

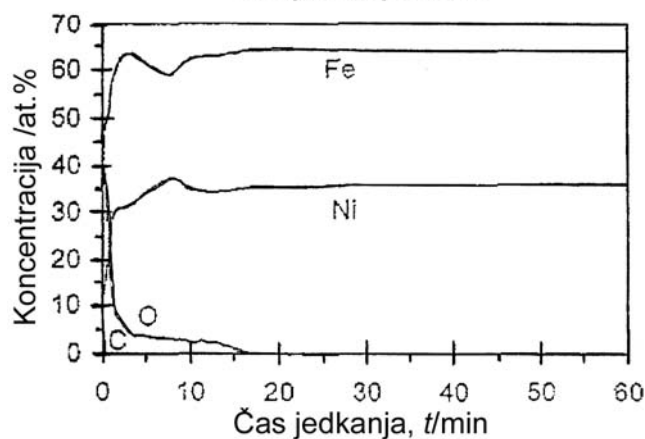
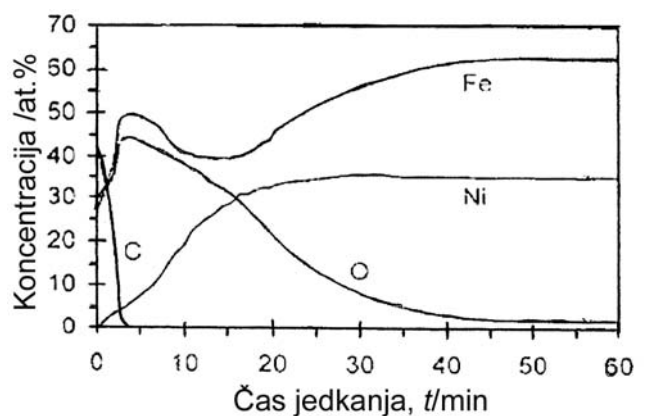
PROF. DR. ANTON ZALAR – SODELOVANJE PRI RAZISKAVAH MODIFIKACIJE TRDNIH MATERIALOV Z NERAVNOVESNO PLINSKO PLAZMO

Prof. Anton Zalar ni poznan v svetovni znanstveni javnosti le po prispevkih na področju spektroskopije Augerjevih elektronov, ampak se je v svoji bogati karieri posvetil tudi uporabi tehnik za karakterizacijo površin in tankih plasti pri razlagi sprememb v površinski plasti vzorcev, ki so posledica obdelave z neravnovesno plinsko plazmo. S tega področja je prof. Zalar skupaj s soavtorji iz Laboratorija za plazmo na Odseku za tehnologijo površin in optoelektroniko Instituta "Jožef Stefan" objavil okoli 30 izvirnih znanstvenih člankov.

Vsak profilni diagram, ki je bil posnet v njegovem laboratoriju, je natančno preučil in razlagal na osnovi svojega poznanja procesov na površinah in v tankih plasteh ter na dolgoletnih izkušnjah pri profilni analizi. Pri tem ni šlo brez zapletov: kot odličen poznavalec tankih plasti in difuzijskih procesov je pogosto podvomil o rezultatih eksperimentov z neravnovesno plinsko plazmo. Najbolj so ga motili rezultati redukcije kovinskih oksidov z izrazito neravnovesno vodikovo plazmo pri nizki temperaturi vzorcev. Kot

izredno pošten in pedanten raziskovalec ni dovolil objave rezultatov, preden se ni osebno prepričal o eksperimentalnih parametrih. Nekatere eksperimente je bilo treba ponoviti v njegovi prisotnosti, vzorce pa je takoj po obdelavi s plazmo osebno prenesel v Augerjev spektrometer in bil navzoč tudi pri profilni analizi. Metalurgi namreč zelo dobro vedo, da so kovinski oksidi precej stabilni in kemijsko reagirajo z vodikom šele pri povišani temperaturi.

Na sliki 1 sta prikazana originalna globinska profila površinske plasti zlitine železo-nikelj pred plazemsko obdelavo in po njej. Plast železovega oksida, ki je bila na neobdelanem vzorcu, smo z vodikovo plazmo reducirali že po 20 s pri temperaturi, ki je linearno naraščala s časom od sobne temperature do 175 °C. Znano je, da je mogoče železov oksid v navadni vodikovi atmosferi reducirati šele pri temperaturah višjih od 500 °C. "Nenavadno" redukcijo oksida



Slika 1: Globinski AES-profil neobdelanega vzorca (zgoraj) in plazemsko obdelanega (spodaj)

Prof. dr. Anton Zalar – mentor mladih raziskovalcev

Prof. Anton Zalar je bil v svoji bogati pedagoški karieri mentor številnih diplomantov in doktorandov. Kot vse svoje obveznosti je tudi mentorstvo jemal skrajno resno. Doktorandom je posvetil obilo svojega časa, posebej v popoldanskih urah. Usmerjal je raziskovalno delo študentov, kritično presojal rezultate površinskih analiz vzorcev, največ časa pa je posvetil študentom pri pripravi diplomskih del in doktorskih disertacij. Znan po svoji pedantnosti se je globoko posvečal tako strokovni kot oblikovni plati diplom. Skupaj s študenti je iskal primerne slovenske besede za mednarodno uveljavljene strokovne izraze. Brezkompromisno je zahteval piljenje besedila do popolnosti, tako da so bili izdelki resnično vrhunski.

Primernost njegovega pedagoškega načina najbolje ponazarjajo znanstveni uspehi njegovih študentov. Vsakdo, ki je pripravil delo, s katerim je bil prof. Zalar zadovoljen, se je izkazal kot odličen pisec besedil, tako znanstvenih kot strokovno poljudnih. Prof. Zalar je zahteval popolnost priprave gradiva za nastope na znanstvenih srečanjih in pri zagovorih doktoratov. Vsakdo, ki je doktoriral pod mentorstvom prof. Zalarja, se je kasneje izkazal tudi kot dober predavatelj, kar se, poleg sodelovanja pri pedagoškem procesu, najbolje kaže v velikem številu vabljenih predavanj, ki jih imajo njegovi bivši študentje na različnih mednarodnih znanstvenih srečanjih.

smo pripisali vplivu nevtralnih vodikovih atomov, ki so bistveno bolj kemijsko aktivni od molekulskega vodika in omogočijo redukcijo mnogih vrst kovinskih oksidov že pri nekoliko povišani temperaturi.

S to razlago se je prof. Zalar zadovoljil, še preden pa smo poslali članek za objavo, pa ga je zmotilo še nekaj drugega: profilni diagram na obdelanem vzorcu je imel "lepotno napako": majhno koncentracijo kisika na površini vzorca, ki se je vlekla do globine več 10 nm. Povprečen raziskovalec se ob to lepoto napako ne bi spotaknil, prof. Zalar kot pedanten raziskovalec pa je želel priti stvari do dna. Sprva je trdil, da bi moral kisik ostati kvečjemu na fazni meji med korodirano plastjo in čistim materialom, saj poteka redukcija od površine v notranjost. Kasneje se je sprijaznil z eksperimentalnim dejstvom in se kot vesten razlagalec profilnih diagramov AES lotil razlage opaženega pojava. Kot večč eksperimentalist je ugotovil, da bi lahko bil pojav oksida na reduciranem vzorcu posledica sekundarne oksidacije. Vzorec smo namreč po plazemski obdelavi izpostavili zraku pred to profilno analizo. Razlaga je bila zadovoljiva, tako da je prof. Zalar odobril objavo v vrhunski specializirani reviji *Thin Solid Films* ⁽¹⁾.

Rezultat je prof. Zalarja kljub temu begal in je postavil več hipotez, od kod tako izrazita lepota

napaka. Ena od njegovih hipotez je bila, da je morebiti reducirana plast na površini porozna in zlahka oksidira takoj po izpostavi vzorca zraku, druga pa, da morebiti atomski kisik, ki nastane v plazmi zaradi disociacije molekul vodne pare, vendarle povzroči oksidacijo takoj po izklopu plazme (razmerje med parcialnim tlakom vodne pare in vodika v plazemskem reaktorju je znatno – več kot 10 %). Z vrstičnim elektronskim mikroskopom, ki je bil na voljo v njegovem laboratoriju pred desetletjem, ni bilo mogoče opaziti omembe vredno morfologijo plazemsko obdelanega vzorca, tako da se je prof. Zalar nehal obremenjevati s tovrstnimi lepotojnimi napakami, ki pa so se včasih pojavljale tudi pri drugih vzorcih.

Pojav je deset let kasneje razložil njegov doktorand doc. dr. Uroš Cvelbar. V sodelovanju z Univerzo v Louisvillu, Kentucky, ZDA, je dr. Cvelbar raziskoval vedenje železa v stiku s plazmo in z najsodobnejšo opremo ugotovil spontano rast nanostruktur na površini plazemsko obdelanih vzorcev. Ustrezen članek je bil objavljen v vrhunski specializirani reviji s področja nanoznanosti manj kot leto pred smrtjo prof. Zalarja ⁽²⁾.

¹M. Mozetič, A. Zalar, M. Drobnič, *Thin Solid Films*, **343** (1999), 101

²U. Cvelbar, Z. Chen, M. K. Sunkara, M. Mozetič, *Small*, **4** (2008), 1610

doc. dr. Miran Mozetič
Institut "Jožef Stefan"