

## VPLIV TEHNOLOGIJ POVRŠINSKE OBDELAVE KOVINSKEGA OGRODJA NA POJAV NAPAK V MIKROSTRUKTURI PORCELANSKEGA PLAŠČA PRI KOVINSKO/PORCELANSKIH ZOBNIH RESTAVRACIJAH

LARA ŽUPEC<sup>1</sup>, PETER BOHINC<sup>2</sup>, MIHAEL BRUNČKO<sup>3</sup>**Sprejeto**

21. 3. 2023

**Recenzirano**

27. 6. 2023

**Izdano**

7. 11. 2023

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana, Slovenija, larazupec98@gmail.com.<sup>2</sup> Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana, peter.bohinc@zf.uni-lj.si.<sup>3</sup> Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor, mihael.bruncko@um.si.

DOPISNI AVTOR

larazupec98@gmail.com

**Znanstvena  
Tehnika** veda:**Ključne besede:**

kovinsko-porcelanske prevleka, mehanska obdelava kovinskega ogrodja, brusna sredstva, peskanje, mikrostruktura

Čep rav je sodobni trend v fiksni protetiki v uporabi polnokeramičnih zobnih nadomestkov, so raziskave pokazale, da se še vedno najpogosteje uporabljajo kovinsko-porcelanski zobni nadomestki. Namen v tem prispevku predstavljene raziskave je ugotoviti, kako različne tehnike mehanske obdelave površine kovinskega ogrodja vplivajo na pojav napak v porcelanskem sloju ter mejni površini kovina-porcelan. V okviru izvedenih raziskav smo izdelali vzorce iz Co-Cr zlitine z različnimi metodami in tehnikami površinske obdelave. Sledila je priprava metalografskih brusov s pomočjo katerih smo analizirali vpliv površinskih obdelav na spremembo makro- in mikrostrukture kovinskega ogrodja, porcelanskega plašča in mejne površine med njima. Rezultati opravljenih raziskav so pokazali, da je pojav napak pri vzorcih katerih kovinsko obrodje je bilo obdelano z brusnim sredstvom v eni smeri minimalen, površina kovinskega ogrodja enakomerno hrapava z enakomerno povprečno debelino oksidne plasti 3,5 $\mu$ m. Pri vzorcih s kovinskim ogrođjem obdelanim z brusnim sredstvom v več smereh, smo opazili bolj hrapavo površino kovinskega ogrodja s prisotnostjo plastične deformacije površine kovinskega ogrodja, ki tvori tanjšo oksidno plast.



## INFLUENCE OF METAL SURFACE FINISHING ON PORCELAIN MICROSTRUCTURE FAILURES IN PORCELAIN-FUSED-TO-METAL DENTAL RESTORATION

LARA ŽUPEC<sup>1</sup>, PETER BOHINC<sup>2</sup>, MIHAEL BRUNČKO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> University of Ljubljana, Faculty of Medicine, Ljubljana, Slovenia,  
larazupec98@gmail.com.

<sup>2</sup> University of Ljubljana, Faculty of Medicine, Ljubljana, Slovenia,  
peter.bohinc@zf.uni-lj.si.

<sup>3</sup> University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, Maribor,  
mihael.bruncko@um.si.

Accepted

21. 3. 2023

Revised

27. 6. 2023

Published

7. 11. 2023

CORRESPONDING AUTHOR

larazupec98@gmail.com

Although the current trend in fixed prosthetics is the use of full-ceramic dental restorations, research has shown that most commonly used are still metal-ceramic dental restorations. The purpose of the research presented in this paper is to find out how different techniques of mechanical treatment of the surface of the metal frame affect the occurrence of defects in the porcelain layer and the metal-porcelain interface. As part of the research, we produced samples from Co-Cr alloy using various surface treatment methods and techniques, followed by the preparation of metallographic tablecloths, with the help of which we analyzed the influence of surface treatments on the change in the macro- and microstructure of the metal framework, the porcelain veneer and the interface between them. The results of the conducted research showed that the occurrence of defects in samples whose metal surface was treated with an abrasive in one direction is minimal, the surface of the metal framework is uniformly rough with an average thickness of the oxide layer of 3.5  $\mu\text{m}$ . In samples with a metal framework treated with an abrasive in several directions, we observed a rougher surface of the metal framework with the presence of plastic deformation of the surface of the metal framework, which forms a thinner oxide layer.

Science: Engineering

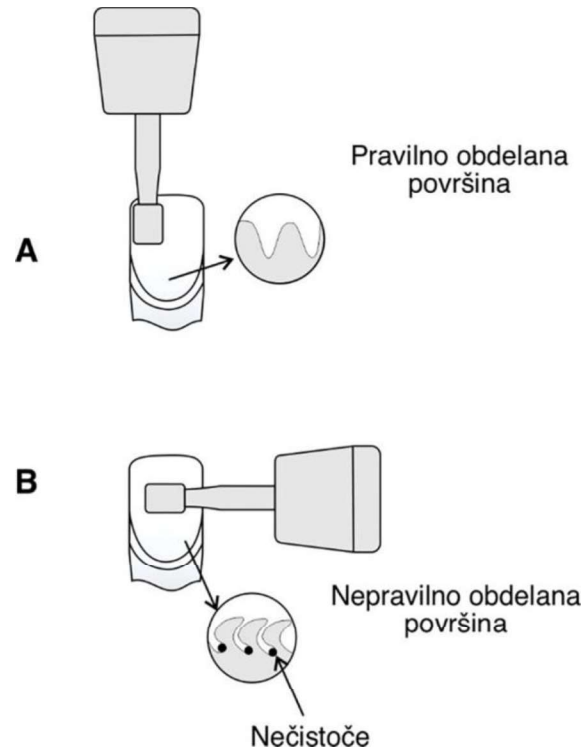
Keywords:

metal-ceramic  
crown,  
metal  
framework  
processing,  
abrasive  
stones,  
sandblasting,  
microstructure

## 1 Uvod

Kovinsko-porcelanski zobni nadomestki so sestavljeni iz kovinskega ogrodja, ki daje oporo porcelanski kroni, ki je mehansko in kemično vezana na kovino. Kovinsko ogrodje mora biti premišljeno oblikovano in obdelano, saj lahko že majhna nepravilnost na kovinskem ogrodju povzroči nepopravljive posledice na porcelanu (Qui in sod., 2010; Rosenstiel in sod., 2006). Kovinsko ogrodje mora biti načrtovano tako, da izpolnjuje tako estetske kot mehanske zahteve. Če te zahteve niso dosežene, lahko pride do pojava razpok, odkrušenja ali nepopolne vezave porcelana s kovino (Kirsten in sod., 2014; Rosenstiel in sod., 2006). Z mehansko obdelavo kovinskega ogrodja spreminjamo njegovo obliko, hrapavost površine in z nje odstranimo okside in nečistoče nastale pri litju. To dosežemo s peskanjem in obdelavo z brusnimi sredstvi (Rosenstiel in sod., 2006). Za peskanje uporabljamo peskalnike, ki pod tlakom brizgajo drobne delce mikronske velikosti »peska« običajno iz aluminijevega oksida. S tem obdelovalnim postopkom odstranjujemo ostanke vložne mase, odvečne okside in nečistoče, ki smo jih na kovinsko ogrodje nanegli med litjem oziroma predhodnimi izdelovalnimi postopki (frezanje, litije, selektivno lasersko taljenje) in obenem ustvarimo površino, ki zagotavlja mehansko retencijo med kovino in porcelanom, kar ojača kovinsko-porcelansko vez (Anusavice in sod., 2003; Rosenstiel in sod., 2006). Za spreminjanje oblike in glajenje površine uporabljamo brusna sredstva oz. brusne kamne. Pri kovinsko-porcelanski tehniki se priporoča uporaba brusnih sredstev, ki imajo keramično vez, saj naj bi bila brusna sredstva z organsko vezjo dober vir potencialne kontaminacije kovinskega ogrodja. Prav tako je priporočljivo, da se brusna sredstva ne uporabljajo za več različnih zlitin, da zmanjšamo tveganje za kontaminacijo površine kovinskega ogrodja (Mehulić in Lauš-Šošić, 2009; Rosenstiel in sod., 2006). Pri mehanski obdelavi kovinskega ogrodja z brusnimi sredstvi v več smereh in pri premočnem pritisku na kovino pride do plastične deformacije, neravnin in izboklin na hrapavi površini kovinskega ogrodja, v katere se lahko ujamejo nečistoče, odbrušeni delci osnovne kovinske zlitine in tudi zrak (Slika 1). Posledica tega je lahko pojav poroznosti v kovinsko-porcelanski vezi. Ujet zrak in umazanija pa lahko v fazi sintranja povzročita še pojav poroznosti v porcelanskem sloju. Temu se lahko izognemo z mehansko obdelavo kovinskega ogrodja v eni smeri in »nežnim« pritiskom brusnih sredstev ob površino kovine. Žal pa v nam dostopni literaturi nismo našli natančne razlage, kako majhen oziroma velik pritisk to je. K pojavu poroznosti lahko še dodatno pripomore tudi

večkratno sintranje pri visoki temperaturi (Hofstede in sod., 2000; Rosenstiel in sod., 2006).



**Slika 1: Prikaz pravilne (A) in nepravilne (B) mehanske obdelave površine kovinskega ogrodja; prikaz površine kovinskega ogrodja, obdelanega z brusnim sredstvom v eni smeri (A) in površine kovinskega ogrodja obdelanega v več smereh (B), s pojavom plastične deformacije in nečistočo**

Vir: Rosenstiel in sod., 2006

Namen raziskovalnega dela predstavljenega v tem prispevku je ugotoviti, kako različne tehnike mehanske obdelave površine kovinskega ogrodja vplivajo na stanje površine kovinskega ogrodja, tvorjenje oksidne plasti in morebitnega pojava napak v porcelanskem sloju ter mejni površini med kovinskim ogrodjem in porcelanskim slojem. Na osnovi dobljenih rezultatov želimo podati smernice in priporočila za optimalno mehansko obdelavo površine kovinskega ogrodja, pri kateri bo pojav napak v porcelanskem sloju ter mejni površini kovina-porcelan minimalen.

V okviru eksperimentalnega dela smo pripravili šest vrst vzorcev, z različno mehansko obdelavo površin kovinskega ogrodja, katerih namen je raziskati njihov vpliv na pojav morebitnih napak v porcelanskem plašču in mejni površini med kovinskim ogrodjem in porcelanskim plaščem.

## **2 Metode dela**

Vzorci za karakterizacijo vpliva različnih tehnologij površinskih obdelav na pojav napak v mikrostrukturi porcelanskega plašča smo izdelali po konvencionalnem postopku izdelave kovinsko-porcelanskih prevlek (Rosenstiel in sod., 2006), prilagodili smo le obliko, ki je omogočala lažjo pripravo metalografskega obrusa za mikroskopiranje. Kovinsko podlago, ki bi naj predstavljala kovinsko ogrodje, smo oblikovali iz voska v obliki ploščice dimenzij 3 x 10 x 10 mm. Pritrdili smo voščeni dolivni kanal, ki je kasneje pri sintranju služil kot stojalo. Ker se je taka oblika izkazala za neustrezno, smo kasneje izdelali nove vzorce z dimenzijami 0,5 x 10 x 10 mm. Voščene vzorce smo vložili v vložno maso ter s centrifugalnim ulivalnikom v njih ulili zlitino Co-Cr, ki je po strjevanju zapolnila volumen voščenih vzorcev v vložni masi. Ulite vzorce iz Co-Cr zlitine smo nato razdelili v šest skupin, ki se med seboj razlikujejo glede na uporabljeno tehniko mehanske obdelave površine kovinskega ogrodja:

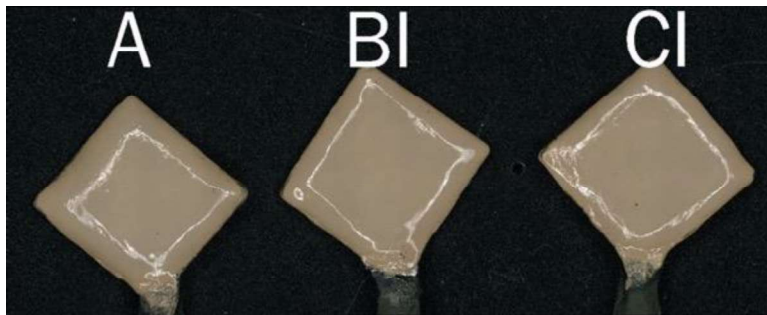
- A - Vzorci, obdelani z brusnim sredstvom, namenjenim obdelavi kovine za nanos keramike, v eni smeri;
- B - Vzorci, obdelani z brusnim sredstvom, namenjenim obdelavi kovine za nanos keramike, v več smereh;
- BI - Vzorci, obdelani z brusnim sredstvom, namenjenim obdelovanju kovine za nanos keramike, v več smereh, vzorca pred in po oksidaciji nismo obdelovali s postopkom peskanja;
- C - Vzorci, obdelani z brusnim sredstvom, kontaminiranim z drugo kovino, v več smereh;
- CI - Vzorci, obdelani z brusnim sredstvom, kontaminiranim z drugo kovino, v več smereh, vzorca pred in po oksidaciji nismo obdelali s postopkom peskanja;
- D - Vzorci, obdelani z brusnim sredstvom, kontaminiranim z drugo kovino, v več smereh, dimenzije 3 x 10 x 10 mm.

Po mehanski obdelavi površin vzorcev smo na površine nanесли opaker in porcelan ter po vsakem nanosu sintrali v peči za sintranje keramike v skladu z navodili proizvajalca porcelana (Rosenstiel in sod., 2006). Podrobnejši opis postopka centrifugalnega litja vzorcev iz Co-Cr zlitine in nanosa opakra ter porcelana je predstavljen v diplomskem delu (Župec L., 2022).

Za karakterizacijo morebitnih napak v mikrostrukturi vzorcev smo le-te vložili duroplastično maso. Sledila je metalografska priprava površine vzorcev v prečnem prerezu s brušenjem do stopnje 4000 in poliranjem z diamantno suspenzijo (1  $\mu\text{m}$ ). Pojav morebitnih napak na prosti površini vzorcev smo analizirali s pomočjo stereomikroskopa Olympus SZX10. Karakterizacija mikrostrukture pa je bila narejena s pomočjo optičnega mikroskopa Nikon Epiphot 300 in vrstičnega elektronskega mikroskopa FEI Quanta 3D.

### 3 Rezultati

V skupini vzorcev z oznako A, pri katerih je bila površina kovinskega ogrodja obdelana z brusnim sredstvom, namenjenim obdelavi kovin za nanos porcelana, v eni smeri, po pričakovanjih tako na površini porcelanske mase (Slika 2), kot tudi na makroposnetku v prečnem prerezu (Slika 3) ni bilo makroskopskih napak, vidnih s prostim očesom.



Slika 2: Prikaz proste površine porcelanskega plašča pri vzorcih A, BI in C

Vir: lasten

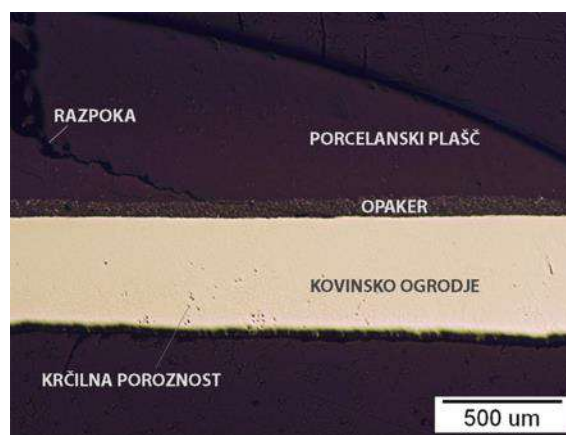
Na mikroposnetkih na slikah 4 in 5 je prikazana mikrostruktura vzorca A v prečnem prerezu, ki predstavlja optimalno obdelavo kovinskega ogrodja za kovinsko-porcelanski zobni nadomestek (obdelan s potegi brusnega sredstva, namenjenega le

obdelovanju kovine za kovinsko-porcelansko tehniko, v eni smeri, peskan po obdelavi in oksidaciji). Vidimo rahlo hrapavo površino kovinskega ogrodja in manjši pojav krčilne poroznosti, nastale med strjevanjem zlitine. Sloj opakera in porcelanski plašč sta brez večjih napak (razpoka v porcelanskem plašču na sliki 3 je nastala pri pripravi metalografskega obrusa). Na mikroposnetku na sliki 6 narejeni z vrstičnim el. mikroskopom je prikazana enakomerna debelina oksidne plasti, nastale na kovinskem ogrodju, katere povprečna deblina je 3,5  $\mu\text{m}$ .



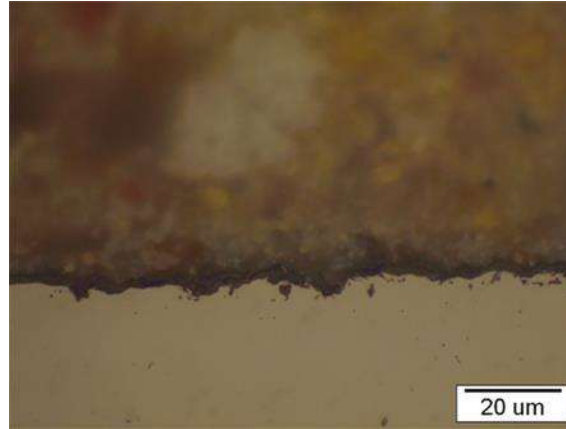
**Slika 3:** Prečni prerez vzorca A pod stereomikroskopom – razpoke v porcelanskem plašču so nastale zaradi napak med pripravo metalografskega obrusa (vroče vlaganje)

Vir: lasten



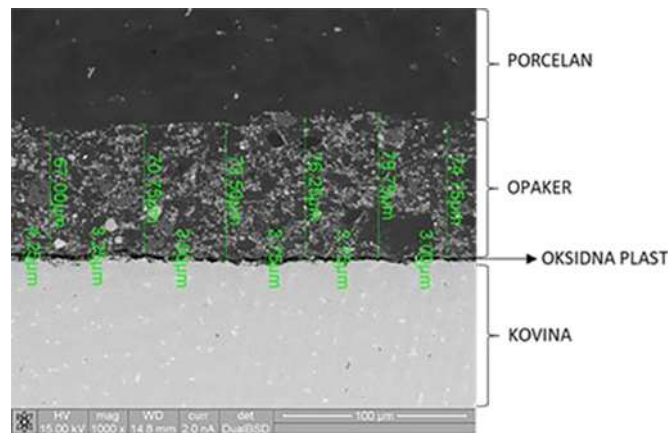
**Slika 4:** Mikrostruktura vzorca A (prečni prerez, polirano stanje, svetlobna mikroskopija)

Vir: lasten



Slika 5: Mejna površina med kovinskim ogrodjem in porcelanskim plaščem vzorca A (prečni prerez, polirano stanje, svetlobna mikroskopija)

Vir: lasten



Slika 6: Prikaz mejne površine med kovinskim ogrodjem in porcelanskim plaščem vzorca A (prečni prerez, polirano stanje, elektronska mikroskopija)

Vir: lasten

V skupini vzorcev B s površino kovinskega ogrodja, obdelanega z brusnim sredstvom, namenjenim obdelavi kovine za nanos porcelana, v več smereh, smo s prostim očesom na površini porcelanskega plašča opazili makroskopsko vidne napake. Prva napaka, ki se je pojavila že po prvem sintranju porcelana, je bilo odstopanje porcelana od kovine (Slika 7).





**Slika 7: Prosta površina vzorca B – odstopanje porcelanskega plašča**

Vir: lasten

Druga napaka, ki se je pojavila po drugem sintranju porcelana – predvidevamo, da je bil zračni lunke, ki je pred koncem sintranja počil, za seboj pa pustil udrtino (Slika 8).



**Slika 8: Prosta površina vzorca B – sled zračnega lunke**

Vir: lasten

V kovinskem ogrodju smo opazili pojav manjše krčilne poroznosti (Slika 9). Le ta sicer ni posledica nepravilne mehanske obdelave površine kovinskega ogrodja,

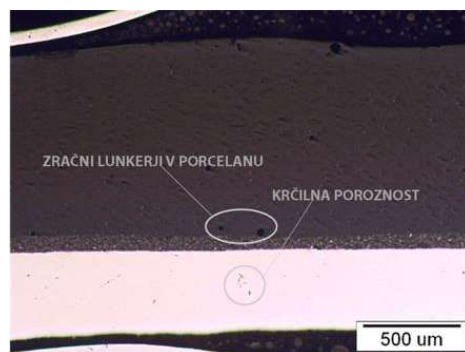
ampak neravnotežnega strjevanja taline med centrifugalnim litjem kovinskega ogrodja.



**Slika 9: Prečni prerez vzorca B posnet s stereomikroskopom**

Vir: lasten

V primerjavi z vzorcem A imamo v tem primeru več napak v porcelanskem plašču (Slika 10) in neenakomernjšo hrapavo oziroma neravno površino kovinskega ogrodja (prisotnost plastične deformacije na površini kovinskega ogrodja zaradi obdelave z brusnim sredstvom v več smereh) in nekaj krčilne poroznosti v njegovi notranjosti (Slika 11). Zaradi neenakomerne površine kovinskega ogrodja je nastala tudi neenakomerno debela oksidna plast s povprečno debelino  $0,75 \mu\text{m}$  (Slika 12).



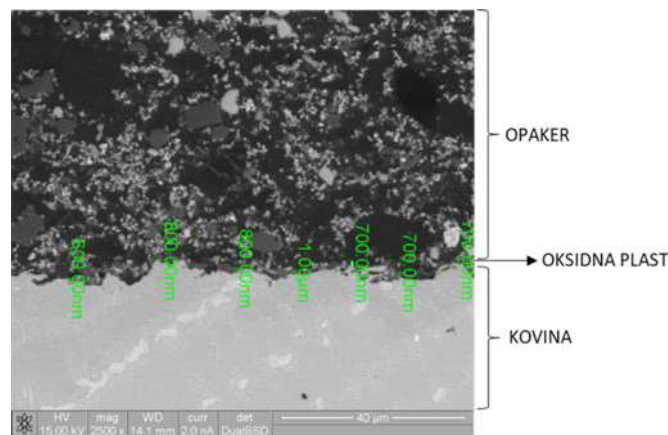
**Slika 10: Mikrostruktura vzorca B (prečni prerez, polirano stanje, svetlobna mikroskopija)**

Vir: lasten



Slika 11: Mejna površina med kovinskim ogrodjem in porcelanskim plaščem vzorca B (prečni prerez, polirano stanje, svetlobna mikroskopija)

Vir: lasten

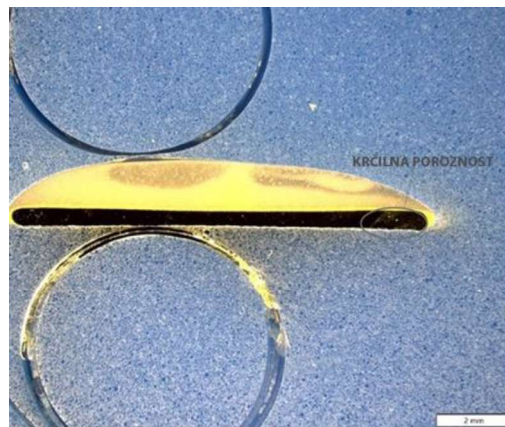


Slika 12: Mejna površina med kovinskim ogrodjem in porcelanskim plaščem vzorca B (prečni prerez, polirano stanje, elektronska mikroskopija)

Vir: lasten

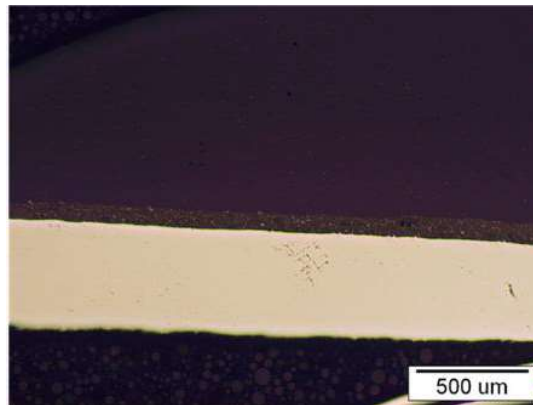
Na prosti površini vzorca BI in njegovem prečnem prerezu (Slika 2 in Slika 13), katerega kovinsko ogrodje je bilo obdelano v več smereh in ni bilo peskano, ni vidnih nobenih napak, razen manjše krčilne poroznosti v kovinskem ogrodju, ki pa je posledica napakmed procesom centrifugalnega litja.

Ker površine kovinskega ogrodja vzorca BI nismo peskali, je površina kovinskega ogrodja bolj gladka kot pri vzorcu A (Slika 14 in Slika 15). V notranjosti tako kot pri prejšnjih vzorcih opazimo prisotnost manjše krčilne poroznosti. Opazimo pa lahko, da je v neenakomerno debelo oksidno plast ujeta velika količina nečistoč in odbrušenih kovinskih delcev. Povprečna debelina oksidne plasti je  $3,95 \mu\text{m}$  (Slika 16).



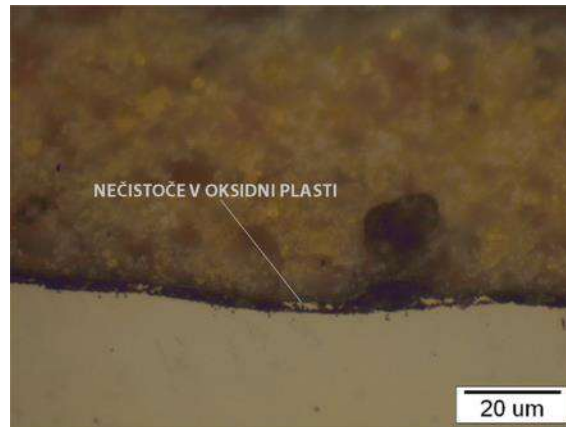
Slika 13: Prečni prerez vzorca BI posnet stereomikroskopom

Vir: lasten



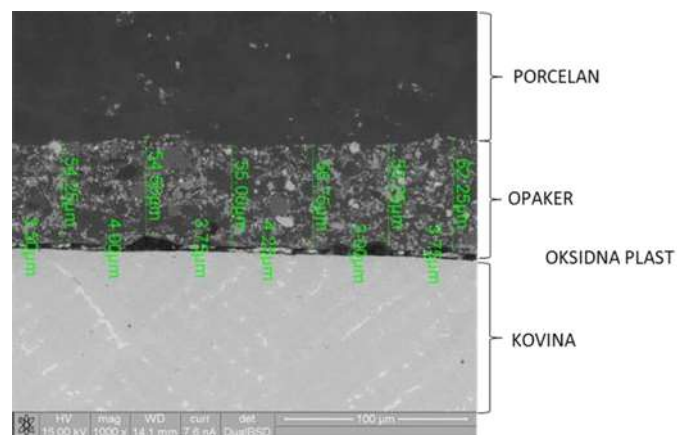
Slika 14: Mikrostruktura vzorca BI (prečni prerez, polirano stanje, svetlobna mikroskopija)

Vir: lasten



Slika 15: Mejna površina med kovinskim ogrodjem in porcelanskim plaščem vzorca BI (prečni prerez, polirano stanje, svetlobna mikroskopija)

Vir: lasten



Slika 16: Mejna površina med kovinskim ogrodjem in porcelanskim plaščem vzorca BI (prečni prerez, polirano stanje, elektronska mikroskopija)

Vir: lasten

Na mejni površini med kovinskim ogrodjem in porcelanskim plaščem vzorca C, obdelanem v več smereh s kontaminirano frezo, s prostim očesom in stereomikroskopom (Slika 2 in Slika 17), ni opaziti napak, razen manjše krčilne poroznosti v kovinskem ogrodju.



**Slika 17: Prečni prerez vzorca C posnet s stereomikroskopom**

Vir: lasten

V mikrostrukturi kovinskega ogrodja vzorca C posnet s stereomikroskopom opazimo pojav manjše krčilne poroznosti v kovinskem ogrodju ter poroznost v porcelanskem plašču in prisotnost vključkov tujih delcev. Vzrok za to bi lahko bila uporaba kontaminiranega brusnega sredstva pri obdelovanju kovinskega ogrodja (Slika 18). Površina kovinskega ogrodja (Slika 19 in Slika 20) je primerljiva s površino vzorca B, kjer je bila pri obeh vzorcih površina obdelana v več smereh, le da je bilo pri vzorcu C uporabljeno kontaminirano brusno sredstvo. Povprečna debelina oksidne plasti je bila  $0,8 \mu\text{m}$  (Slika 20).

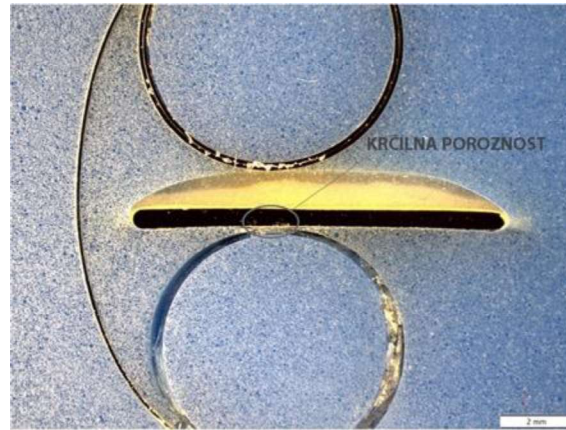


**Slika 18: Mikrostruktura vzorca C (prečni prerez, polirano stanje, svetlobna mikroskopija)**

Vir: lasten

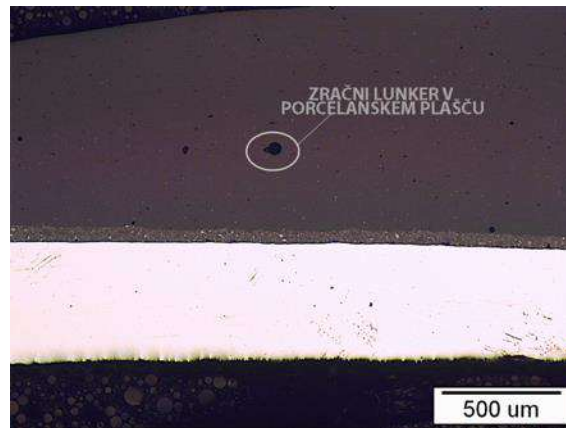


kovinskega ogrodja je primerljiva s površino vzorca BI (oba vzorca sta bila obdelana v več smereh in nista bila peskana), opazna je manjša prisotnost krčilne poroznosti v kovinskem plašču, površina kovinskega ogrodja je gladka, oksidna plast pa neenakomerna s prisotnostjo nečistoč (Slika 22 in Slika 23). Povprečna debelina oksidne plasti je 1,68  $\mu\text{m}$  (Slika 24).



Slika 21: Mejna površina med kovinskim ogrodjem in porcelanskim plaščem vzorca C (prečni prerez, polirano stanje, elektronska mikroskopija)

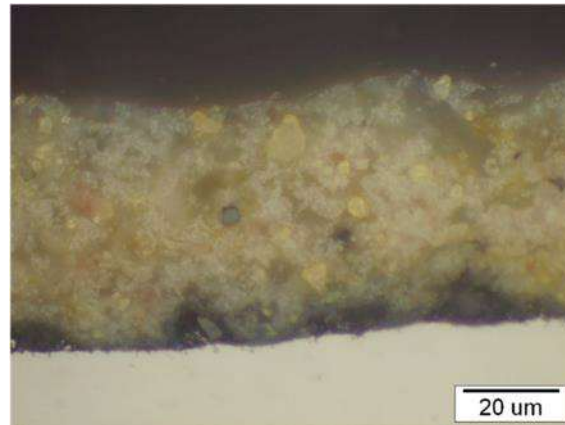
Vir: lasten



Slika 22: Mejna površina med kovinskim ogrodjem in porcelanskim plaščem vzorca C (prečni prerez, polirano stanje, elektronska mikroskopija)

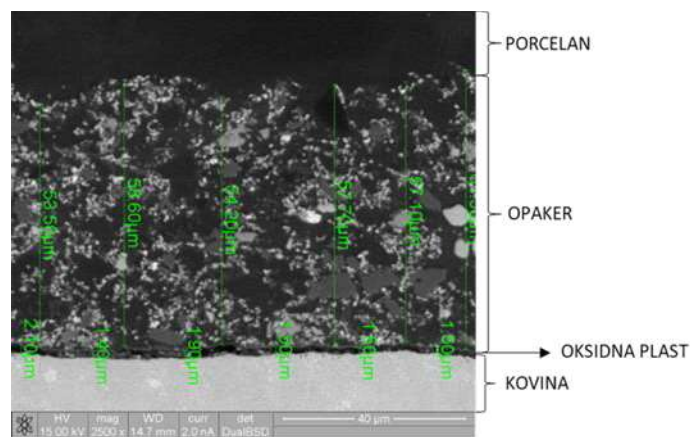
Vir: lasten





Slika 23: Mejna površina med kovinskim ogrodjem in porcelanskim plaščem vzorca CI (prečni prerez, polirano stanje, svetlobna mikroskopija)

Vir: lasten



Slika 24: Mejna površina med kovinskim ogrodjem in porcelanskim plaščem vzorca CI (prečni prerez, polirano stanje, elektronska mikroskopija)

Vir: lasten

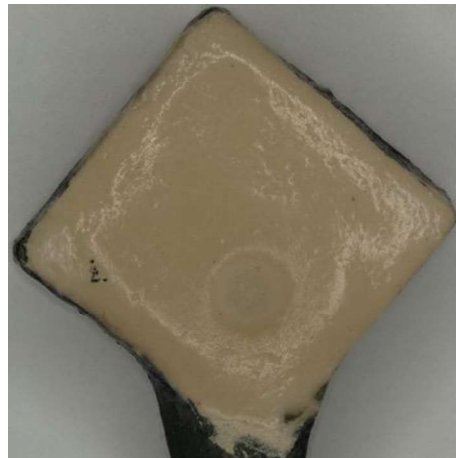
V skupini vzorcev D, kjer je bila površina kovinskega ogrodja v več smereh obdelana z brusnim sredstvom, kontaminiranim z drugo kovino, se je zračni lunker pojavil na dveh vzorcih (dimenzije 3 x 10 x 10 mm) od desetih (če štejemo, da se je porcelan nanašal na dve strani kovinske ploščice), kar predstavlja 1/5 vzorcev iz te skupine.

Lunker se je pojavil še pred koncem sintranja, po četrtem nanosu in sintranju porcelana (Slika 26 in Slika 27).



**Slika 25: Prosta površina vzorca D – pojav zračnega lunkeja**

Vir: lasten

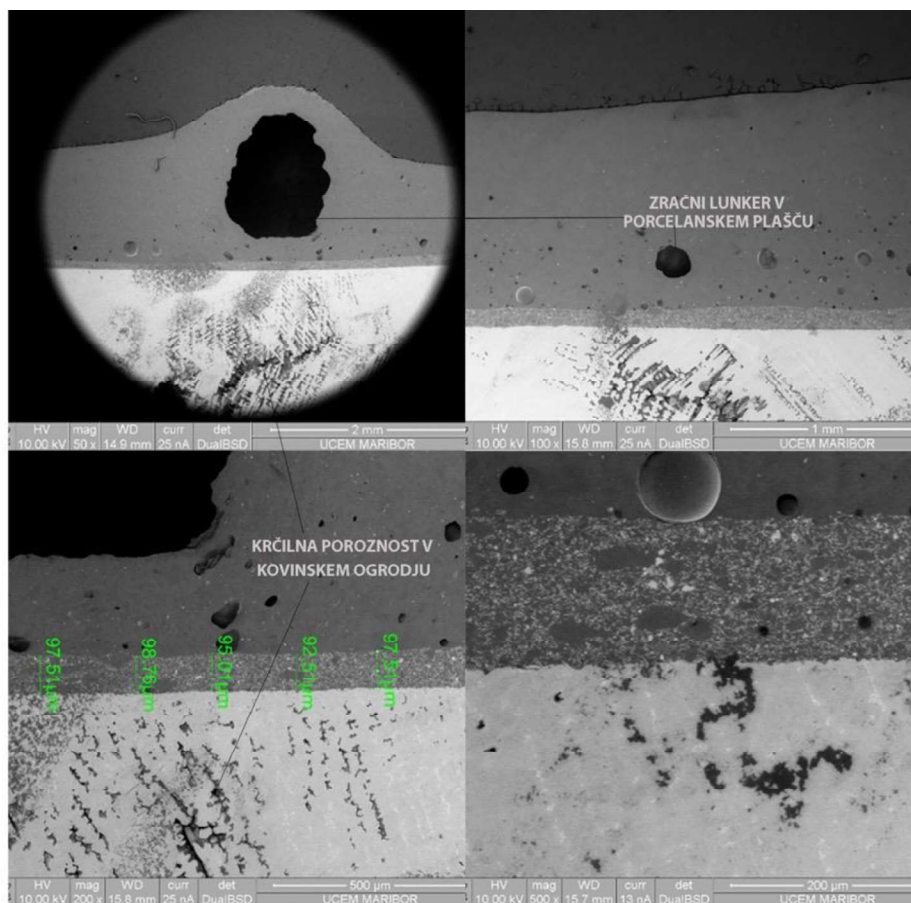


**Slika 26: Prosta površina vzorca D posneta s stereomikroskopom**

Vir: lasten

S pomočjo elektronskega vrstičnega mikroskopa (Slika 27) smo razkrili, zakaj je prišlo do pojava zračnega lunkeja v tem primeru – zaradi poroznosti v kovinskem ogrodju. Predvidevamo, da je do tega prišlo, zaradi dimenzije preizkušancev, talina

se ni nazadnje strjevala v dolivnih kanalih, temveč v kovinskem ogrodju in zato je tam prišlo do pojava krčilne poroznosti.



Slika 27: Prosta površina vzorca D posneta s stereomikroskopom

Vir: lasten

#### 4 Diskusija

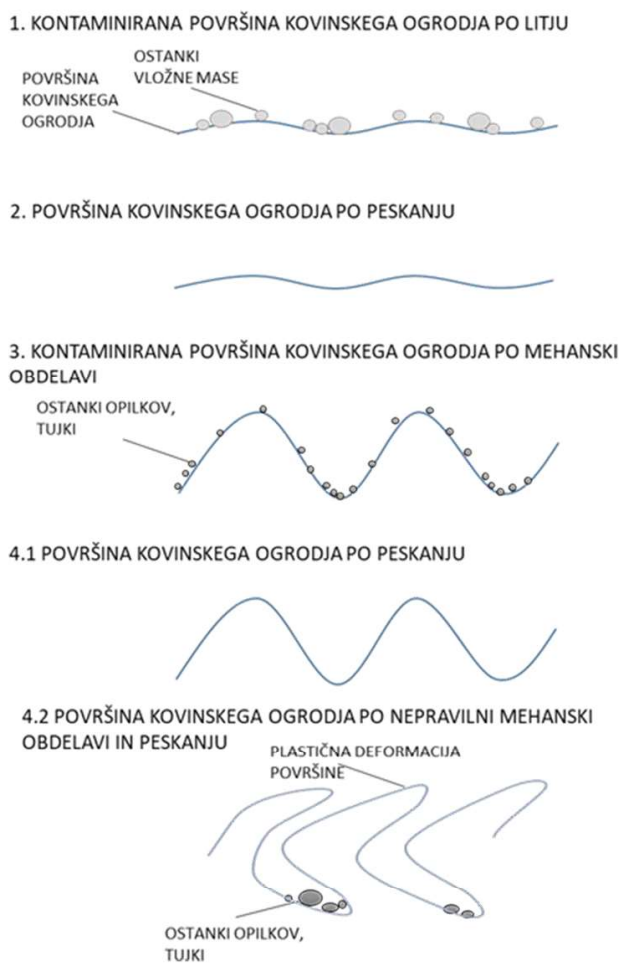
S svetlobnim in vrstičnim elektronskim mikroskopom smo ugotovili, da mehanska obdelava kovinskega ogrodja z brusnim sredstvom v več smereh (vzorci B in C) ustvari bolj hrapavo površino, ki tvori tanjšo oksidno plast kar v našem primeru predstavlja večjo možnost za pojav poroznosti in nečistoč v porcelanskem plašču, k čemur je v vzorcu C prispevalo tudi brusno sredstvo, kontaminirano z drugo zlitino (Tabela 1).

**Tabela 1: Pregled vpliva mehanskih obdelav na debelino oksidne plasti in pojav morebitnih napak**

Oznaka vzorca	Mehanska obdelava površine	Povp. deb. oksidne plasti ( $\mu\text{m}$ ) in stanje na mejni površini kovina-porcelan	Poroznost / tujki v porcelanskem plašču
<b>A</b>	Vzorci, obdelani z brusnim sredstvom, namenjenim obdelovanju kovine za nanos keramike, (pazljivo) v eni smeri.	3,5 $\mu\text{m}$ Enakomerna deb. oksidne plasti, enakomerno hrapava površina kovinskega ogrodja.	NE
<b>B</b>	Vzorci, obdelani z brusnim sredstvom, namenjenim obdelovanju kovine za nanos keramike, v več smereh.	0,75 $\mu\text{m}$ Neenakomerna hrapavost in plastična deformacija površine kovinskega ogrodja.	DA (poroznost)
<b>BI</b>	Vzorci, obdelani z brusnim sredstvom, namenjenim obdelovanju kovine za nanos keramike, v več smereh, vzorca nismo obdelovali s postopkom peskanja.	3,95 $\mu\text{m}$ Gladka površina kovinskega ogrodja, neenakomerno debela oksidna plast.	DA (nečistoče)
<b>C</b>	Vzorci, obdelani z brusnim sredstvom, kontaminiranim z drugo kovino, v več smereh.	0,8 $\mu\text{m}$ Neenakomerna hrapavost in plastična deformacija površine kovinskega ogrodja.	DA (poroznost in nečistoče)
<b>CI</b>	Vzorci, obdelani z brusnim sredstvom, kontaminiranim z drugo kovino, v več smereh, vzorca nismo obdelovali s postopkom peskanja.	1,68 $\mu\text{m}$ Gladka površina kovinskega ogrodja, neenakomerno debela oksidna plast.	DA (poroznost in nečistoče)
<b>D</b>	Vzorci, obdelani z brusnim sredstvom, kontaminiranim z drugo kovino, v več smereh, dimenzije 3 x 10 x 10 mm.	Debeline oksidne plasti nismo izmerili.	DA (poroznost)

Vir: lasten

Pri vzorcih, ki niso bili peskani (BI in CI), smo opazili gladkejšo površino kovinskega ogrodja, ki tvori neenakomerno plast oksidov. Ker preizkušancev nismo peskali, je na površini kovinskega ogrodja ostalo veliko nečistoč, ki so zašle v oksidno plast in tudi v opaker. Porcelanski plašč je bil pri teh vzorcih tudi poroznejši (Tabela 1).



Slika 28: Morfologija površine kovinskega ogrodja po različnih fazah mehanske obdelave in pojav morebitnih napak

Vir: lasten

Pri analiziranih vzorcih se je največja napaka, ki je vidna že s prostim očesom, pojavila pri vzorcu D – pojav zračnega lunkeja v porcelanskem plašču. Do tega je prišlo zaradi pojava krčilne poroznosti v kovinskem ogrodju, nastale zaradi nepravilnega strjevanja kovine. Vzrok je bila nepravilna modelacija v vosku, ki je vodila do pojava poroznosti v kovinski konstrukciji namesto v dolivnem kanalu oziroma napajalniku (Tabela 1). Povprečno najdebelejšo oksidno plast smo izmerili pri vzorcu BI (obdelan v več smereh, brez peskanja), le nekoliko debelejšo kot pri vzorcu A (obdelan v eni smeri, peskan – optimalna obdelava). Najtanjšo oksidno plast smo izmerili pri vzorcih B in C, ki so bili obdelani v več smereh in so bili peskani.

V raziskovalnem delu smo potrdili, da se pri priporočenem postopku in vrsti obdelave, ki smo ga prikazali z vzorci skupine A, pojavi najmanj napak in tvori enakomerna oksidna plast brez prisotnosti nečistoč. Priporočeni postopki obdelave za doseganje primerne površine kovinskega ogrodja so: (i) peskanje pred obdelovanjem, po njem in po oksidaciji, ki mu sledi (ii) mehanska obdelava kovinskega ogrodja z brusnim sredstvom, namenjenim obdelovanju kovine, ki ni kontaminirano z drugo kovinsko zlitino in (iii) s pomikanjem brusnega sredstva vedno v isto smer (Slika 28).

## 5 Zaključki

Peskanje in mehanska obdelava kovinskega ogrodja močno vplivata na tvorbo oksidne plasti na stični površini med porcelanskim plaščem in kovinskim ogrodjem. Peskanje omogoča očiščenje površine kovinskega ogrodja pred oksidacijo in nanosom opakra, kar prepreči prisotnost nečistoč ter pojav poroznosti v oksidni plasti in porcelanskem plašču, obenem pa na prosti površini kovinskega ogrodja poveča hrapavost, kar zagotavlja večjo mehansko retencijo porcelana.

Stroka priporoča mehansko obdelavo kovinskega ogrodja v eni smeri, da bi se izognili poroznosti in nečistočam v porcelanskem plašču. Z raziskovalnim delom, predstavljenim v tem prispevku, smo potrdili, da z obdelavo v več smereh dobimo tanjšo oksidno plast kot z obdelovanjem v eni smeri.

Posebno pozornost pa je potrebno nameniti modelaciji v vosku, ki je ena izmed začetnih faz priprave kovinskega ogrodja. Zmodelirati je potrebno pravilno obliko kovinskega ogrodja, ki porcelanu zagotovi oporo in mesto, kjer se kovina nazadnje strdi (v dolivnem kanalu), da se izognemo nastanku morebitne poroznosti v kovinskem ogrodju.

### Literatura

- Aboras, M. M., Muchtar, A., Azhari, C., H., in Yahaya, N. (2015). *Types of Failures in Porcelain-Fused-to-Metal Dental Restoration*. 6th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering, 345–348. doi: 10.1007/978-3-319-11128-5\_86
- Anusavice, K. J. (2003). *Phillips' science of dental materials*. 11th ed. St Louis: Mosby Inc, 358–370.
- Barreto, M., T. (1984). *Failures in ceramometal fixed restorations*. J Prosthet Dent, 51(2), 186–189. doi:10.1016/0022-3913(84)90256-7
- Hofstede, T. M., Ercoli, C., Graser, G. N., Tallents, R. H., Moss, M. E. in Zero, D. T. (2000). *Influence of metal surface finishing on porcelain porosity and beam failure loads at the metal-ceramic interface*. J Prosthet Dent, 84(3), 309–317. doi:10.1067/mpr.2000.109488
- Kirsten, A., Parkot, D., Raith, S. in Fischer, H. (2014). *A cusp supporting framework design can decrease critical stresses in veneered molar crowns*. Dent Mater, 30, 321–326. doi:10.1016/j.dental.2013.12.004
- Mehulić, K., in Lauš-Šošić, M. (2009). *Metal-ceramic bond how to improve*. Minerva Stomatol; 58 (Suppl 7): R367–73.
- Qiu, J., Yu, W. in Zhang, F. (2010). *Effects of the porcelain-fused-to-metal firing process on the surface and corrosion of two Co–Cr dental alloys*. J Mater Sci, 46, 1359–1368. doi:10.1007/s10853-010-4927-0
- Rosenstiel, S. F., Land, M. F. in Fujimoto, J. (2004) *Contemporary fixed prosthodontics*. 4th ed. St Louis: Mosby.
- Župec, L. (2022). *Vpliv tehnologij površinske obdelave kovinskega ogrodja na pojav napak v mikrostrukturi porcelanskega plašča*, diplomsko delo, Ljubljana.