

# Materiały ceramiczne dla protetyki stomatologicznej – właściwości optyczne i mikrostrukturalne wybranych materiałów cyrkonowych

## Streszczenie

Celem badań było wybranie metody oznaczania przeświecalności, porównanie cech optycznych wybranych materiałów cyrkonowych, a także próba określenia zależności przeświecalności od wybranych właściwości fizycznych i cech mikrostrukturalnych materiałów cyrkonowych.

Przygotowano i zbadano próbki komercyjnych materiałów cyrkonowych stosowanych w protetyce stomatologicznej w zakresie ich podstawowych właściwości fizycznych i optycznych (gęstość pozorna, barwa, przeświecalność, białosc). Ponadto wykonano badania mikroskopowe morfologii porów i ziaren oraz przeprowadzono ocenę zależności przeświecalności od właściwości fizycznych i budowy materiałów cyrkonowych.

Scharakteryzowano właściwości optyczne badanych materiałów cyrkonowych i wskazano właściwości, które miały największy wpływ na przeświecalność materiałów.

**Słowa kluczowe:** protetyka stomatologiczna, materiały cyrkonowe, przeświecalność, mikrostruktura.

## Ceramic materials for dental prosthetics – optical and microstructural properties of zirconia ceramics

### Abstract

The aim of the work was to select the method of determine the value of translucency, a comparison of the optical characteristics of the selected zirconia materials, as well as an attempt to determine the relationships between the translucency and selected physical properties and microstructure characteristics of zirconia materials.

The samples of commercial zirconia materials used in prosthetic dentistry were prepared and studied their basic physical and optical properties (apparent density, color, translucency, whiteness). Microscopic examination of pores and grain morphology was also performed, as well as translucency dependence on the physical properties and structure of zirconia ceramics was evaluated.

In summary, characteristics in terms of the optical properties of the test materials were achieved and properties that, based on the research, had the greatest impact on translucency of materials were indicated.

**Keywords:** dental prosthetics, zirconia materials, translucency, microstructure.

## Wprowadzenie

W nowoczesnej protetyce stomatologicznej szczególnie duży nacisk kładzie się na estetykę odbudowy zarówno ubytków zębowych, jak też stałych uzupełnień protetycznych. Istotne znaczenie dla ich wyglądu estetycznego, a tym samym dla nierozróżnialności sztucznych koron od naturalnych zębów ma przeświecalność materiału, z którego wykonana jest podbudowa uzupełnienia.

Porównawcze badania przeświecalności w połączeniu z badaniami mikrostruktury materiałów cyrkonowych mają szansę pomóc w wyjaśnieniu wpływu mikrostruktury na przeświecalność tego typu materiałów. Problem jest ważny, gdyż największy wysiłek badawczy producentów materiałów dla protetyki jest skierowany w ostatnich latach na poprawienie cech estetycznych uzupełnień protetycznych, co w głównej mierze zależy od cech optycznych użytych materiałów. Jednakże zarówno literatura fachowa jak i informacje firm komercyjnych zawierają

niewiele danych liczbowych dotyczących przeświecalności materiałów. W opisach komercyjnych materiałów ceramicznych stosowanych w protetyce stomatologicznej większość producentów praktycznie nie podaje wartości liczbowych dotyczących takich cech optycznych, jak: przeświecalność i barwa. Szczególnie w przypadku przeświecalności utrudnia to porównywanie jakości oferowanych materiałów. Odrębnym problemem jest brak unifikacji metod oceny przeświecalności materiałów, co dodatkowo komplikuje porównywanie wartości podawanych przez producentów.

Przegląd literatury dotyczącej właściwości materiałów stosowanych w protetyce stomatologicznej pokazuje, że dane dotyczące przeświecalności materiałów znalazły się w znikomej ilości publikacji. W większości z nich nie została szczegółowo opisana metodyka badania, natomiast wszystkie bazowały na ocenie przeświecalności poprzez pomiar współczynnika kontrastu CR spektrofotometrem LabScan XE [np. 1–4]. Inny poziom szczegółowości opisu właściwości optycznych można



znaleźć wśród publikacji poświęconych ceramicznym materiałom przezroczystym [np. 5–8]. Autorzy wyraźnie rozróżniają transmisję liniową (*real in-line transmission*) i transmisję całkowitą (*total forward transmission*). Każda z tych właściwości jest badana w innym układzie optycznym i – w zależności od zakresu długości fali świetlnej – przy pomocy różnych typów spektrofotometrów i spektrometrów. Często w publikacjach pokazywany jest także wizualny efekt przezroczystości materiałów, a metody oceny zależą wyłącznie od kreatywności autorów doniesień.

Stąd celem prac opisanych w artykule było wybranie metody oznaczania przeświecalności, porównanie cech optycznych wybranych materiałów cyrkonowych, a także próba określenia zależności przeświecalności od wybranych właściwości fizycznych i cech mikrostrukturalnych materiałów cyrkonowych.

## Materiały i metody badań

Przeprowadzono badania porównawcze na tworzywach wytworzonych z następujących surowców cyrkonowych:

- BQ-3Y-SD (BQ) – granulatu firmy Morgan
- TZ 3YB-E (TZ) – granulatu firmy Tosoh,
- TZ-PX-242A (PX) – granulatu firmy Tosoh,
- Zpex (ZPEX) – granulatu firmy Tosoh,
- GY3Z N-100 (N100) – granulatu firmy Saint Gobain,
- Granulat cyrkonowy (CH) – firmy Jiazuo Weina
- Prettau (PRETTAU) – blok cyrkonowy do technik CAD/CAM firmy Zircoznahn,
- Granulat cyrkonowy (TIAG) – firmy Treibacher AG,

Dostępne informacje o składach chemicznych użytych materiałów zamieszczono w tabeli 1.

Z materiałów: BQ, TZ, PX, ZPEX, N100, CH i TIAG, wyprasowano jednoosowo po 10 szt. próbek badawczych w formie walca o średnicy 18 mm i wysokości ok. 5 mm, które dogęszczono izostatycznie pod ciśnieniem 250 MPa. Z bloku cyrkonowego PRETTAU wycięto 10 szt. próbek o grubości ok. 5 mm. Aby ocenić wpływ temperatury spiekania na przeświecalność materiałów, część próbek wypalono w temperaturach (tabela 2) zalecanych przez producentów granulatu, a część w temperaturach o 150°C wyższych. Wszystkie wypalone próbki badawcze poddano procesowi obustronnego szlifowania do wymiaru  $1\pm 0,05$  mm i polerowania do uzyskania lustrzanej powierzchni.

Ocenę zagęszczenia wypalonych materiałów przeprowadzono wyznaczając gęstości pozorne metodą ważenia hydrostatycznego. Ocenę przeświecalności, białości i barwy wykonano przy pomocy spektrofotometru LabScan XE (HunterLab) o geometrii 45°/0, z zastosowaniem szczeliny pomiarowej 0,25 cala, przy oświetleniu  $D_{65}$ , w warunkach obserwacji 10°. Ilościowe oznaczenie przeświecalności polegało na porównaniu współczynnika odbicia światła przez próbkę umieszczoną na tle o wysokim współczynniku odbicia, do takiego na tle o niskim współczynniku odbicia. W wyniku pomiarów dla każdej próbki badawczej wyznaczono współczynnik kontrastu CR, wyrażony w%:

$$CR = \frac{Y_b}{Y_w} \cdot 100$$

gdzie:  $Y_b$  jest współczynnikiem odbicia dla próbki umieszczonej na czarnym tle, a  $Y_w$  jest współczynnikiem odbicia dla próbki umieszczonej na białym tle.

Wartości współczynnika kontrastu zbliżają się do 100% dla materiałów nieprzezroczystych, a są równe zero dla idealnie przezroczystych [1]. Jednak do porównawczej oceny przeświecalności materiałów wygodniej jest operować wartościami dopełnień do 100% współczynnika kontrastu. Przeliczone w ten sposób wartości nazwano przeświecalnością.

Badania mikrostruktury materiałów przeprowadzono metodą obserwacji w wysokorozdzielczym skaningowym mikroskopie elektronowym, stosując detektory elektronów wtórnych. Analizie w warunkach wysokiej próżni, poddano próbki napyłone przewodzącą warstwą złota. Do oceny stopnia zagęszczenia badanych materiałów przygotowano próbki polerowane. Badania cech morfologicznych materiałów przeprowadzono drogą obserwacji powierzchni próbek polerowanych i trawionych termicznie w temperaturach o 100°C niższych od temperatur spiekania. Do celów dokumentacyjnych wykonano zdjęcia powierzchni badanych próbek przy powiększeniach 2000× i 50 000×.

Określenie rozmiarów ziaren w materiałach cyrkonowych przeprowadzono metodą planimetryczną z wykorzystaniem komputerowej analizy obrazu [9]. Polegała ona na przekształceniu obrazu SEM mikrostruktury na czarno-biały obraz zarysów granic międzyziarnowych, a następnie zmierzeniu przy pomocy odpowiedniego programu komputerowego pola przekroju każdego ziarna i przeliczeniu na ekwiwalentne koło. Średnica takiego koła była umowną średnicą zastępczą ziarna  $E(d_2)$ .

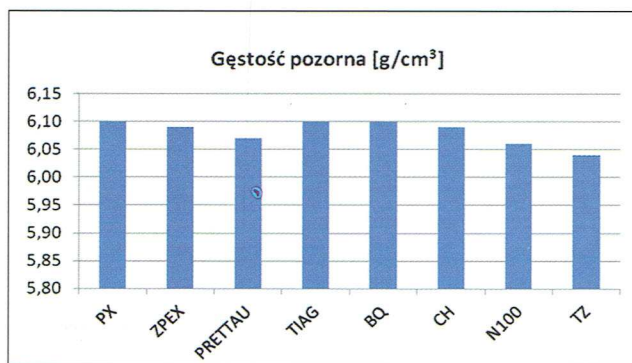
Tabela 1. Składy chemiczne (oprócz zawartości  $ZrO_2$ ) surowców cyrkonowych – dane producentów

Symbol materiału	Zawartość tlenków [%wag]							
	$Y_2O_3$	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$Fe_2O_3$	$Na_2O$	CaO	MgO	$TiO_2$
BQ	$ZrO_2 + HfO + Y_2O_3 = 99,9$							
TZ	5,27	0,255	0,005	$\leq 0,002$	0,015			
PX	5,32	0,047	$\leq 0,002$	$\leq 0,002$				
ZPEX	5,35	0,048	$\leq 0,002$	$\leq 0,002$				
N100	5,40	0,25	0,01	0,002	0,01	0,01	0,002	0,002
CH	5,15	$\leq 0,01$	$\leq 0,02$	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$			$\leq 0,01$
PRETTAU	4+6	<1	$\leq 0,02$	$\leq 0,01$	$\leq 0,04$			
TIAG	5,25	<0,21	<0,015	<0,0015				0,002



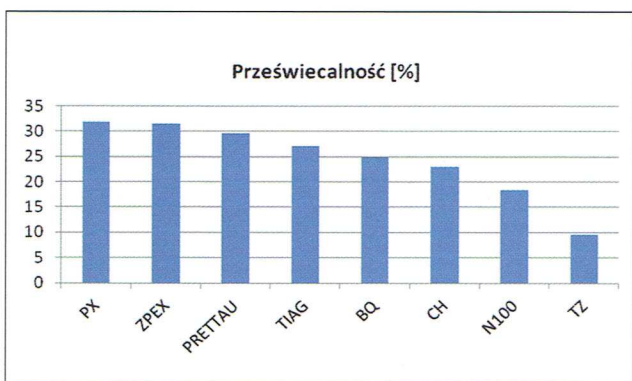
## Omówienie wyników badań

Wyniki oznaczeń gęstości pozornej materiałów cyrkonowych (tab. 2) zawierają się pomiędzy 6,04 a 6,11 g/cm<sup>3</sup>. Dla temperatur zalecanych przez producenta większość materiałów charakteryzuje się gęstościami 6,09÷6,10 g/cm<sup>3</sup>, co mieści się na dobrym poziomie w tej grupie materiałów ceramicznych (rys. 1). Do grupy o niższej gęstości (6,04÷6,07) zaliczyć można materiały TZ, N100 i PRETTAU. Dla większości materiałów, ze wzrostem temperatury wypalania rośnie gęstość pozorna. Wyjątkiem są materiały N100 i CH, należące do grupy materiałów o niższej gęstości.



Rys. 1. Wartości gęstości pozornej wybranych materiałów cyrkonowych wypalonych w temperaturach zgodnych z zaleceniami producentów

Przeświecalność badanych materiałów zawiera się w granicach 9,6÷31,9% (rys. 2). Generalnie wyższymi wartościami przeświecalności cechują się materiały o wyższej gęstości pozornej (6,09÷6,10 g/cm<sup>3</sup>), takie jak: PX, ZPEX, BQ, TIAG). Wyjątkiem jest materiał PRETTAU, którego gęstość nie jest wysoka (6,07 g/cm<sup>3</sup>), a przeświecalność dorównuje najlepszym materiałom pod tym względem. Wśród materiałów wyróżnić można dwie grupy różniące się zależnością przeświecalności od temperatury (tab. 2). W grupie pierwszej (BQ i CH) przeświecalność wyraźnie (o ok. 25%) obniża się ze wzrostem temperatury, natomiast w drugiej przeświecalność pozostaje praktycznie niezmienna (TZ, ZPEX, N100) lub obniża się nieznacznie (PX).

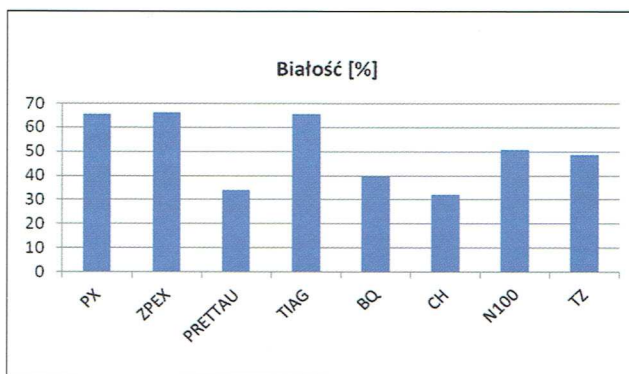


Rys. 2. Wartości przeświecalności wybranych materiałów cyrkonowych wypalonych w temperaturach zgodnych z zaleceniami producentów

Białość, czy też współczynnik białości, jest to wyrażony w procentach stosunek współczynnika odbicia powierzchni mierzonej próbki do współczynnika odbicia idealnej powierzchni rozpraszającej (standardu białości), oświetlanych i obserwowanych w jednakowych warunkach.

Ideą pomiaru białości była hipoteza, że parametr ten ma związek z czystością surowca cyrkonowego, a czystość wpływa na przeświecalność materiału uzyskanego z danego surowca. Najwyższą białością charakteryzują się materiały: PX, ZPEX i TIAG, natomiast najniższą – materiały CH i PRETTAU (tab. 2, rys. 3). Zakładając, że białość (WI CIE) ma związek z czystością surowca cyrkonowego, materiały: PX, ZPEX i TIAG wytworzone zostały z surowca o najwyższej czystości chemicznej (być może z tego samego surowca), natomiast materiał CH i BQ – z surowca o niższej czystości.

Niską białością charakteryzuje się także materiał PRETTAU. Z racji jednak na inne jego właściwości (wysoką przeświecalność i bardzo jednorodną mikrostrukturę) wydaje się, że niska białość w tym wypadku może wynikać z celowo dodanych do surowca cyrkonowego substancji, które podnoszą przeświecalność tego materiału (np. środków ułatwiających procesy spiekania lub substancji szkłotwórczych).



Rys. 3. Wartości białości wybranych materiałów cyrkonowych wypalonych w temperaturach zgodnych z zaleceniami producentów

Oznaczenie parametrów barwy materiałów cyrkonowych (rys. 4) wykonano w podobnym celu jak określenie białości. Barwy wszystkich badanych materiałów są przesunięte w kierunku barwy zielono-żółtej. Z jednej strony, można wyraźnie wyróżnić grupę materiałów (PX, ZPEX i TIAG), które cechują się najmniejszym odcieniem żółtym, co zgadza się dość dobrze z wynikami pomiaru współczynnika białości. Z drugiej, najbardziej oddalony od współrzędnych {0,0} jest materiał PRETTAU, co tłumaczy jego niski współczynnik białości.

Analizę stopnia i jakości zagęszczenia prowadzono drogą obserwacji powierzchni polerowanych próbek badanych materiałów cyrkonowych w mikroskopie skaningowym (rys. 5). Obserwacje wykazały istotne różnice jakości zagęszczenia poszczególnych materiałów.

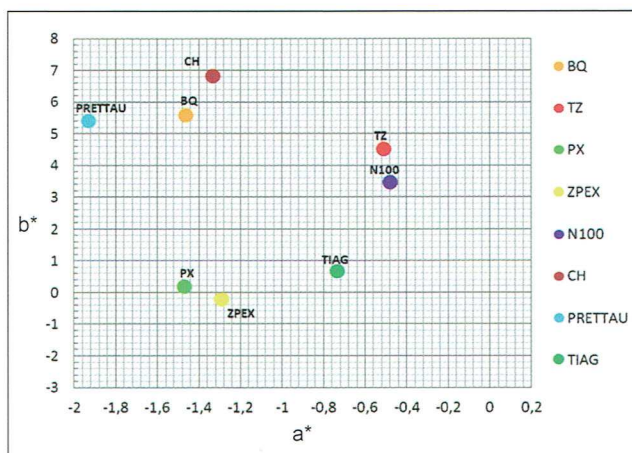
Do najlepiej zagęszczonych można zaliczyć materiały PX, ZPEX i PRETTAU, które cechują się jednorodną budową bez widocznych błędów formowania. Zaobserwowano minimalną porowatość w postaci pojedynczych izomorficznych porów o wielkości nie przekraczającej 2÷3µm. Nie zaobserwowano zmian w mikrostrukturze po wypaleniu w wyższej temperaturze.



Tabela 2. Wyniki oznaczeń gęstości pozornej i przeświecalności materiałów cyrkonowych

Symbol próbki	Temperatura spiekania [°C]	Gęstość pozorna [g/cm <sup>3</sup> ]	Porowatość całkowita [%]*	Przeświecalność [%]	Białość WI CIE	Średnia średnica zastępcza ziarna E(d <sub>2</sub> ) [μm]	Charakter porowatości (opis w oparciu o obrazy mikroskopowe)
BQ-1500	1500	6,10	0,33	24,9	39,64	0,36	Nieliczne pory duże, pojedyncze pory małe
BQ-1650	1650	6,09	0,49	18,5	46,69	0,85	Nieliczne pory duże, niewielka ilość porów małych
TZ-1350	1350	6,04	1,31	9,6	48,48	0,19	Liczne pory małe, niewielka ilość porów średnich
TZ-1500	1500	6,07	0,82	9,6	46,91	0,40	Liczne pory małe, średnio liczne pory średnie
PX-1450	1450	6,10	0,33	31,9	65,59	0,26	Nieliczne pory średnie
PX-1600	1600	6,11	0,16	30,6	63,96	0,64	Nieliczne pory średnie
ZPEX-1450	1450	6,09	0,49	31,6	66,16	0,27	Nieliczne pory średnie
ZPEX-1600	1600	6,11	0,16	31,9	67,57	0,65	Nieliczne pory średnie
N100-1450	1450	6,06	0,98	18,4	50,72	0,31	Liczne pory duże (do 50 μm), mniej liczne pory średnie i małe
N100-1600	1600	6,04	1,31	18,5	47,56	0,79	Liczne pory duże i średnie, mniej liczne pory małe
CH-1500	1500	6,09	0,49	23,1	31,97	0,35	Średnia ilość porów dużych (do 30μm), średnia ilość porów małych
CH-1650	1650	6,06	0,98	16,7	34,36	0,81	Średnia ilość porów dużych (do 30 μm), średnia ilość porów małych
PRETTAU	1600	6,07	0,82	29,7	33,82	0,62	Nieliczne pory średnie
TIAG	1450	6,10	0,33	27,1	65,58	0,30	Średnio liczne pory średnie i Nieliczne pory duże (do 20 μm)

\* – do obliczeń przyjęto gęstość teoretyczną Y-TZP – 6,12 g/cm<sup>3</sup> za <http://iadr.confex.com/iadr/2012rio/webprogram/Paper161887.html>



Rys. 4. Graficzna interpretacja barw badanych materiałów cyrkonowych

Obrazy mikrostruktury materiału BQ pokazują jednorodne i dobre zagęszczenie. Widoczne są jednak pojedyncze pory o wydłużonym lub rozgałęzionym kształcie, które są pozostałościami po największych pustkach powstałych w czasie formowania próbek. Jednakże w materiale wypalonym w temperaturze 1650°C zaobserwowano większą ilość porów okrągłych o wielkości ok. 2÷5 μm.

Cechą charakterystyczną mikrostruktury próbek z materiału TZ jest występująca równomiernie na powierzchni próbki, duża ilość małych porów (poniżej 1μm) – ze wzrostem temperatury wypalania rośnie wielkość tych porów, a zmniejsza się ich ilość. Oprócz tego występują skupiska większych porów o nieregularnych kształtach. Nie stwierdzono natomiast porów będących wynikiem błędów formowania.

Materiał TIAG cechuje się jednorodnym zagęszczeniem bez większych błędów formowania. W przypadku tego materiału charakterystyczne jest występowanie sporej ilości izomorficznych porów o wielkości 3÷5μm i brak porów małych poniżej 1μm.

Obraz mikrostruktury materiału CH wykazuje dużą ilość porów o różnych kształtach i wielkości do nawet 30μm, a także drobne pory poniżej 1μm. Obraz budowy materiału nie zmienia się po wypaleniu w wyższej temperaturze.

Najgorzej zagęszczonym spośród wszystkich badanych materiałów jest materiał N100. Występuje w nim wiele porów dużych o różnorodnych kształtach i wielkościach dochodzących do 40μm. Zaobserwować można pory w kształcie pęknięć i szczelin, prostych i rozgałęzionych, co może świadczyć o niepełnym zniszczeniu i zintegrowaniu granул granulatu w trakcie prasowania.



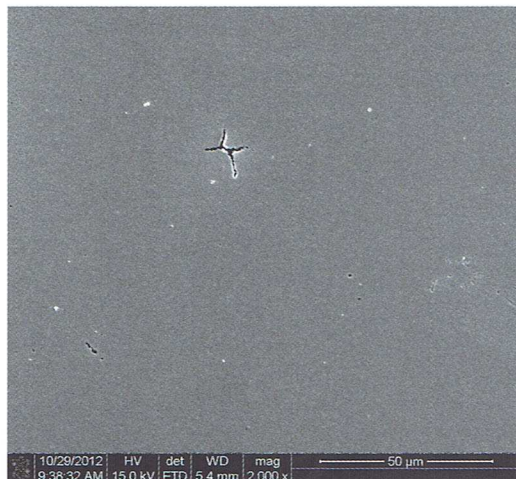
Na potrzeby analizy wpływu wielkości i kształtu porów na przeświecalność, podzielono pory występujące w materiałach na trzy grupy (świadomie pominięto możliwe pory powstające w trakcie przygotowania próbek mikroskopowych):

- pory wynikłe z niedoskonałości formowania próbek (duże),
- pory będące następstwem niedoskonałości spiekania próbek (średnie),
- szczątkowe pory spiekania (małe).

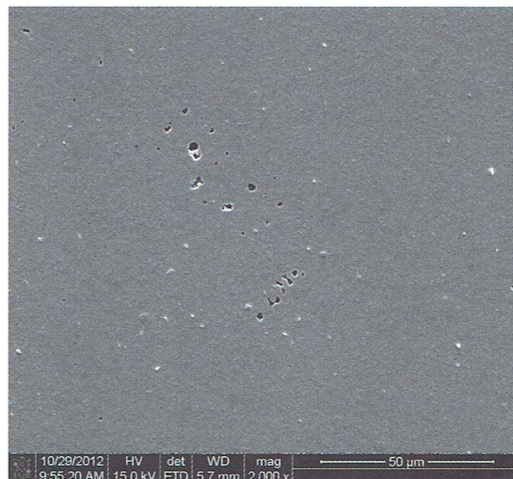
Można stwierdzić, że duży wpływ na przeświecalność ma ilość porów (tab. 2). Materiały o zbliżonej gęstości,

cechujące się większą ilością drobnych porów (np. zbyt nisko lub krótko wypalone) mają niższą przeświecalność od materiałów dobrze spieczonych ale gorzej zagęszczonych w procesie formowania.

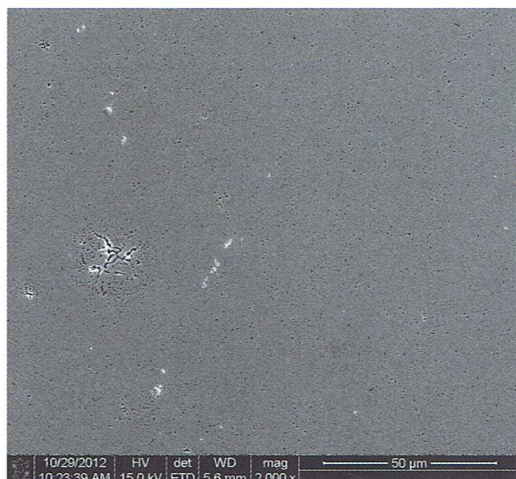
Charakter porowatości w połączeniu z wcześniejszymi badaniami parametrów technologicznych poszczególnych materiałów upoważniają do stwierdzenia, że duży wpływ na proces formowania, a w efekcie na stopień zagęszczenia i jednorodność mikrostruktury poszczególnych materiałów mają różne zdolności granulatów do zagęszczania w procesie prasowania.



BQ-1500



BQ-1650



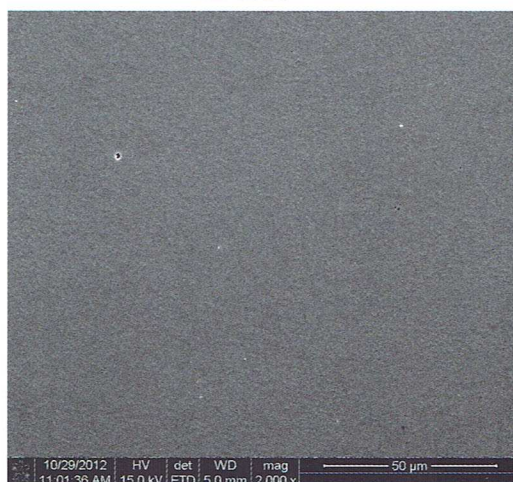
TZ-1350



TZ-1500

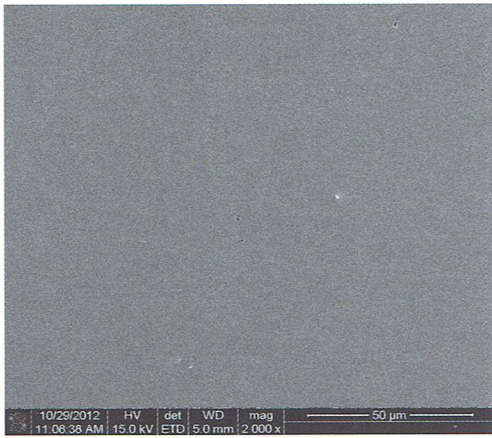


PX-1450



PX-1600

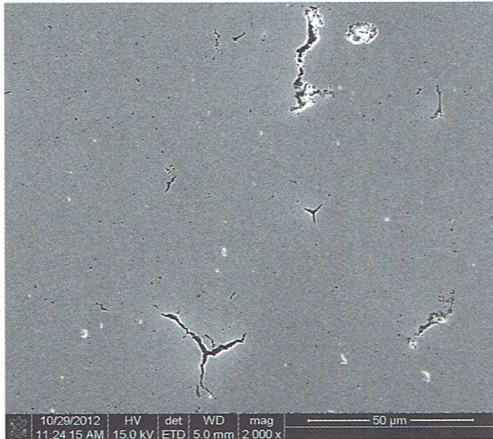




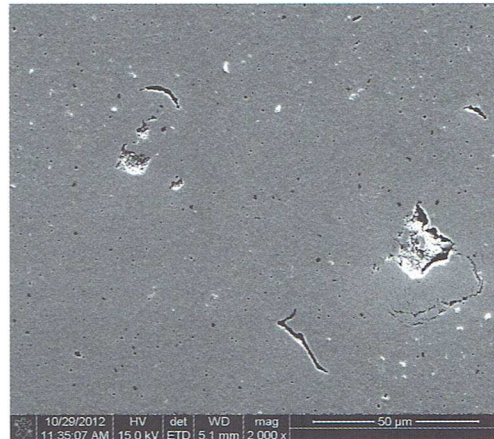
ZPEX-1450



ZPEX-1600



N100-1450



N100-1600



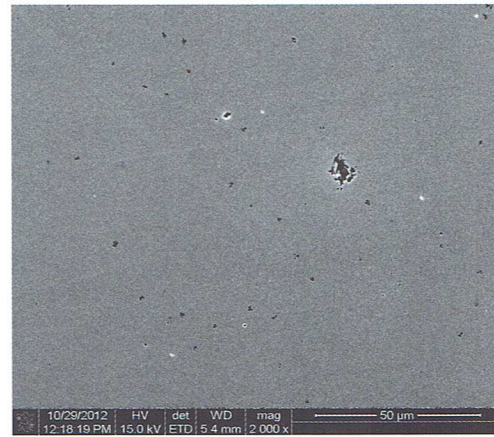
CH-1500



CH-1650



PRETTAU



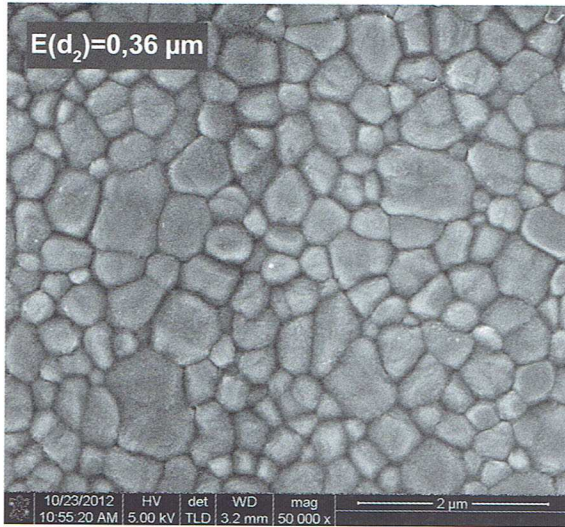
TIAG

Rys. 5. Obrazy morfologii porowatości badanych próbek materiałów cyrkonowych (obrazy SEM powierzchni polerowanej, powiększenie 2000×)

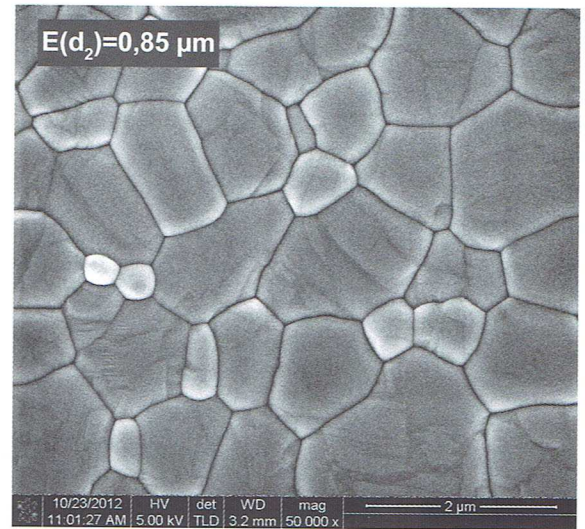


Na podstawie obrazów mikroskopowych powierzchni trawionych badanych materiałów (rys. 6) można stwierdzić, że wszystkie charakteryzują się drobnoziarnistą mikrostrukturą o zróżnicowanej wielkości i izomorficznym

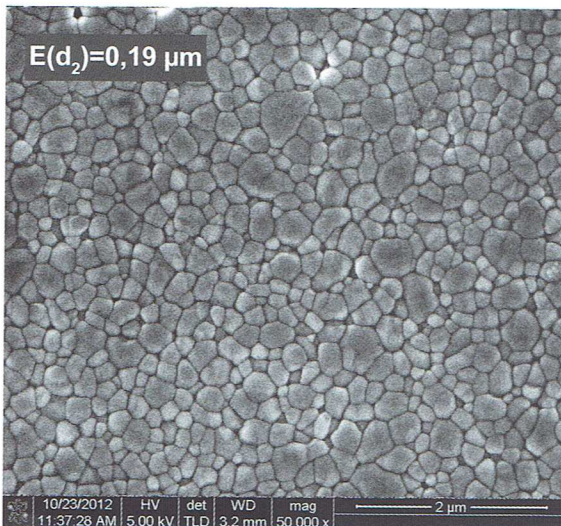
kształcie ziaren. W czasie obserwacji nie napotkano na ziarna nadmiernie rozrośnięte, ani na ziarna o wydłużonym kształcie. Średnia wielkość ziaren w badanych materiałach zawiera się pomiędzy  $0,19 \mu\text{m}$  a  $0,87 \mu\text{m}$ .



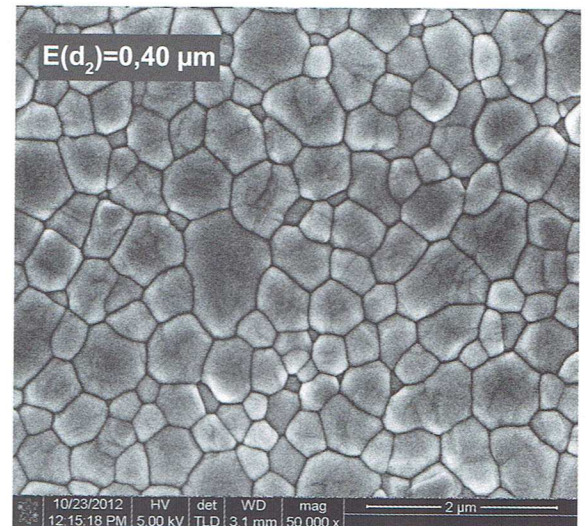
BQ-1500



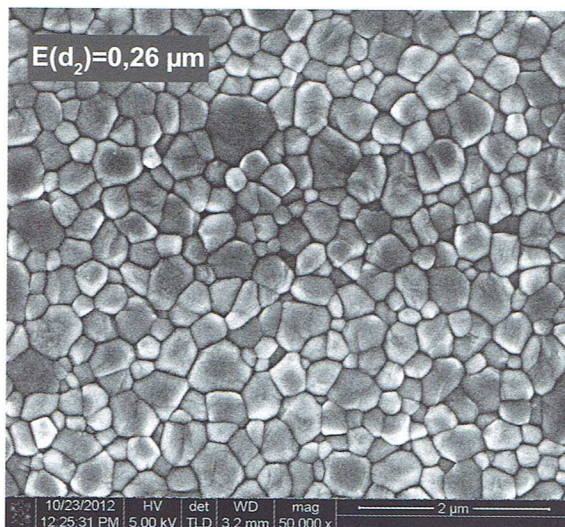
BQ-1650



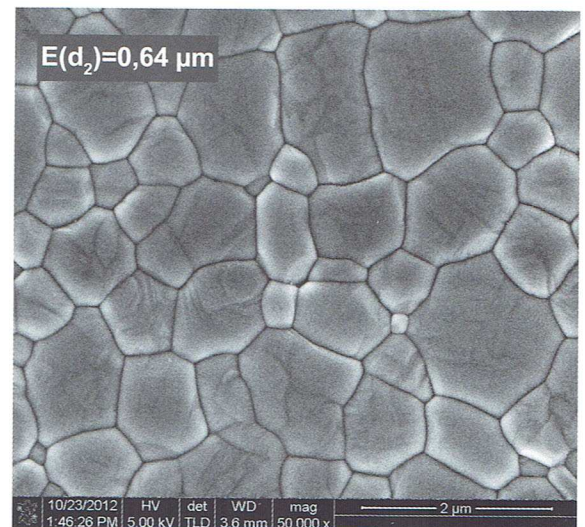
TZ-1350



TZ-1500

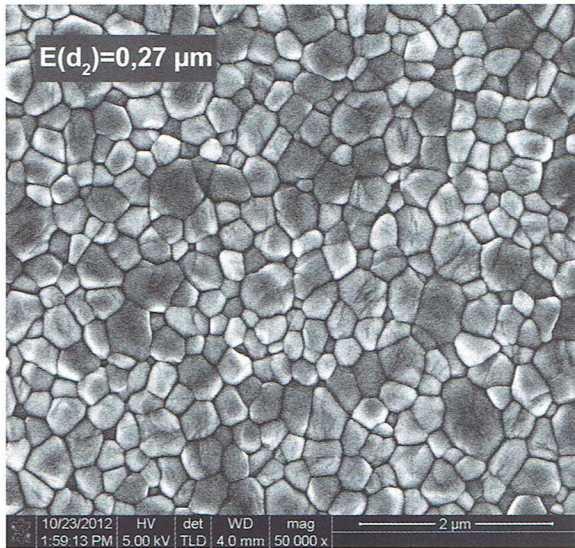


PX-1450

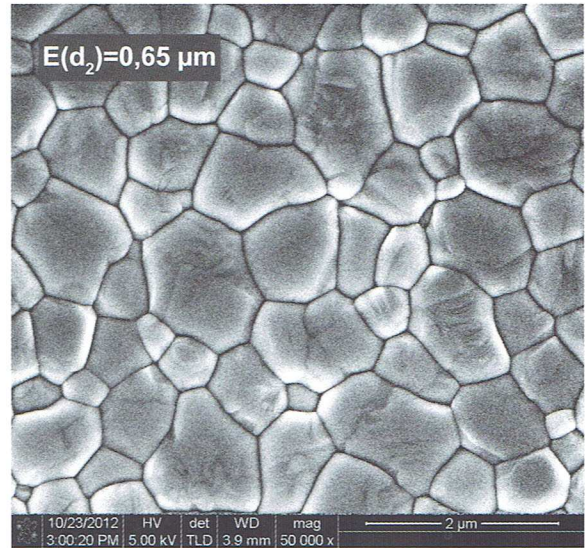


PX-1600

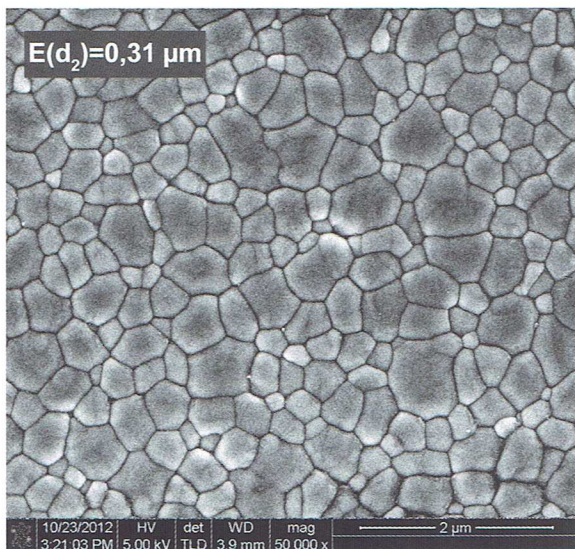




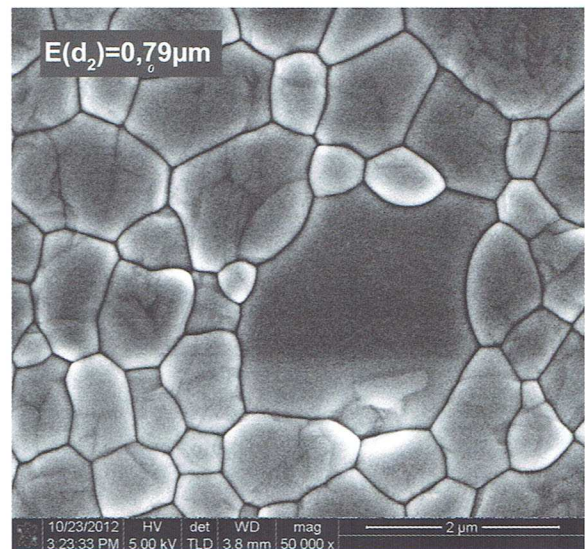
ZPEX-1450



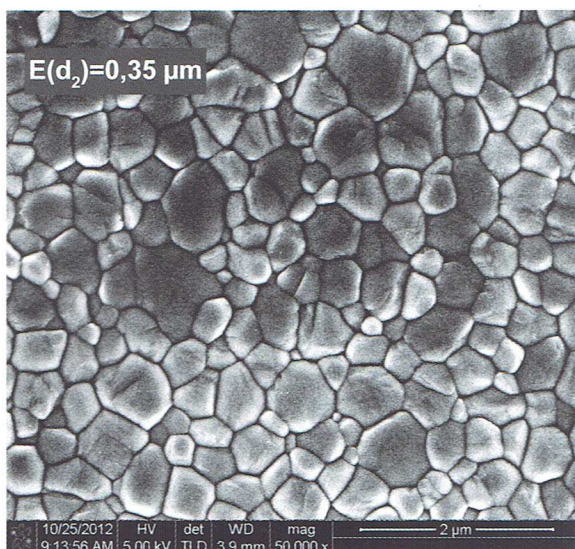
ZPEX-1600



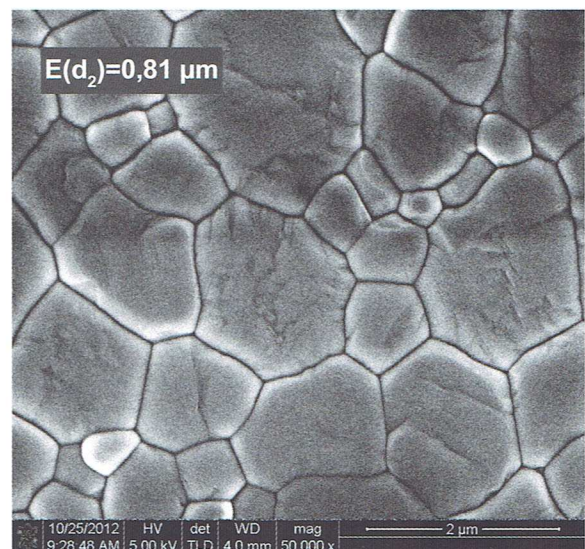
N100-1450



N100-1600

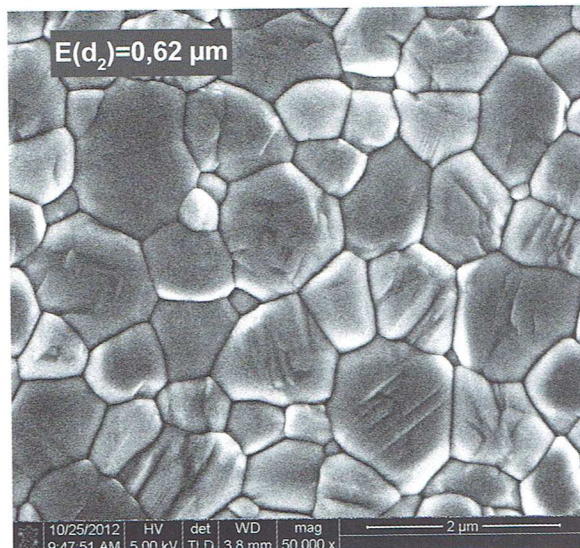


CH-1500

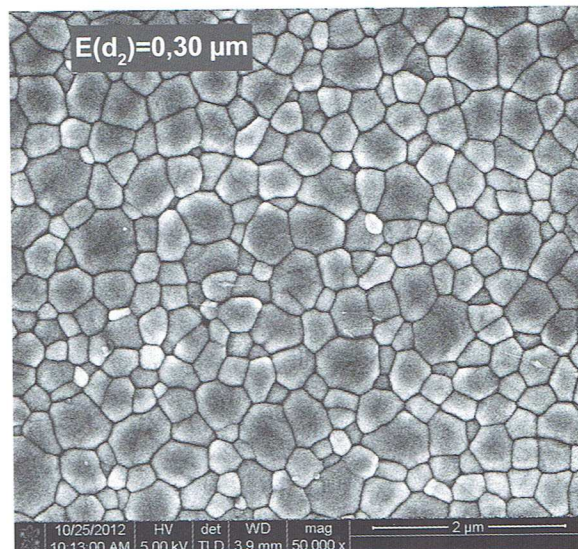


CH-1650





PRETTAU



TIAG

Rys. 6. Obrazy morfologii i średnia wielkość ziaren  $E(d_2)$  próbek materiałów cyrkonowych (obrazy SEM powierzchni trawionej termicznie, powiększenie 50 000×)

Analiza rozkładu średnich średnic zastępczych ziaren  $E(d_2)$  wykazała, że wielkość ziaren nie zależy od rodzaju materiału, natomiast zależy od temperatury jego wypalania (tab. 3). Wyjątkiem jest materiał N100, który wypalony w temperaturze 1600°C cechuje się wyraźnie wyższą wartością parametru  $E(d_2)$ . Aby wyjaśnić przyczyny tego zjawiska planowane jest w przyszłości wykonanie szczegółowych badań składu chemicznego i fazowego w nanoobszarach.

Tabela 3. Zależność średniej średnicy zastępczej ziarna  $E(d_2)$  od temperatury wypalania

Symbol próbki	Zakres $E(d_2)$ [μm]
TZ-1350	0,19
PX-1450	0,26÷0,31
ZPEX-1450	
N100-1450	
TIAG-1450	
BQ-1500	0,35÷0,40
TZ-1500	
CH-1500	
PX-1600	0,62÷0,65 0,79
ZPEX-1600	
N100-1600	
PRETTAU-1600	
BQ-1650	0,81÷0,85
CH-1650	

Ponieważ próbki badawcze wypalono w temperaturach zalecanych przez producentów oraz wyższych o 150°C, możliwa była ocena wpływu podwyższonej

temperatury na parametry badanych materiałów. Oczywisty był wpływ temperatury wypalania na średnią wielkość ziaren, która wzrosła w podwyższonej temperaturze ponad 2 razy dla wszystkich materiałów. Temperatura wypalania w różny sposób wpłynęła na przeświecalność. W materiałach BQ, i CH przeświecalność obniża się o ok. 25% ze wzrostem temperatury, natomiast w innych materiałach pozostaje niezmienna (TZ, ZPEX, N100) lub obniża się nieznacznie (PX). Może to świadczyć o różnicach w składzie chemicznym granulatów użytych do przygotowania próbek.

### Podsumowanie

Przeprowadzone badania nie pozwalają na ustalenie wpływu różnych czynników na przeświecalność badanych materiałów. Czynniki takie, jak: gęstość pozorną, porowatość, kształt i wielkość porów, skład chemiczny oddziałują kompleksowo, trudno jest im przypisać poziomy istotności, a niektóre z nich nie są dobrze znane (np. składy chemiczne). Można jednak stwierdzić, że:

- Materiały PX, ZPEX i TIAG, które mają najwyższe przeświecalności (27,1÷31,9) i białości (63,96÷67,57), prawdopodobnie oparte są na takim samym surowcu  $ZrO_2$  o dużej czystości chemicznej.
- Najmniejszą przeświecalnością (9,6) cechuje się materiał TZ. Jednorodność mikrostruktury wskazuje na to, że został on właściwie zagęszczony, jednakże wątpliwości budzi stopień jego spieczenia, co przejawia się dużą ilością drobnych porów widocznych na obrazach mikrostruktury materiału. Na przeświecalność w tym wypadku może mieć również wpływ duża (0,255% wag.) zawartość tlenku glinu  $Al_2O_3$  w składzie materiału.
- Na podstawie przeprowadzonych badań nie zaobserwowano zależności przeświecalności od wielkości ziaren materiałów cyrkonowych.



- W świetle przeprowadzonych badań zastrzeżenia budzi zdolność do zagęszczania w procesie prasowania granulatu użytych do formowania materiałów N100, CH i BQ, co znajduje odbicie w ich zaburzonej dużymi pustkami mikrostrukturze i niższej gęstości pozornej.
- W świetle uzyskanych wyników najtrudniej jest wyjaśnić zależności pomiędzy właściwościami materiału PRETTAU, który łączy w sobie dużą przeświecalność i jednorodną mikrostrukturę z niską białością i niską gęstością pozorną. Jednym z możliwych wyjaśnień tego zjawiska jest przypuszczenie, że do czystego chemicznie proszku cyrkonowego zostały dodane substancje, w ilościach na poziomie zanieczyszczeń, które w istotny sposób wpłynęły na mikrostrukturę i parametry optyczne tego materiału.

#### Literatura

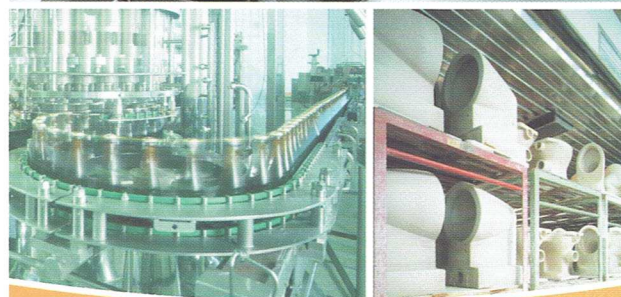
- [1] Heffernan M.J., Aquilino SA, Diaz-Arnold A.M., Haselton D.R., Stanford C.M., Vargas M.A.: Relative translucency of six all-ceramic system. Part I: Core materials. *Journal of Prosthetic Dentistry* 88 (2002) 4–9.
- [2] Heffernan M.J., Aquilino SA, Diaz-Arnold A.M., Haselton D.R., Stanford C.M., Vargas M.A.: Relative translucency of six all-ceramic system. Part II: Core and veneer materials. *Journal of Prosthetic Dentistry* 88 (2002) 10–15.
- [3] Zhang Y., Griggs J.A., Benham A.W.: Influence of powder/liquid mixing ratio on porosity and translucency of dental porcelains. *Journal of Prosthetic Dentistry* 91 (2004) 128–135.
- [4] Douglas R.D., Przybylska M.: Predicting porcelain thickness for dental shade matches. *Journal of Prosthetic Dentistry* 82 (1999) 143–149.
- [5] Kim B-N., Hiraga K., Morita K., Yoshida H., Miyazaki T., Kagawa Y.: Microstructure and optical properties of transparent alumina. *Acta Materialia* 57 (2009) 1319–1326.
- [6] Apetz R., van Bruggen M.P.B.: Transparent alumina: A light scattering model. *Journal of the American Ceramic Society*, 86 (2003) 480–486.
- [7] O Y.T., Koo J.B., Hong K.J., Park J.S., Shin D.C.: Effect of grain size on transmittance and mechanical strength of sintered alumina. *Materials Science and Engineering A* 374 (2004) 191–195.
- [8] Krell A., Blank P., Ma H., Hutzler T., van Bruggen M.P.B., Apetz R.: Transparent sintered corundum with high hardness and strength. *Journal of the American Ceramic Society*, 86 (2003) 12–18.
- [9] T. Wejrzanowski: Program komputerowy Micrometer (materiały niepublikowane).

Badania wykonano w roku 2012 w ramach działalności statutowej Zakładu Bioceramiki Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie.

We measure it. **testo**

**Analizatory spalin testo 350**  
Analiza atmosfery w piecach przemysłowych

Idealne narzędzie do profesjonalnej analizy spalin:  
°C, O<sub>2</sub>, CO, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>,  
CO<sub>2</sub>(IR), H<sub>2</sub>S, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>



#### Zalety analizatora spalin testo 350

- Wysoka dokładność i długookresowa stabilność
- Szerokie zakresy pomiarowe
- Niskie lub zerowe poziomy czułości skrośnej na inne gazy
- Zaawansowane funkcje ochrony sensorów zapobiegające przekroczeniu dopuszczalnych stężeń
- Sterownik ręczny - graficzna prezentacja danych pomiarowych i sterowanie pracą analizatora
- Zamknięte obiegi chłodzące, izolujące elektronikę i sensory urządzenia od powietrza otaczającego (pył oraz wysoka temperatura)
- Solidna obudowa umożliwiająca bezpieczne użytkowanie nawet w trudnych warunkach
- Przejrzysta konstrukcja i łatwość dostępu, umożliwiająca samodzielny serwis

Testo Sp. z o.o., ul. Wiejska 2, 05-802 Pruszków  
tel.: +48 22 292 76 80 do 83  
testo@testo.com.pl, www.testo.com.pl