

Promjene tvrdoće kobalt-krom legura poslije dodavanja jednom lijevane legure

Effects of Admixing Previously Cast Alloy on Co-Cr Alloy Hardness

Tatjana Klarić-Jurković
Krešimir Kraljević
Prosper Matković*

Zavod za mobilnu protetiku
Stomatološkog fakulteta
Sveučilišta u Zagrebu

* Zavod za materijale
Metalurškog fakulteta Sisak
Sveučilišta u Zagrebu

Sažetak

Kobalt-krom legure imaju vrlo široku primjenu u stomatologiji jer su po svojim mehaničkim svojstvima prikladnija zamjena skupim legurama zlata. Prilikom izrade različitih nadomjestaka koriste se veće količine materijala nego što ih zahtijeva veličina protetskog rada. Materijal koji preostane često se, uštede radi, ponovno upotrebljava prilikom slijedećeg lijevanja.

Cilj ovog istraživanja bio je da se ispita utjecaj dodavanja različitih postotaka jednom lijevane legure (B) na tvrdoću legure. Ispitivana su svojstva legura kojima je dodavana lijevana legura u postotku 0% B, 25% B, 50% B, 75% B i 100% B.

Svi uzorci su standardizirani i lijevani u tlačno-vakuumskom lijevaču, te poslije standardne obradbe ispitani. Iz rezultata istraživanja može se zaključiti da dodavanje jednom lijevane legure nema većeg utjecaja na mehaničko svojstvo – tvrdoću.

Da bismo to mogli zasigurno ustvrditi, potrebno je izvršiti dodatna, preciznija mjerenja kvalitete legure, posebno onih parametara koji nisu obuhvaćeni ovim istraživanjem.

Ključne riječi: kobalt-krom legure, tvrdoća

Acta Stomatol. Croat.
1994; 28: 25–32

IZVORNI
ZNAJSTVENI RAD

Primljeno: 22. prosinca 1993.
Received: December 22, 1993

Uvod

Legure na osnovi kobalta i kroma široko se primjenjuju za lijevanje protetskih nadomjestaka, kako baza djelomičnih proteza, tako i nekih vrsta mostova.

U sistemu kobalta i kroma utvrđeno je da kombinacija 70% kobalta i 30% kroma daje leguri maksimalne fizikalne osobine, dok prisutnost elemenata koji se nalaze u malim količinama upravlja tim fizikalnim svojstvima (1, 2, 3, 4, 5).

Postupci lijevanja zahtijevaju da se rastali više metala nego što je potrebno da se ispuni kalup. Višak se odvaja od odljevka. Mogućnost korištenja viška legure za dobivanje prihvatljivog odljevka pitanje je ekonomičnosti.

U pogledu ponovnog lijevanja legura na osnovi kobalta i kroma, ne postoje pravila zasnovana na eksperimentima niti općenite preporuke (6, 7, 8).

Stoga postoje i različita mišljenja o tome je li moguće ponovno se koristiti lijevanom legu-

rom, odnosno, može li se to dopustiti i u kojem opsegu, a da se pri tom ne promijene svojstva legure.

Većina autora (9, 10, 11) istraživala je promjene mehaničkih svojstava, naročito tvrdoće, kod višekратно ponovljenog lijevanja.

Tvrdoća se može definirati kao otpornost materijala prema prodiranju stranog tijela. Ovakva definicija stvara niz teškoća pri interpretaciji, jer tvrdoća ne obuhvaća samo jedno svojstvo materijala nego čitav niz (12).

Rezultati ispitivanja materijala Marxa (13), Beckera (14) i Waltera (15) ne pokazuju značajnije vrijednosti promjene tvrdoće koje se mogu negativno odraziti na nosiva svojstva.

Kod ponovnog lijevanja legura mijenjaju se mehanička svojstva tako malo da se čini mogućom primjena već lijevane legure u praksi. Međutim, autori se slažu da se bez dodatnih ispitivanja ne mogu dati definitivne preporuke o ponovnom korištenju lijevane legure (16, 17, 18).

Naše ispitivanje bilo je usmjereno na praćenje promjena tvrdoće odljevaka legura na osnovi kobalta i kroma uslijed dodavanja pretaljene legure, koja se javlja kao ostatak nakon lijevanja neke metalne konstrukcije.

Eksperimentalnim radom želio se utvrditi opseg promjena koje nastaju kad se legurama kobalta i kroma dodaju lijevane legure u različitom postotku.

Postupak dobivanja legura razlikuje se, ovisno o proizvođaču i stupnju razvoja tehnologije. Stoga smo naše ispitivanje usmjerili k usporedbi promjena triju legura, koje nastaju uslijed dodavanja jednom lijevane legure.

Ovim istraživanjem želio se ustanoviti maksimalan težinski udio lijevane legure koji neće izazvati bitne promjene u osnovnim mehaničkim svojstvima, tj. tvrdoći osnovne legure.

Poznavanje dopuštenog udjela već jednom lijevane legure važno je stoga što znatno pojeftinjuje izradbu metalnih skeleta proteza.

Materijali i postupci

U ovom radu ispitivane su tri legure na osnovi kobalta i kroma. Dvije ispitivane legure su proizvodi tvornice BEGO (WIRONIUM i WIRONIT) iz Njemačke, a treća legura je BASIL S, proizvod Zlatarne Celje iz Slovenije.

Ispitivane legure, prema podacima proizvođača, posjeduju dobra mehanička svojstva i iz-

rađene su prema kriterijima koje zahtijeva DIN 13912 i ostali internacionalni standardi (19).

Priprema uzorka

Svi su uzorci standardizirani. Od plavog voska napravljeni su valjčici promjera 9 mm, a dužine 10 mm. Voštani štapići ulagani su u uložnu masu Politerm C (Polident, Slovenija) u već pripremljenu metalnu kivetu određene veličine, prilagođene voštanom modelu. Pripremljena kiveta stavljana je u peć za predgrijavanje. Na 300° C kiveta je zagrijavana trideset minuta. Poslije toga je stavljena u peć, gdje je postupno zagrijavana: 20 min. na 300° C, 20 min. na 600° C, 45 min. na 1000° C. Tako užarena kiveta stavljana je u aparaturu za lijevanje.

Uzorci su taljeni indukcijskim zagrijavanjem i lijevani u tlačnovakuumskom visokofrekventnom ljevaču Nautilus (Bego, Njemačka) (19). Nakon lijevanja kiveta se postupno hladila na zraku. Slijedilo je vađenje odljevka i standardna obradba (5, 20, 21, 22).

Za svaki uzorak određen je postotak dodavanja jednom lijevane legure. Od svake legure pripremljeno je pet uzoraka za ispitivanje. Uzorci su označeni brojevima od 1 do 5. Broj 1 predstavljao je čistu leguru bez dodatka jednom lijevane legure. Jednom lijevana legura označena je simbolom B. Zatim su slijedile legure s 25% B, 50% B, 75% B i čista već jednom lijevana legura, znači 100% B.

Postupci ispitivanja

Za testiranje tvrdoće uzoraka primijenjen je penetracijski test po Vickersu (23). Tvrdoća je mjerena po promjeru poprečnog presjeka valjčica. Vickersova tvrdoća označava se s HV i predstavlja odnos između sile (F) utiskivanja izražene u N i površine otiska (A) izražene u mm². Tvrdoća je mjerena pri opterećenju od 20 N/mm² u trajanju od 30 sekundi (6).

Mehanička ispitivanja tvrdoće izvršena su na univerzalnom aparatu za mjerenje Brinellove, Vickersove i Rockwelove tvrdoće tvrtke Otto Wolpert-Werke (Ludwigshafen 1953, Njemačka).

Rezultati

Analiza tvrdoće legura provedena je na 15 uzoraka sa po sedam mjerenja na svakom uzorku.

U želji da se različitosti u numeričkim vrijednostima što bolje prikažu, dobiveni rezultati statistički su obrađeni.

Statistička analiza zahtijeva definiranje triju varijabla: dviju kvalitativnih (za opis uzoraka) i jedne kvantitativne, koja opisuje ispitivanu pojavu. Varijable za opis uzoraka su one koje klasificiraju mjerenja prema vrsti legure i prema količini dodatka lijevane legure, kao i njihove kombinacije. Tako definirani sistemi varijabli omogućavaju da se svako pojedinačno mjerenje jednoznačno uvrsti u neki od uzoraka definiranih pomoću varijabli VRSTA, B, VRSTA x B. Osim opisa pojedinih, tako formiranih uzoraka testirane su i pretpostavke o utjecaju kvalitativnih varijabli (VRSTA, B, VRSTA x B) na jedinu kvantitativnu varijablu HV.

Formalno su testirane slijedeće pretpostavke:

$$H_{01}: HV_{WM} = HV_{WT} = HV_{BSS} \quad (1)$$

$$H_{02}: HV_{0\%B} = HV_{25\%B} = \dots = HV_{100\%B} \quad (2)$$

$$H_{03}: HV_{WM\ 0\%B} = HV_{WT\ 25\%B} = \dots = HV_{BSS\ 100\%B} \dots \quad (3)$$

Navedene pretpostavke tvrde da vrsta materijala i količina dodatka lijevane legure, odnosno njihova kombinacija, nemaju utjecaja na prosjeke tvrdoće navedenih legura.

Instrument za testiranje hipoteze /1/, /2/ i /3/ jest analiza varijance s jednim faktorom (VRSTA, B, VRSTA x B). Analiza je izvedena pomoću programa ONE WAY 2 programskog paketa STAR JOB (24).

Rezultati analize značajni su u sva tri slučaja i dokazuju da vrsta legure, količina dodatka jednom lijevane legure i njihova kombinacija značajno utječu na tvrdoću legura. Ipak, rezultate testova pretpostavki /1/ i /2/ nije dopušteno interpretirati, jer u njima nije moguće (dokazano rezultatom testiranja pretpostavke /3/) govoriti o čistom utjecaju varijabli VRSTA x B.

Tablica 1. Prikaz tvrdoće (HV) uzoraka u odnosu na vrstu legure (VRSTA)

Table 1. The representation of mean values for hardness (HV) for three different alloys (VRSTA)

broj grupe	VRSTA	N	RASPON		\bar{X}	S	$S\bar{x}$	95 %-tne granice pouzdanosti	
			minimum (HV)	maximum (HV)				h_1	h_2
1.	WIRONIUM	35	303,0	388,0	340,6	23,88	4,04	332,4	348,8
2.	WIRONIT	35	321,0	412,0	362,8	21,91	3,70	355,2	370,3
3.	BASIL S	35	304,0	386,0	345,1	20,68	3,50	344,8	354,1

LEGENDA:

N - broj entiteta
 \bar{X} - aritmetička sredina
 S - standardna devijacija
 $S\bar{x}$ - standardna pogreška aritmetičke sredine
 h_1 - donja granica 95 %-tne pouzdanosti
 h_2 - gornja granica 95 %-tne pouzdanosti

Tablica 2. Prikaz tvrdoće (HV) uzoraka u odnosu na količinu dodatka lijevane legure (B)

Table 2. The representation of mean values for hardness (HV) considering the addition of already cast alloy (B)

broj grupe	B	N	RASPON (HV)		\bar{X}	S	$S\bar{x}$	95 %-tne granice pouzdanosti	
			minimum (N/mm ²)	maximum (N/mm ²)				h_1	h_2
1.	0 %	21	304,0	362,0	336,5	15,70	3,43	329,3	343,6
2.	25 %	21	303,0	388,0	342,9	22,80	4,97	332,5	353,3
3.	50 %	21	303,0	412,0	354,3	35,13	7,67	338,3	370,3
4.	75 %	21	321,0	386,0	349,8	18,02	3,93	341,6	358,0
5.	100 %	21	341,0	386,0	363,0	14,29	3,12	357,4	370,4

Tablica 3. Prikaz tvrdoće (HV) uzoraka u odnosu na količinu dodatka lijevane legure (B) i vrstu legure (VRSTA)

Table 3. The representation of mean values for hardness (HV) for three different alloys (VRSTA) considering by addition of already cast alloy (B)

broj grupe	GRUPA	N	RASPON (HV)		\bar{X}	S	$S\bar{x}$	95 %-tne granice pouzdanosti	
			minimum (N/mm ²)	maximum (N/mm ²)				h_1	h_2
1.	WM 0 %	7	341,0	362,0	348,7	9,844	3,721	339,6	357,8
2.	WM 25 %	7	303,0	388,0	337,7	30,988	11,712	309,1	366,4
3.	WM 50 %	7	303,0	345,0	317,7	15,924	6,019	303,0	332,4
4.	WM 75 %	7	321,0	341,0	330,0	8,756	3,309	321,9	338,1
5.	WM 100 %	7	362,0	386,0	368,7	9,708	3,669	359,7	377,7
6.	WT 0 %	7	321,0	362,0	339,1	12,402	4,688	327,7	350,6
7.	WT 25 %	7	341,0	378,0	360,3	10,996	4,156	350,1	370,5
8.	WT 50 %	7	386,0	412,0	395,6	11,802	4,461	384,7	406,5
9.	WT 75 %	7	341,0	386,0	362,9	14,781	5,587	349,2	376,5
10.	WT 100 %	7	341,0	369,0	356,0	11,015	4,163	345,8	366,2
11.	BSS 0 %	7	304,0	341,0	321,6	11,341	4,287	311,1	332,1
12.	BSS 25 %	7	321,0	341,0	330,7	9,690	3,663	321,8	339,7
13.	BSS 50 %	7	334,0	362,0	349,6	12,067	4,561	338,4	360,7
14.	BSS 75 %	7	341,0	362,0	356,6	8,791	3,323	348,4	364,7
15.	BSS 100 %	7	341,0	386,0	367,0	18,815	7,111	349,6	384,4

Tablica 4. Analiza varijance istovremenog utjecaja vrste legura (VRSTA) i količine dodatka lijevane legure

Table 4. Analysis of variance influenced by alloy's type (VRSTA) and amount of already cast alloy (B)

IZBOR VARIJABILITETA	ZBROJ KVADRATA	STUPNJEVI SLOBODE	SREDNJI KVADRATI	F-VRIJEDNOST	p (%)
PROSJEK	12824029	1	12824028,75	63383,69	0,01
GRUPA	41687	14	2977,65	14,72	0,01
MEĐU GRUPAMA	18209	90	202,32		
UKUPNO	12883925	105			

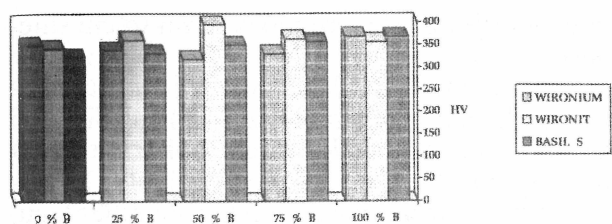
Tome je razlog što u vezi s testiranjem pretpostavki /1/ i /2/ prilažemo samo statističke opise tvrdoće prema vrsti materijala (tablica 1) i prema količini dodatka jednom lijevane legure (tablica 2). U tablici 3 prikazan je opis prema vrsti legure s određenom količinom dodatka lijevane legure.

Dobivene vrijednosti prikazane su grafikoni i histogramima kako bi se što bolje uočilo

kretanje vrijednosti tvrdoće za svaku od tri ispitivane legure (slika 1 i 2).

Rezultat analize varijance svih uzoraka (tablica 4) pokazuje značajan utjecaj varijable VRSTA x B (p%), što nam omogućuje da ustanovimo raznolikost tvrdoće (HV) uzoraka od 0% B do 100% B.

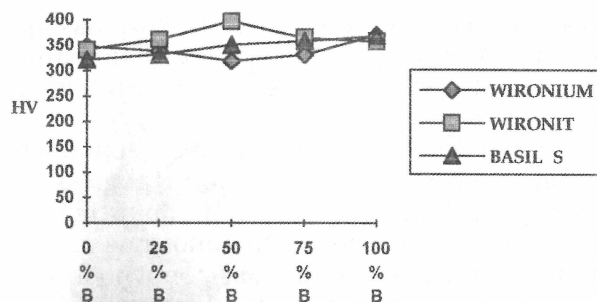
Poslije tih analiza ostala je nerazjašnjena interakcija VRSTA x B. To smo pitanje pokušali



Slika 1. Histogram odnosa srednjih vrijednosti tvrdoće (HV) za legure Wironium, Wironit i Basil S

Figure 1. Histogram of relationship of mean values for hardness (HV) for different alloys

riješiti primjenom dvofaktorske analize varijance (tablica 5) (25).



Slika 2. Grafički prikaz odnosa promjena srednjih vrijednosti tvrdoće (HV) za legure Wironium, Wironit i Basil S

Figure 2. Graphic representation of the changes of mean values for hardness (HV) for different alloys

Tablica 5. Dvofaktorska analiza varijance: utjecaj vrste legura (VRSTA) i dodatka lijevane legure B na tvrdoću (HV)

Table 5. Two-factor analysis of variance: Influence of alloy's type (VRSTA) and addition of already cast alloy B on the mean values of hardness (HV)

ZBROJEVI KVADRATA	STUPNJEVI SLOBODE	SREDNJI KVADRATI	IZVORI VARIJABILITETA		
12884 + 08	105		UKUPAN ZBROJ KVADRATA		
59896,324	104		KORIGIRAN ZBROJ KVADRATA	F-VRIJEDNOST	VJEROJATNOST P (%)
9636,704	2	4818,3522	VRSTA	23,8151	0,01 %
9315,809	4	2328,9523	B	11,5110	0,01 %
22734,532	8	2841,8156	VRSTA x B	14,0459	0,01 %
18209,143	90	202,3238	MEĐU GRUPAMA		

Rasprava

Ispitivane su tvrdoće različitih materijala, a razlike u dobivenim podacima nisu velike i nalaze se unutar dopuštenih granica.

Wironit i Basil S pokazuju nešto više vrijednosti tvrdoće u svom originalnom obliku nego Wironium. Analizirajući utjecaj dodatka jednom lijevane legure za svaku leguru posebno uočavamo slijedeće: kod legura Wironit i Basil S primjećuje se jednakomjerni porast tvrdoće sukladno količini dodatka jednom lijevane legure, te se za Wironit kreće u rasponu od 321,0 N/mm² do 412,0 N/mm², a za Basil S između 304,0 N/mm² i 386,0 N/mm². Wironium pokazu-

je lagano sniženje vrijednosti kod legura s 25% B (303,0 N/mm²-388 N/mm²) i 50% B (303,0 N/mm²-345,0 N/mm²), a nešto su znatnija odstupanja kod legura sa 100% B (362,0 N/mm²-386,0 N/mm²). Svi uzorci sa 100% B pokazuju znatan porast tvrdoće.

Statističkom obradom ustanovilo se da veći utjecaj na tvrdoću ima vrsta legure nego količina dodataka lijevane legure. Otvoreno pitanje ostaje njihova interakcija kod pojedinih uzoraka, za što su potrebna veća i specijaliziranija mjerenja.

Uzimajući u obzir kristalnu strukturu pojedinih legura i način mjerenja tvrdoće, može se

očekivati da raspon vrijednosti koji nastaje mjerenjem može biti uzrokovan i različitim zncima (pri svakom od sedam mjerenja), zbog njihove prilične veličine.

Stoga možemo reći da se razlike izmjerenih veličina nalaze u granicama mjerne pogreške.

Rezultati koje smo dobili našim istraživanjem mogu se usporediti s vrijednostima ostalih ispitivanja tvrdoće legura što se ponovno lijeva, a koja se nalaze navedena u literaturi (9, 10, 11, 18, 26).

U gotovo svim rezultatima primjećuje se porast tvrdoće, ali ne u tolikoj mjeri da se legura kao takva ne bi mogla koristiti. Budući da se istraživanja svih navedenih autora dotiču mogućnosti ponovnog korištenja višekratno upotrebljivanih legura (što znači sa 100% B), kod čega se bitno ne mijenjaju mehanička svojstva, logičan je slijed rezultata dobivenih u našem istraživanju. U našim istraživanjima legure sa 100% B bile su završno mjerenje, a u istraživanjima drugih autora početno.

Zaključci

Iz dobivenih rezultata ispitivanja legura na osnovi kobalta i kroma s određenim postocima

dodatka lijevane legure može se zaključiti slijedeće:

1. Vrijednosti tvrdoće pokazuju porast nakon dodavanja lijevane legure (B) za Wironit i Basil S, dok legura Wironium pokazuje sniženje vrijednosti pri sastavu 25% B i 50% B. Uzrok tome su promjene koje nastaju unutar legure, a koje smo našim mjerenjima samo identificirali. Kod sastava 100% B sve tri legure pokazuju znatan porast tvrdoće.

2. Promijenjene vrijednosti mogu se tolerirati jer ne mijenjaju znatnije kvalitetu odljeva.

3. Primijećeno je da vrsta legure ima dvostruko veći utjecaj na tvrdoću nego dodavanje određene količine lijevane legure, iako postoji i stanovita količina interakcije među njima, koja se ne može razlučiti, a utječe na vrijednosti tvrdoće.

4. Iako se u našim ispitivanjima nije pokazala značajnija promjena mehaničkog svojstva tvrdoće, ne može se ipak bez pogovora preporučiti ponovno korištenje lijevane legure. Nastale promjene nekih komponenti upućuju na to da se legure ipak mijenjaju, možda čak i više nego što se odražava na mehaničkim vrijednostima.

EFFECTS OF ADMIXING PREVIOUSLY CAST ALLOY ON Co-Cr ALLOY HARDNESS

Summary

The alloys of chromium and cobalt are widely used in dentistry as they, considering their mechanical properties, represent the best substitute for expensive gold alloys. During the production of various dental appliances, a greater amount of the material is used than required by the size of the appliance itself. The remaining material is often used for subsequent castings, as a measure of economy.

The aim of the study was to examine the influence of the addition of various amounts of an already cast alloy (B) on hardness of the alloys of chromium and cobalt. The properties of the alloys were examined after the addition of the previously cast alloy in percentages of 0%, 25%, 50%, 75% and 100%.

Adresa za korespondenciju:
Address for correspondence:

Tatjana Klarić-Jurković
Zavod za mobilnu protetiku
Stomatološki fakultet
Gundulićeva 5, Zagreb

All samples were standardized and cast in a Nautilus (Bego) induction casting oven. After the treatment, the samples were examined.

The results on hardness and their statistical analysis showed a significant difference between the examined alloys, the difference of the nature of the added components contributing more to it than the amount of the already cast alloy (B).

The values obtained were consistent to those found in literature.

In conclusion, the addition of a certain percentage of the already cast alloy appears to have no significant effect on alloy hardness.

Key words: cobalt-chromium alloy, hardness

Literatura

- ANGELLINI E, BONINO P, PEZZOLI M, ZUCCHI F. Tensile strength of Cr-Co dental alloys solder joints. *Dent Mater* 1989; 5:13-17.
- JANUS C E, TAYLOR D F, HOLLAND G A. A microstructural study of solder connectors of low gold casting alloys. *J Prosthet Dent* 1983; 50:657-660.
- PAFFENBERGER G C, CAUL H L. Base metal alloy for oral rehabilitations. *J Am Dent* 1943; 30:382.
- COMBE E C. *Zahnärztliche Werkstoffe*. München: Hanser, 1984.
- ROBERT G, CRAIG P D. *Restorative dental materials*. St Louis: The C. V. Mosby Company, 1985.
- HARCOURT H J. The remelting of cobalt-chromium alloys. *Brit Dent J* 1962; 198-204.
- HARCOURT H J. Induction melting of cobalt-chromium alloys. *Brit Dent J* 1965; 323-329.
- STOCKINGER H. Die Härte von Kobalt-Chrom Legierungen nach wiederholtem Verguss. *Med Diss Mainz* 1971.
- BRUHN L, LAMMERT R. Klinische Nachuntersuchung über die Wiederverwendung von stomatologischen Chrom-Kobalt-Legierungen bei Modellgussprothesen. *Zähntechnik* 1983; 24:197-199.
- MORRIS H F, COMELLA A. Comparison of the mechanical properties of different metal ceramic in the as cast condition and after simulated firing cycles. *J Prosthet Dent* 1989; 61:543-9.
- MARX H. Untersuchungen der Wiederverwendbarkeit dentaler Gold-Platin-Legierungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1973; 28:916.
- REINACHER G. Zusammenfassende Darstellung des Standes der Technik auf dem Gebiet der Edelmetalle. *Metall* 1969; 22:693-71.
- MARX H. Zur Wiederverwendbarkeit dentaler Kobalt-Chrom-Legierungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1974; 29:1008-1013.
- BECKER J. Untersuchungen der mechanischen Eigenschaften einer Kobalt-Chrom-Legierungen bei wiederholtem dreissigfachen Verguss. *Med. Dissertation. Mainz* 1976.
- WALTER O. Untersuchungen der chemischen Zusammensetzung und metallurgischen Struktur einer dentalen Kobalt-Chrom-Legierungen bei wiederholtem dreissigfachen Verguss. *Med. Dissertation. Mainz*.
- HESBY D A, KOBES P, GARVER D G, PELLEU G B. Physical properties of a repeatedly used non-precious metal alloy. *J Prosthet Dent* 1980; 44:291-3.
- PRESSWOOD R G. Multiple recast of a nickel-chromium-beryllium alloy. *J Prosthet Dent* 1983; 50:198-9.
- NELSON N, PALIK J F, MORRIS H F. Recasting a nickel-chromium alloy. *J Prosthet Dent* 1986; 55:122-127.
- BEGO Information: Modellguss-Technik nach dem Bego System. *Publikacija tvrtke*.
- SKINNER AND PHILLIPS. *The science of dental materials*. London: B. Saunders Company, 1973.
- EINFELST H. Dentalmetalle in der zahnärztlichen Prothetik. *ZWR* 1985; 94:140-44.
- MORRIS H F, COMELLA A. Comparison of the mechanical properties of different metal ceramic in the as cast condition and after simulated firing cycles. *J Prosthet Dent* 1989; 61:543-9.

23. HUNER S H. Introduction to physical metallurgy. London: Mc Graw-Hill Book Company, 1964.
24. STAR JOB series, ONE WAY 2: Reference Manual for Univac 1100 Series Computers, Academic Computing Center, The University of Wisconsin, Madison 1975.
25. PETZ B. Osnove statističke metode za nematematičare. Zagreb: Sveučilišna naklada Liber, 1985.
26. MARX M. Zur Wiederverwendbarkeit dentaler Kobalt-Chrom-Legierungen. Dental Labor 1975; 23:1406-1410.