

STANJE TEHNIKE IN RAZVOJ ZLATIH DENTALNIH ZLITIN

REBEKA RUDOLF¹, PETER MAJERIC², DJENDJI
VASTAG³ IN VOJKAN LAZIĆ⁴

Sprejeto

17. 11. 2023

Recenzirano

9. 1. 2024

Izdano

31. 5. 2024

¹ Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor, Slovenija,rebeka.rudolf@um.si² Zlatarna Celje d.o.o., Celje, Slovenija,peter.majeric@zlatarnacelje.si³ Univerza v Novem Sadu, Fakulteta za naravoslovje, Novi Sad, Srbija,djendji.vastag@dh.uns.ac.rs⁴ Univerza v Beogradu, Stomatološka fakulteta, Beograd, Srbija,vojkan.lazic@stomf.bg.ac.rs

DOPISNI AVTOR

rebeka.rudolf@um.si**Znanstvena veda:
Tehnika****Ključne besede:**

stanje
tehnike,
razvoj,
zlate
dentalne
zlitine,
lastnosti,
upotaba

Članek obravnava zgodovino, razvoj in lastnosti zlatih dentalnih zlitin. Zlitine proizvajalca Zlatarna Celje d.o.o. so certificirani medicinski pripomočki razreda IIa po Uredbi (EU) 2017/745, s srednjo stopnjo tveganja. Poseben status imajo zlitine za porcelanske krone in mostičke, kjer je potrebna posebna kemijska sestava in predelava. Prihodnji razvoj mora zmanjševati biološka tveganja in korozijo, kar dosežemo z visoko plemenitimi zlitinami s stabilno mikrostrukturo. Dentalne zlitine ne smejo biti feromagnetne. Pravilna izbira kemijske sestave je ključna za vsakega pacienta, saj na trgu obstajajo različne vrste zlitin, primerne za posameznike z različnimi alergijami in specifičnimi stanji v ustni votlini. Pomembno je upoštevati priporočila proizvajalca za kakovostno izdelavo in vgradnjo zobno-protetičnih konstrukcij.



STATE OF THE ART AND DEVELOPMENT OF GOLD DENTAL ALLOYS

REBEKA RUDOLF¹, PETER MAJERIČ², DJENDJI
VASTAG³ AND VOJKAN LAZIĆ⁴

1 University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Maribor, Slovenia,

rebeka.rudolf@um.si

2 Zlatarna Celje d.o.o., Celje, Slovenia,

peter.majeric@zlatarnacelje.si

3 University of Novi Sad, Faculty of Natural Sciences, Novi Sad, Serbia,

djendji.vastag@dh.uns.ac.rs

4 University of Belgrade, Faculty of Dentistry, Belgrade, Serbia,

vojkan.lazic@stomf.bg.ac.rs

CORRESPONDING AUTHOR

rebeka.rudolf@um.si

The article discusses the history, development, and properties of gold dental alloys. Alloys produced by Zlatarna Celje d.o.o. are certified medical devices in class IIa according to Regulation (EU) 2017/745, indicating a moderate level of risk. Alloys for porcelain crowns and bridges have a special status, requiring specific chemical composition and processing. Future development should aim to minimize biological risks and corrosion, achievable with highly noble alloys with stable microstructure. Dental alloys must not be ferromagnetic. Correct chemical composition is crucial for each patient, as the market offers various alloys suitable for individuals with different allergies and specific conditions in their oral cavity. It is important to follow the manufacturer's recommendations to ensure the quality fabrication and installation of dental prosthetic constructions.

Accepted
17. 11. 2023

Revised
9. 1. 2024

Published
31. 5. 2024

Science:
Technique

Keywords:
state
of
the
art,
development,
gold
dental
alloys,
properties,
use

1 Uvod

Zlatarna Celje d.o.o. izdeluje in razvija dentalne zlitine z visoko vsebnostjo zlata z izbrano kombinacijo legirnih elementov Pd, Pt, Ag, Zn in elementov v sledovih kot so Ir, In, Rh in Nb. Osnovo za takšen pristop predstavlja kemijska sestava, kjer je vsebnost zlata večja od 76 mas. % in validirana tehnologija izdelave dentalnih zlitin (Yu et al. 2021; Rudolf et al. 2022). Zahteve, ki jih je treba izpolniti pri zlatih dentalnih zlitinah so povezane z izpolnjevanjem potrebnih pogojev, zaradi katerih je dentalna zlitina primerna za uporabo pri kovinsko-porcelanskih protetičnih konstrukcijah. Zaradi obremenitev, ki jih povzročajo žvečne sile, morajo imeti dentalne zlitine ustrezne mehanske lastnosti (kot npr. mejo tečenja, natezno in upogibno trdnost, raztezek itd.), trdoto in zahtevani koeficient toplotne razteznosti (CTE), ki mora biti večji od tistega pri porcelanu. Dentalne zlitine morajo biti tudi biokompatibilne in neferomagnetne (Raić et al. 2010; Wataha 2001). Na podlagi strokovnih zahtev mora izdelava zlatih dentalnih zlitin potekati v skladu z Uredbo (EU) 2017/745 v kateri so te dentalne zlitine razvrščene kot medicinski pripomoček razreda IIa - s srednjo stopnjo tveganja za organizem. Skladnost izdelave zlatih dentalnih zlitin z omenjeno uredbo je v Zlatarni Celje d.o.o. zajamčena z izjavo o skladnosti in uporabo znaka CE. Vse zlate dentalne zlitine so tudi vpisane v Register medicinskih pripomočkov pri Javni agenciji Republike Slovenije za zdravila in medicinske pripomočke (JAZMP). Zlatarna Celje d.o.o. tako v okviru razvoja in spremljanja kakovosti zlatih dentalnih zlitin namenja posebno pozornost preverjanju ustreznosti ne le njihovih osnovnih, temveč tudi drugih funkcionalnih lastnosti, kamor sodi tudi biokompatibilnost in magnetne lastnosti.

V nadaljevanju prispevka bodo predstavljena izhodišča, ki jih Zlatarna Celje d.o.o. dosledno upošteva z nadzorovano izdelavo, certificiranimi izdelki s strani pooblaščenih domačih in tujih institucij ter nenehnim vlaganjem v razvoj in raziskave. Na ta način so zagotovljeni optimalni pogoji za izdelavo, kontrolo lastnosti dentalnih zlitin in lansiranje zlatih dentalnih zlitin na tržišče. Znano je, da se zobne proteze na kovinski osnovi izdelujejo in uporabljajo že stoletja. Tako so v 19. stoletju že izdelovali zobne protetične nadomestke oziroma zobne votline s stiskanjem aluminija, amalgama, zlata, svinca, platine in srebra. Leta 1907 je bilo uvedeno precizno litje (Elshahawy and Watanabe 2014; Rudolf et al. 2012), ki je omogočilo bolj sofisticirano izdelavo zobnih kron in mostičkov. Z uporabo električnih peči in livarske opreme je razvoj litja zlata in drugih dentalnih zlitin hitro napredoval. Dandanes se pri izdelavi zobnih nadomestkov uporablja sodobna

digitalna tehnika, kljub temu pa se še vedno veliko zobno-protetičnih nadomestkov izdeluje z ulivanjem. Po drugi strani pa pregled literature pokaže, da so se skozi desetletja razvijale različne dentalne zlitine glede na njihovo kemijsko sestavo, gonilna sila njihovega razvoja pa so bile tehnološke spremembe zobnih protez, napredek v metalurgiji in izdelovalnih tehnikah, uvedba poznavanja funkcionalnih lastnosti in gibanje cen plemenitih kovin.

Naslednji večji napredek v znanosti o dentalnih zlitinah in njihovi obdelavi je predstavljalo upoštevanje in prenos zahtev ustreznih standardov na področje stomatologije. Leta 1928 je Ameriško zobozdravstveno združenje (ADA) ustanovilo Dental Research Fellowship (McCluggage 1959). Delovanje združenja ADA je razdeljeno na več kategorij, vključno z merjenjem klinično pomembnih fizikalnih in kemijskih lastnosti dentalnih zlitin ter spremljanjem razvoja novih dentalnih materialov, instrumentov in testnih metod. Leta 1966 je bil s tem namenom ustanovljen ADA Council on Dental Materials and Devices, ki je v naslednjem obdobju prevzel odgovornost za razvoj standardov in pričel s certificiranjem dentalnih izdelkov. Vzpostavljeni so bili standardi, ki opredeljujejo zahteve glede fizikalnih in kemijskih lastnosti dentalnih materialov, s čimer je zagotovljena njihova varna uporaba, če zobotehnik in zobozdravnik pravilno ravnata in uporabljata dentalni material.

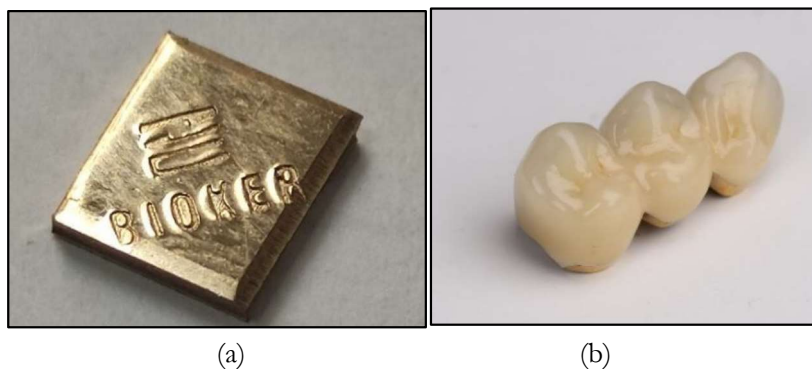
2 Osnovne lastnosti

Uporaba vseh dentalnih materialov, še posebej kovinskih, vključno z dentalnimi zlitinami, temelji na njihovi atomski strukturi. Skupne fizikalne in kemijske lastnosti dentalnih zlitin izhajajo iz njihove strukture oziroma mikrostrukture, ki je neposredno povezana z izdelavno tehnologijo in na ta način narekuje končne lastnosti dentalnih zlitin. Poznavanje izdelave dentalnih zlitin je tako tesno povezano s fizikalno kemijo, fiziko trdne snovi, metalurgijo in karakterizacijo. Glede na to, da temeljna načela navedenih ved vplivajo na lastnosti vseh materialov, je ključno poznavanje tako makro kakor tudi mikrostrukturnih značilnosti izdelanih materialov.

Zlato predstavlja najstarejši restavratorski material za zobe, pri čemer so zgodnje zobozdravstvene uporabe temeljile na estetiki in ne na sposobnosti žvečenja. Dejstvo je, da je uporaba zlata v zobozdravstvu še danes zelo pomembna (Rudolf et al. 2007). V konservativnem in restavracijskem zobozdravstvu oziroma v

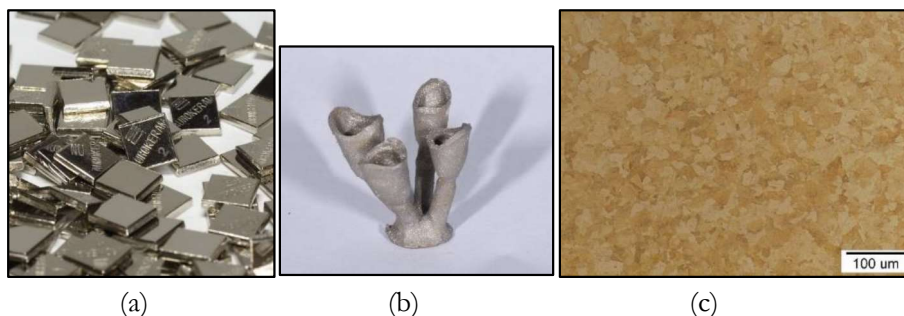
ortodontski praksi se zlato redkeje uporablja kot čista kovina; tu prevladujejo zlate dentalne zlitine, ki so legirane z različnimi plemenitimi kovinami ali drugimi kovinami potrebnimi za doseganje zahtevanih končnih lastnosti.

Zanimivo novo različico zlatih dentalnih zlitin predstavljajo zlitine z izjemno visoko vsebnostjo zlata (> 85 mas. % Au) z dodatkom platine (okoli 10 mas. %) in z majhnimi dodatki indija (0,2 mas. %) in cinka (0,1 mas. %) (t.i. dentalna zlitina Bioker) – (Colic et al. 2009) – glej sliko 1. Za te dentalne zlitine z visoko vsebnostjo zlata je značilna manjša trdnost, zato niso primerne za mostičke z velikim razponom. Znano je, da visoka vsebnost zlata pomeni, da ima takšna dentalna zlitina v kombinaciji s porcelanom toplo rumeno barvo, podobno dentinu. Zaradi te lastnosti je pri teh zobnih strukturah popolnoma odpravljena bolezen dlesni, tj. nastanek črne obrobne linije, ki je povezana s tradicionalnimi fiksnimi restavracijami iz porcelana in osnovnih (neplemenitih) zlitin.



Slika 1: (a) Dentalna zlitina Bioker za porcelansko tehniko in (b) prikaz zobno protetične konstrukcije

Dentalne zlitine z nekoliko nižjo, a še vseeno visoko vsebnostjo zlata (76,6 mas. % Au) z dodatki Pd, Pt, Ag, Sn, Ir in/ali In se že vrsto let uporabljajo za zobno protetične namene (Fischer 1997). Predstavnik teh dentalnih zlitin je t.i. Aurokeram 2 (slika 2), ki ima fino zrnato mikrostrukturo ter višjo trdnost za krone in mostičke v primerjavi z dentalno zlitino Bioker.

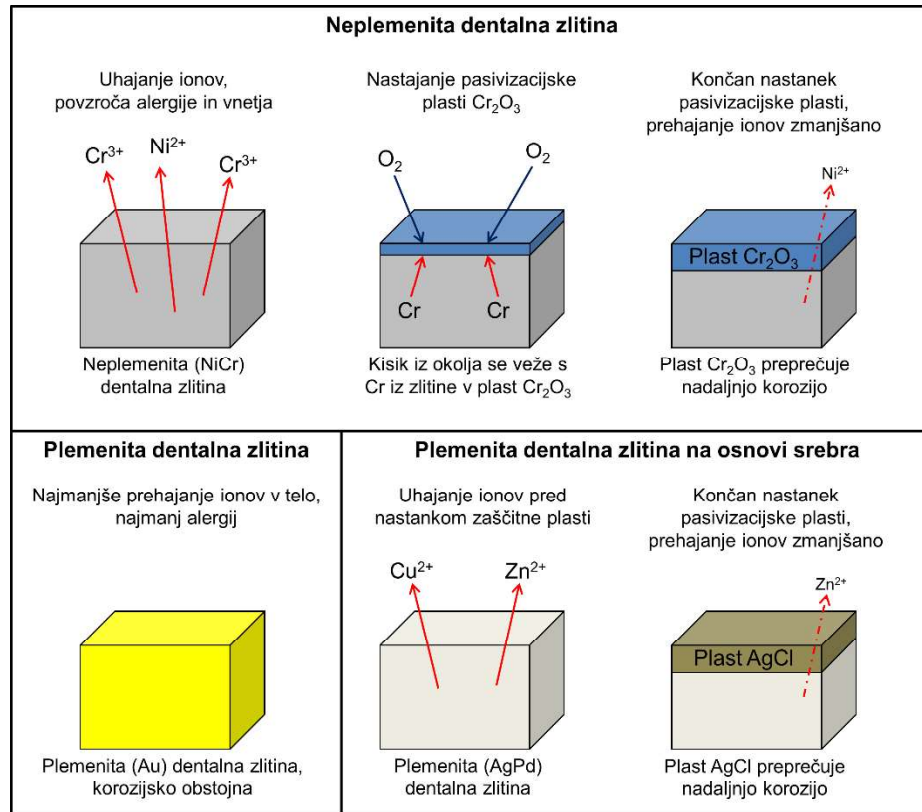


Slika 2: (a) dentalna zlitina Aurokeram 2 za porcelansko tehniko, (b) prikaz odlitka zobno protetične konstrukcije iz Aurokeram 2 in (c) prikaz mikrostrukture odlitka iz Aurokeram 2

3 Korozijske lastnosti in biokompatibilnost

Osnovni pogoj in najpomembnejša lastnost za uporabo dentalne zlitine je njena odpornost proti koroziji v ustnem okolju. Dentalna zlitina ne sme vplivati na elektrokemično korozijo v prisotnosti drugih kovin (zlato, amalgami ipd.) oziroma mora imeti na površini zaščitno plast, ki zmanjšuje elektrokemične potencialne razlike in sproščanje ionov z njene površine. Tvorbo te plasti imenujemo pasivacija – drugače znano kot tvorba pasivne plasti, ki preprečuje nadaljevanje procesa korozije. Znana je zahteva, da ta pasivacijska (zaščitna) plast ne sme bistveno spremeniti barve dentalne zlitine. Po drugi strani pa lahko pride do situacije, ko se produkti elektrokemične korozije vežejo na beljakovine in tvorijo albuminate s težkimi kovinami, kar povzroči alergijsko preobčutljivostno reakcijo, ki se odraža kot lokalno draženje mehkih tkiv: dlesni, lic, jezika. To prepoznamo kot pekoč jezik, suha usta, kovinski okus, afte itd. v ustih pacienta, ki ima zobno protezo. Zaradi tega je pomembno proučevanje sproščanja ionov posameznih elementov s površine dentalnih zlitin v predelu ust in slin. Raziskave različnih dentalnih zlitin so pokazale, da so s celičnimi testi in vitro zlato (Au), paladij (Pd), platina (Pt) in indij (In) brez citotoksičnega učinka, medtem ko krom (Cr), baker (Cu) in srebro (Ag) strupeni oziroma nikelj (Ni), cink (Zn) in kobalt (Co) zelo strupeni (Wataha 2001). Tako so pri neplemenitih dentalnih zlitinah (Co-Cr ali Ni-dentalne zlitine) zaznali povečano sproščanje kovinskih ionov in s tem večjo možnost pojava alergij in vnetij zaradi uporabe teh dentalnih zlitin. Pri plemenitih oziroma zlatih dentalnih zlitinah je znano, da je sproščanje kovinskih ionov močno zmanjšano, kar je njihova najpomembnejša značilnost. Pri tovrstnih dentalnih zlitinah se običajno sprošča le cink (Zn) v manjših količinah, ki ne povzročata vnetja tkiva okoli zobne proteze. Tako

ima tkivo okoli zobnega nadomestka iz plemenite dentalne zlitine bistveno bolj zdrav videz še vrsto let po rekonstrukciji, ponekod tudi več desetletij. Mehanizmi sproščanja ionov v odvisnosti od kemične sestave dentalne zlitine so prikazani na sliki 3, kjer je razvidno, da dentalna zlitina z visoko vsebnostjo zlata praktično nima sproščenih ionov.



Slika 3: Shematski prikaz sproščanja ionov v ustni votlini v odvisnosti od kemijske sestave dentalnih zlitin

Klinične študije dentalnih zlitin segajo v začetek 60. in 70. let prejšnjega stoletja in so bile takrat odvisne od vstopa teh zlitin na različne trge in zahtev, ki so urejale njihovo prodajo. Za dentalne zlitine lahko na podlagi dolgotrajne uporabe dokažemo klinično relevantnost s predklinično oceno biokompatibilnosti, ki vključuje korozijske in citotoksične teste. Ti testi ugotavljajo poslabšanje mehanskih lastnosti in učinkovitosti zobne strukture v ustnem okolju ter sproščanje elementov iz dentalne zlitine, ki lahko neposredno dražijo ustno tkivo ob zobnem nadomestku ali

se sproščajo v telo. Potencialna sistemska in lokalna toksičnost, alergija in rakotvornost so posledica sproščanja elementov iz zobne zlitine v ustno votlino med procesom korozije ali uporabe v ustih. Obstaja sicer izjemno malo dokazov, da zobne zlitine povzročajo sistemske toksičnosti.

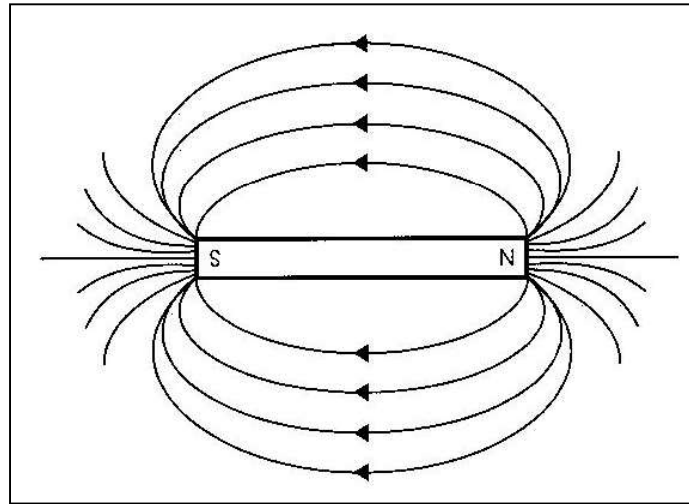
V sodobni medicini je dobro poznana alergija na nikelj, ki se pojavi ob stiku kože s to kovino. Alergično reakcijo (vnetje) na nikelj ima približno 20 % ljudi, pogosteje pa se pojavi pri ženskah, verjetno zaradi večje izpostavljenosti tej kovini zaradi nošenja nežlahtnega nakita (kot so uhani ali piercingi). Statistični podatki za spremljanje tovrstnih alergij kažejo, da pojavnost alergije na nikelj v populaciji narašča. Zaradi tega se glede na zakonodajo delež niklja v izdelkih, ki prihajajo v stik s kožo ali tkivi, v zadnjih letih zmanjšuje. Zato se paladij (namesto niklja) uporablja za izdelavo žlahtnih dentalnih zlitin. Paladij se zlahka meša z zlatom za izdelavo zobnih zlitin in preprečuje korodiranje srebra v ustni votlini. Prav tako se zaradi podobnih lastnosti kot platina pogosto uporablja kot nadomestni element za platino v dentalnih zlitinah. V obdobju pred 5 leti je bila nabavna cena paladija nizka, nato pa je se je cena paladija na svetovnem trgu enormno povečala (tudi do 3x), trenutno pa ima podobno ceno kot pred dvigom.

Zahteve v okviru standardov se nenehno razvijajo, obstoječe lastnosti se redno revidirajo, kar zahteva spremembe v formulaciji zobozdravstvenih izdelkov. To nadalje pomeni, da se upoštevajo nova spoznanja o obnašanju dentalnih materialov v ustni votlini. Upoštevati je treba, da noben obnovitveni zobni material ali zobni pripomoček ni popolnoma varen. Varnost je relativna, izbira in uporaba zobozdravstvenih materialov ali naprav pa temelji na predpostavki, da so koristi takšne uporabe večje od znanih bioloških tveganj. Vendar pa vedno obstaja negotovost glede verjetnosti, da bo pacient imel neželene učinke zobozdravstvenega zdravljenja. Obstajata dva glavna biološka učinka: alergijska in toksična reakcija. To pomeni, da je poleg funkcionalne učinkovitosti in estetike, biokompatibilnost pomembna zahteva za dentalne materiale pri obnovi zob. Raziskave že nekaj let poskušajo najti povezavo med korozijskim obnašanjem in citotoksičnimi učinki dentalnih zlitin. Vendar pa je smiselno trditi, da razmerja med korozijo, sproščenimi produkti korozije in citotoksičnimi snovmi še niso jasno ugotovljena. Za napovedovanje biokompatibilnih lastnosti dentalnih zlitin je treba imeti informacije o njihovem obnašanju pri morebitnem raztapljanju površine, kar smo uspeli raziskati v lastni raziskavi (Grgur et al. 2021). Zato smo testirali celotno skupino zlatih dentalnih zlitin Zlatarne Celje d.o.o.. V raziskovalnem delu smo primerjali platino in

devet komercialnih dentalnih zlitin z vsebnostjo žlahtnih kovin 27 m. % do 97,6 m. % po postopku, opisanem v standardu ISO 10271:2009 pri pH = 7,2. Dobljene vrednosti značilnih parametrov dentalnih zlitin z različno vsebnostjo plemenitih kovin, kjer so kot plemenite bile upoštevane Au, Pt in Pd, smo primerjali s klasifikacijskim sistemom Ameriškega zobozdravstvenega združenja (ADA). Na podlagi dobljenih rezultatov smo obravnavane dentalne zlitine plemenitih kovin razvrstili v tri skupine. V prvo skupino stabilnosti med tako imenovane najstabilnejše dentalne zlitine lahko uvrstimo visoko plemenite dentalne zlitine s kemijsko sestavo najmanj 60 m. % plemenitih kovin in z vsebnostjo zlata najmanj 40 m. %. V drugo skupino stabilnosti lahko uvrstimo tako imenovane stabilne plemenite dentalne zlitine s kemijsko sestavo z najmanj 25 m.% do 60 m.% plemenitih kovin. V tretjo skupino, tako imenovane nestabilne zlitine, lahko uvrstimo pretežno osnovne dentalne zlitine, s kemijsko sestavo manj kot 25 m. % plemenitih kovin.

4 Magnetne lastnosti

V periodnem sistemu imajo samo nekateri elementi magnetne lastnosti (Williams 1990). Ti elementi so železo, nikelj, kobalt. V naravi in našem bližnjem okolju se ti elementi največkrat nahajajo v mešanicah ali zlitinah. Magnetne lastnosti so povezane z magnetizmom, ki je fizikalni pojav, kjer nekatere snovi izvajajo odbojno ali privlačno silo na druge snovi. To povzroči gibanje nabitih delcev, kar povzroči nastanek magnetnega polja (slika 4). Magnetizem je prisoten v vseh snoveh, pri nekaterih pa je tako šibek, da ga brez posebnih priprav ne moremo zaznati. Nastalo magnetno polje je vektorsko polje okoli trajnih magnetov ali prevodnikov, skozi katere teče električni tok. V tem polju zaznavamo magnetno silo. Ponazarjajo jo silnice – črte, ki izvirajo iz severnega pola magneta in se stekajo k njegovemu južnemu polu. Tangenta na premico v vsaki točki je gostota magnetnega polja.



Slika 4: Prikaz magnetnega polja

Poznano je več vrst magnetizma.

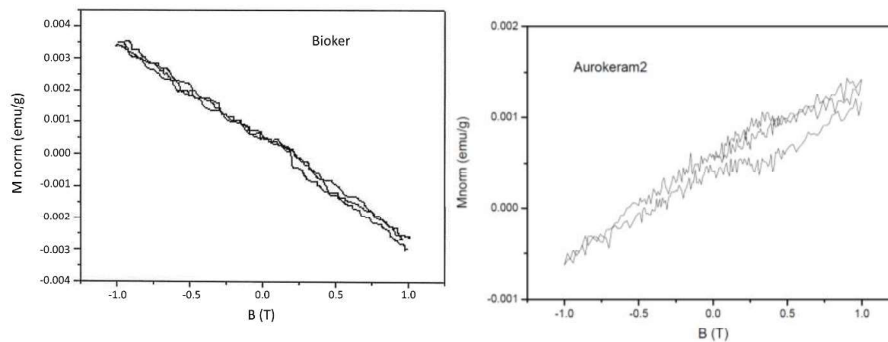
Diamagnetizem je posledica gibanja elektronov v atomih. Gre za pojav, ko je gostota magnetnega polja v snovi, postavljeni v magnetno polje, nekoliko manjša od gostote magnetnega polja zunaj te snovi (to pomeni, da snov potiska magnetno polje iz sebe). Diamagnetizem je prisoten v vseh snoveh, razen v paramagnetnih in feromagnetnih snoveh, kjer prevladujejo drugi, močnejši pojavi. Popolni diamagnetiki so superprevodniki, ki popolnoma izrivajo magnetno polje.

Paramagnetizem je pojav, ko je gostota magnetnega polja v snovi, ki je bila postavljena v magnetno polje, nekoliko večja od gostote magnetnega polja zunaj te snovi (predpostavimo, da je relativna prepustnost $\mu_r > 1$). Take snovi imenujemo paramagnetne in je običajno μ_r le malo večji od 1. Paramagnetizem izvira iz lastnega magnetnega momenta elektrona, ki ni posledica njegovega gibanja. V zunanjem magnetnem polju se magnetni momenti v paramagnetni snovi obnašajo kot magnetna polja in so delno razporejeni tako, da jih v povprečju nekaj več kaže v smeri zunanjega magnetnega polja.

Feromagnetizem je pojav, ko je gostota magnetnega polja v snovi, postavljeni v magnetno polje, veliko večja od gostote magnetnega polja zunaj te snovi. Feromagnetizem je posledica dejstva, da se magnetni dipoli v feromagnetnih snoveh znotraj makroskopskih območij spontano razporedijo in so razporejeni tudi izven

magnetnega polja. V zunanjem magnetnem polju so magnetni momenti teh domen usmerjeni v smeri zunanjega magnetnega polja. Za razliko od paramagnetizma, ki je prisoten v trdnih snoveh, tekočinah in plinih, je feromagnetizem prisoten le v redkih trdnih snoveh. Med njimi so železo, kobalt, nikelj in nekatere zlitine.

V okviru ugotavljanja vrste magnetizma so bili izvedeni testi na dveh zlatih dentalnih zlitinah Zlatarna Celje d.o.o.: Bioker (Au 85,8 m. %, Pt 11,7 m. %, Zn 1,5 m. %, In, Ir < 1 m. %) in Aurokeram 2 (Au 76,6 m. %, Pd 8,9 m.%, Pt 9,0 m.%, Ag 2,0 m.%, Sn 1,0 m.%, In 1,9 m.%). Meritev je bila izvedena na magnetometru SQUID na Inštitutu za fiziko, Beograd, Srbija. Ploščica dentalne zlitine je imela dimenzije 2 mm × 2 mm z debelino 1 mm in je bila pred merjenjem polirana in očiščena v ultrazvočnem čistilniku. Slika 5 prikazuje rezultate meritev feromagnetizma teh dveh dentalnih zlitin (Rudolf, Romčević, in Anžel 2010).



Slika 5: Krivulja magnetizma [B/H] za dentalni zlitini Bioker in Aurokeram 2

Na podlagi izmerjene krivulje magnetizma [B/H] in njihove dobljene karakteristične oblike (slika 5) spada dentalna zlitina Bioker med diamagnetne materiale, kjer je gostota magnetnega pretoka znotraj nižja od gostote magnetnega pretoka zunaj. Meritve kažejo, da dentalna zlitina Aurokeram 2 spada med paramagnetne materiale, kjer je gostota magnetnega polja v substanci, ki je v magnetnem polju, nekoliko višja od gostote magnetnega polja zunaj te snovi (upoštevata se relativna permeabilnost $\mu_r > 1$). Preiskovane dentalne zlitine niso feromagnetne. Na podlagi tega Zlatarna Celje d.o.o. izdaja certifikat o neferomagnetnosti za obe dentalni zlitini.

Magnetna resonanca (okrajšano MR) je neinvazivna medicinska diagnostična metoda, pri kateri s pomočjo magnetnega polja, radijskih valov in računalniške tehnologije slikamo notranjo strukturo človeškega telesa. Posneta MR slika zelo

podrobno prikazuje strukture znotraj lobanje, hrbtenice, okončin in predvsem mehkih tkiv glave in telesa. Rezultati omogočajo odkrivanje in natančno lociranje morebitnih poškodb, novotvorb ali drugih nepravilnosti, s čimer pripomorejo k diagnosticiranju bolnikovih zdravstvenih težav in posledično k uspešnosti zdravljenja. V navodilih za pripravo in potek MR preiskave je zapisano, da je pred vstopom v prostor za preiskave potrebno s telesa odstraniti vse kovinske predmete → kot je npr. pri pregledu glave ali vratu, kjer imajo pacienti lahko vgrajeno tudi zobno protezo. Težava nastane, ko je zobna proteza fiksirana in je ni mogoče odstraniti. Ključno vlogo v teh raziskavah predstavlja feromagnetizem, ki je pojav, ko je gostota magnetnega polja v snovi, postavljeni v magnetno polje, veliko večja od gostote magnetnega polja zunaj te snovi. Ta pojav je značilen za Fe, Co, Ni in nekatere druge zlitine, medtem ko je pojav feromagnetizma pri plemenitih kovinah in zlitinah popolnoma odsoten. Vse plemenite dentalne zlitine Zlatarne Celje d.o.o. imajo lastnost, da niso feromagnetne in ne predstavljajo tveganja pri MR preiskavah. To pomeni, da plemenite (zlate) dentalne zlitine Zlatarne Celje d.o.o. ne ovirajo izvajanja MR preiskave, tudi če jih ima preiskovanec (pacient) vgrajene v ustni votlini. Za potrebe MR preiskav se pacientom, ki imajo v ustih implantirano zobno protetiko iz zlitin Zlatarne Celje d.o.o., izda uradna izjava o neferomagnetnosti dentalnih zlitin, ki jo oddajo k vprašalniku pred MR preiskavo.

5 Sklepi

Stanje razvoja dentalnih zlitin v prihodnosti mora biti usmerjeno v doseganje naslednje zahteve s ciljem minimiziranja bioloških tveganj. Zobozdravniki morajo pacientom priporočati dentalne zlitine z najmanjšim možnim sproščanjem ionov (odsotnost korozije) in odsotnostjo feromagnetizma. Ta cilj lahko dosežemo z uporabo visoko plemenitih ali zlatih dentalnih zlitin s stabilno mikrostrukturo. Vendar so tudi tu izjeme, zato je treba paziti na izbiro pravilne dentalne zlitine z izbrano kemijsko sestavo za vsakega posameznega pacienta posebej. Zaradi tega je na trgu več zlatih dentalnih zlitin, ki so primerne za posamezne paciente z različnimi alergijami glede na prehranske navade ali druga specifična stanja v ustni votlini in tkivih. V tem primeru je potrebno upoštevati priporočila Zlatarne Celje d.o.o. za dentalne zlitine, da se preprečijo morebitne negotovosti in s tem dosežejo kakovostne zobno-protetične konstrukcije.

Opombe

Prispevek je nastal kot rezultat projekta Eureka Gold-Ger 17091! in bilateralnega projekta BI-SR/23-25-026.

Literatura

- Colic, M, D Stamenkovic, I Anzel, G Lojen, and R Rudolf. 2009. "The Influence of the Microstructure of High Noble Gold-Platinum Dental Alloys on Their Corrosion and Biocompatibility in Vitro." *Gold Bulletin* 42 (1): 34–47. <https://doi.org/10.1007/BF03214904>.
- Elshahawy, W, and I Watanabe. 2014. "Biocompatibility of Dental Alloys Used in Dental Fixed Prosthodontics." *Tanta Dental Journal* 11 (2): 150–59. <https://doi.org/10.1016/j.tdj.2014.07.005>.
- Fischer, Jens. 1997. Dental alloy with a high gold content, issued 1997.
- Grgur, Branimir N, Vojkan Lazić, Dragana Stojić, and Rebeka Rudolf. 2021. "Electrochemical Testing of Noble Metal Dental Alloys: The Influence of Their Chemical Composition on the Corrosion Resistance." *Corrosion Science* 184 (May): 109412. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2021.109412>.
- McCluggage, RW. 1959. *History of the American Association*. Chicago: American Dental Association.
- Raić, K T, R Rudolf, A Todorović, D Stamenković, and Ivan Anžel. 2010. "Liquid Metal/Ceramic Interfaces in Dental Practice and Jewellery Manufacturing." *Materiali in Tehnologije* 44 (2): 59–66.
- Rudolf, Rebeka, Ivan Anžel, E Marković, Miodrag Čolić, and Dragoslav Stamenković. 2012. "Gold in the Past, Today and Future." *Metalurgija* 51 (2): 261–64. <https://hrcak.srce.hr/74867>.
- Rudolf, Rebeka, Tjaša Zupančič Hartner, Ivan Anžel, Primož Mrvar, Jožef Medved, and Dragoslav Stamenković. 2007. "Characterisation of a New Dental Alloy with High Au Content Karakterizacija Nove Dentalne Zlitine z Visoko Vsebnostjo Au." *RMZ – Materials and Geoenvironment* 54 (3): 303–18.
- Rudolf, Rebeka, Vojkan Lazić, Peter Majerič, Andrej Ivanič, Gregor Kravanja, and Karlo T. Raić. 2022. *Dental Gold Alloys and Gold Nanoparticles for Biomedical Applications*. SpringerBriefs in Materials. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-98746-6>.
- Rudolf, Rebeka, N Romčević, and Ivan Anžel. 2010. "Poročilo o Opravljenih Meritvah Feromagnetnosti Dentalnih Zlitin Zlatarne Celje."
- Wataha, John C. 2001. "Principles of Biocompatibility for Dental Practitioners." *Journal of Prosthetic Dentistry* 86 (2): 203–9. <https://doi.org/10.1067/mpr.2001.117056>.
- Williams, D. 1990. *Medical & Dental Materials*. England: Oxford OX3.
- Yu, Ji-Min, Seen-Young Kang, Jun-Seok Lee, Ho-Sang Jeong, and Seung-Youl Lee. 2021. "Mechanical Properties of Dental Alloys According to Manufacturing Process." *Materials* 14 (12): 3367. <https://doi.org/10.3390/MA14123367>.