

1. Uvod

Vse načine črpanja plinov ali par iz prostora z lovljenjem njihovih molekul na hladne površine imenujemo kriočrpanje. Ime izvira iz grške besede "kryos", kar pomeni zamrznjen. Pojav kriočrpanja zajema zelo različne oblike: od enostavnih-vsakdanjih, ki jih opazujemo pri kondenzaciji vodne pare in pri tvorbi ledenih rož na hladni površini okenskih stekel v zimskem času, do črpanja v UVV sistemih z uporabo ohlajenega helija, ki kroži znotraj posebnih hladilnih površin. V industriji in raziskovalnih laboratorijih uporabljajo za doseganje vakuumu razne sisteme odprtega ali zaprtega ciklusa kriočrpanja.

Primer uporabe odprtega sistema predstavljajo različne oljne pasti pri difuzijskih črpalkah in sorpcijske črpalke, ki jih hladimo s tekočim dušikom pri temperaturi 77 K.

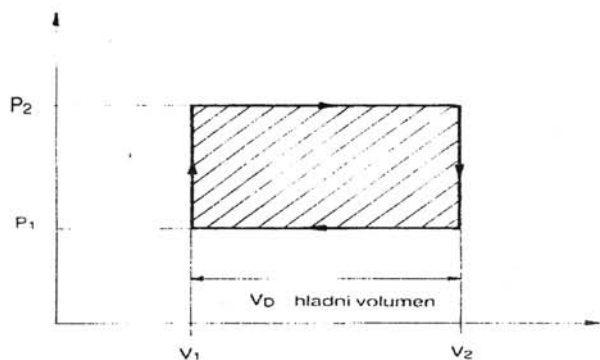
Med zaprte prištevamo vse tiste sisteme, ki uporabljajo kot hladilni medij freon ali helij. V vakuumski tehniki se je za kriočrpanje v zadnjem desetletju močno uveljavil zaprti sistem s plinskim helijem za eno in večstopenjske hladilnike. Zaprti sistem hlajenja je poznan že več kot sto let odkar ga je izumil škotski inženir A. Kirk. Kasneje so drugi avtorji kot Gifford in McMahon ter Turner in Hogan tak sistem za uporabo v vakuumski tehniki močno izpopolnili. /1/

2. Princip zaprtega sistema hlajenja

Osnova za razlago vseh hladilnih procesov so termodinamske krožne spremembe, ki obravnavajo dodajanje oz. odvzemanje dela in toplote nekemu sistemu.

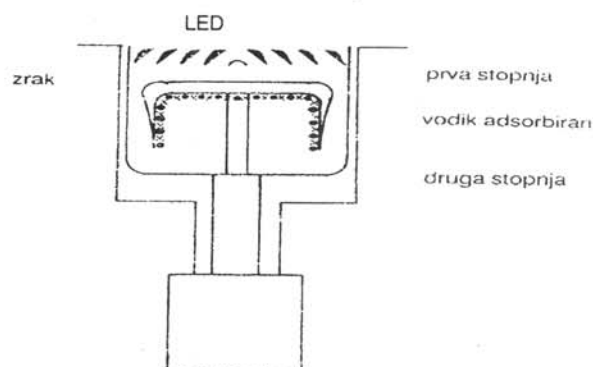
Hladilni cikel je sestavljen iz komprimiranja plinskega helija in odvajanja sproščene toplote, ki nastane pri kompresiji s pomočjo hladilne vode ali močnega zračnega hlajenja ter hitre ekspanzije (razširjanja) ohlajenega helija, kar povzroči še nadaljnje močno ohlajanje plina. Na sliki 1 je v pV diagramu prikazan Gifford-McMahonov cikel zaprtega sistema hlajenja /2/.

Kompresor in uparjevalnik (hladilna glava) sta lahko v enem kosu ali pa funkcijsko ločena dela. Pri večini vakuumskih kriočrpalk prevladujejo sistemi, pri katerih ima



Slika 1: Gifford-McMahonov cikel hlajenja s helijem

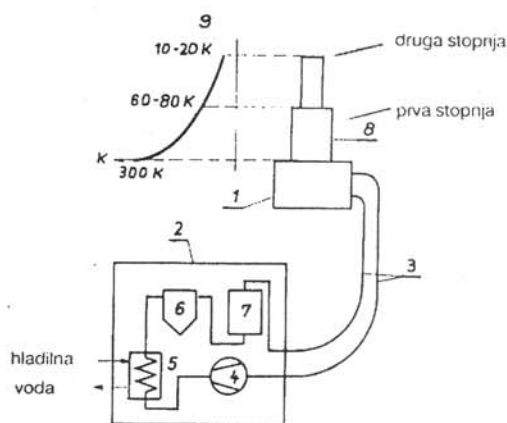
hladilna glava najmanj dve hladilni stopnji. Prva stopnja je ohlajena na temperaturo med 50 in 75 K in porablja 5 do 7 W hladilne moči ter druga stopnja s temperaturo cca 10 K, ki porablja 1 do 2 W hladilne moči. Kriočrpanje razdelimo v dva procesa in sicer kondenzacijo in sorpcijo.



Slika 2: Shema ohlajenih površin kriočrpalke

Shema prereza kriočrpalke, na sliki 2 prikazuje temperaturo na hladilnih površinah prve in druge stopnje ter hkrati mesta kondenzacije in sorpcije. Na prvi stopnji s temperaturo 50 do 75 K se črpa voda, N_2 , O_2 in Ar. Na drugi stopnji, ki je (zaradi toplotnega sevanja) zgrajena tako, da ima notranjo stran prevlečeno s tanko plastjo aktivnega oglja, dosežemo temperaturo 10 K in tlak. Na tej površini poteka pretežno kriosorbcija H_2 in He saj so ostali plini in pare (zaradi ustrezne konstrukcije) izčrpani že na prvi stopnji.

Cikel ohlajanja v kriočrpalki prikazan na sliki 3 poteka tako, da helij kot hladilni medij v kompresorju /4/, ki je ločen od črpalke, stisnemo na tlak 20 barov (2×10^6 Pa).



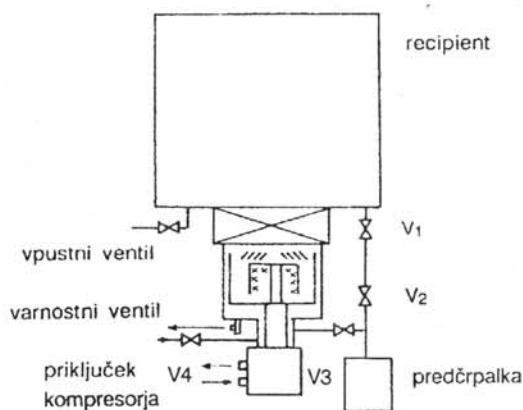
Slika 3: Sistem zaprtega ciklusa hlajenja v kriočrpalki; 1-hladilna glava, 2-kompresor, 3-gibljava cev, 4-kompresor za He, 5-hladilnik, 6-oljni separator, 7-adsorber za oljne pare, 8-hladilne površine, 9-temperaturni gradient na hladilni površini.

Zaradi stiskanja se plin ogreje, zato ga je potrebno ohladiti nazaj na sobno temperaturo s tekočo vodo ali zrakom /5/. Kapljice olja, s katerim je mazan kompresor, se iz helija izločijo na filtru v oljnem separatorju /6/.

Zadnje ostanke oljnih par v heliju odstranimo z aktivnim ogljem v adsorberju /7/. Stisnjen in ohlajen helij vodimo preko gibljive kovinske cevi do hladilne glave/3/. V hladilni glavi helij hipoma ekspandira na tlak 5 barov (5×10^5 Pa), zato se glava močno ohladi. Sistem za izmenjavo toplote doseže na hladnem koncu druge stopnje hladilne glave temperaturo 10 K, medtem ko je helij na vstopni in izstopni strani na sobni temperaturi /9/. Po ekspanziji teče nato helij skozi drugo gibljivo nizkotlačno cev nazaj v kompresor /4/ in tako se zaprti ciklus ponavlja /3, 4/.

3. Vakuumski sistemi s kriočrpalko

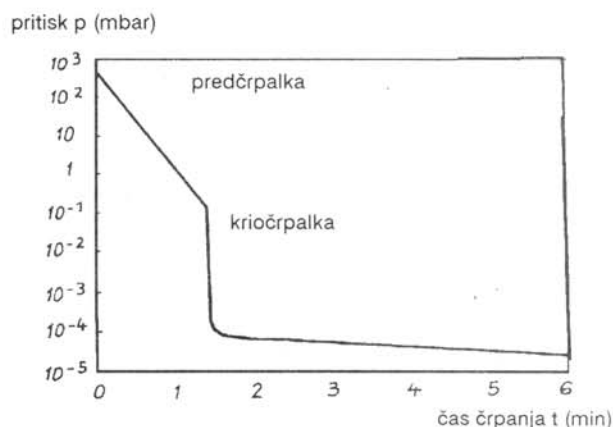
Pred obratovanjem kriočrpalke na vakuumskem sistemu je potrebno recipient in črpalko izčrpati z rotacijsko črpalko. Običajno zadostuje, da izčrpamo ves sistem na tlak okoli 0,01 mbar (1 Pa), predno vključimo kriočrpalko. Na ta način zmanjšamo izmenjavo toplote s sevanjem med ohišjem črpalke in hladnimi paneli. V praksi uporabljamo pri tem dvostopenjske rotacijske črpalke ter pasti za oljne pare, da preprečimo povratni tok oljnih par (back streaming) iz rotacijske črpalke v kriočrpalko. Na sliki 4 je shematsko prikazan tipičen visokovakuumski sistem opremljen s kriočrpalko. Ko se prične kriočrpalka ohlajati, kar lahko opazujemo na termometru, ki deluje na osnovi meritve tlaka vodika, ločimo kriočrpalko in vakuumsko posodo od rotacijske črpalke z ventilom V3.



Slika 4: Shema tipičnega visoko vakuumskega sistema s kriočrpalko

Kriočrpalka v zelo kratkem času, običajno nekaj minut, izčrpa sorazmerno velike volumne (cca 50 l) do tlaka 10^{-7} mbar (10^{-5} Pa). Črpalna hitrost je odvisna od velikosti kriočrpalke; relativno je zelo velika in znaša za vodno paro in zrak več 1000 l/s. Na diagramu na sliki 5 je prikazan tipičen potek črpanja VV sistema.

Celotna količina izčrpanih plinov ostane ob koncu črpalnega ciklusa ujeta v kriočrpalki. Zato je potrebno črpalko občasno ustaviti in ogreti na sobno temperaturo ter regenerirati s pomočjo rotacijske črpalke. S tem postopkom obnovimo kapaciteto kriočrpalke. Čas, potreben za regeneracijo, je odvisen od tipa kriočrpalke in vrste plinov, ki jih je črpala.



Slika 5: Tipičen potek črpanja vakuumskega sistema z rotacijsko in krio vakuumsko črpalko

Pri izbiri kriočrpalke za doseganje VV ali UVV je potrebno upoštevati številne faktorje. Običajno izberemo kriočrpalko predvsem zato, ker omogoča zelo čiste ultravakuumske pogoje brez oljnih par ter zaradi velike črpalne hitrosti. Kriočrpalke delujejo v širokem področju tlakov od 10^{-1} do 10^{-10} mbar (1 do 10^{-8} Pa).

Kriočrpalke pogosto uporabljajo tako v znanosti kot v industriji. Montaža črpalke je možna pod katerim koli kotom. Predčrpalka je potrebna le kratek čas ob startu. Kriočrpalko lahko za kratek čas tudi preobremenimo /5/.

4. Zaključek

Kriočrpalke med svojim delovanjem zadržujejo načrpane pline na hladnih površinah, pri ogrevanju jih oddajo in se regenerirajo. Uporabljamo jih za številne aplikacije predvsem pa za pridobivanje čistih vakuumskih pogojev kot npr.: v VV in UVV sistemih pri proizvodnji tankih vakuumskih plasti z naparovanjem in naprševanjem, ionski implantaciji, elektronski spektroskopiji (XPS), vakuumskih pečeh itd.

Ker črpalke nimajo gibljivih delov, so relativno neobčutljive za prah in poškodbe. Črpajo lahko tudi korozivne in toksične pline, ki jih je potrebno ob regeneraciji odstraniti iz črpalke. Črpalke za svoje delovanje ne potrebujejo tekočega dušika ampak le električni tok. Vzdrževanje črpalke je enostavno, ker nimajo gibljivih delov in ne uporabljajo olja. Njihova značilnost je velika črpalna hitrost za vodno paro in zrak, ki predstavljata pretežni del residualne atmosfere v recipientu.

5. Literatura

1. Kimo M. Welch and Cris Flegal, Elements of Cryopumping, VR-131 "Varian", Reprinted with permission from Industrial Research/ Development 1978
2. R. Frank, H.J. Forth, R. Heisig, H.H. Klein, A New Development of Refrigerators of High Operational Reliability for Use in Cryopumps Proceedings of the Eight Int. Vacuum Congress, Vol. II, p. 269-274, 1980
3. Refrigerator Cryopumps and Pumping Systems, Balzers Aktiengesellschaft, Fürstentum, LI. F-1-F-16

4. Basic of Cryopumping, Air Products and Chemicals, Inc. Allentown, PA, 1980, p. 1-29
5. Guy S. Venuti, Use of vibration - isolated cryopumps to improve electron microscopes and electron beam lithography units, J.Vac. Sci. Technol., A1(2), 1983, p. 237-240

Andrej Banovec, dipl.ing.
Inštitut za elektroniko in
vakuumsko tehniko
Teslova 30, 61000 Ljubljana

PLAZEMSKE TEHNOLOGIJE

1. Uvod

V zadnjem desetletju je bilo organiziranih nekaj deset mednarodnih konferenc, ki so bile posvečene problemom razvoja plazemskih tehnologij. Prva tovrstna konferenca je bila leta 1977 v Edinburgu pod imenom IPAT (Ion & Plasma Assisted Techniques). Doslej se jih je zvrstilo že sedem. Mednarodne konference s podobno vsebino so še ISIAT (Ion Sources and Ion Assisted Technology), ICMC (International Conference on Metallurgical Coatings) in PSE konferenca (Conference on Plasma Surface Engineering), ki je bila preteklo leto organizirana prvič. Glavne teme, ki jih obravnavajo na teh konferencah so:

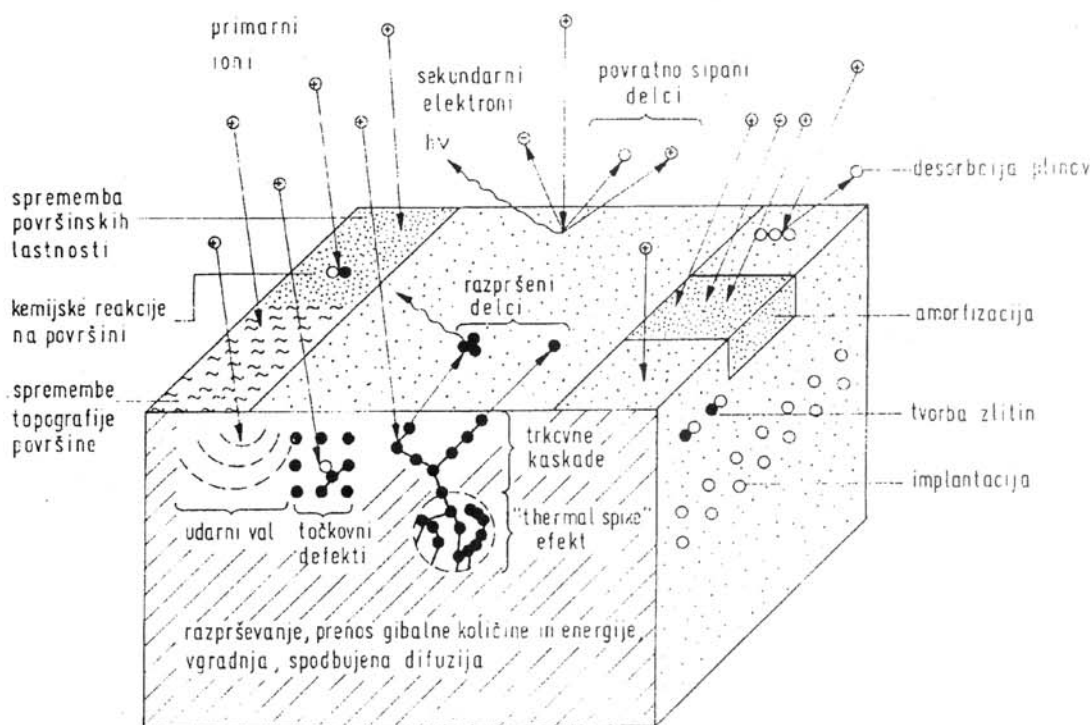
- * fizika površin in interakcija plazme s površinami trdih snovi
- * ionski izviri
- * naprave za naprševanje, jedkanje in ionsko implantacijo
- * plazemska kemija
- * modifikacija materialov z ionskim curkom
- * plazemska diagnostika

* pospeševalniki

* plazemske tehnologije v tribologiji (plazemsko nitriranje, trde zaščitne prevleke) in pri zaščiti materialov pred korozijskimi procesi itd.

Našteta tematska področja delno pokrivajo tudi vakuumske konference in konference s področja mikroelektronike.

Zanimanje raziskovalcev za plazmo je pogojeno s številnimi možnostmi njene uporabe. Tako je plazma lahko aktivacijski medij za različne fizikalno-kemijske procese. Delci v plazmi imajo visoko energijo, zato povzročajo vrsto različnih procesov, kot so disociacija, ekscitacija in ionizacija atomov ter molekul [1]. Vsi ti procesi znatno pospešujejo ali pa celo omogočajo potek kemijskih reakcij. Plazma je lahko tudi izvir najrazličnejših ionov, ki jim lahko poljubno izbiramo energijo in smer gibanja. Plazmo lahko ustvarimo z enosmerno, RF ali z mikrovalovno razelektrivijo. Do faznega prehoda v plazemsko stanje pride, če je povprečna energija sistema na delec istega velikostnega reda ali večja od vezavne energije elektronov v atomu. Najenostavnejši način za pripravo plazme je razelektritev med dvema elektrodama



Slika 1: Osnovni mehanizmi interakcije ionov s trdno snovjo

v vakuumu približno 10 Pa. Takšno razelektrjenje je odvisno predvsem od vrste in tlaka plina, od napetosti med elektrodama in od geometrije sistema. Razelektrjenje vzdržujejo elektroni, ki jih iz katode izbijejo pozitivni ioni /1/. Energijo, potrebno za ionizacijo, pridobivajo v tki. katodnem temnem prostoru, kjer se pojavi skoraj celoten skok električnega potenciala. Vsak elektron mora ionizirati toliko atomov (10 do 20), da nastali ioni izbijejo iz tarče vsaj en elektron. Gostota plazme pri takih razelektritvah je od 10^9 do 10^{12} ionov na 1cm^3 . Povprečna energija elektronov je od 2 do 10 eV, kar ustreza temperaturi 10^4 do 10^5 K, medtem ko je temperatura ionov blizu okoliški temperaturi, tj. 500 K. Stopnja ionizacije je navadno 10^{-4} . Povečamo jo lahko na dva načina: s povečanjem učinkovitosti ionizacije (to lahko realiziramo bodisi z radiofrekvenčnim vzbujanjem ali pa tako, da z magnetnim poljem podaljšamo pot elektronov) in s povečanjem števila elektronov, ki jih dobimo iz dodatnih elektronskih izvirov.

S fizikalnega vidika so zelo zanimive interakcije plazme zlasti interakcije ionov (sl.1) s površinami trdnih snovi. Nizkoenergijski ioni iz plazme (nekaj eV) ali ionskega izvira povzročajo migracijo površinskih atomov, desorbicijo nečistoč, kemijske reakcije, polimerizacijo itd. Uporabljamo jih lahko za lokalno segrevanje površin trdnih snovi, saj je temperatura, ki ustreza energiji ionov zelo visoka ($1\text{eV} = 100\text{K}T_{\text{Sob}}$). Ioni z višjo energijo (več kot nekaj deset eV) povzročajo nastanek točkovnih defektov oz. aktivacijskih centrov. Če energija ionov presega energijo atomov na površini (ki je približno enaka sublimacijski energiji), potem pride do razprševanja površine. Razprševanje je proces, ki ga izkoriščamo za čiščenje površin in nanos tankih plasti. V ta namen so zanimivi ioni inertnih plinov, ki imajo energijo v energijskem področju 300 do 2000 eV. Ioni z višjimi energijami (10 do 200 keV) se uporabljajo pri ionski implantaciji, plazemski metalurgiji, pri RBS spektroskopiji itd.

2. Primeri uporabe

Število tehnoloških postopkov, ki so vezani na plazmo, se je v zadnjem desetletju zelo povečalo. Nekateri od njih so našteti in opisani v nadaljevanju prispevka.

a) Obdelava materialov v plazmi (rezanje, varjenje,..)

b) Vakuumske metode nanašanje tankih plasti (naprševanje, ionsko prekrivanje itd.) /2/

Vakuumske metode nanašanja tankih snovi (PVD-Physical Vapour Deposition) so v zadnjih dveh desetletjih doživele izreden razvoj. Uporabljajo pa se povsod, kjer potrebujemo zelo čiste plasti in kjer zahtevamo ponovljivost postopka (tanke plasti v mikroelektroniki, optiki, integrirani optiki, magnetne tanke plasti, trde prevleke, senzorske plasti, antikorozijske, samomazivne in dekorativne plasti,...). Uporaba plazme je v sklopu zgoraj naštetih metod nanašanja pomembna dopolnitev, s katero lahko kontroliramo lastnosti plasti. Obstreljevanje podlage in rastoče plasti (med nanašanjem) z nizkoenergijskimi ioni (25-5000 eV) lahko povzroči velike spremembe lepljivosti (sticking probability), hitrosti reakcije na površini, kinetike rasti, hitrosti difuzije na mejnih površinah. Plasti so zato bolj kompaktne in imajo boljšo oprijemljivost.

c) Jedkanje v plazmi in s plazemskim snopom /3/

V submikronskih tehnologijah ($<2\ \mu\text{m}$) moramo uporabiti anizotropne postopke jedkanja. Takšni postopki so vakuumsko plazemsko jedkanje in jedkanje z ionskim snopom. Mehanizem jedkanja je lahko razprševanje površine ali pa kemijsko jedkanje, ki se ga aktivira z obstreljevanjem površine z nizkoenergijskimi ioni (elektroni in fotoni) iz plazme ali iz ionskega izvora.

d) Plazemska energetika (npr. termonuklearni fuzijski reaktorji) /4/

e) Plazemska kemija

TEHNOLOGIJE 21. STOLETJA
(Študija ameriškega ministrstva za trgovino)
novi materiali
elektronika
avtomatizacija in tehnologije senzorjev
biotehnologija
računalniškatehnologija
tehnologije v medicini
tehnologije površin

Tabela 1:

Plazemska kemija omogoča gospodarnejšo, ekološko sprejemljivejšo in kvalitetnejšo pripravo nekaterih kemijskih snovi. Plazma v splošnem pospeši, pogosto pa sploh omogoči nekatere kemijske reakcije. Tako lahko neravnotežno plazmo uporabimo za aktiviranje kemijskih reaktanov pri nanašanju tankih plasti s kemijsko depozicijo iz parne faze. Na ta način lahko pripravimo tanke plasti refraktornih materialov pri relativno nizkih temperaturah podlage (npr. TiN, TiC, Si₃N₄, BN). Tudi amorfni silicij, ki se uporablja pri izdelavi amorfnih silicijevih sončnih celic, pripravimo v plazmi. Nanos poteka iz plazme silana (SiH₄) in nekaterih drugih plinov, pri temperaturi 200 do 300 °C. Razelektrivni procesi, ki omogočijo rast silicija, so zelo kompleksni in še ne dovolj pojasnjeni. V praksi se široko uporabljajo tudi različni procesi plazemskega nitriranja, boriranja in karbiranja. Obdelovanec je navadno katoda pri razelektritvi v ustrezni mešanici plinov. Pri obstreljevanju obdelovanca (orodno jeklo, strojni deli) s ioni iz plazme nastanejo v površinskih plasteh različni nitridi oziroma karbidi ali boridi, ki znatno utrdijo površino. Proces poteka pri temperaturi obdelovanca 350 do 580 °C; segrevajo ga ioni iz plazme. Del energije ionov pa se porabi za potek kemijske reakcije.

f) Modifikacija površin z ionsko implantacijo /5/

Vpadli ioni se vgrajujejo v plast, hkrati pa na svoji poti izbijajo atome iz njihovih mrežnih mest. Tako pride do mešanja atomov v vseh smereh. Pri večjih dozah ionov se spremeni površinska sestava, struktura in kemijska vezavna stanja atomov na površini. Dobra stran kaskadnega mešanja atomov je možnost priprave zlitin in spreminjanja (površinskih) lastnosti materialov. Prenasičene trdne raztopine dobimo z atomskim mešanjem tudi v nekaterih primerih (npr. kombinacija zlato-kobalt), ko ne pričakujemo, da bi lahko prišlo do tvorbe zlitine glede na Hume-Rotheryjeva pravila /6/.

g) Plazma kot izvir svetlobe (npr. plinski laserji)

h) Površinske in globinske profilne analize /7/

Emisijski procesi, ki spremljajo obstreljevanje z ioni, so lahko osnova za površinsko analizo (npr. SIMS-sekundarna ionska masna spektroskopija), saj je vsak izbit delec nosilec informacije o sestavi in strukturi (površine) trdne snovi. Sestavo po globini merimo s površinskimi analiznimi metodami tako, da vrhno plast odstranjujemo z ionskim obstreljevanjem.

3. Zaključek

Plazemske tehnologije se uporabljajo v čedalje širšem obsegu. Danes so osnova mikroelektronike, integrirane optike, razvoja novih materialov in tehnologij površin. Po študiji ameriškega ministrstva za trgovino sodijo našeta področja tudi med ključne tehnologije, ki bodo dominirale v 21. stoletju (tabela 1). Razširjenost plazemskih tehnologij pri nas je na žalost daleč za ravnim svetom.

4. Literatura

- /1/ M.Venugopalan, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B23 (1987) 405-417
- /2/ Brian Chapman, Glow Discharge Processes, John Wiley & Sons, New York, (1980)
- /3/ P.Panjan, B.Navinšek in A.Žabkar, Zbornik X jugoslovskega vakuumskega kongresa, urednik T.Nenadović, stran 118, Beograd (1986)
- /4/ P.Panjan, A.Žabkar in B.Navinšek, Vakuunist št.16,(1988), stran 4
- /5/ O.Auciello and R.Kelly, Ion Bombardment Modification of Surfaces, Elsevier, Amsterdam, (1984)
- /6/ W.Hume-Rothery et al, Inst. of Metals, London (1969)
- /7/ O.Brümmer, J.Heydenreich, K.H.Krebs und H.G.Schneider (ed.), Festkörperanalyse mit Elektronen, Ionen und Röntgenstrahlen, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin (1980)

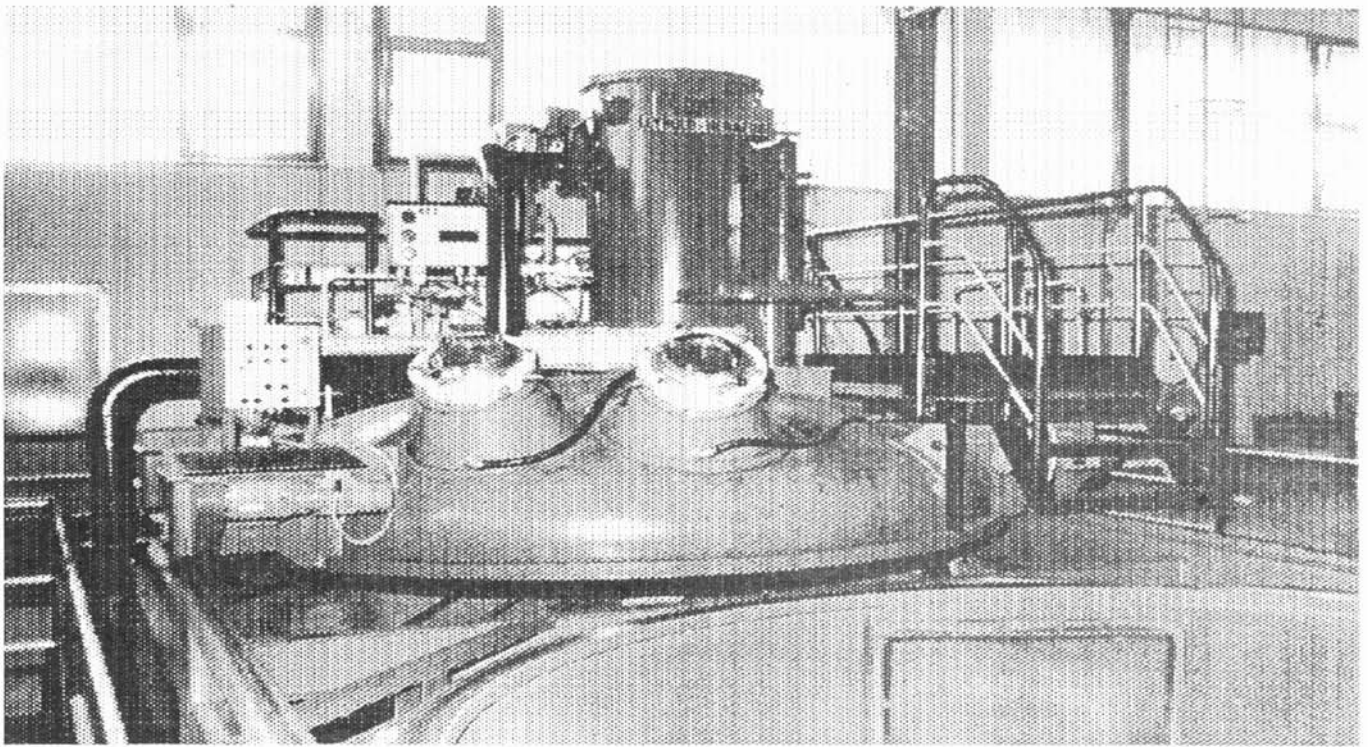
*Peter Panjan, dipl.ing.
Institut Jožef Stefan
61000 Ljubljana, Jamova 39*

TALJENJE IN LITJE ZLITIN NIZKOLEGIRANEGA BAKRA V ELEKTROINDUKCIJSKI VAKUUMSKI PEČI

Mariborska livarna se ukvarja z izdelavo in predelavo zlitin nizkolegiranega bakra že približno 25 let. Do nedavnega smo talili take zlitine v 500 kg lončni elektroindukcijski peči. Talina je bila pri taljenju in litju izpostavljena vplivu zunanjega okolja, kar se je močno odražalo na kvaliteti dobljenega materiala; ekonomski kazalci takšne proizvodnje so bili neugodni. Zlitine nizkolegiranega bakra so legirane s Cr, Zr, Be, Ni, Si, Mn, Ti, Te, Co, Cd, itd. Vsi ti elementi imajo visoko afiniteto do kisika in so se nam pri taljenju in litju v veliki meri oksidirali. Veliko oksidnih vključkov v ulitem materialu pa pomeni poslabšanje mehanskih in fizikalnih lastnosti zlitine in s tem zmanjšanje življenjske dobe materiala v

industrijski uporabi. Zaradi neposrednega vpliva okolja pri taljenju in litju je prišlo velikokrat tudi do naplinjenja taline; odliti material je bil porozen, celo toliko, da smo morali celotno šaržo zavreči in jo pretopiti kot cenen vložek. V splošnem je bila kvaliteta našega materiala precej pod nivojem identičnih uvoženih materialov, kar se je odražalo tudi na slabši prodaji.

Zaradi vedno večjega povpraševanja po specialnih zlitinah nizkolegiranega bakra z visoko zahtevnimi mehanskimi in fizikalnimi lastnostmi na eni strani in zaradi nekvalitetnega postopka na drugi strani, smo se odločili za nakup elektroindukcijske vakuumske peči tip ISG 150 V2 pri Leybold Heraeus iz ZRN. Osnovni princip



vakuumske tehnologije je, da taljenje in litje zlitin poteka v vakuumu - brez prisotnosti kisika. V našem primeru dosežemo vakuum 10^{-2} mbar. Vložek za taljenje je sestavljen iz elektrolitskega bakra, povratnega materiala in legiranih elementov. Legirni elementi so lahko pripravljene kot ustrezne predzlitine (naprimer za krom uporabljamo predzlitino CuCr, katera vsebuje do 10% Cr) ali pa v obliki čistih kovin (Si, Ni, Mn). Pomembno je, da je vložek čist, popolnoma suh in brez maščobnih delcev.

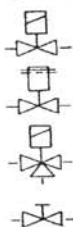
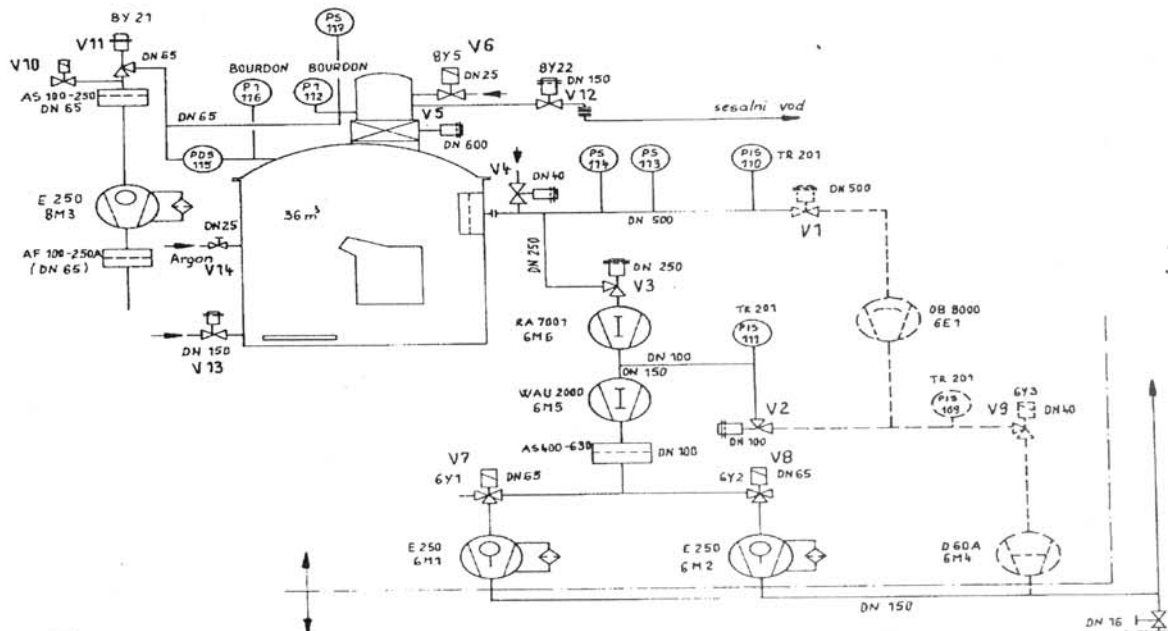
Glavni del vakuumske peči je talilna komora premera 3600 mm in višine 2100 mm; na vrhu ima pokrov, ki ga lahko mehansko premikamo. Nad pokrovom talilne komore se nahaja posebna šaržirna komora. Le-ta omogoča dodajanje materiala (ob polnitvi se namreč talino komoro založi samo 80%) in legiranih elementov, merjenje temperature in jemanje vzorcev za kemično analizo. Vse te operacije se izvršijo, ne da bi prekinili črpanje in tako celotni proces taljenja in litja poteka ves čas v vakuumu. V talilni komori je talilni agregat, katerega osnova je nagibna jeklena konstrukcija z električnim navitjem in elektrografitni lonec s kapaciteto do 1000 kg Cu zlitine.

V talilni komori se nahaja še vrtljiva livna miza, na kateri je pet kokil v katere se odlije talina. Med procesom taljenja se v peč po potrebi uvaja argon in to v primeru, da pride do močnejšega brizganja taline iz lonca. Argon se uporablja tudi med litjem, da dosežemo mirno litje taline v kokile. Po končanem litju se talilna komora ohlaja eno uro, nato se odpre ter dvigne iz nje kokile z odlitimi bloki. Po slačenju kokil dobimo bloke, katerim odrežemo peto in glavo (ta material se vrača ponovno v proces taljenja); preostanek pa razžagamo na manjše kose, ki jih kasneje oblikujemo s hidravlično stiskalnico. Dimenzije odlitega bloka so približno $\phi 196 \times 700$ mm, teža pa je okrog 180 kg. S toplim stiskanjem kosov iz nizkolegirane bakra dobimo palice okroglega, kvadratnega ali pravokotnega preseka. Sledi termična obdelava

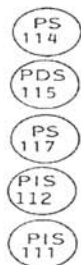
in na koncu hladna deformacija, ki nam da polproizvode željenih dimenzij ter odgovarjajočih mehanskih in fizikalnih lastnosti. Iz teh polproizvodov se kasneje izdelujejo različne oblike elektrodnega materiala za elektrouporovno varjenje (ravne in ukrivljene elektrode, držala, konice elektrod in koluti). Lahko rečemo, da se približno 80% našega nizkolegirane bakra uporablja kot elektrodni material pri elektrouporovnem varjenju v avtomobilski industriji, beli tehniki pri proizvodnji verig itd. Velik porabnik nizkolegirane bakra je tudi elektronska industrija, omemba vredna pa je tudi uporaba pri izdelavi batov za tlačno litje Al in Zn zlitin.

Elektro indukcijsko vakuumsko peč tip ISG 150 V2 sestavljajo naslednji glavni deli in naprave:

- * Vakuumska talilna in livna komora z notranjim premerom 3600 mm in višino 2100 mm.
- * Pokrov talilne komore s hidravliko za spuščanje in dvigovanje.
- * Dvigalna in prevozna naprava za pokrov.
- * Vrtljiva livna miza za kokile z električnim pogonom (1 obrat/min).
- * Elektro indukcijska talilna peč, ki se sestoji iz induktorja, dovodnih kablov za električni tok, dovodne plošče nagibnega ogrodja in hidravlične naprave, ki skrbi za nagibanje celotne peči (kot nagiba je 100° v smeri litja in 10° v nasprotno smer.)
- * Dve okni ($\phi 200$ mm) na plašču talilne komore za opazovanje procesa taljenja in litja v komori.
- * Naprava za šaržiranje vložka, merjenje temperature in za jemanje vzorcev za kemično analizo. Vakuumski črpalni sistem, ki je sestavljen iz rotacijske črpalke tip RA 700I s kapaciteto $7470 \text{ m}^3/\text{h}$, iz rotacijske črpalke WAU 2000 s kapaciteto $2050 \text{ m}^3/\text{h}$ in iz treh batnih črpalok tipa E 250 s



Elektromagnetni ventil
 Elektro pnevmatski ventil
 SECUVAC - Varnostni ventil
 Ročni ventil



Tlačno stikalo
 Diferenčno - tlačno stikalo PS-111-A
 Podtlačno varnostno stikalo
 Bourdon - vzmetni vakuummeter
 Merna mesta

kapaciteto posamezne črpalke 290 m³/h. Sistem sestavljajo še elektropnevmatski ventili, filtri, elektromagnetni ventili, oljni filtri in Thermovac merilni instrument z merilnim območjem od 1000 do 10⁻³ mbar. Pred prašnatimi delci so vakuumske črpalke zavarovane s kasetnim filtrom (vložek iz steklastih vlaken dimenzije 1000 x 1000 mm), ki zadrži delce do 0,5 mikrona. Batne črpalke so zavarovane še z dodatnimi filtri (Raschig).

- * Električne napajalne naprave. Statični frekvenčni pretvornik pretvarja električno energijo iz trofazne mreže v enofazni izmenični tok višje frekvence; sestavljen je iz trofaznega visoko napetostnega transformatorja, trofaznega usmernika, stabilizatorja električnega toka, izmenjevalca za kondenzatorske baterije in kontrolne enote
- * Vodnohladilni sistem. Paralelno z glavno oskrbo tehnološke hladilne vode 30 m³/h je predvidena še zasilna oskrba iz vodovoda z min. dotokom 8 m³/h in tlakom 3,5 bara.
- * Hidravlični sistem. Hidravlični agregat se sestoji iz 100 litrskega rezervoarja, v katerem je fosfat-ester (negorljiv hidravlični medij). Kapaciteta agregata je 20 l/min pri max. tlaku 100 barov.
- * Za obratovanje po naši tehnologiji potrebujemo še inertni plin, in sicer argon; imamo plinsko rampo z jeklenkami in 1000 litrskim rezervoarjem. Kokile in livno korito ogrevamo pred uporabo z zemeljskim plinom. Plini in prah iz talilne komore se odsesavajo in filtrirajo.

Tehnični podatki peči

Kapaciteta peči: teža posamezne šarže je cca 1000 kg zlitine nizkolegiranega bakra z gostoto: 8,9 kg/dm³.
 Mere naprave: dolžina cca 11m, širina 7 m, višina nad nivojem tal 3 m, globina jame 3,2 m, dolžina jame 8,5 m, širina jame 5,5, m

Električni priključni podatki
 Priključna moč brez oskrbe za taljenje cca 130 kVA
 Priključna moč za taljenje cca 505 kVA; 3 x 10 KV; 50 Hz
 Izhodna nominalna moč 375 KW pri 600 V in 50 Hz
 Jalova moč 2400 kVA

Talilna komora: notranji premer 3600 mm
 notranja višina 3600 mm
 volumen talilne komore 35 m³

Talilni lonec: je iz: elektrografita
 -notranji premer lonca: 450 mm
 -notranja višina lonca: 1060 mm
 -višina metalne kopeli: 700 mm
 -koristni volumen lonca: 110 l

Priprava vakuuma:

- talilna komora ima 4 črpalke: 2x E250 (290 m³/h), 1x WAU 2000 (2050 m³/h), 1x RA 7001 (7470 m³/h)

S temi črpalkami se doseže v talilni komori v času 60 minut vakuum 3 x 10⁻² mbara.

- šaržirna komora ima eno batno črpalke E 250 (290 m³/h) in v času 10 minut doseže vakuum 1 x 10⁻¹ mbara.

Podani črpalni časi so dosegljivi le pri čisti, suhi talilni komori brez kokil, z induktorjem, brez obzidave lonca in brez filtra.

Branko Potočki dipl.ing
 Mariborska livarna; Maribor