

Dr inż. Grzegorz Bartnik: grzegorz.bartnik@up.lublin.pl
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Dr inż. Daniel Pieniak: danielp60@o2.pl
Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie
Dr hab. inż. Zbigniew Krzysiak: zbigniew.krzysiak@up.lublin.pl
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Dr inż. Andrzej Graboś: projekt@arkonadent.com
ARKONA Laboratorium Farmakologii Stomatologicznej
Dr inż. Waldemar Samociuk: waldemar.samociuk@up.lublin.pl
Dr hab. inż. Janusz Zarajczyk: janusz.zarajczyk@up.lublin.pl
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Doc Ing. František Brumerčík, PhD.: brumercikf@fstroj.uniza.sk
University of Žilina

KONCEPCJA ZASTOSOWANIA STOMATOLOGICZNYCH KOMPOZYTÓW ŚWIATŁOUTWARDZALNYCH W ELEMENTACH WYPOSAŻENIA SAMOCHODÓW Z WYKORZYSTANIEM TECHNIK CAX

Streszczenie: W artykule przedstawiono możliwość zastosowania kompozytów stomatologicznych jako materiału do renowacji i odtwarzania elementów designerskich w samochodach. Wykorzystano do tego techniki komputerowe w postaci programu Inventor, oprogramowanie obrabiarek CNC oraz drukarki 3D.

Słowa kluczowe: technika komputerowa, materiały konstrukcyjne, kompozyty stomatologiczne, design samochodowy.

THE CONCEPTION OF USING DENTAL COMPOSITE IN THE ELEMENTS CAR EQUIPMENT COMPONENTS USING TECHNIQUES CAX

Summary: This paper presents the possibility of dental composites as a material for restoration and reproduction of elements of design in automobiles. Used to computer technology in the form of Inventor software CNC machine tools and a 3D printer

Keywords: computer technology, construction materials, dental composites, automotive design.

1. WPROWADZENIE

Kompozyty mają zastosowanie jako materiały konstrukcyjne w wielu dziedzinach techniki, m.in. w budownictwie, w technice lotniczej i astronautyce, w przemyśle środków transportu kołowego i szynowego, w produkcji części maszyn, urządzeń i wyrobów sprzętu sportowego. Materiały kompozytowe składają się z części organicznej stanowiącej matrycę, w którą wbudowane są wypełniacze - związki nieorganiczne. Obydwie fazy materiału są połączone z sobą chemicznie przy udziale związków sprzęgających, stanowiących fazę wiążącą. Materiały kompozytowe należą do grupy plastycznych materiałów do wypełnień. Reakcja wiązania (twardnienia) polega na polimeryzacji żywicy stanowiącej matrycę kom-

pozytu. Następuje łączenie się wielu cząsteczek zawierających wiązania wielokrotne w jeden związek wielkocząsteczkowy, bez jakiegokolwiek produktu ubocznego. Polimeryzacja materiałów kompozycyjnych jest wolnorodniową polimeryzacją addycyjną.

Kompozyty polimeryzują (twardnieją) w dwojaki sposób: po zmieszaniu masy podstawowej z katalizatorem (dwuskładnikowe) albo po naświetleniu światłem o ściśle określonej długości fali świetlnej (jednoskładnikowe). W opisanym zastosowaniu wykorzystane zostały kompozyty światłoutwardzalne. W porównaniu do chemoutwardzalnych uzyskuje się gotowy produkt w nieporównywalnie krótszym czasie. W stomatologii stosuje się również obydwa rodzaje kompozytów, zarówno chemoutwardzalne jak i światłoutwardzalne.

Stosowane w stomatologii materiały kompozytowe były stopniowo ulepszone już od momentu swojego pojawienia się na rynku około 60 lat temu. Obecnie spektrum ich zastosowań pokrywa niemal cały zakres wskazań w stomatologii. Materiały kompozytowe światłoutwardzalne oparte na osnowie żywicy mają coraz szersze zastosowanie na stałe wypełnienia stomatologiczne. Właściwości kompozytów stomatologicznych, zwłaszcza ich wytrzymałość, twardość, możliwość obróbki skrawaniem a przede wszystkim łatwość nadawania pożądanych kształtów metodą przyrostową, stwarzają możliwości ich zastosowania w pracach renowacyjnych, tam gdzie konieczne jest wierne odtworzenie skomplikowanego kształtu elementu w całości lub tylko jego fragmentu.

Na przykładzie odrestaurowanego przez firmę ARKONA LFS samochodu Lancia Flavia (rok produkcji 1968) zaprezentowany zostanie sposób wykorzystania kompozytów stomatologicznych produkcji własnej: FlowColor (zielony i czerwony), kompozyt o zwiększonej wytrzymałości mechanicznej Boston, poliaramidowe włókna Podwiązka oraz uniwersalną, światłoutwardzalną żywicę nadającą efekt kosmetyczny wszystkim kompozytom – Boston Glazura do odtworzenia wybranych elementów designerskich wyposażenia wnętrza pojazdu [17]. Zastosowana metoda odtwarzania poszczególnych elementów samochodu wykorzystuje techniki CAx.

2. WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW

2.1. Funkcje materiału

Kompozyty stomatologiczne są to materiały odtwórcze. W nomenklaturze określa się je najczęściej akronimem RBCs (ResinBasedComposites) [3]. Materiałom tym stawia się zarówno wymagania funkcjonalne i konstrukcyjne. Pośród wymagań stawianych tym kompozytom można wyróżnić: dobre właściwości estetyczne, łatwość opracowania, kontrast w obrazie RTG, dobrą wytrzymałość mechaniczną i moduł sprężystości, odporność na ścieranie, właściwości technologiczne np. jak najmniejszy skurcz polimeryzacyjny oraz utwardzanie światłem, właściwości biochemiczne m.in. biokompatybilność i nietoksyczność, zdolność do pracy w wilgotnym środowisku i odporność na działanie podwyższonych i ujemnych temperatur.

2.2. Struktura

Kompozyty RBC charakteryzuje struktura wielofazowa, najczęściej złożona z dwóch podstawowych faz: polimerowej (organicznej) stanowiącej ok. 20-40% objętości materiału [14], zdyspergowanych w tej pierwszej wypełniaczy nieorganicznych stanowiących ok. 60% objętości materiału [1] (do 70-80% wag.) oraz fotoinicjatora.

Faza organiczna, zazwyczaj bazuje na światło utwardzalnych żywicach metakrylanowych. Wśród nich można wyróżnić: dimetakrylan eteru diglicydowego bis fenolu (Bis-

GMA), dimetakrylan glikolu trietylenowego (TEGMA), dimetakrylan uretanowy (UDMA), dimetakrylan polikarbonowy (PCDMA) [11].

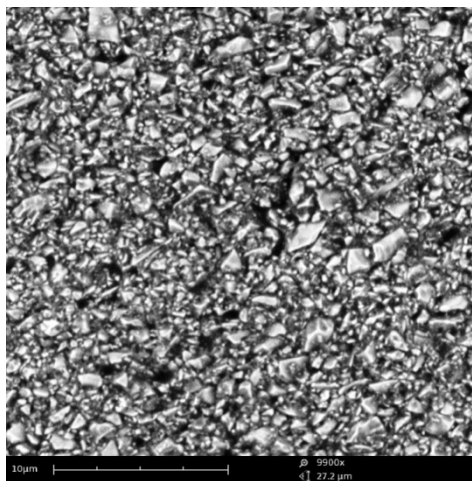
Ze względu na wielkość cząstek wypełniacza kompozyty takie dzielimy na makrokompozyty (wielkość cząsteczek od 1-30 μm , związki kwarcu, zmielone szkła, ceramika) lub mikrowypełnione kompozyty (wielkość cząsteczek od 0,007 do 0,04 μm), zawierające wypełniacze preparowane z dwutlenku krzemu lub uzyskiwane w inny sposób - prepolimerizowane (kompozyty hybrydowe) w wyniku postępowania technologicznego (1-200 μm), aglomerowane (1-25 μm) lub sferoidalne (20-30 μm) i nanowypełniacze (<100nm). Cząstki wypełniacza kompozytów hybrydowych zawierają najczęściej 70-80% wypełniacza opartego na szklach i 20-30% nanowypełniaczy [11]. Często stosuje się również dodatki cząstek cyrkonu, tytanu i tlenku aluminium o rozmiarach (250-500nm).

Oddzielną grupę RBC stanowią kompozyty typu „flowable” (Rys. 2.2.1), zawierają znacznie mniej wypełniacza, wg [11] 52-68%, stosuje się je zazwyczaj do niewielkich aplikacji lub do warstw pośrednich. Charakteryzują się gorszymi właściwościami mechanicznymi. Ciekawą grupę kompozytów, ze względu na możliwość aplikacji konstrukcyjnych, stanowią kompozyty typu „packable”, są to materiały o strukturze zbliżonej do uniwersalnych, zawierające więcej dużych cząstek wypełniacza, nawet połamane włókna.

W materiałach RBC istotne jest połączenie faz kompozytu. Aby umożliwić adhezję żywicy i wypełniacza stosuje się substancje wiążące np. silan winylu.

Rodzaj zastosowanych cząstek wypełniacza, ich wielkość oraz ilość, a także proporcje wypełniacza i żywicy decydują o własnościach estetycznych, mechanicznych, gęstości (konsystencji) i przeznaczeniu materiału kompozytowego. Ogólnie, im mniejszy jest średni rozmiar cząstek wypełniacza tym lepsza jest polerowalność i gładkość i, w konsekwencji, estetyka. Większe cząstki wypełniacza zapewniają większą odporność mechaniczną doraźną i mniejszy skurcz materiału. Natomiast, skurcz materiału wysoko koreluje z objętościowym udziałem wypełniacza w strukturze kompozytu [11].

Obecnie najpowszechniej występują kompozyty o strukturze nanohybrydowej. Coraz częściej wytwarza się kompozyty oparte na niskoskurczowych żywicach niemetakrylanowych [4] i/lub technologii nanowypełniaczy [7].



Rys. 2.2.1 Mikrostruktura hybrydowego kompozytu polimerowo-ceramicznego

2.3. Technologia utwardzania

Najbardziej rozpowszechnione są materiały RBC utwardzane światłem. Dotychczas, w tym celu, najczęściej wykorzystywano lampy halogenowe, obecnie na szeroką

skalę wykorzystuje się lampy diodowe (LED). Moc wyjściowa niebieskich LED ostatnio wzrosła, uzyskuje się gęstości mocy na poziomie 500 mW/cm^2 , prowadzone prace rozwojowe pozwalają na uzyskanie natężenia promieniowania zbliżonego lub wyższego od światła lamp halogenowych. Stwierdzono, że lampy LED pozwalają na uzyskanie zbliżonych własności mechanicznych kompozytu do uzyskanych po zastosowaniu lampy HAL przy mniejszym natężeniu promieniowania [13,15]. Ponadto, lampy LED są łatwiejsze i tańsze w eksploatacji [16].

2.4. Właściwości

W kontekście zastosowań technicznych kluczowe znaczenie mają właściwości mechaniczne kompozytów RBC. Porównanie RBC z polimerowymi kompozytami konstrukcyjnymi i funkcjonalnymi zawierającymi wypełniacze proszkowe nie jest łatwe. Podstawowe właściwości mechaniczne kompozytów polimerowo – ceramicznych:

- Wytrzymałość na zginanie (BS): 70-150MPa [8, 9, 11]
- Wytrzymałość na ściskanie (CS): 200-400MPa
- Średnicowa wytrzymałość na rozciąganie (DTS): 30-60MPa
- Moduł sprężystości statyczny (E): 3-15GPa [5,11]
- Liczba Poissona (ν): 0,3-0,5 - zazwyczaj niższą wartość przyjmują kompozyty z mikro wypełniaczami, wyższą kompozyty typu „flow”[6,10],
- Twardość (H): 200-1000MPa

Wadą kompozytów tego typu jest niewysoka wytrzymałość mechaniczna, którą próbuje się poprawiać poprzez stosowanie odpowiednich wypełniaczy. Jednakże stosowanie wypełniaczy nie ogranicza kruchości kompozytów, są one znacznie bardziej kruche od metali. W badaniach stwierdzono, że kompozyty te są mało odporne na szybki wzrost pęknięć. Ponadto, charakteryzuje je ograniczona zdolność przenoszenia obciążeń dynamicznych i o charakterze udarowym, nie jest zbadany również wpływ drgań mechanicznych na ich strukturę.

Wydaje się możliwe wyłącznie, wykorzystanie RBC przy wytwarzaniu elementów o niewielkich wymiarach i złożonych kształtach o cechach estetycznych, których powierzchnia musi posiadać odpowiednie właściwości tribologiczne. Istnieje możliwość ich stosowania w doraźnych, polowych działaniach naprawczych przy wsparciu narzędzi inżynierii odwrotnej. Obecnie znane są zastosowania materiałów światłoutwardzalnych, co prawda o innej strukturze i właściwościach, w technologii warstwowego wydruku 3D. Warto, również zaznaczyć, że kompozyty takie cechuje dobra podatność na obróbkę skrawaniem.

Poprawę właściwości konstrukcyjnych, nie tylko mechanicznych można uzyskać przez stosowanie wzmocnień. Stosuje się wzmocnione pasmami włókien połączonych bez skrętu lub tkanin włókien [2], najczęściej szklanych lub aramidowych [12]. Jednakże, takie struktury cechują zupełnie inne, zazwyczaj lepsze właściwości mechaniczne.

3. WYKONYWANIE ELEMENTÓW

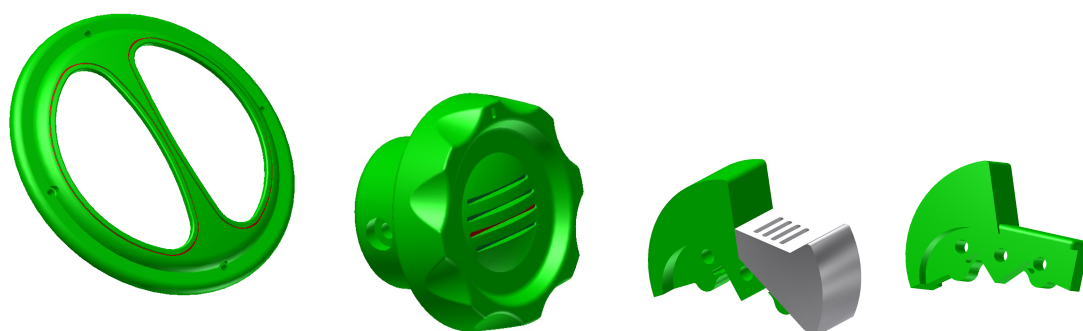
W przedstawionym przykładzie kompozyty stomatologiczne zostały wykorzystane jako materiał, z którego odtworzono elementy designerskie wyposażenia wnętrza samochodu. Rys. 3.1 przedstawia wnętrze samochodu lancia Flavia po przeprowadzeniu renowacji. Wszystkie widoczne na zdjęciu elementy w kolorze zielonym są wykonane z kompozytów stomatologicznych.



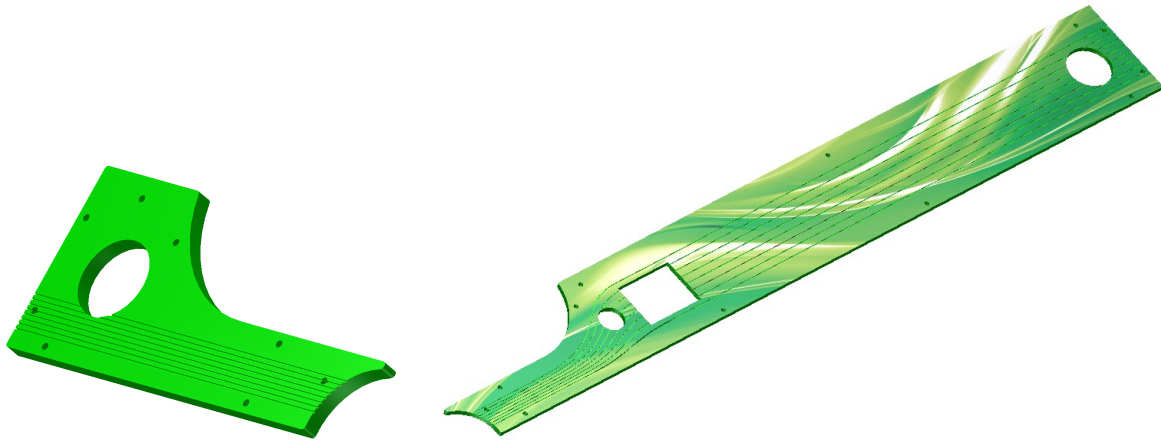
Rys. 3.1 Wnętrze Lancii Flavia po renowacji kompozytami [16]

Dla każdego elementu, który ma być odtworzony w kompozycie, sporządzony zostaje rysunek techniczny w programie Inventor. W przypadku elementów o opływowych kształtach, trudnych do wymiarowania i odtworzenia w formie rysunku technicznego, dany element był skanowany a następnie zapisywany w programie kompatybilnym z Inventorem.

Każdy element, którego kształt został udokumentowany (po wykonaniu pomiarów lub skanowaniu) jest rekonstruowany jako model o wymiarach rzeczywistych wykonany na drukarce 3D lub wyfrezowany na obrabiarkie CNC. Uzyskany w ten sposób model jest odciskany w masie wyciskowej a następnie w otrzymanej formie poprzez nakładanie kolejnych warstw kompozytu FlowColor i Bond uzyskuje się pożądany kształt i wzór (Rys. 3.2). W przypadku dużych, płaskich powierzchni tworzona była forma pozwalająca na wypełnienie jej kompozytem w kształcie odpowiadającym oryginalnej części (Rys. 3.3). Po zakończeniu odtwarzania żądanej części pokrywany jest on warstwą glazury Boston Glazura. Wszystkie materiały wykorzystane do odbudowy elementów samochodu wyprodukowane zostały przez Arkona LFS.



Rys. 3.2 Elementy wyposażenia wykonywane na drukarce 3D [16]



Rys. 3.3 Elementy deski rozdzielczej [17]

Zarówno sposób wykonywania odrestaurowywanych elementów jak również spełnianie przez nie oczekiwań użytkownika oraz ponoszone koszty, zarówno wykonania jak i późniejszej eksploatacji, musi być zgodne z obowiązującymi wymaganiami eksploatacyjnymi, technologicznymi jak i ekonomicznymi.

Wymagania eksploatacyjne traktują o przystosowaniu konstrukcji do bezawaryjnej realizacji ustalonych zadań, wytrzymałości mechanicznej i odporności na zużycie, odporności na działanie korozyjne środowiska, zabezpieczeniu przed przeciążeniem itp. Wymagania ekonomiczne określają rentowność osiąganą dzięki małym kosztom wytwarzania przy jednocześnie wysokiej wydajności maszyny i niedużemu zużyciu surowca. Wymagania technologiczne sprowadzają się do warunków dotyczących prostoty technologicznych procesów, łatwego montaż i demontaż, a także możliwości dokonywania napraw maszyn prostymi sposobami.

W opisywanym przypadku zastosowany materiał, do tej pory powszechnie nie stosowany w tego typu pracach oraz proponowana technologia ich wykonywania, wymagają kompleksowych badań idących w kierunku optymalizacji, zarówno technologii wykonywania prac renowacyjnych z zastosowaniem kompozytów, jak i dostosowywania ich właściwości do potrzeb eksploatacyjnych.

4. PODSUMOWANIE

Zaprezentowany sposób wykorzystania kompozytów stomatologicznych jest działaniem innowacyjnym. Zastosowana technologia odtwarzania wymienianych elementów wykorzystuje techniki komputerowe, bez użycia których ich wykonanie byłoby bardzo pracochłonne a w niektórych przypadkach wręcz niemożliwe na żądanym poziomie jakościowym wykonawstwa. Poszukiwanie nowych zastosowań znanych materiałów zawsze wymaga przeprowadzania kompleksowych badań pozwalających na dobranie odpowiednich parametrów technologicznych jak i wykorzystanie inherentnych właściwości stosowanego materiału bądź wykonanie jego modyfikacji koniecznych w proponowanym użyciu.

Zastosowany program Inventor do modelowania i zapisu dokumentacji technicznej poszczególnych części wyposażenia wnętrza samochodu spełnił swoją funkcję oraz umożliwił utworzenie modeli cyfrowych niezbędnych do uzyskania form wyciskowych na kompozyt stomatologiczny.

Nowoczesna technika druku 3D spełniła ważną rolę w dokładnym odzwierciedleniu kształtu fizycznych prototypowych modeli poszczególnych elementów wykonywanych na podstawie modeli cyfrowych.

Światłoutwardzalne kompozyty stomatologiczne w rekonstrukcji elementów samochodu szczególnie są przydatne do wypełnień ubytków (odłamań, wykruszeń) oraz małych elementów nierozłącznych w miejscach trudnodostępnych, które eliminują zastosowanie innych technik.

LITERATURA

- [1] Andrzejczuk M., Lewandowska M., Kurzydłowski K.J., Właściwości mechaniczne światłoutwardzalnych kompozytów zbrojonych mikro- i nanocząstkami, *Kompozyty (Composites)*, 2005, (5)1, 75–79
- [2] Fejdyś M., Łandwajt M., Włókna techniczne wzmacniające materiały kompozytowe, *Techniczne Wyroby Włókiennicze* 2010;1-2:12-22.
- [3] Finlay Nessa, Hahnel Sebastian, Dowling Adam H., Fleming Garry J.P.. The in vitro wear behavior of experimental resin-based composites derived from a commercial formulation. *Dental materials* 29 (2013) 365–374
- [4] Guggenberger R, Weinmann W. Exploring beyond methacrylates. *American Journal of Dentistry* 2000;13:82D–4D.
- [5] Heintze S.D., Zellweger G., Zappini G. The relationship between physical parameters and wear of dental composites. *Wear* 263 (2007) 1138–1146
- [6] Masouras Konstantinos, Silikas Nick, Watts David C. Correlation of filler content and elastic properties of resin-composites. *dental materials* 24 (2008) 932–939
- [7] Mitra SB, Wu D, Holmes BN. An application of nanotechnology in advanced dental materials. *Journal of American Dental Association* 2003;134:1382–90.
- [8] Palin William M., Fleming Garry J.P., Burke F.J. Trevor, Marquis Peter M., Randall Ros C.. The reliability in flexural strength testing of a novel dental composite. *Journal of Dentistry* (2003) 31, 549–557
- [9] Ramalhon, M.D. Carvalho Bragade, Antunes P.V.. Effects of temperature on mechanical and tribological properties of dental Restorative composite materials. *Tribology International* 163 (2013) 186–195
- [10] Sew Meng Chunga, Adrian U Jin Yapa, Wee Kiat Kohb, Kuo Tsing Tsaic, Chwee Teck Limd. Measurement of Poisson's ratio of dental composite restorative materials. *Biomaterials* 25 (2004) 2455–2460
- [11] Shalaby W. Shalaby, Ulrich Salz. *Polymers for dental and orthopedic applications*. CRC Press, Boca Raton 2007
- [12] Singha K., A short review on basalt fiber, *International Journal of Textile Science* 2012;1:19-28.
- [13] Stahl F., Ashworth SH, Jandt KD, Mills RW. Light-emitting diode (LED) polymerisation of dental composites: flexural properties and polymerisation potential. *Biomaterials* 2000;21:1379-85.
- [14] Szafran M., Rokicki G., Bobryk E., Szczęsna B., Effect of filler's surface treatment on mechanical properties of ceramic–polymer composites used in dentistry, *Kompozyty (Composites)*, 2006, (6)3, 78–82.

- [15] Uhl Alexander, Millsb Robin W., Rzannyc Angelika E., Jandt Klaus D., Time dependence of composite shrinkage using halogen and LED light curing. *Dental Materials* (2005) 21, 278–286
- [16] Wiggins, K.M., Hartung, M., Althoff, O., Wastian, C., Mitra, S.B., 2004. Curing performance of a new-generation light-emitting diode dental curing unit. *JADA* 135, 1471-1479.
- [17] [www. arkonadent.com](http://www.arkonadent.com) (sierpień 2014)