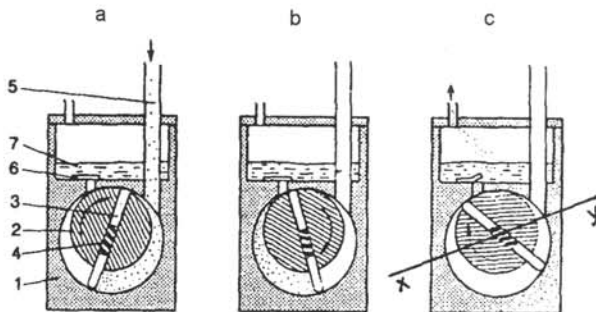


## NASVETI

### Smisel dodajanja zraka ("gas ballast") pri nekaterih pretočnih črpalkah

Pri vakuumskem sušenju, impregnaciji, destilaciji pa tudi pri "navadnem" črpanju iz vakuumskih posod nastajajo znatne količine kondenzirajočih se par. Rotacijske vakuumske črpalke so namenjene predvsem za črpanje permanentnih plinov, ki sestavljajo zračno atmosfero, pare, največkrat vodne, pa so nezaželene, vendar se jim pri črpanju ne moremo izogniti, saj so pomešane z drugimi plini (dušik, kisik). Te pare se v črpalki kondenzirajo (utekočinijo), se pomešajo z oljem in ga s tem onesnažijo, mu zmanjšajo njegove mazivne lastnosti, povzročajo korozijo notranjih delov črpalke ter poslabšujejo njen končni vakuum.

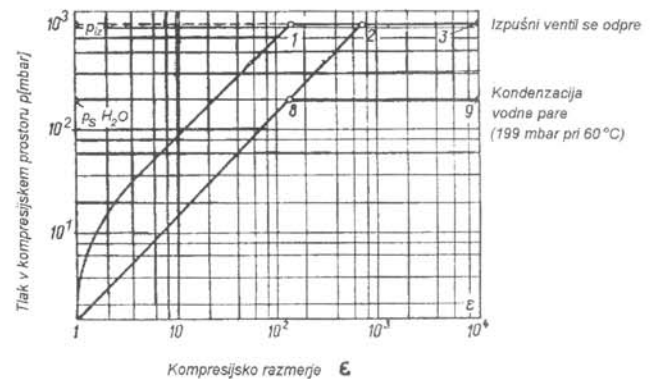


Slika 1. Konstrukcijska shema in delovanje rotacijske črpalke z drsnimi lopaticama (1 stator, 2 rotor, 3 lopatica, 4 vzmet, 5 črpani plin, 6 izpušni ventil, 7 olje)

O napravi, ki preprečuje kondenzacijo par, vedo tisti, ki uporabljajo vakuumske rotacijske črpalke, zelo malo ali skoraj nič. Vedo le, da ima črpalka "gasballast" (to je ventil za dodajanje zraka) in da ga je treba odpreti, če črpajo vlažne posode. To je navadno tudi vse znanje o dodajanju zraka. S temi nasveti želimo, da bi bolje spoznali delovanje rotacijske črpalke, npr. tiste z drsnimi lopaticami. Slika 1 prikazuje njeno konstrukcijsko shemo in delovanje. Slika 1a prikazuje sesanje zraka (in tudi par) skozi sesalno cev črpalke. Slika 1b: črpalka stiska zajeto količino zraka in par v kompresijskem prostoru tako dolgo, da se odpre izpušni ventil (sl. 1c), skozi katerega gre skoraj vsa zajeta količina zraka (ne pa tudi par) v izpuh, torej v atmosfero, ki nas obdaja. Nekaj zajete količine ostane v "mrtvem" ali "škodljivem" prostoru črpalke (med izpušno odprtino in dotikališčem rotorja s statorjem) in jo lopatica prenese v sesalni prostor, kar se ponavlja pri vsakem obratu rotorja dvakrat (če ima črpalka dve lopatici). S parami, ki so v začetku (na sesalni strani) pomešane z drugimi permanentnimi plini, pa ne gre tako gladko. Med komprimiranjem (sl. 2b) se lahko utekočinijo, še predno se odpre izpušni ventil, nastali kondenzat ostane v črpalki, se pomeša z oljem, se delno prenese na sesalno stran, kjer se upari, lopatica te pare prenese v

kompresijski prostor črpalke, kjer spet nastane kondenzat, in tako naprej. Skratka, vodna para oz. voda ostaja v črpalki, olje, ki ga črpalka nujno potrebuje za mazanje in tesnjenje, se počasi onesnaži in ni več sposobno opravljati svoje naloge. Ko črpalka miruje, korozija uspešno deluje in lahko kmalu popolnoma uniči črpalko, če tega pravočasno ne preprečimo z uporabo tki. dodajanja zraka.

Oglejmo si to zadevo še z druge strani, s spremljanjem tlaka v kompresijskem prostoru (na sl. 1c je to npr. spodnji del med statorjem in rotorjem ter lopaticama) in kompresijskega razmerja  $\epsilon = V_s/V_k$  ( $V_s$  je "sesalna" prostornina črpalke pod premico x-y na sl. 1c.  $V_k$  je "kompresijska" prostornina tistega dela črpalke, ki je na sl. 1b med lopatico in izpušnim ventilom oz. stičiščem rotorja in statorja). V začetku našega opazovanja je  $V_s = V_k$  oz. razmerje  $\epsilon = 1$ , nato pa se kompresijski prostor vedno bolj zmanjšuje ( $\epsilon$  se povečuje), dokler ne pride lopatica v lego, ko se ventil odpre (sl. 1c). Kompresijsko razmerje  $V_s/V_k$  pa se še nadalje zvišuje, dokler lopatica ne pride v najvišjo (zgornjo) lego (sl. 2).



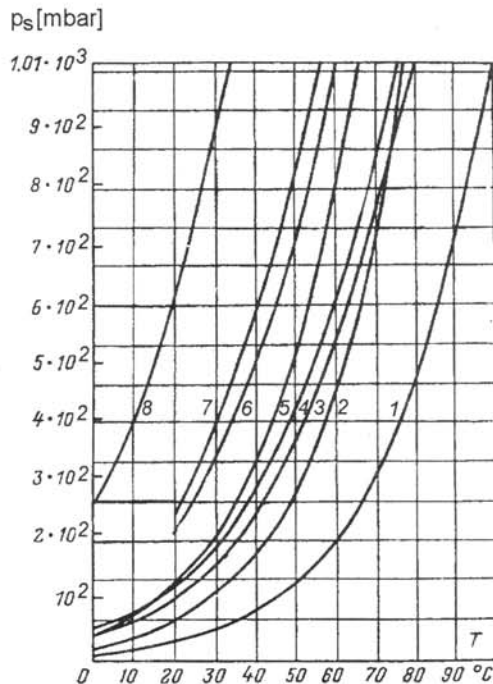
Slika 2. Naraščanje tlaka znotraj črpalke, t.j. v kompresijskem prostoru, v odvisnosti od kompresijskega razmerja  $\epsilon$

Naj bo tlak zraka na vходу (ustju) črpalke npr. 1 mbar. Ko to zajeto količino zraka stiskamo, naraste tlak na  $p_{iz} = 1200$  mbar in izpušni ventil se odpre\* (zlomljena črta v diagramu na sl. 2 od točk pri  $\epsilon = 1$  do 2 in 3). Prisotnost par pa stanje popolnoma spremeni. Ne moremo jih namreč bolj stisniti kot do tlaka nasičenja,  $p_s$  (diagram na sl. 3) pri dani temperaturi. Vsako nadaljnje stiskanje pripelje do kondenzacije par, parni tlak pa ostane nespremenjen. Če bi črpali npr. samo

\* Izpušni ventil se odpre šele pri 1200 mbar in ne pri 1013 mbar, kot je npr. okoliški atmosferski tlak, zaradi svoje teže in hidrostatičnega tlaka olja nad njim.

vodne pare, je to ponazorjeno v diagramu na sliki 2 z zlomljeno črto med točkami:  $\epsilon = 1$  do točk 8 in 9. Delovna temperatura črpalke je 60°C, tlak nasičene vodne pare  $p_s$  pa je pri tem 199 mbar. Kondenzat (voda), pomešan z oljem in zrakom, lahko tudi odpre ventil in se izloči, vendar se del te mešanice, ki je ostal ujet v "mrtvem" prostoru\*\*, prenese na sesalno stran, kar nam dela samo škodo, kot smo že opisali.

Ta pojav je mogoč le pri črpalkah, ki delujejo pri izpušnem tlaku, ki je enak oz. malenkostno večji od atmosferskega. Pri vseh drugih pretočnih črpalkah (Roots, turbomolekularnih, difuzijskih, ejektorskih), ki ne delujejo proti atmosferskemu tlaku, se pare ne utekočinjajo.



Slika 3. Tlak nasičenja  $p_s$  za vodno paro (1), etilni alkohol (2), benzen (3), ogljikov tetraklorid (4), metilni alkohol (5), kloroform (6), aceton (7) in etileter (8)

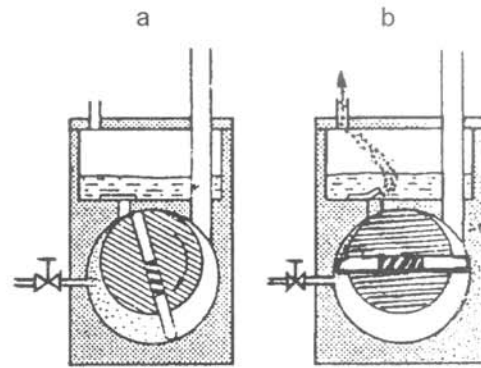
Zelo učinkovit način za preprečevanje kondenzacije par je dodajanje zraka v kompresijski prostor črpalke, kar je znano pod tujim imenom "gas ballast". Dodajamo ga skozi posebno odprtino in nepovratni ventil. Danes so vse pretočne rotacijske črpalke, ki iztiskajo zrak na atmosfero, opremljene z ventilom za dodajanje zraka. Shematsko je to prikazano na sl. 4.

Mešanico vsesanega zraka in par ter dodatno še "balastnega" zraka stisne črpalka proti izpušnemu ventilu, ki se odpre, še predno pride do kritičnega

\*\* "Mrtvi" ali "škodljivi" prostor imenujemo tisti del prostora v črpalki, ki je med izpušno odprtino statorja in dotikalščem statorja in rotorja.

kompresijskega razmerja, pri katerem bi se pare kondenzirale, in tako dovoli mešanici da izteče. To ponazarja krivulja od  $\epsilon=1$  do točke 1, ko se ventil odpre, ter dalje do točke 2 in 3. Onesnaženje (kontaminacija) olja ter s tem povezane nevarnosti in poškodbe črpalke so s tem preprečene.

Količina dodanega zraka mora biti torej taka, da



Slika 4. Shema in delovanje rotacijske črpalke z ventilom za dodajanje zraka: a) dodatni zrak prihaja v kompresijski prostor b) izpušni ventil se odpre, še predno nastopijo razmere za kondenzacijo par.

skupni tlak mešanice doseže vrednost, ki je potrebna za odprtje izpušnega ventila, pri tem pa je delni tlak par (npr. vodne pare) pod nasičenjem.

**Zgled 1:** Delni tlak zraka na sesalni strani črpalke je npr. 1 mbar, delni (parni) tlak vodne pare pa 0,1 mbar. Skupni (totalni) tlak je torej  $1 + 0,1 = 1,1$  mbar. Ventil se odpre pri 1200 mbar. Kompresijsko razmerje  $\epsilon$  je  $1200:1,1 = 1091$ . Oba delna tlaka sta se torej povečala za 1091-krat, in sicer je sedaj delni tlak zraka 1091 mbar ( $1 \text{ mbar} \times 1091$ ), delni tlak vodne pare pa ( $0,1 \text{ mbar} \times 1091$ ) 109 mbar (skupaj torej 1200 mbar). Ventil se bo odprl, vodna para se ne bo kondenzirala, če je temperatura črpalke in tudi pare npr. 60°C, pri čemer je tlak nasičenja  $p_s$  za vodno paro 199 mbar, delni tlak vodne pare pa je v našem zgledu manjši, le 109 mbar. Če pa bi bila črpalka bolj hladna, npr. na začetku obratovanja 20°C, pri čemer je parni tlak vode le 23 mbar, pa bi se para kondenzirala in ostala v črpalki.

Iz tega zgleda sledi:

**Pri hladni črpalki (npr. ob zagonu) obvezno odpremo ventil za dodajanje zraka.**

**Zgled 2:** Delni tlak zraka na sesalni strani črpalke je npr. 1 mbar, delni (parni) tlak vodne pare pa 0,3 mbar. Skupni (totalni) tlak je torej  $1 + 0,3 = 1,3$  mbar. Ventil se odpira pri 1200 mbar. Kompresijsko razmerje  $\epsilon$  je  $1200:1,3 = 923$ . Oba delna tlaka naj bi se povečala za 923-krat, in sicer naj bi bil delni tlak zraka 923 mbar, delni tlak vodne pare pa 277 mbar, kar pa ni mogoče,

ker je pri temperaturi črpalke 60°C tlak nasičenja 199 mbar. Del vodnih par se bo spremenil v kondenzat, ventil pa se ne bo odprl, ker je celotni tlak (923 + 199 mbar) le 1122 mbar. Da bi izgnali vodno paro, moramo odpreti ventil za dodajanje zraka vsaj toliko, da bo skupni tlak 1200 mbar, da se bo odprl izpušni ventil. Tlak balastnega zraka ob izpuhu mora biti zato vsaj 78 mbar ( $923 + 199 + 78 = 1200$ ).

Iz tega zglada sledi:

**Čim večja je obremenitev črpalke s parami, tem večji mora biti dotok dodanega (balastnega) zraka.**

Količina dodanega zraka pa ne more iti v nedogled. Empirično je ugotovljeno, da je primerna količina največ 10% od tiste vrednosti, ki jo sicer črpalka črpa skozi sesalno odprtino. Brez dodajanja zraka (ventil za dodajanje zaprt) smemo črpati mešanico (zraka in par), v kateri je delež par največ 20%, če je notranja temperatura črpalke 60°C, oz. 26% če je 65°C ( $p_s = 250$  mbar).

Kdaj torej odpremo ventil za dodajanje zraka?

1. Pri hladni črpalci (ob zagonu), ne glede na to, ali črpamo "čisto in prazno" komoro
2. Ventil za dodajanje zraka je med obratovanjem črpalke obvezno in stalno odprt, če črpamo kakršne koli kondenzirajoče se pare (sušenje, liofilizacija, impregnacija, destilacija)

3. Po končanem črpanju vakuumskih posod (komor) naj črpalka teče vsaj še pol ure s popolnoma odprtim ventilom za dodajanje zraka, da izžene iz olja preostanke vlage. Črpalka je namreč ogreta na delovno temperaturo, pri kateri je izganjanje vlage najuspešnejše. Olje se bo očistilo, korozije črpalke (ko bo mirovala) ne bo.

Pri delovanju črpalke z odprtim ventilom za dodajanje zraka dobimo na sesalni strani nekoliko višji tlak (do enega velikostnega reda) zaradi prenašanja zraka iz kompresijske na sesalno stran črpalke, zaradi škodljivega ("mrtvega") prostora ter zaradi notranjih netesnosti (na lopaticah). Proizvajalci črpalk zato navajajo naslednje štiri podatke za končni tlak črpalke:

- delni (parcialni) tlak (permanentnih plinov) brez dodajanja zraka
- skupni (totalni) tlak (permanentni plini in pare) brez dodajanja zraka
- delni tlak z dodajanjem zraka.
- skupni tlak z dodajanjem zraka

Prav tako najdemo pri (resnih) proizvajalcih tudi podatek za najvišji parni tlak na sesalni strani črpalke (max. tolerable water vapor inlet pressure) v mbar in količino vodne pare, ki jo lahko s tako črpalco izčrpamo (water vapor capacity) v g/h. O tem pa morda kdaj kasneje.

**dr. Jože Gasperič**

**Institut "Jožef Stefan", Jamova 39  
61111 Ljubljana**

## 4. seminar o trdih zaščitnih prevlekah

V Smeltovi dvorani je bil 25. novembra že četrti seminar o trdih zaščitnih prevlekah, ki se ga je udeležilo 155 strokovnjakov iz 38 delovnih organizacij s področja strojništva, obdelave materialov, konstrukcij orodij in strojnih delov, metalurgije, fizike in kemije. Organizirali so ga Institut "Jožef Stefan", Smelt, Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, Društvo za obdelovalno tehniko materialov in Ministrstvo za znanost in tehnologijo. Teme seminarja so bile najmodernejše tehnologije oplemenitenja površin orodij in strojnih delov s trdimi zaščitnimi prevlekami. Seminar je vodil prof. dr. Boris Navinšek, vodja Odseka za tanke plasti in površine ter Centra za trde prevleke na Institutu "Jožef Stefan", ki je pred desetimi leti skupaj s sodelavci, vpeljal takrat tudi v svetu še novo in izredno obetajočo tehnologijo trdih zaščitnih prevlek TiN. Ta je namenjena, kot je podrobneje opisano v enem od prispevkov, oplemenitenju (tj. zaščiti pred obrabo, korozijo in oksidacijo) orodij in strojnih delov, ki se uporabljajo zlasti v kovinsko predelovalni industriji. Od vsega začetka so razvoj TiN tehnologije spremljali tudi preizkusi v industriji. Na osnovi

pridobljenega znanja in mednarodno registrirane blagovne znamke JOSTiN ter z velikodušno finančno pomočjo Smelt-a je Institut "Jožef Stefan" leta 1985 ustanovil Center za trde prevleke, v katerem so do danes prekrili blizu milijon kosov najrazličnejših orodij za več kot 1000 tovarn iz bivše Jugoslavije, nekaj pa tudi za naročnike iz Avstrije in Italije. Po razpadu Jugoslavije se je krog naročnikov zelo zožil, kar je Centru povzročilo resne ekonomske težave. V tem letu so se razmere normalizirale, zato je postala uporaba JOSTiN tehnologije ponovno ekonomsko bolj zanimiva. Ker so orodja in orodna jekla zelo draga in ker v Sloveniji nimamo proizvajalcev serijskega orodja, pomeni oplemenitenje orodij velik ekonomski prihranek. Hkrati omogoča TiN tehnologija nove, boljše tehnološke rešitve (konstrukcijo orodij z večjo učinkovitostjo) pri obdelavi materialov, poboljšanje kvalitete obdelave in povečanje produktivnosti.

**Peter Panjan**

**Institut "Jožef Stefan", Ljubljana**