

Porównanie metod wykonawstwa części metalowych uzupełnień protetycznych – na podstawie wybranego piśmiennictwa

Comparison of various methods of fabricating parts for metal dentures – based on selected literature

Karolina Ambroziak¹, Bohdan Bączkowski², Andrzej Kochański³

¹ Studenckie Koło Naukowe przy Katedrze Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Students' Research Group, at the Chair of Prosthodontics, Medical University of Warsaw

² Katedra Protetyki Stomatologicznej, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Polska
Chair of Prosthodontics, Medical University of Warsaw
Kierownik: prof. dr hab. n. med. *Elżbieta Mierzińska-Nastalska*

³ Wydział Inżynierii Produkcji, Politechnika Warszawska, Polska
Faculty of Production Engineering, Warsaw University of Technology
Kierownik: prof. dr hab. inż. *Tomasz Chmielewski*

HASŁA INDEKSOWE:

odlewanie metali, frezowanie metali, spiekanie metali, CAD/CAM

KEY WORDS:

metal casting, milling, sintering, CAD/CAM

Streszczenie

Obecne technologie pozwalają na wybór jednej z trzech metod wykonywania części metalowych uzupełnień protetycznych, metodą odlewania, frezowania i spiekania. Każda z tych metod ma inną charakterystykę i inne zalety. Odlewanie pozwala na wykonanie prac bez wysoko specjalistycznego sprzętu, jest jednak wyjątkowo zależne od pracy technika i błędów wynikających z kolejnych zmian stanu metalu. Frezowanie wymaga z kolei specjalistycznego sprzętu, częstej wymiany frezów, gdyż od stopnia ich zużycia zależy dokładność pracy. Cechuje się również wysokim zużyciem materiału i efektem ubocznym w postaci zanieczyszczeń pyłem metalowym. Spiekanie mimo tego, że tak samo jak frezowanie, również wymaga specjalistycznego sprzętu może okazać się metodą najbardziej optymalną ze względu na niskie zużycie materiału i możliwość wykonywania kilku prac jednocześnie.

Summary

Thanks to modern technologies we are able to choose from three different methods of creating parts for metal dentures namely casting, milling and sintering. Each one has different characteristics and advantages. Casting can be performed without expensive equipment, but its final effect considerably depends on the skill of the dental technician and issues related to the way the metal changes its state.

Milling, on the other hand, requires specialist equipment, changing of cutter heads, since the accuracy of work depends on their wear and tear. Moreover, the milling process uses up more material than is needed for the particular element. Additional side effect is contamination with metal dust.

Like milling, sintering also requires specialist equipment, may prove to be the optimal method: it is highly material effective and makes it

Celem pracy była ocena dostępnych metod wykonywania części metalowych uzupełnień stałych i protez ruchomych oraz ich ewaluacja, zarówno pod względem wpływu metody wykonawstwa na metal (struktura mikroskopowa, podatność na zgniot, rozciąganie, zginanie), jak i jakość połączenia z ceramiką, a także szczelność brzeżną.

possible to fabricate more than one element at the same time. The aim of the study is to present and evaluate the currently available methods of creating metal parts for fixed restorations and removable dentures. The focus was on how the method affects the metal (microscopic structure, tensile strength, yield strength, compressive stress), but also the quality of the metal-ceramic interface and the marginal seal.

W miarę rozwoju technologii, lekarze stomatolodzy mają możliwość wyboru optymalnej metody wykonania prac protetycznych. W obecnej chwili dostępne są trzy metody obróbki metalurgicznej: odlewanie, frezowanie i spiekanie. Pierwsza z nich, łączy się z metodą traconego wosku, a co za tym idzie wykonaniem ręcznym woskowego wzorca, a także dołączeniem kanałów odlewniczych, które później będą umożliwiały wtłoczenie metalu. Mimo dokładności procedur może wystąpić problem rozszerzalności masy ogniotrwałej, skurczu stopu występującego w trakcie jego chłodzenia (skurcz krystalizacyjny stopu i skurcz termiczny odlewu), powstawania jam skurczowych, porowatości, pęcherzy powietrza czy zanieczyszczeń. Konieczna jest również ręczna korekta wykonana przez technika (odcięcie kanałów odlewniczych, wstępne polerowanie) i korekta wykonana przez lekarza w warunkach jamy ustnej pacjenta.

Frezowanie, podobnie jak spiekanie, wiąże się z projektowaniem elementów metalowych w rzeczywistości wirtualnej. Metoda ta ma jednak ograniczone możliwości co do kształtu, spowodowane wielkością frezów, osiami w jakich pracuje maszyna, a także brakiem możliwości kształtowania skompilowanych struktur. Frezowanie charakteryzuje się również większym zużyciem materiału (modele wycinane są z przygotowanych bloczków materiału).

Spiekanie wydaje się być najbardziej optymalną metodą zarówno ze względu na

najmniejsze zużycie materiału (zużyty proszek w pełni odpowiada powstającej pracy), jak i możliwość uzyskania praktycznie dowolnego kształtu. Metoda ta polega na łączeniu kolejnych warstw proszku przy użyciu światła laserowego. Proszek jest rozprowadzany cienką warstwą na stole o regulowanym względem osi Z położeniu. Wiązka laserowa, po odpowiednim zaprogramowaniu, spieka powierzchnię proszku przemieszczając się zgodnie z kolejnymi warstwami poprzecznymi pożądanego obiektu.

Poza dokładnością wykonania i czasem laboratoryjnym, konieczna jest ocena struktury mikroskopowej w celu weryfikacji jednorodności struktury metalu, a także podatność na odkształcenia i jakość połączenia z ceramiką. Wartości te zależne są od zastosowanego stopu i metody jego obróbki. W celu ujednoczenia, porównywano jedynie stopy chromowo-kobaltowe, ze względu na możliwość ich zastosowania zarówno do uzupełnień stałych napalanych ceramiką, jak i elementów metalowych protez ruchomych.

Przeanalizowano dostępną literaturę anglojęzyczną z lat 2014-2018 dotyczącą etapów metod obróbki części metalowych, badania mikroskopowego próbek, a także badania podatności próbek na zgniatanie, rozciąganie i zginanie. W przytoczonych pracach brano również pod uwagę różnice między proszkami i grubością spiekanej warstwy, a także porównanie techniki częściowego spiekania (DMLS) i pełnego

stopienia laserowego (DMLM). Badane były również różnice w dopasowaniu brzeżnym.

Wykonując elementy metalowe uzupełnień protetycznych metodą odlewniczą należy przejść kolejno przez etapy modelowania woskiem, wytapiania wosku po zalaniu masą ogniotrwałą oraz wtlaczania metalu do formy przez kanał odlewniczy. Następnie wykonuje się: wstępną obróbkę mechaniczną powierzchni, odcinanie ćwieku odlewniczego i nadlewów, piaskowanie i końcowe polerowanie mechaniczne lub elektrochemiczne. Jak podają *Ponto i wsp.* za długa obróbka mechaniczna może doprowadzić do gorszego przylegania i powstawania odkształceń powierzchniowych, które sprzyjają powstawaniu ogniw lokalnych w jamie ustnej.^{1,2} Piaskowanie stopu ma nadać optymalną chropowatość ($Ra < 200\text{nm}$) ograniczając przyleganie bakterii, a tym samym tworzenia płytki protez. Polerowanie elektrochemiczne ze zbyt dużą gęstością prądu będzie działało destrukcyjnie na pracę. Ryzyko takie występuje szczególnie w przypadku protez szkieletowych, gdzie łącznik duży wymaga większych wartości niż elementy obłe i ostre (np. kłamry). Odlewanie jest metodą nie wymagającą zaawansowanego sprzętu, jednak najbardziej zależną od pracy technika. Zarówno ten czynnik, jak i znaczny skurcz stopów przy odlewaniu w istotny sposób wpływa na dokładność wykonania i konieczność dalszej korekty elementów przez lekarza dentystę, szczególnie w przypadku uzupełnień stałych, gdzie stopień dopasowania do powierzchni zęba filarowego ma długofalowe skutki odnośnie przeżywalności uzupełnień w erozyjnym środowisku jamy ustnej, w której konieczna jest odporność zarówno na korozję chemiczną, jak i elektrochemiczną. Jak podają *Wang i wsp.* w badaniu próbek po oksydacji i napaleniu warstwy ceramiki jedynie w próbkach odlewanych stwierdzono szczeliny i bąble pomiędzy warstwą metalu a ceramiki, także testowanie odporności na zgięcie wykazało największą podatność próbek

odlewanych, najmniejszą z kolei próbek spiekanych.³ *Krug i wsp.* w swoim badaniu nie wykryli jednak żadnych różnic w teście zgniatań między poszczególnymi próbkami, badanie mikroskopowe wykazało natomiast minimalną porowatość próbek odlewanych w porównaniu do próbek frezowanych lub spiekanych.⁴ Zarówno *Seong-Bin i wsp.* jak i *Ki-Baek i wsp.* w swoich pracach wykazali, że przyleganie brzeżne dla próbek wykonywanych tradycyjną metodą było gorsze niż dla próbek spiekanych.^{5,6} Wykonywanie elementów metalowych metodą odlewania wiąże się też z dodatkiem stopu wcześniej przetopionego, co jest zgodnie z badaniami *Szynowskiej i wsp.* W przypadku stopów nieszlachetnych przyspiesza proces korozji.⁷

Frezowanie i spiekanie wymagają specjalistycznych urządzeń o wysokim koszcie. Projektowanie modeli może być prowadzone w rzeczywistości wirtualnej (po zeskanowaniu podłoża protetycznego, pobranego wycisku lub odlanego z wycisku modelu) lub też ręcznie z wosku, a następnie zeskanowanie przygotowanego modelu woskowego. Druga metoda zwiększa jednak czas pracy technika i wydłuża liczbę etapów, podczas których może wkraść się błąd spowodowany czynnikiem ludzkim. Frezowanie elementów metalowych zapewnia mniej strat materiału niż odlewanie, jednak więcej niż spiekanie. Z kolei generowane podczas procesu pyły prowadzą do zwiększania zanieczyszczenia. Frezowanie nie gwarantuje również pełnej dowolności otrzymanego kształtu, jednakże w przypadku skomplikowanej geometrii zarówno przez metalowe części uzupełnień ruchomych, jak i stałych ograniczenie to nie ma znaczenia. *Seong-Bin i wsp.* wykazali w swoich badaniach, że próbki frezowane charakteryzowały się największą dyskrepancją (najgorszym przyleganiem do filaru zębowego), w związku z tym istnieje prawdopodobieństwo, zwiększonej utraty cementu w wyniku wypłukiwania w okolicy

stopnia, nieszczelności brzeżnej i pojawienia się zmian próchnicowych.⁵ Zgodnie z badaniami przeprowadzonymi przez *Sokolowskiego* i wsp. próbki frezowane mają znacznie bardziej jednolitą strukturę mikroskopową i większą odporność korozyjną w porównaniu do próbek odlewanych.⁸

Spiekanie laserowe jest najnowszą metodą obróbki metalurgicznej, polegającą na addytywnym topieniu rozproszanej cienkiej warstwy proszku na stole przy pomocy lasera w celu uzyskania pożądanego kształtu, dlatego też powoduje najmniejsze straty materiału. Jednakże, tak samo jak frezowanie, wymaga specjalistycznego sprzętu nie tylko do samego etapu spiekania, ale również do skanowania i przygotowania pracy w systemie wirtualnym. Spiekanie umożliwia wykonywanie kilku elementów jednocześnie, co może powodować zmniejszenie czasu pracy pracowni. Dodatkowo dokładność wykonanego elementu nie zależy od zużycia frezów. Metalurgię proszków można podzielić na trzy rodzaje: SLS (Selective Laser Sintering), DMLS (Direct Metal Laser Sintering) i DMLM (Direct Metal Laser Melting). W przypadku SLS proszek metalu, lub jak w badaniach *Xiao* i wsp. dotyczącej ceramiki, jest częściowo topiony. DMLS charakteryzuje się niższą temperaturą od DMLM i użyciem mieszaniny proszków o różnych temperaturach topnienia, gdzie jeden jest całkowicie topiony, a drugi częściowo. Przy zastosowaniu DMLM dochodzi do całkowitego topienia stopu.⁹ *Ucar* i wsp. w swoich badaniach porównujących metodę DMLS i DMLM wykazali mniejszą porowatość próbek wykonanych przy użyciu DMLM (10). Próbki te miały również większą wytrzymałość na rozciąganie, ale mniejszy moduł elastyczności. W badaniu nie zaobserwowano różnic między proszkami Cr-Co o różnych składach, ani zmiany właściwości przy zmianie grubości spiekanej warstwy.

W badaniu porównującym próbki odlewane, frezowane i spiekane (DMLS) *Wang* i

wsp. wykazali największą odporność w teście na zginanie próbek wykonanych metodą DMLS i największą siłę wiązania metal-porcelana, podczas gdy najmniejszą dla próbek odlewanych, natomiast w badaniu mikroskopowym charakteryzowała je największa homogeniczność (3). *Kajima* i wsp. wykazali większą wytrzymałość na rozciąganie próbek spiekanych względem próbek odlewanych.¹¹ Wytrzymałość zmęczeniowa, która bezpośrednio wpływa na długoczasowość użytkowania protez ruchomych, które poza obciążeniami siłami żucia, są narażone również na siły związane wprowadzaniem uzupełniania na podłoże, była zależna od kąta między stolikiem a osią długą próbki w trakcie procesu spiekania (większą od próbek odlewanych dla kąta 90°, mniejszą dla próbek o wartościach kątowych 45° i 0° względem stolika). W badaniu wytrzymałości zmęczeniowej *Alageel* i wsp. wykazali większą odporność próbek spiekanych niż odlewanych.¹² Te pierwsze miały też dużo większą dokładność wykonania. *Almufleh* i wsp. w badaniu eksperymentalnym naprzemiennym stwierdzili większą satysfakcję pacjentów z uzupełnień zdejmowanych, w których elementy metalowe zostały wykonane metodą spiekania.¹³

Tori i wsp. w przeprowadzonym badaniu wykorzystali metodę hybrydową spiekania i frezowania.¹⁴ Kolejne warstwy były spiekane i następnie frezowane przed napaleniem kolejnej warstwy metalu. W ten sposób wykonane modele wykazały mniejszą chropowatość niż modele spiekane, siły retencyjne klamer były większe niż w próbkach odlewanych zarówno w początkowym etapie, jak i w dalszej perspektywie czasu. *Nakata* i wsp. podkreślają, że powyższa metoda hybrydowa pozwala na wykonanie elementów o mniejszej chropowatości w porównaniu do metody spiekania, bez konieczności dalszej obróbki i mniejszej stracie materiału w porównaniu do frezowania, jednakże między wykonanymi klamrami

a powierzchnią zęba odległość była większa niż przy pracach wykonanych tradycyjnie.¹⁵ Autorzy sugerują jednak, że zaokrąglenie kątów ostrych klamer lub użycie frezów o mniejszej średnicy rozwiązałyby ten problem.

Opierając się na aktualnych badaniach, najlepszą metodą wykonywania części metalowych uzupełnień protetycznych jest spiekanie laserowe. Konieczna jest jednak obserwacja kliniczna, szczególnie przeżywalności w ten sposób wykonanych uzupełnień stałych w erozyjnym środowisku jamy ustnej i porównanie z pracami wykonanymi innymi metodami, szczególnie metodą hybrydową, która mimo gorszego przylegania klamer protetycznych do powierzchni zęba w porównaniu do próbek spiekanych, charakteryzuje się lepszymi siłami retencyjnymi, również w dalszej perspektywie czasu. Niezbędne są również badania mikroskopowe w celu oceny jednorodności struktury, przed i po próbach zmęczeniowych dla elementów protez zdejmowanych wykonanych metodą spiekania i metodą hybrydową w porównaniu do fabrycznie przygotowanych bloczków do frezowania. Odpowiedź na pytanie dotyczące optymalnej metody wykonywania prac protetycznych, zwiększy możliwy czas użytkowania uzupełnień stałych, a w przypadku protez ruchomych pozwoli na optymalizację procesu wykonywania protezy i sił wywieranych przez uzupełnienia na zęby. Istotne jest dążenie do takich rozwiązań, które będą w najlepszy możliwy sposób wykorzystywały warunki podłoża protetycznego pacjenta, zapewniając jednocześnie długoczasowość użytkowania uzupełnienia protetycznego.

Piśmiennictwo

1. *Ponto M, Bączkowski B, Michalski W, Ponto L*: Optymalizacja procesu elektrochemicznego w obróbce stopu na bazie kobaltu, Doniesienia wstępne. *Protet Stomatol* 2004; 54(3): 189-196.
2. *Ponto-Wolska M, Wagner L*: Obróbka stopów wykorzystywanych do wykonywania protez szkieletowych. Polerowanie elektrochemiczne w wybranych elektrolitach. *Protet Stomatol* 2014; 64(5): 354-360.
3. *Wang H, Feng Q, Li N, Xu S*: Evaluation of metal-ceramic bond characteristics of three dental Co-Cr alloys prepared with different fabrication techniques. *J Prosthet Dent* 2016; 116: 915-923.
4. *Krug KP, Knauber AW, Nothdurft FP*: Fracture behaviour of metal-ceramic fixed dental prostheses with frameworks from cast or newly developed sintered cobalt-chromium alloy. *Clin Oral Invest* 2015; 19: 401-411.
5. *Seong-Bin K, Nam-Hoon K, Jae-Hong K, Hong-Seok M*: Evaluation of the fit of metal copings using stereolithography. *J Prosthet Dent* 2018; 120: 693-698.
6. *Ki-Baek K, Jae-Hong K, Woong-Chul K, Ji-Hwan K*: Three-dimensional evaluation of gaps associated with fixed dental prostheses fabricated with new technologies. *J Prosthet Dent* 2014; 112: 1433-1436.
7. *Szynkowska M I, Sokołowski J, Rogowski J, Nagrodzka A, Leśniewska E, Albińska J, Pawlaczyk A*: Badania odporności korozyjnej stopów metali stosowanych w protetyce stomatologicznej za pomocą metod ICP-TOF-MS, TOF-SIMS i AAS. *Przemysł Chemiczny* 2010; 89, 4: 558-563.
8. *Sokołowski G, Sokołowski J, Rylska D, Szynkowska MI*: Wpływ warunków wytwarzania na budowę i właściwości korozyjne stopu stomatologicznego Co-Cr-W-Mo Starbond CoS. *Inżynieria Materiałowa* 2013/6; 885-889.
9. *Xiao K, Dalgarno KW, Wood DJ, Goodridge RD, Ohtsuki C*: Indirect selective laser sintering of apatite-wollastonite glass-ceramic. *Proc Inst Mech Eng H* 2008; 222(7): 1107-1114.
10. *Ucar Y, Ekren O*: Effect of layered manufacturing techniques, alloy powders,

- and layer thickness on mechanical properties of Co-Cr dental alloys. *J Prosthet Dent* 2018; 120: 762-769.
11. *Kajima Y, Takaichi A, Nakamoto T, Kimura A, Yogo Y, Ashida M, Doi H, Nomura N, Takahashi H, Hanawa T, Wakabayashi N*: Fatigue strength of Co-Cr-Mo alloy clasps prepared by selective laser melting. *J Mech Behav Biomed Mater* 2016; 59: 446-458.
 12. *Alageel O, Abdallah MN, Alsheghri A, Song J, Caron E, Tamimi F*: Removable partial dentures alloys processes by laser sintering technique. *J Biomed Mater* 2017.
 13. *Almufleh B, Emmami E, Alageel O, de Melo F, Seng F, Caron E, et al.*: Patient satisfaction with laser sintered removable partial dentures: a crossover pilot clinical trial. *J Prosthet Dent* 2017; 913: 303-309.
 14. *Tori M, Nakata T, Takahashi K, Kawamura N, Shimpo H, Ohkubo C*: Fitness and retentive force of cobalt-chromium alloy clasps fabricated with repeated laser sintering and milling. *J Prosthodont Res* 2018; 62(3): 342-346.
 15. *Nakata T, Shimpo H, Ohkubo C*: Clasp fabrication using one-process molding by repeated laser sintering and high-speed milling. *J Prosthodont Res* 2017; 6: 276-282.
- Zaakceptowano do druku: 22.01.2020 r.
Adres autorów: 02-097 Warszawa, ul. Binieckiego 6.
© Zarząd Główny PTS 2020.