

KJE IN KAKO DOVAJATI REAKTIVNI PLIN MED NAPRŠEVANJEM TANKIH SPOJINSKIH PLASTI?

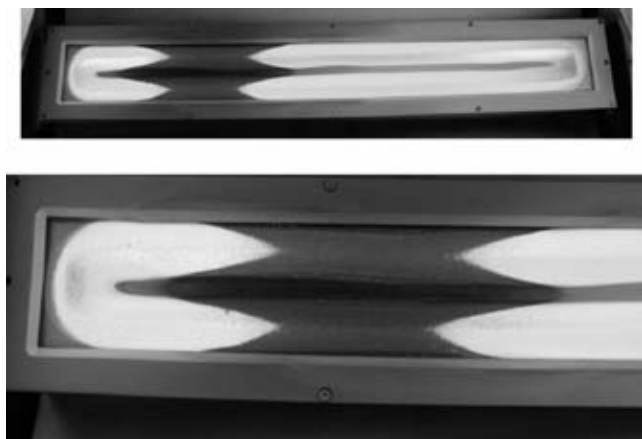
Peter Panjan, Miha Čekada, Matjaž Panjan

Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, 1000 Ljubljana

Če želimo z reaktivnim naprševanjem pripraviti spojinsko plast (npr. kovinske nitride, okside ali karbide), moramo med procesom razprševanja kovinske tarče v vakuumsko posodo poleg inertnega plina uvajati tudi ustrezen reaktivni plin (npr. dušik pri naprševanju nitridnih plasti, kisik pri naprševanju oksidnih plasti, acetylen pri naprševanju karbidnih plasti). Proces reaktivnega naprševanja lahko poteka v dveh stabilnih režimih: a) v pogojih, ko ne pride do zastrupitve tarče, in b) v pogojih, ko pride do zastrupitve tarče.

O t. i. zastrupitvi kovinske tarče govorimo takrat, ko reakcijski produkti (nitridi, oksidi) nastajajo na površini tarče (slika 1), ki po zastrupitvi izgubi kovinske lastnosti. Pri izbrani hitrosti razprševanja tarče pride do zastrupitve tarče pri nekem kritičnem tlaku reaktivnega plina. Na površini tarče nastane dielektrična plast, ki je vzrok za drastično zmanjšanje hitrosti razprševanja in za nastanek prebojev. Delovanje naprav za reaktivno naprševanje je v bližini kritičnega tlaka reaktivnega plina nelinearno, saj se že pri majhnem povečanju tlaka hitrost naprševanja zmanjša za velikostni red.

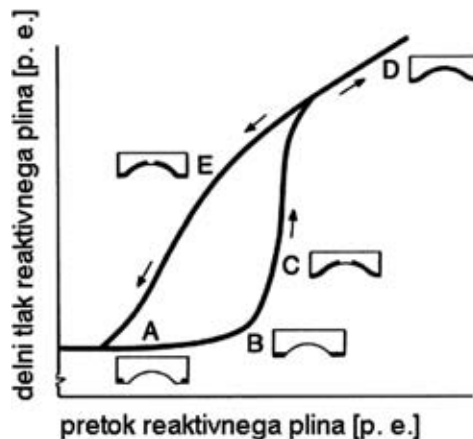
Za reaktivno naprševanje je značilna histerezna odvisnost delnega tlaka reaktivnega plina od njegovega pretoka. Ko pretok reaktivnega plina (npr. dušika) povečujemo (slika 2, področje A), se delni tlak reaktivnega plina ne povečuje, ker ves plin zreagira z atomi tarče, ki se kondenzirajo na podlagah in na steni vakuumске posode (geterski efekt). Ko pretok preseže



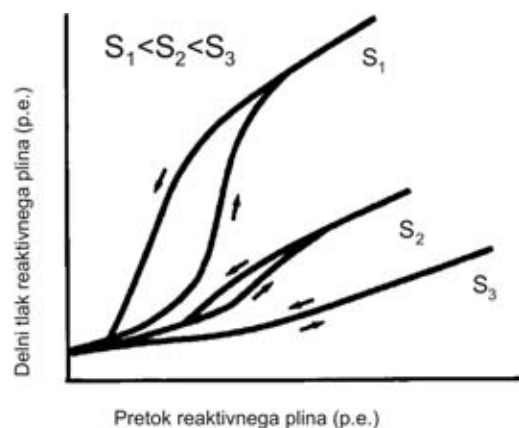
Slika 1: Primer zastrupitve tarče pri reaktivnem naprševanju AlN

neko kritično vrednost, delni tlak močno naraste (področje B–C), pri nadaljnjem povečevanju pretoka pa linearno narašča. Do prehoda iz režima A v B pride zaradi nastajanja spojin (npr. nitridov pri uvajanju dušika) na površini tarče, zato se zmanjša geterski učinek tistih razpršenih atomov tarče, ki se kondenzirajo na podlagah in notranjih stenah vakuumске posode. Porablja se le tisti del plina, ki zreagira s površino tarče, zato se delni tlak reaktivnega plina skokovito poveča do neke vrednosti in nato linerano narašča pri nadaljnjem povečevanju pretoka reaktivnega plina. Ko se tarča prekrije s spojinsko plastjo (reakcijskimi produkti), se hitrost naprševanja izrazito zmanjša (tudi za več kot 10-krat).

Če pretok reaktivnega plina zmanjšujemo, se delni tlak zmanjšuje (področje D), vse dokler se tarča v celoti ne očisti reakcijskih produktov. Plast s stehiometrično sestavo raste pri pretoku reaktivnega plina, kjer ima histerezna krivulja koleno. Pri kritični vrednosti pretoka reaktivnega plina se znatno spreminjajo tudi nekatere druge količine (npr. optična emisija atomov na površini tarče, razelektritveni tok in napekost), zato jih lahko v principu uporabimo pri nastavitvi delovanja sistema na delovno točko B. Histerezni odvisnosti delnega tlaka reaktivnega plina od pretoka se lahko izognemo, če povečamo črpalno hitrost (slika 3). Pokazalo se je, da bi morali povečati črpalno hitrost za faktor 10, kar bi bila draga oz. neekonomična rešitev.



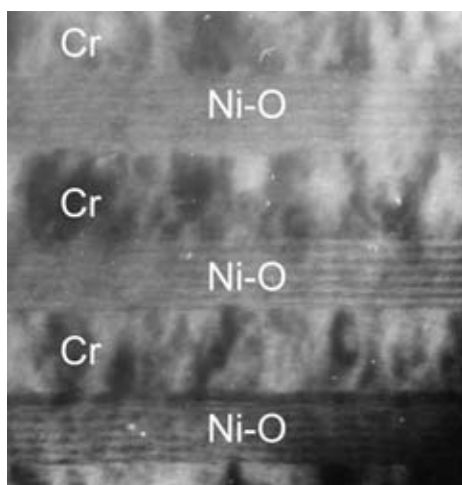
Slika 2: Delni tlak reaktivnega plina v odvisnosti od pretoka med reaktivnim naprševanjem iz kovinske tarče



Slika 3: Delni tlak reaktivnega plina v odvisnosti od pretoka med reaktivnim naprševanjem pri različnih črpalnih hitrostih S

Vzdrževanje konstantnih in optimalnih pogojev reaktivnega nanašanja tankih plasti je torej ključnega pomena, še zlasti v začetni fazi nanašanja. Pri tem je eno od pomembnih praktičnih vprašanj, kje in kako uvajati reaktivni plin, saj je od tega odvisno, ali bo proces reaktivnega nanašanja uspešen ali ne. Poglavitna težava je prav zastropitev tarče. Ob zastropitvi se hitrost nanašanja zmanjša, zato moramo čas nanašanja podaljšati, če želimo doseči enako debelino plasti kot pri nezastropitvi tarči. Dodaten problem je v tem, da se pri zastropitvi tarče zmanjša poraba reaktivnega plina, zato delni tlak naraste. V takšnih razmerah lahko nastane nadstehiometrična plast, ki ima drugačne lastnosti od plasti, ki smo jo želeli nanesti.

V praksi se uporabljajo zelo različne rešitve. Nekateri uvajajo reaktivni plin v bližino podlag, inertni (delovni) plin pa v bližini tarč. S tem naj bi nekako



Slika 4: Posnetek prereza večplastne strukture Cr/Ni-O, narejen s presevnim elektronskim mikroskopom. Plasti Ni-O so bile narejene z reaktivnim naprševanjem v naprševalniku Sputron. V tej napravi dovajamo reaktivni plin skozi dve kapilari, ki sta nasproti izhoda k difuzijski črpalki. Plasti Ni-O imajo plastno strukturo: svetle plasti so amorfne (oksidi), temne pa imajo kristalinično mikrostrukturo (podstehiometrična kovinska faza). Razliko v mikrostrukturi razlagamo z gradientom tlaka kisika v vakuumski posodi. Število plasti se ujema s številom obhodov nosilca.



Slika 5: Dovod reaktivnega plina preko razvoda

ločili reaktivni plin od tarče oz. preprečili, da bi difundiral nazaj proti tarči. Čeprav je razlaga na prvi pogled logična, pa v praksi drži le, kadar je razdalja med tarčo in podlago zares velika (pri čemer je seveda hitrost nanašanja majhna). V standardnih sistemih za PVD-nanašanje takšna "rešitev" ne pomaga.

Če reaktivni plin dovajamo točkovno z roba tarče ali celo iz luknje v sredini tarče, dobimo v rastoči tanki plasti gradient sestave. Če npr. uvajamo dušik z desne, bo imela plast na desni strani večji delež dušika. V takih primerih lahko pride tudi do zastropitve dela tarče, tedaj pa bomo dobili poleg gradienta sestave (slika 4) tudi gradient debeline.

Pravilna rešitev je uporaba razvoda (slika 5), s katerim reaktivni plin dovajamo kontinuirno v določenem področju. Najbolj se je izkazala rešitev, kjer razvod objema tarčo v razdalji temnega prostora. Tok reaktivnega plina nekako objame tok razpršenih delcev tarče in zagotovi enakomerno mešanje. Nevarnost zastropitve tarče je minimalna, saj so tako atomi reaktivnega plina kot razpršeni delci tarče usmerjeni stran od tarče. Da bi prišlo do reakcije na površini tarče, mora najprej priti do trka treh delcev: atoma tarče, plina in tretjega delca, vendar je verjetnost za tak trk minimalna.

V idealnem primeru naj bo tlak v celotnem razvodu enak, pri čemer število luknjic in njihov razmik vplivata na tlak v razvodu. Iz praktičnih izkušenj je optimalni premer luknjic 0,5 mm, njihov razmik pa 50 mm. Luknjice naj bodo enako velike in v enakih razmikih, usmerjene pa naj bodo proti podlagam. Pomembna je tudi dinamika pretoka, kako hitro dosežemo stacionarno stanje, kadar pride do spremembe (npr. povečanje pretoka). V neugodnih okoliščinah lahko pride do oscilacije med dvema skrajnima vrednostima, v takšnem primeru pa je kontrola procesa praktično onemogočena.

Pri zelo velikih tarčah, npr. pri prekrivanju arhitekturnih stekel, naletimo na dodatne komplikacije. Tam je uporaba razvodov za dodajanje plina nujna, pogosto je vzdolž ene tarče več ločenih sistemov, vsak od njih pa je z merilnikom parcialnega tlaka reaktivnega plina povezan v povratno zanko. Šele tako lahko zagotovimo enotno debelino in sestavo vzdolž celotne dolžine tarče, ki lahko v določenih aplikacijah dosega celo 4 m.

Osnovni poudarek tega prispevka je na tem, da je način dovajanja reaktivnega plina v PVD-postopkih pomemben tehnični problem. Najlažje ga rešimo z uporabo razvoda, ki obdaja tarčo in zagotavlja enakomeren pretok reaktivnega plina proti podlagam.