

Ako merať tlak?

S meraním tlaku sa stretávame v rôznych priemyselných aplikáciách. Tento článok sa venuje vhodným výberom prevodníka tlaku.



Tlak je jednou z najdôležitejších veličín meraných v automatizácii; všeobecne je jednou zo základných fyzikálnych veličín. V technickej praxi sa najčastejšie meria tlak v tekutinách, čiže v kvapalinách alebo plynoch.

V závislosti od meranej veličiny treba rozlíšiť prevodníky tlaku na:

- prevodníky relatívneho tlaku (najčastejšie používané prevodníky),
- prevodníky absolútneho tlaku (používané hlavne na meranie plynov),
- prevodníky tlakovej diferencie (meranie hladiny tekutín, prietoku tekutín).

Používame niekoľko pojmov, aby sme vyjadrili, či sa naše meranie vzťahuje na absolútny nulový alebo barometrický tlak. Pri relatívnom tlaku ide o pretlak, ktorý môže byť kladný (tzv. pretlak) alebo záporný (tzv. podtlak) a vždy vyjadruje rozdiel voči barometrickému tlaku. V literatúre sa často používa označenie p_{rel} alebo p_g z anglického *rel*, čiže *relative* a *g*, čiže *gauge*. Absolútny tlak je tlak, ktorého veľkosť sa určuje od absolútneho nulového tlaku, kde absolútny nulový tlak (tzv. absolútny vákuum alebo vzduchoprázdno) je ideálne prázdne prostredie bez látkovej formy hmoty, čiže bez tlaku. Barometrický tlak (tzv. atmosférický alebo okolitý tlak) je vyvolaný hmotnosťou vzduchu tvoriaceho atmosféru. Pod vplyvom počasia atmosférický tlak mierne kolíše, preto bol zavedený takzvaný štandardný atmosférický tlak

(tzv. normálny tlak) s hodnotou 101 325 Pa a je približne rovný typickej hodnote tlaku na úrovni mora. Tlak v atmosfére klesá s nadmorskou výškou, pretože sa zmenšuje stĺpec vzduchu nad miestom merania. Rozdielový tlak (tzv. tlaková diferencia alebo diferenčný tlak) je rozdiel dvoch tlakov (obr. 1).

Základný výber prevodníka tlaku určuje spôsob použitia, čiže akú aplikáciu riešime:

- na meranie tlaku tekutín bežne používame relatívny tlak,
- na meranie tlaku plynov absolútny alebo relatívny tlak,
- na meranie výšky hladiny kvapalín v otvorenej nádobe relatívny tlak,
- na meranie výšky hladiny tekutín v uzavretej nádobe tlakovú diferenciu,
- na meranie prietoku pomocou odporového telesa tlakovú diferenciu,
- na meranie prietoku pomocou odporového telesa s kompenzáciou na statický tlak tlakovú diferenciu s integrovaným snímačom relatívneho alebo absolútneho tlaku.

Moderné prevodníky tlaku používajú rôzne princípy na snímanie tlaku, najčastejšie piezoelektrické a kapacitné snímače. Materiálové vyhotovenie snímačov (tzv. meracích buniek) už určuje výber vhodného prevodníka. Meracia bunka (tzv. meracia membrána) môže byť kovová ale-

kovový snímač (obvyčajne z nehrdzavejúcej ocele)	keramický snímač (obvyčajne z Al_2O_3)
dodatočná chyba teplotnej závislosti	meracia bunka je bez oleja
bunka je plnená olejom (nevhodná pre hygienické aplikácie, farmaceutiku atď.)	meracia bunka je bez oleja (tzv. suchý snímač)
tenká a citlivá membrána (ľahko sa poškodí)	tvrdá membrána
nízka odolnosť proti mechanickému poškodeniu a abrázie	odolná proti mechanickému poškodeniu a abrázii
nízka odolnosť proti korózii (zvýšenie chemickej odolnosti pomocou dodatočnej ochrannej vrstvy pred membránou, ktoré predraží riešenie, napr. pozlátená membrána)	vysoko odolná proti korózii (vysoká odolnosť proti kyselinám a lúhom, okrem kyseliny fluorovodíkovej HF)
nevhodné pre vákuum (meracia bunka je plnená olejom, ktorá vplyvom podtlaku začne vriieť a poškodí membránu)	ideálny pre vákuum
obmedzené preťaženie až deformácia meracej membrány (trvalé poškodenie membrány preťažením, napr. tlakový šok, vodné kladivo atď.)	vysoká preťažiteľnosť, až 3-krát vyššia ako kovové membrány
vhodný aj pre veľmi vysoké tlaky	obmedzený maximálny tlak (bežne do 40 bar)
nie je teplotne obmedzený (možno integrovať teplotný oddeľovač plnený olejom)	obmedzená maximálna povrchová teplota (bežne do 150 °C)

Tab.1

bo keramická. Druhový výber prevodníka tlaku urobíme na základe tab. 1, kde sú uvedené výhody a nevýhody keramickej a kovovej meracej bunky.

Z uvedenej tab. 1 vychádza, že pre tlak do 40 bar a teplotu do 150 °C je lepším riešením keramická meracia bunka ako kovová. Keramika má veľmi dobré vlastnosti a je odolná proti rôznym agresívnym chemikáliám. Treba si však uvedomiť, že existujú rôzne druhy keramiky od rôznych výrobcov. Keramika Al_2O_3 sa líši hlavne čistotou. Na výrobu keramickej membrány výrobcovia používajú rôzne prísady pri sinterovaní (spekaní), ale existuje technologický postup aj na výrobu ultračistej keramiky takmer bez prísad (tab. 2), (obr. 2 a 3).

Čím menej prísad je v keramike, tým je keramika čistejšia a jej štruktúra je hustejšia a jemnejšia, čo zvyšuje chemickú odolnosť proti tekutinám, ktoré by mohli vymyť sinterovacie prísady z keramiky.

Ultračistá keramika (99,9 % Al_2O_3 , SiO_2 a $MgO < 500$ ppm) je vyrobená bez sinterovacích prísad. Hustá štruktúra a čistota garantujú vysokú odolnosť proti agresívnym chemikáliám, ako sú kyseliny a lúhy.

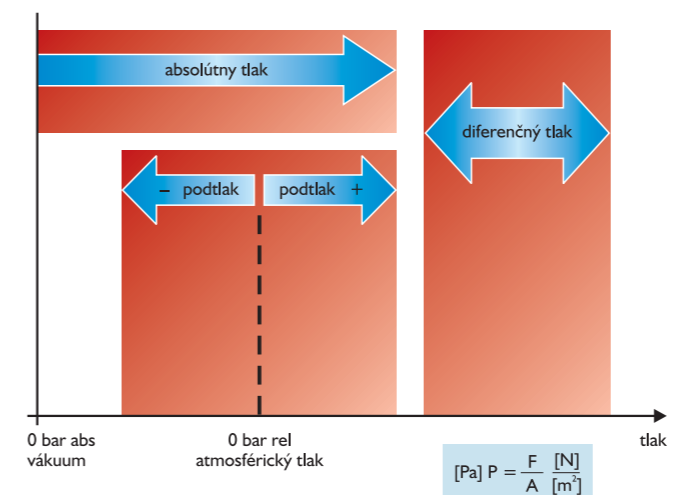
Kvalitný a hladký povrch $Ra \leq 0,10 \mu m$ (Ra je drsnosť povrchu) umožňuje jeho použitie aj vo farmaceutike a v biotechnológiách podľa štandardu ASME-BPE, kde sa vyžadujú FDA certifikáty alebo 3A certifikáty. Ultračistá keramika prešla aj prísny testmi Class VI podľa USP (United States Pharmacopeia), ktoré stanovujú bioreaktivitu a možnú toxicitu. Čo sa týka bezpečnosti a spoľahlivosti, moderné keramické bunky sa vyrábajú tak, aby vyhovovali norme IEC 61508 SIL (Safety Integrity Level).

Vyššia mechanická odolnosť materiálu je daná tým, že Al_2O_3 je materiál s výbornými trecími vlastnosťami, a preto je vhodný do abrazívneho prostredia. Trecie vlastnosti súvisia s veľmi nízkym uhlom zmáčavosti vody na povrchu Al_2O_3 .

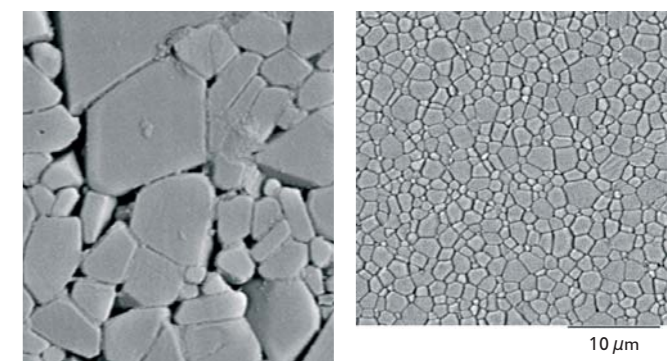
V prípade merania výšky hladiny tekutín je zavedený pojem hydrostatický tlak. Ide o relatívny tlak, tlak v tekutinách, ktorý je daný hmotnosťou horných vrstiev, ktoré potom v gravitačnom poli pôsobia silou na vrstvy pod nimi. Práve táto sila prepočítaná na plochu je hydrostatický tlak ($p = h \cdot \rho \cdot g$). V prípade merania výšky hladiny tekutín v otvorenej nádobe, kde stačí jednoduchý snímač relatívneho tlaku, treba

typ keramiky	$Al_2O_3 - 96 \%$	$Al_2O_3 - 99 \%$	$Al_2O_3 - 99,9 \%$
čistota keramiky	96 %	99 %	99,9 % (tzv. ultračistá)
prísady	SiO_2 2,5 % MgO 1,0 % CaO 0,3 % iné 0,2 %	$SiO_2 + MgO$ $\leq 5\ 000$ ppm	$SiO_2 \leq 100$ ppm $MgO \leq 500$ ppm iné ≤ 500 ppm
štruktúra a zrnitosť (veľkosť kryštálov)	$\leq 5 \mu m$	$\leq 1 \mu m$	$\leq 0,4 \mu m$

Tab.2



Obr.1



Obr.2 Štruktúra keramiky 96 % Al_2O_3

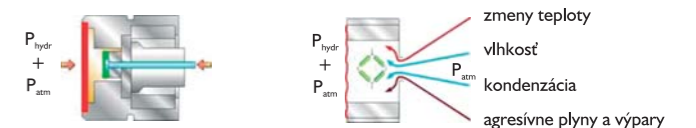
Obr.3 Štruktúra keramiky 99,9 % Al_2O_3

skontrolovať nasledujúce procesné parametre a parametre okolia, ktoré môžu byť kritické pre spoľahlivé meranie:

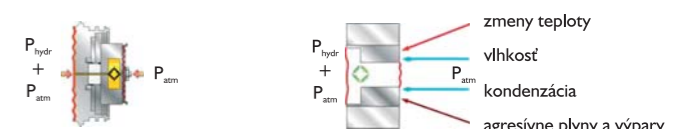
- tvorba kondenzátu na nádobe (napr. na chladených nádobách vo farmaceutike, v chémii a v potravinárstve),
- zvýšená vlhkosť okolitej atmosféry,
- agresívne plyny a výpary v okolitej atmosfére,
- časté zmeny okolitej teploty.

Uvedené okolnosti v značnej miere ovplyvňujú meranie alebo poškodzujú bežný snímač relatívneho tlaku. Bežný prevodník relatívneho tlaku má snímač s otvorenou meracou bunkou do atmosféry, aby meral pretlak vzhľadom na barometrický tlak okolia. Preto sa výpary, plyny a vlhkosť dostanú do prevodníka tlaku a môžu znegodnotiť naše meranie.

Čiastočným riešením môže byť špeciálny filter, napr. Gore-tex, ktorý však nemusí byť dlhodobou odolný proti agresívnym výparom a plynom. V takýchto prípadoch je vhodným riešením hermeticky uzavretá meracia bunka, ktorá je dokonale vodotesná. Snímacia časť a káblkové vývodky sú zaliate v pevnej hmote, napr. v skle (obr. 4 a 5).



Obr.4 Bežná meracia bunka relatívneho tlaku



Obr.5 Hermeticky uzavretá meracia bunka relatívneho tlaku

Záver

Cieľom príspevku bolo ukázať dôležitosť vhodného výberu prevodníka tlaku v procesnej automatizácii. Najmodernejšie prevodníky tlaku a tlakovej diferencie používajú sofistikované softvérové nástroje na diagnostiku prístroja, na simuláciu funkčnosti a sú vybavené inteligentnými ovládacími funkciami. Integrované pamäťové moduly sú schopné zálohovať dôležité parametre procesu a prístroja atď. Pri návrhu vhodného prevodníka tlaku však naďalej treba vychádzať zo základných fyzikálnych princípov a sledovať dostupné moderné technológie.

Ing. Imrich Macsai

e-mail: macsai@transcom.sk