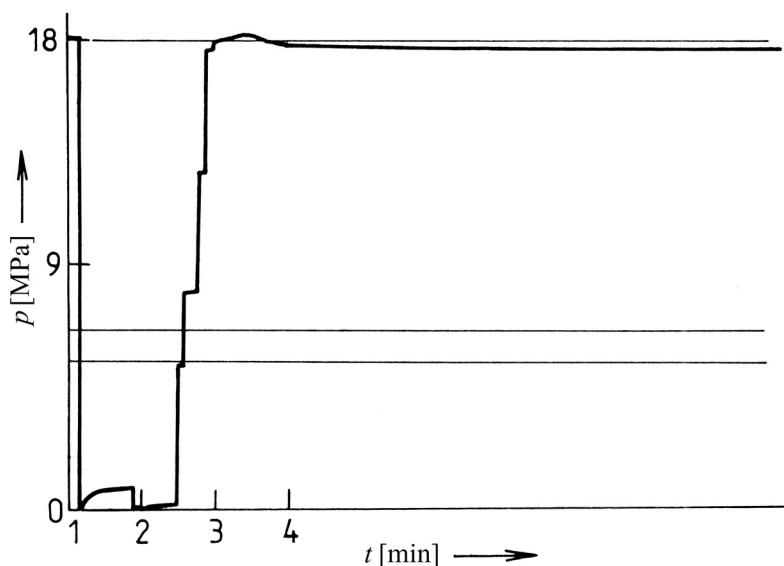
Jak v obou skupinách, tak mezi sebou navzájem, lze plasty spojovat mechanickým způsobem stahovacími pásy, břitovými spojkami, svěrnými spojkami a celou řadou dalších mechanických principů.

Polybuten PB 4137 je polykrystalický termoplast ze skupiny polyolefinů (utvářený vzorcem C₄H₈) cíleně vyvíjený jako potrubní plast na instalace teplé a studené vody ve výškových obytných domech. Je to nejkvalitnější plast ze všech polyolefinů, jediný standardní plast vyhovující mezním podmínkám sanitárních rozvodů a používá se pro vedení horké vody a odvod kondenzátu.

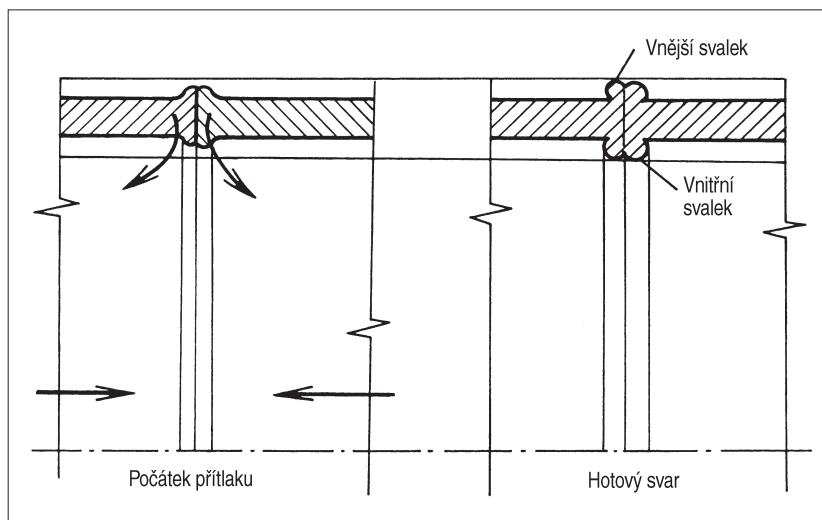
Nejčastěji používanou montážní metodou je svařování *na tupo*, pro jednoduchou a krátkou přípravu svarového spoje i jeho cenu. Dokonalé strojní zařízení dnes zajistí kontrolu celého procesu svařování včetně dodržení naprogramovaných parametrů svařování teploty T , přitlaku p a času t pro každý svarový spoj, jak naznačuje protokol na obr. 1.

Protokol o svaru

Číslo protokolu 0523/0911		Svářeč 0101/FIS		Zapisovač 4815		Typ stroje Delta 160	
Materiál PE+HD	Průměr 90 mm	Tloušťka stěny 8,2 mm	Svař. plocha 21,07 cm ²	SDR 11	PN 10 bar		
Datum 26. 01. 00	Čas zahájení 13:52:05	Čas ukončení 14:04:57	Teplota okolí 10,42 °C	Úhel sváru 0°	Šířka svaru b = 6,5 mm		
Požadované a měřené tlaky [bary]			Požadované a měřené časy [s, min]				
	Požad.	Min.	Max.		Požad.	Měřená	
Srovnávací tlak	17,04	17,21	17,23	Nahřívací doba (1–2)	82	82,87	
Nahřívací tlak	6,62	0,01	2,11	Přestav. doba (2–3)	6	7,53	
Spojovací tlak	17,04	16,83	17,16	Doba najetí (2–3)	7	7,53	
Pohybový tlak	5,47			Doba chlazení (3–5)	11	11,16	
Teplota zrcadla [°C]		Požad.	Měřená	Výsledek		Svar dobrý	
		212	213,05				



Obr. 1 Kontrola parametrů svařování (graf $p = p(t)$)



Obr. 2 Vytvoření vnitřního svalku směrem do potrubí

Vnitřní svalek jako technologický detail svaru na tupo

Po ukončeném ohřevu čelních ploch spojovaných trub na topném zrcadle se vyvozuje přítlak hydraulickým posuvem stroje a zplastizované povrchy se protlačují vzájemně do sebe. Z hlediska tepelné a tlakové symetrie se zplastizovaný materiál pod rovnoměrně rozděleným plošným tlakem strojního posuvu vyhrne směrem nad povrchy trub, vytvoří se svalek vnější (podle jeho geometrie posoudíme kvalitu hotového svaru), ale také svalek vnitřní stejných rozměrů směrem do hydraulického kanálu, jak naznačuje situace na obr. 2. Vnitřní svalek takto způsobuje sice malé, ale na dlouhém trubním tělese četně opakované seškrbení průřezu projektanty nedoceňované.

Fyzikální mechanismus místní ztráty

Změny průtočného průřezu a změny směru potrubí mají za následek změny rychlosti proudění. Vektorově chápaná změna rychlosti proudící kapaliny v sobě slučuje nestálé změny směrů proudnic a změny okamžitých časových přírůstků dráhy ds/dt proudících částic. Obě tyto změny způsobují vznik vírů a turbulencí, jejichž kinetická energie parazitně narůstá na úkor energie hlavního proudu. Vznikající turbulence ubírají čerpané kapalině tu energii, kterou jí dodává čerpadlo.

Víry se vlivem viskozity utlumí třením a teplo, které vzniká, představuje nízkoentalpickou nevyužitelnou tepelnou energii ve zcela degradované formě. Říkáme, že se jedná o rozptyl energie, tzv. disipaci.

Model místní ztráty pro tabulkové vyčíslení

Pro rychlé a dostupné vyčíslení ztrátového součinitele na vnitřním svalku svarového spoje využijeme geometrickou podobnost a skutečnou situaci modelujeme vnitřní hydraulickou clonou. Důslednější způsob vyhodnocení vycházející z hydrodynamické podobnosti bude teprve výsledkem probíhajícího experimentu. Tvarovou analogii opravňující tento postup naznačuje obr. 3.

Výpočet místní ztráty svarového spoje

Při vyjádření ztracené energie známým způsobem přes měrnou energii, energetickou výšku, nebo tlakovou ztrátu dle vzorců:

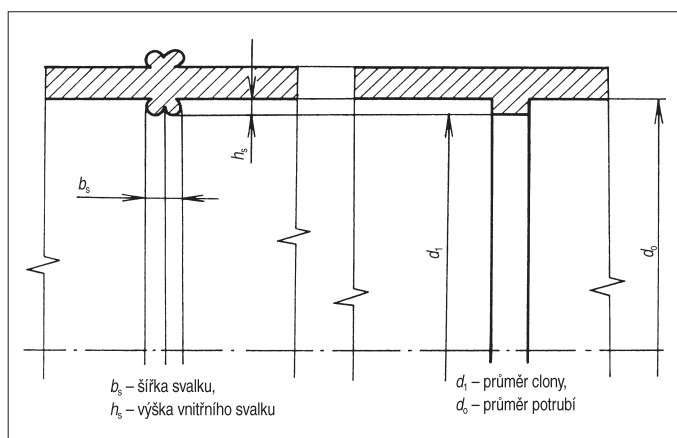
$$Y_z = \xi c^2 / 2 \quad [\text{Jkg}^{-1}] \quad (1)$$

$$H_z = \xi c^2 / 2g \quad [\text{m}] \quad (2)$$

$$p_z = \xi r c^2 / 2 \quad [\text{Pa}] \quad (3)$$

nutno vždy aplikovat správně vyčíslenou hodnotu součinitele místní ztráty ξ , který jako bezrozměrná veličina vyjadřuje ztrátu energie v určitém místě, kde se místní podmínky proudění liší od situace zklidněného proudění v hladkém potrubí s konstantním průřezem. Zbývá tedy stanovit jeho velikost.

U aquatických kapalin v oblastech vysokých Re (10^4 až 10^6) předpokládáme, že součinitel ztráty je konstantní $\xi = \text{konst.}$ a jeho velikost závisí pouze na typu místní ztráty.



Obr. 3 Geometrická podobnost místa svaru a clony

Graf uvedený na obr. 4 ukazuje, že jeho velikost je v nejjednodušším případě (hydraulické clony) funkcí argumentu S_1/S_0 (podílu účinných plošných průřezů) a ztráta (podle [2]) se počítá vzhledem k rychlosti ve volném potrubí C_0 .

Poznámka: Při vyhledávání v tabulkách a grafech je nutné vždy ohlídat ke které rychlosti je hodnota součinitele ξ vztahována. Řada autorů vztahuje součinitel k rychlosti vstupní C_0 , jiní k rychlosti místní C_1 a existují případy, kdy jsou tabulovány hodnoty vztahující se k rychlosti výstupní C_2 . Jak se projeví zanedbání těchto místních ztrát v druhém členu charakteristiky potrubí ukáže následující výpočet.

Příklad pro ilustraci:

Zadání:

rozvody teplé vody ($T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$) v potrubním plastu, pro osmipodlažní panelový dům, čtyři vchody – 96 bytů, největší trubní délka na nejdělsí větvi $L = \text{cca } 1300 \text{ m}$, trubní materiál polybuten PB 4137, $40 \times 3,7/\text{PN } 16$, $l = 6 \text{ m}$, technologie svařování na tupo, informativně: $Q = 2 \text{ l/s}$, $c = 2,4 \text{ m/s}$, $Re = 1,66 \times 10^5$, kinematická viskozita $\nu = 0,471 \times 1/10^6 \text{ m}^2/\text{s}$.

Výpočet

rozměry potrubí v místě svaru:

$d_0 = d - 2 t = 40 - 7,4 = 32,6 \text{ mm}$,
 $b_s = 2,8 \text{ až } 4,5 \text{ mm}$ – šířka svalku,
 $h_s = 1,8 \text{ až } 2,1 \text{ mm}$ – výška svalku
 (dle tabulek hodnocení svarů DSV 2207 díl 1. a 2.),
 h_s volíme pod horní mezí 2,0 mm,
 $d_1 = d_0 - 2 h_s = 32,6 - 4 = 28,6 \text{ mm}$,
 pro modelovanou clonu je součinitel místní ztráty závislý na poměru S_1/S_0 , takže píšeme $\xi = \xi(S_1/S_0)$ a vyčíslíme

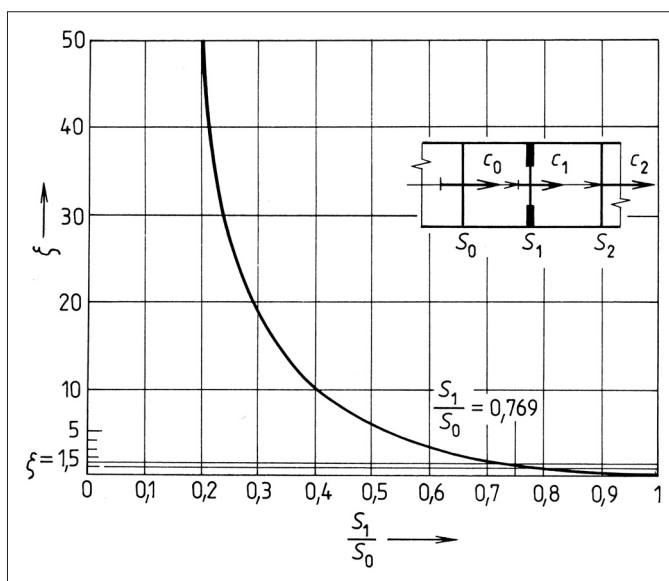
$$S_1/S_0 = d_1^2/d_0^2 = 28,6^2/32,6^2 = 817,96/1062,76 = 0,769658.$$

Tomu odpovídá z grafu na obr. 4 součinitel $\xi = 1,50$.

Celková ztráta všech svarových spojů, která má být připočítána k místní ztrátě na armaturách a tvarovkách činí pro celkový počet svarů ($1300 : 6 = \text{cca } 218$):

$$H_z = \sum n_i \cdot \xi \cdot c^2/2 g \quad [m]$$

$$H_z = 218 \cdot 1,50 \cdot (2,4)^2/2 \cdot 9,81 = 96,00 \text{ m}.$$



Obr. 4 Grafické stanovení součinitele místní ztráty

Dá se ukázat, že u řady výpočtů tento člen v rovnici charakteristiky potrubí chybí a naddimenzovaná čerpadla kryjí pouze „svoji nevědomost“ tuto anonymní ztrátu, která nebyla v projektových výpočtech seriózně vyhodnocena. Z hlediska energetické bilance se navyšuje de facto ztráta, o které bychom se při hydraulickém proměřování této potrubní větve domnívali, že má povahu ztráty třecí a tvrdili bychom, že očekávaný pokles třecích ztrát vůči oceli, na prokazatelně hladkém povrchu potrubního plastu, se vlastně nedostavil.

ZÁVĚR

1. Místní ztráty na vnitřním svalku potrubních plastů při jejich spojování svarem *na tupo* jsou pro nedostatek informací stále podceňovanou fyzikální skutečností. Velké projektové selhání v nedávném čase vedoucí ke ztrátám v řádu desetimiliónů Kč znovu oživilo tuto problematiku.
2. Potřeba rychle fyzikálně dokumentovat hledané příčiny této projektové chyby vedla k tomuto výpočtu, ve kterém je pro hydrodynamické přiblížení ke skutečné situaci splněna alespoň podmínka geometrické podobnosti.
3. V současné montážní praxi lze efekt vnitřního svalku eliminovat na přímém potrubí dvojitým způsobem:
 - vyřezáváním svalků pomocí dutinového frézovacího aparátu na vodící tyči od výrobce svařovací techniky WIDOS;
 - elektrofužní metodou svařování pomocí elektrosvařovacích nátrubků od výrobců FRIATEC, SAURON, GEORG FISCHER +GF+ a dalších.
4. Intenzivní vývoj v technologii tupého svaru potrubních termoplastů míří k technikám balonovaného svařování a během krátké doby bude možno tyto zatím laboratorní metody spojování trub na tzv. „hladké zrcadlo“ používat jako běžné montážní způsoby.

Literatura:

[1] LOYDA, M.; ONDRÁČEK, L.; ŠPONER, V.: Svařování termoplastů – UNO Praha 2001.
 [2] VOJTEK, J.: Čerpací technika. Návody ke cvičením – ČVUT 1991.
 [3] HÁK, V.: Aplikace plastové potrubní techniky při stavbě potrubí pro průmyslové technologie – Sborník FIS 1999.
 [4] RICHTER, S.: Rohrhydraulik – Essen 1985.
 [5] FISCHER, G. + GF + : Plastics Technical Manual – Coventry 1996.
 [6] WS Plast, s.r.o.: Nabídka pomocných přípravků WIDOS – Praha 1999.