

NASVETI

KRIOČRPALKE, HLAJENE S HELIJEVIMI KRIOGENERATORJI

1 NAČIN DELOVANJA

O kriogenskih črpalkah ali kriočrpalkah smo v VAKUUMISTU že pisali (A. Banovec: Črpanje s kriočrpalkami, Vakuumist 17, 1989, str. 3,4). Ker pa je od tedaj do danes preteklo že precej časa, bomo na začetku na kratko opisali način delovanja.

Te črpalke delajo tako, da plin zmrznejo (kondenzirajo) na svojih notranjih površinah, ki morajo biti zato dovolj hladne. Temperature 10 do 20 K so že tako nizke, da vsi plini razen neona, vodika in helija, zmrznejo in je njihov parni tlak nižji od 10^{-10} mbar. Navedene tri pline, ki se ne kondenzirajo pri teh temperaturah, pa lahko črpamo, ali bolje rečeno, adsorbiramo na površini aktivnega oglja, ki je nanoseno na notranjo stran najhladnejše (npr. 15 K) plošče ali kondenzorja (drugi izrazi zanje so še: kriopanel, krioplošča, hladilno rebro, hladilno krilo...). Na tak način ustvarimo vakuum, v nasprotju s kinetičnimi črpalkami, ki odstranjujejo plin tako, da potiskajo "molekulo za molekulo" iz vakuumske posode (komore) proti svoji izstopni (izpušni) strani, dokler jih končno ne zrinejo na atmosfero.

Da bi lahko dosegli tako nizke temperature, uporabljamo pri kriočrpalkah, o katerih bomo v tem prispevku govorili, zaprt helijev krožni plinski sistem za hlajenje črpalke notranjosti, tj. njenih posebej oblikovanih plošč. Naključno gibanje molekul plinov prinese le-te v dotik s temi površinami, kjer se kondenzirajo ali adsorbirajo. Kriočrpalke prigraden kompresor potiska helij (pri sobni temperaturi, tlak 22 bar) skozi pregibno cev do hladilnih glav črpalke*, ki sta termično povezani z (navadno) dvema skupinama kondenzacijskih reber (kriopanelov). V hladilnih glavah helij ekspandira (z 22 na 5 bar) in ju zato ohladi. Plin teče nato nazaj v kompresor skozi drugo pregibno cev in tako sklene cirkulacijski krog. Zunanja rebra, ki so grajena kot lovilnik povratnih oljnih par pri difuzijskih črpalkah (sl.1) in so povezana s hladilnim ščitom, so hlajena na (nominalno) temperaturo 80 K, kjer se kondenzirata vodna para in CO₂, kar predstavlja največjo masno obremenitev črpalke. Notranja rebra so hlajena na 10 do 20 K (nominalno na 15 K), kjer se kondenzira večina preostalih plinov. Tako se vsi plini in pare, ki se lahko kondenzirajo, spremenijo v trdno snov. Plini, ki se ne kondenzirajo, pa se postopoma adsorbirajo na površinah, ki so prevlečene z ogljenimi zrnci.

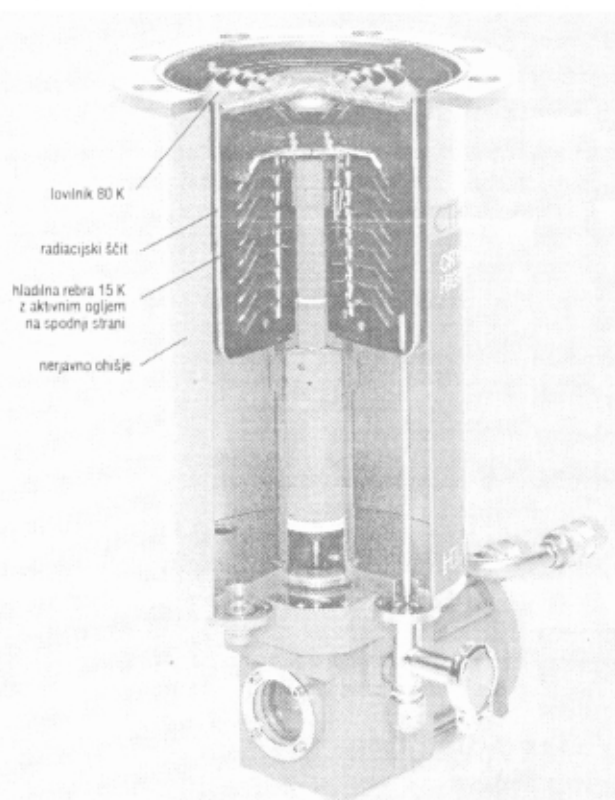
Materiali, iz katerih je narejena kriočrpalka: ohišje in prirobnice so iz nerjavnega jekla, radiacijski ščit in lovilnik (prva stopnja 80 K) sta iz bakra (svetlo nikljanega) ali iz aluminija, visokopolirana, ščit počrnjen na notranji strani. Vse, kar je izdelano iz bakra, je tudi svetlo nikljano. Krioplošče (kriopaneli) druge stopnje so iz toplotno zelo prevodnega bakra, svetlo nikljanega. Adsorbent na

spodnji strani teh kriopanelov je aktivno oglje.

Vsaka kriočrpalka ima tovarniško vgrajen in zatesnjen varnostni ventil, naravnani na 50 mbar nadtlaka (nad atmosferskim tlakom). Temperaturo kriopanelov (2. stopnja) merimo s termometrom (plinski kontaktni termometer, napolnjen z vodikom od 1 do 5 bar in umerjen; skala navadno od 14 do 27 K).

2 ČRPALNA HITROST IN KONČNI TLAK

V bistvu je kriočrpalka trojna, neodvisna kondenzacijska črpalka, kjer vsaka od teh odstranjuje specifične pline oz. pare z različnimi hitrostmi. Črpalna hitrost pa je odvisna predvsem od oblike hladilnih površin (hladilnih reber, kriopanelov ali krioplošč). Čelna rebra (pri vstopni odprtini črpalke), ki imajo obliko lovilnika, so najbolj zgoščena in morajo kondenzirati oz. zmrzniti vodno paro in CO₂. Morajo pa tudi zagotoviti veliko prevodnost, da lahko preostali plini zlahka prodrejo do notranjih, bolj hladnih reber, kjer se kondenzirajo, neon, helij in vodik pa se adsorbirajo na ogljeni plasti. Črpalne hitrosti za posamezne pline so med seboj zelo različne. V splošnem je črpalna hitrost za zrak dvakrat večja kot za vodik. Vse pa so odvisne od nasičenosti (zasedenosti) kriopovršin s kondenziranimi plini. V začetku oz. po regeneraciji so načeloma največje.



Slika 1. Notranjost kriočrpalke Cryo-Torr 8, proizvajalca CTI-CRYOGENIS

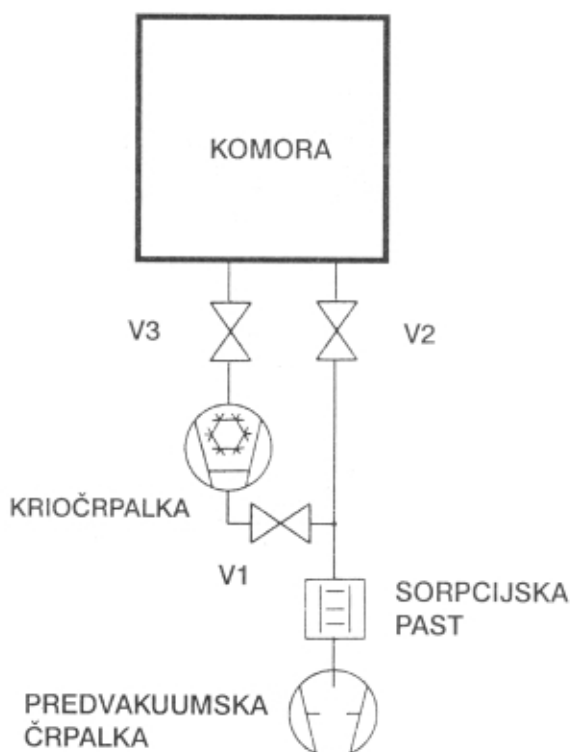
* Vodno hlajeni kompresor in hladilni glavi, ki sta s kompresorjem povezani z gibkima cevema, imenujemo kriogenerator. Sistem je napolnjen s superčistim helijem; tlak 16 bar med mirovanjem.

Ker kriočrpalke "držijo" kondenzirajoče pline pri tlakih pod 10^{-10} mbar, je končni tlak odvisen le od črpalne hitrosti in plinske obremenitve (tj. količine plina, izražene v mbar.l). Pri elastomernih ("gumijastih") tesnilih dosežejo kriočrpalke same (brez priključenega visokovakuumskega ventila in komore) končni tlak pod 10^{-8} mbar, s kovinskimi tesnili pa pod 10^{-9} mbar.

3 ČRPANJE VISOKOVAKUUMSKEGA SISTEMA S KRIOČRPALKO

Shema visokovakuumskega sistema s kriočrpalko je prikazana na sl. 2. Črpanje s kriočrpalko začnemo lahko šele, ko smo predhodno izčrpali črpalko do npr. 10^{-1} mbar (ventil V1 odprt) in nato posebej komoro (ventil V1 zaprt, V2 odprt) do neke točke, ki je izražena s količino plina v mbar.l (milibarlitri), ki je po predčrpanju z rotacijsko črpalko še ostal v komori in ga bo kriočrpalka še sposobna prevzeti (izčrpati). (Opomba: Pri difuzijskih črpalkah je začetek črpanja označen z mejnim oz. kritičnim predtlakom v mbar.) Poznati moramo torej prostornino visokovakuumske komore, ki jo evakuiramo. Za vsako kriočrpalko navedejo proizvajalci podatek, ki ga imenujejo "crossover", ki je po PNEUROF-u definiran kot "maksimalna količina dušika (mbar.l), ki ga lahko izčrpa kriočrpalka v kratkem časovnem intervalu, pri čemer temperatura kriopanelov ne preseže 20 K". Ta definicija pa ni zadostna. Predložena je že bila bolj celovita in praktična definicija tega pojma (1). "Crossover" je torej merilo za količino plina, ki vdre v črpalko, ko odpremo glavni, visokovakuumski ventil (V3). Mi bomo imenovali "crossover" največjo dovoljeno količino plina (mbar)

Za zgled vzemimo kriočrpalko CRYO-TORR 8 (proizvajalec CTI-CRYOGENICS), sl.1, z največjo dovoljeno količino plina p_0V 200 mbar.l. Če uporabimo komoro s



Slika 2. Shematski prikaz visokovakuumskega črpalnega sistema s kriočrpalko

prostornino 100 l, je največji dovoljeni tlak $p_c=200$ mbar.l/100 l = 2 mbar. Če bi imela komora prostornino 200 l, pa bi bil p_c le 1 mbar. Ta zgled nam pokaže, da imajo kriočrpalke značilno višje tlake (v primerjavi z difuzijskimi črpalkami, kjer so okoli $2 \cdot 10^{-1}$ mbar), pri katerih že lahko obremenimo kriočrpalko (tj. odpremo visokovakuumski ventil V3). To pa zelo skrajša črpalne čase. Najvažnejše pri tem je, da je grobovakuumski vod (od rotacijske predčrpalke do VV-komore in do kriočrpalke) med črpanjem v tki. viskozem področju pretokov, kar učinkovito preprečuje povratni tok oljnih par (iz rotacijske predčrpalke v komoro), ki je glavni vzrok za onesnaženje pri večini vakuumskih sistemov. Prednost teh kriočrpalk je tudi, da so odporne proti hitrim vdorom atmosferskega zraka ter ne povzročajo vibracij. Montirane so lahko v kateri koli legi.

4 HLADILNA KAPACITETA KRIOGENERATORJA

Kot smo že uvodoma povedali, imajo kriočrpalke navadno dve hladilni stopnji: prvo s temperaturo okoli 80 K, drugo okoli 15 K. Da bi lahko ohladili prvo stopnjo - ki je v mehanskem in termičnem kontaktu s sevalnim ščitom in lovilnikom kriočrpalke - na temperaturo 80 K (za zmrzovanje vode in CO₂), potrebujemo hladilno kapaciteto med 12 in 80 W. Za drugo stopnjo (od 12 do 20 K), ki jo predstavljajo kriopaneli (krioplošče, hladilna rebra, hladna krila...), pa potrebujemo hladilno moč 2 do 5 W. Te kapacitete pa ne zadoščajo, kadar črpalka ne dela v molekularnem področju pretokov, kjer je toplotno prevajanje plinov (konvekcija) zanemarljivo. Če tlak v kriočrpalki naraste nad 10^{-2} mbar, naraste tudi toplotna prevodnost plina in normalna kapaciteta hladilnika ne zadošča za uspešen začetek delovanja kriočrpalke (temperatura hladilnih površin naraste, črpalna hitrost pade, tlak v komori se le neznatno zmanjša). Za obravnavano vrsto kriočrpalk velja empirična formula, in sicer: $p_c \cdot V / Q_2 = 30$ mbar.l/W, pri čemer je p_c začetni največji dopustni tlak (tlak v komori, ki smo ga dosegli s predčrpalko), V je prostornina komore, Q_2 je hladilna kapaciteta druge stopnje pri 20 K.

Zgled: Hladilna kapaciteta (moč) druge stopnje je npr. $Q_2 = 2$ W. Iz gornje enačbe sledi, da je $p_c \cdot V = 60$ mbar.l. Če ima komora prostornino $V = 100$ l je največji dovoljeni tlak $p_c = 60/100 = 0,6$ mbar. Če pa bi bila moč $Q_2 = 5$ W, bi lahko odprli visokovakuumski ventil V3 že pri tlaku $p_c = 150$ mbar l/100 l = 1,5 mbar.

5 REGENERACIJA KRIOČRPALK

Ker so kriočrpalke kondenzacijske in ne transportne, jih je treba občasno regenerirati ali "odtaliti", ker se med delovanjem nasitijo s kondenziranimi (zmrznjenimi) plini in parami in začne njihova črpalna kapaciteta močno padati. To spoznamo po tem, da začne temperatura, npr. 15 K (merjena v 2. stopnji s plinskim termometrom), med delovanjem črpalke počasi naraščati. Desorpcija vodika se namreč začne že pri 18 K, dušika pa pri okoli 25 K. Naraščanje temperature pomeni, da je nastopil čas, ko moramo črpalko regenerirati, kar storimo takrat, ko je najmanj moten proizvodni (ali tudi raziskovalni) oz. delovni program, npr. ponoči, ob koncu tedna, leta...

Ko izključimo hladilnik oz. kriogenerator, se začne črpalka samodejno ogrevati. Ker se med tem sproščajo kondenzirani in adsorbirani plini in pare, jih moramo sprosti odčrpavati (odpremo ventil V1, zapremo V2 in V3 -

slika 2) s predčrpalko. Če tega ne bomo storili, bo to "uredil" varnostni ventil, kar pa ni priporočljivo. Čas ogrevanja črpalke do sobne temperature je skoraj enak času ohlajanja do 20 K in je za manjše črpalke (premer ustja 150 mm) okoli 60 minut, za večje (premer ustja 500 mm) pa 200 minut. Nekatere črpalke imajo tudi možnost vgraditve električnega grelnika za pospešeno regeneracijo.

Dobro je tudi vedeti, da je treba po 16.000 do 26.000 urah delovanja črpalke zamenjati adsorber v kompresorju, po 8.000 urah pa tesnila v hladilnih glavah. Občasno je treba po navodilih proizvajalca "dopolnjevati" kriogenerator s helijem, ki počasi, kljub dobri tesnitvi, uhaja iz sistema, kar lahko ugotovimo s pogledom na priključeni manometer.

6 NASVET ZA POTENCIALNE UPORABNIKE

Pred dobrim desetletjem so bile različne vrste kriočrpalk zelo v modi. Tudi danes se še uporabljajo, vendar so jim pri dinamičnih vakuumskih sistemih turbomolekularne črpalke največje tekmice. Kriočrpalke same po sebi niso zahtevne, pač pa največ težav v praksi povzročajo kriogeneratorji oz. njihovi helijevi kompresorski hladilniki, pa tudi helij rad uhaja iz hermetično zaprtega sistema in s tem onemogoča dobro delovanje črpalke. Stroški servisiranja so kar precejšnji, kajti z lastnimi servisnimi "silami" si ne boste mogli dosti pomagati, kadar bo kaj odpovedalo.

Dr. Jože Gasperič
Institut "Jožef Stefan",
Jamova 39, 61111 Ljubljana

IZOBRAŽEVANJE

IZOBRAŽEVALNI TEČAJI v jeseni 1995

Vse uporabnike vakuumске tehnike obveščamo, da sta za jesen 1995 predvidena naslednja strokovno izobraževalna tečaja:

VZDRŽEVANJE VAKUUMSKIH NAPRAV

28.-29. november 1995

Obravnavana bo predvsem tematika, ki jo srečujemo v tehniki grobega vakuuma. To je: delovanje, vzdrževanje in popravila rotacijskih črpalk, pregled in uporaba različnih črpalk, ventilov in drugih elementov, meritve vakuuma, hermetičnost in odkrivanje netesnosti v vakuumskih sistemih, materiali za popravila, tehnike čiščenja in spajanja, skupno 16 ur, od tega tretjina praktičnih prikazov in vaj.

Cena tečaja je 30.000 SIT. Vsak tečajnik bo prejel tudi brošuro "Vzdrževanje vakuumskih naprav" in potrdilo o opravljenem tečaju.

OSNOVE VAKUUMSKE TEHNIKE

9.-12. oktober 1995

Pri tem tečaju je večji poudarek na teoretičnem razumevanju snovi. Obravnavana so vsa že prej omenjena področja in poleg tega še: pomen in razvoj vakuumске tehnike, fizikalne osnove, črpalke za visoki vakuum, tankoplastne in druge vakuumске tehnologije, čisti postopki,

analize površin ter doziranje, čiščenje in preiskave plinov - skupno 20 ur z vajami in ogledom inštituta.

Cena tečaja je 26.000 SIT. Udeleženci prejmejo zbornik predavanj "Osnove vakuumске tehnike" in potrdilo o opravljenem tečaju.

Tečaja "Osnove vakuumске tehnike za srednješolske predavatelje" bosta tudi dva:

21-23 septembra in 9.-11. novembra in sta razpisana v informativnih glasilih za šolstvo.

Oba tečaja se pričneta ob 8.00 uri v knjižnici Inštituta za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, Ljubljana.

Prosimo interesente, da se informativno javijo čimprej, za dokončno potrdilo udeležbe pa velja kopija položnice o plačilu - najkasneje tri dni pred pričetkom tečaja na naslov: Društvo za vakuumsko tehniko Slovenije, Teslova 30, 61111 Ljubljana (štev. žiro računa: 50101-678-52240).

Prijave sprejema organizacijski odbor (Koller, Spruk, Mozetič, Nemanič), ki daje tudi vse dodatne informacije (tel. 061 263-461).

OBČNI ZBOR DRUŠTVA

Obveščamo vse člane DVTS, da bo občni zbor v času 15. slovenskega vakuumskega posvetovanja, ki bo od 4. do 6. oktobra v Portorožu v sklopu 3. slovenske konference o materialih in tehnologijah (predvidoma v četrtek, 5.10.1995 ob 16.30). Na zboru bomo predstavili naše delovanje v preteklih letih, pogledali, kje smo in kaj zmoremo ter skušali čim jasneje podati smernice za delo v bodoče.

Prosimo člane, da si organizirajo svojo udeležbo na posvetovanju tako, da bodo na sestanku, ki bo trajal eno šolsko uro, in na katerem naj bi se vsako leto enkrat zbrali vsi, resnično prisotni.

Vabljeni,

Izvršni odbor DVTS