

RESEARCH OF ORTHOPAEDIC CERAMIC PROSTHESES PERSONALIZED

CERCETĂRI PRIVIND PROTEZE ORTOPEDICE CERAMICE PERSONALIZATE

Horațiu BULEA

Transilvania University of Brasov, Romania

Abstract. The presintering method can offer a suitable solution for manufacturing of orthopaedic prostheses that are usually difficult to do. This paper presents the results of some experiments on manufacturing of orthopaedic prostheses by aluminium oxide ceramic material, the mechanics of the sintering process and the control of dimension and forms of the component parts of the personalized orthopaedic prostheses. After measuring the parts, there were analysed the main dimensional parameters of precision to reveal the proper solution for obtaining the required quality of the process.

Key words: ceramic, personalized, linear contraction coefficient, orthopaedic prostheses

1. Introduction

At international level, the tendency is to have fast and adaptable production, the products with a high adaptability for the clients' needs, using the digital and virtual production, modulars devices, and simulation presentation, integrated and miniaturized devices, materials with more performance, with superior properties, which assures high quality and low costs. On global level the mineral-ceramic materials presents a very strong interest and have priority for the scientific research. The production of new materials can be the best solution of using them in different domains of activity, also finding in this way new technological procedures. The mineral-ceramic aluminium oxide can be used for orthopaedic prostheses because they provide good compatibility with human body [1, 2].

2. Importance and relevance of the content

The main directions of research are:

- the production and manufacturing of new pieces from mineral-ceramic materials;
- the elaboration of new technology in the production of pieces from mineral-ceramic materials;
- growing the development of other types of mineral-ceramic materials;
- the production of ceramic pieces with complex forms in small series of fabrication with low costs and high quality;
- utilization of Computer Aided Reverse Engineering and Rapid Manufacturing;
- production of the orthopedically prostheses personalized.

Rezumat. Presinterizarea poate oferi o soluție adecvată pentru fabricarea de proteze ortopedice personalizate, care sunt, de obicei, greu de realizat. Această lucrare prezintă rezultatele unor experimente privind fabricarea de proteze ortopedice din materialul ceramic oxid de aluminiu, precum și mecanica procesului de sinterizare și controlul dimensiunii și a formelor pentru componentele ceramice ale protezelor ortopedice personalizate. După măsurarea pieselor, s-au analizat principalii parametri de precizie pentru a descoperi soluția adecvată pentru obținerea calității necesare a procesului.

Cuvinte cheie: ceramică, coeficient de contracție liniar, proteze ortopedice personalizate

1. Introducere

La nivel internațional tendința este de a avea o producție rapidă de produse cu o adaptabilitate mare pentru nevoile clienților, folosind producția digitală și virtuală, dispozitive de modulare și simulare, dispozitive miniaturizate integrate și materiale de performanță, cu proprietăți superioare, care asigură o înaltă calitate și costuri reduse. La nivel global materialele minerale ceramice prezintă un interes foarte puternic și au prioritate pentru cercetarea științifică. Producția de materiale noi poate fi cea mai bună soluție de a le utiliza în diferite domenii de activitate, precum și nevoia de a găsi, în acest fel, noi procedee tehnologice. Oxidul de aluminiu ca material ceramic poate fi folosit pentru proteze ortopedice, oferind o bună compatibilitate cu corpul uman [1, 2].

2. Importanța și relevanța conținutului

Principalele direcții de cercetare sunt:

- elaborarea de noi teorii în domeniul producerii și prelucrării materialelor mineralo-ceramice;
- elaborarea de noi tehnologii pentru producția de componente din materiale mineralo-ceramice;
- creșterea dezvoltării de noi materiale mineralo-ceramice;
- obținerea de piese ceramice cu forme complexe în serii mici de fabricație, cu costuri minime și la o calitate ridicată;
- utilizarea Computer Aided Reverse Engineering și Rapid Manufacturing;
- realizarea de proteze ortopedice ceramice personalizate.

3. The character of researches

The chosen theme output of ceramic orthopedic prostheses personalized has a fundamental character, because it connects different factors that are important for the unconventional production of different pieces made of mineral-ceramic materials, but also an interdisciplinary character with the implication of some domains like chemistry, physics, technology, informatics, medical and even nanomaterial technology.

4. Conducting parts of the mineral-ceramic materials through new technologies

4.1. The importance of the use of sintered parts of mineral-ceramic materials

To use mineralo-ceramic components, are important because they assure Figure 1 [3]:

- excellent biological behaviour;
- significantly low taper corrosion;
- no metal ion release;
- no known pathogenic reaction to particles;
- a very good compatibility with human body.



3. Caracterul cercetărilor

Tema aleasă, privind producția de proteze ortopedice ceramice personalizate, are un profund caracter fundamental, deoarece aceasta conectează diferiți factori, care sunt importanți pentru producția prin procedee neconvenționale de piese realizate din materiale mineralo-ceramice și, de asemenea, are un caracter interdisciplinar cu implicarea unor domenii precum chimia, fizica, informatica, medicina și chiar tehnologia nanomaterialelor.

4. Realizarea de piese din materiale mineralo-ceramice prin noi tehnologii

4.1. Importanța utilizării de piese sinterizate din materiale mineralo-ceramice

Utilizarea de componente mineralo-ceramice, este importantă pentru că asigură Figura 1 [3]:

- comportament biologic excelent;
- coroziune apreciabil redusă;
- nu eliberează ioni de metal;
- nu se cunosc reacții patogene la particule;
- o bună copatibilitate cu corpul uman.



Figure 1. Ceramics parts from orthopaedic prosthesis [4]
Figura 1. Componente ceramice pentru proteze ortopedice [4]

4.2. The elaboration of sintering pieces from mineral-ceramic materials

For the production of different pieces from mineral-ceramic materials, meaning aluminium oxide, there are some stages that are required to be followed.

The first process is bidirectional pressing in the array of aluminium oxide, with high purity 99.99% micrometric powder, which are added some organic substances and minerals (organic binders to bind powder particles in the process of training, which will volatilize in the process of sintering), and various ceramic catalysts that role downlink sintering temperature, pressed in matrices. The obtain pieces with a low mechanical resistance are sintering (a complex thermic process, at very high temperatures more 1900 °C) and at the end results a

4.2. Realizarea de piese sinterizate din materiale mineralo-ceramice

Pentru a produc piese cu forme și dimensiuni diferite din materiale mineralo-ceramice din oxid de aluminiu, trebuiesc parcurse și respectate mai multe etape și procedee.

Un procedeu este presarea bidirecțională în matrice a unui amestec de oxid de aluminiu cu o puritate de 99,99%, la care se adaugă unele substanțe și minerale organice (lianți organici pentru a lega particulele de pulbere în procesul de formare, care se vor volatiliza în procesul de sinterizare), și diverși catalizatori ceramici (care au rolul de a micșora temperatura de sinterizare), piesele astfel obținute au o rezistență mecanică scăzută, iar pentru a obține piese ceramice rigide acestea sunt sinterizate (un proces termic complex la temperaturi

very hard piece with some total different proprieties of the initial one.

All procedure is warm pressing (the synterisation under pressure) of aluminium oxides powder with high purity 99.99%, at high temperature ≥ 1500 °C and inferior pressure (10/25 MPa) or at moderate temperature (700-800 °C) and high pressing (400-500 MPa). In both modes the products obtained have almost the same density as the theoretical ones and the pieces can be produced at the final dimensions or they can achieve the final stage without cutting procedures.

Des-advantages for development of ceramic parts from aluminium oxide are:

- for the very complicated pieces the costs of the matrices are very high;
- the mechanical and the electrical characteristics are lower through this method;
- it is very hard to obtain pieces with different shapes and special dimensions;
- by these processes are generally obtained pieces with simple geometric shapes.

5. Presintered method fulfilling aluminium oxide ceramic parts

Through this process the pieces of mineral-ceramic can be obtained by pressing a bidirectional micrometric powder containing organics substances and minerals necessary for pressing. Thus obtained parts are then presintered, resulting in a stiffer pieces with sufficiently high to be processed by the classic cutting of complex shapes. The material is a powder of aluminium oxide with purity of 99.56 % with the average size of 18 μm granules mixed with an organic binder that volatilize at first heating. In the first phase the aluminium oxide powders was pressed with a pressure of 150 MPa, bidirectional obtained the cylindrical shape, Figure 2, and spherical, Figure 3.



Figure 2. Presintered ceramic pieces
Figura 2. Piese ceramice presinterizate

These samples were subjected to a process of heating up at two temperatures, 1250 °C and 1.350 °C, to reducing the distance between the particle

mai mari de 1900 °C) rezultând piese foarte dure cu proprietăți total diferite de cele inițiale.

Un alt procedeu este presarea la cald (sinterizarea sub presiune) a pulberii de oxid de aluminiu cu o puritate ridicată de 99,99 % fără alte componente, se poate face la o temperatură ridicată ≥ 1500 °C și presiune mică (10-25MPa), sau la temperatură moderată (700-800 °C) și presiune ridicată (400-500 MPa). Produsele obținute au aproape aceeași densitate ca cea teoretică, sunt realizate la dimensiunile și formele finale și nu mai necesită operații de prelucrare mecanică ulterioare.

Desavantajele realizării de piese ceramice din oxid de aluminiu prin procedeele prezentate sunt:

- pentru piesele foarte complicate cheltuielile de realizare a matritelor sunt foarte mari;
- se obțin caracteristici mecanice și electrice mai mici față de alte metode;
- în general este greu de realizat semifabricate de forme foarte diferite;
- prin aceste procedee piesele rezultate au forme geometrice simple.

5. Elaborarea de piese din materiale mineralo ceramice folosind presinterizarea

Prin acest procedeu piesele din materiale mineralo-ceramice sunt obținute prin presarea bidirecțională a pulberilor micrometrice care conțin și substanțe organice și minerale. Piesele astfel obținute sunt presinterizate, rezultând piese cu rigiditate suficient de mare pentru a fi prelucrate prin procedee clasice. Materialul utilizat este o pulbere de oxid de aluminiu cu puritate de 99.56 %, cu dimensiunea medie de 18 μm , amestecată cu un liant organic care se volatilizează la prima încălzire. În prima fază pulberea de oxid de aluminiu a fost presată bidirecțional cu o presiune de 150 MPa, rezultând piese cilindrice, Figura 2, și sferice, Figura 3.

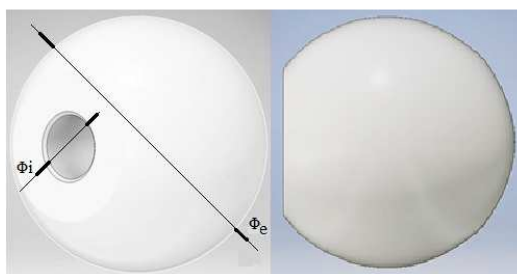


Figure 3. Oxide aluminium ceramic sphere piece
Figura 3. Piesa sferică ceramică din oxid de aluminiu

Aceste probe au fost supuse unui proces termic de presinterizare la două temperaturi, la 1.250 °C și la 1.350 °C, pentru a reduce distanța dintre micro-

powders by removing existing organic binder in the initial material and obtaining a semi consistent pieces, who are turned obtained such dimension: a batch with height $h_1 = 15$ mm, and outer diameter $d_1 = 25$ mm and a batch with height $h_2 = 15$ mm, and outer diameter $d_2 = 25$ mm. These pieces are then sintered resulting final parts which do not require further processing. The mechanical characteristics of obtained such parts, show in Table 1 [5].

particule pudrei, prin eliminarea liantului organic existent în materialul inițial și obținerea unor piese rigide, care prelucrate prin strunjire au următoarele dimensiuni: un lot cu înălțimea $h_1 = 15$ mm și diametrul exterior $d_1 = 25$ mm, iar al doilea lot cu înălțimea $h_2 = 15$ mm și diametrul exterior $d_2 = 25$ mm. Aceste piese au fost apoi sinterizate rezultând piese finale care nu necesită o prelucrare ulterioară. Caracteristicile mecanice ale acestor piese, din oxid de aluminiu, sunt prezentate în Tabelul 1 [5].

Table 1. Mechanical characteristics of aluminium oxide (Al_2O_3) [5]

Table 1. Caracteristicile mecanice ale oxidului de aluminiu (Al_2O_3) [5]

Content of Al_2O_3	99.36%	Strength of breaking traction	12 MPa
Density	2.37 kg/m ³	Strength to compression	42 MPa
Porosity	5- 7%	Strength to breaking the flexural	7 MPa

Granulometric structure of ceramics after presintering is shown in Figure 4, and after final sintering in Figure 5.

Structura ganulometrică a ceramicii după presinterizare este prezentată în Figura 4, iar după sinterizarea finală în Figura 5.



Figure 4. Granulometric structure of aluminium oxide after presintering

Figura 4. Structura ganulometrică a oxidului de aluminiu după presinterizare



Figure 5. Granulometric structure of aluminium oxide after final sintering

Figura 5. Structura ganulometrică a oxidului de aluminiu după sinterizarea finală

The linear contraction is the illustrative parameter for the sintering process. That can achieve values of 10-15 %, depending of the aluminium oxide material that is used, the granulometric distribution, the sintered temperature, porosity, etc. The coefficient of linear contraction of the sintered material parts was determined on basse experimental for the outer diameter and high of parts cutting by turning of the presintered pieces, and the outer diameters and highs of parts after final sintering.

Contrația liniară este parametrul ilustrativ pentru procesul de sinterizare. Acesta poate atinge valori de 10-15 %, în funcție de tipul de oxid de aluminiu care este folosit, distribuția granulometrică, temperatura din procesul de sinterizare, porozitate etc. Coeficientul de contracție liniară a pieselor sinterizate a fost determinat pe bază experimentală pentru diametrele exterioare, interioare și înalțimile pieselor strunjite presinterizate, și pentru diametrele exterioare, interioare și înălțimile pieselor după sinterizarea finală.

6. Experimental determination of contraction coefficient for presintering pieces after the final sintering process

6.1. Determination of contraction coefficient for cylindrical parts

From the outer diameter d of pieces, the constriction coefficient C_d is determinate with formula (1) [5, 6]:

6. Determinarea experimentală a coeficientului de contracție pentru piesele presinterizate după sinterizarea finală

6.1. Determinarea experimentală a coeficientului de contracție pentru piesele cilindrice

Pentru diametrul d exterior al pieselor, coeficientul de contracție C_d este determinat cu formula (1) [5, 6]:

$$C_d = \frac{d_i - d_f}{d_i} \times 100\% , \quad (1)$$

where:

- C_d outer diameter constriction coefficient;
- d_i are outer diameter of pieces before final sintered;
- d_f are outer diameter of ceramic pieces after final sintered;

From the high h of pieces, the constriction coefficient C_h is determinate with formula (2):

$$C_h = \frac{h_i - h_f}{h_i} \times 100\% , \quad (2)$$

where:

- C_h high constriction coefficient;
- h_i are high of piece before final sintered;
- h_f are high of piece after final sintered;

In Table 2 are shown the diameters d_{1i} and highs h_{1i} pieces presintered, and the diameters d_{1f} and highs h_{1f} after final sintered process for shape with diameters $d_1 = 25$ mm and heights $h_1 = 15$ mm.

In Table 3 are the diameters d_{2i} and highs h_{2i} of turning pieces presintered and the final diameters d_{2f} and highs h_{2f} after final sintered process for shapes with diameters $d_2 = 15$ mm and heights $h_2 = 25$ mm presintered at temperatures 1250 °C and 1350 °C. The diameters $d_{1i}, d_{2i}, d_{1f}, d_{2f}$ and highs $h_{1i}, h_{2i}, h_{1f}, h_{2f}$ of pieces was measured for each piece at three different points of piece, and the values are the arithmetic mean of three measured values.

unde:

- C_d coeficientul de contracție la diametrul exterior;
- d_i este diametrul exterior al pieselor înainte de sinterizarea finală;
- d_f este diametrul exterior al pieselor după de sinterizarea finală;

Pentru înălțimea h pieselor, coeficientul de contracție C_h este determinat cu relația (2):

unde:

- C_h coeficientul de contracție la înălțimea pieselor;
- h_i este înălțimea pieselor înainte de sinterizare;
- h_f este înălțimea pieselor după sinterizare;

În Tabelul 2 sunt prezentate diametrele d_{1i} și înălțimile h_{1i} ale pieselor presinterizate, diametrul d_{1f} și înălțimile h_{1f} după sinterizare pentru piesele cu diametrele $d_1 = 25$ mm și înălțimile $h_1 = 15$ mm.

În Tabelul 3 sunt diametrele d_{2i} și înălțimile h_{2i} ale pieselor strunjite presinterizate și diametrul d_{2f} și înălțimile h_{2f} după sinterizare pentru piesele cu diametrul $d_2 = 25$ mm și înălțimea $h_2 = 15$ mm pentru temperaturile de presinterizare 1250 °C și 1350 °C. Diametre $d_{1i}, d_{2i}, d_{1f}, d_{2f}$ și înălțimile $h_{1i}, h_{2i}, h_{1f}, h_{2f}$ au fost măsurate în trei puncte diferite ale suprafețelor strunjite, iar valorile rezultate reprezintă media aritmetică a valorilor măsurate.

Table 2. Outer diameters d_{1i}, d_{1f} and highs h_{1i}, h_{1f} of the pieces before and after sintered process for the pieces with outer diameter $d_1 = 25$ mm and high of pieces $h_1 = 15$ mm

Tabelul 2. Diametrele exterioare d_{1i}, d_{1f} , și înălțimile h_{1i}, h_{1f} ale pieselor înainte și după sinterizare pentru piesele cu diametrul exterior $d_1 = 25$ mm și înălțimea $h_1 = 15$ mm

No.	Presintered temperature											
	1250 °C						1350 °C					
	d_{1i} [mm]	d_{1f} [mm]	C_{1d} [%]	h_{1i} [mm]	h_{1f} [mm]	C_{1h} [%]	d_{1i} [mm]	d_{1f} [mm]	C_{1d} [%]	h_{1i} [mm]	h_{1f} [mm]	C_{1h} [%]
1	25.11	22.23	11.470	15.09	13.34	11.597	25.12	22.23	11.492	15.11	13.36	11.585
2	25.19	22.29	11.513	14.98	13.25	11.549	25.21	22.30	11.539	14.96	13.23	11.535
3	25.15	22.27	11.451	15.12	13.37	11.574	25.18	22.29	11.469	15.16	13.41	11.567
4	25.12	22.21	11.584	15.03	13.29	11.577	25.16	22.24	11.623	15.07	13.33	11.557
5	25.08	22.18	11.563	15.07	13.32	11.612	25.14	22.23	11.582	15.05	13.31	11.580
6	25.13	22.22	11.580	15.12	13.38	11.508	25.02	22.11	11.630	15.16	13.41	11.564
7	25.14	22.26	11.456	14.96	13.22	11.631	25.13	22.26	11.421	14.98	13.24	11.591
8	25.11	22.22	11.509	15.05	13.31	11.561	25.08	22.19	11.524	15.01	13.28	11.554
9	25.16	22.31	11.328	14.92	13.19	11.595	25.17	22.32	11.317	14.94	13.20	11.617
10	25.07	22.17	11.568	15.11	13.36	11.582	25.05	22.13	11.807	15.13	13.38	11.570

6.2. Determination of contraction coefficient for spherical parts

The coefficient of linear contraction of the sintered material parts was determined also for

6.2. Determinarea coeficientului de contracție pentru piesele sferice

Coeficientul de contracție liniară a pieselor sinterizate s-a determinat și pentru piese sferice (cum

spherical pieces (like ceramic component of prostheses) at the outer diameter Φ_e and for interior diameter Φ_i of the hole Figure 3.

ar fi componenta ceramică a protezelor) pentru diametrul exterior Φ_e al sferei și diametrul interior Φ_i al alezajului din sferă, Figura 3.

Table 3. Outer diameters d_{1i} , d_{1f} and highs h_{1i} , h_{1f} of the pieces before and after sintered process for the pieces with outer diameter $d_2 = 15$ mm and high of pieces $h_2 = 25$ mm
Tabelul 3. Diametrele exterioare d_{1i} , d_{1f} , și înălțimile h_{1i} , h_{1f} ale pieselor înainte și după sinterizare pentru piesele cu diametrul exterior $d_2 = 15$ mm și înălțimea $h_2 = 25$ mm

No.	Presintered temperature											
	1250 °C						1350 °C					
	d_{2i} [mm]	d_{2f} [mm]	C_{2d} [%]	h_{2i} [mm]	h_{2f} [mm]	C_{2h} [%]	d_{2i} [mm]	d_{2f} [mm]	C_{2d} [%]	h_{2i} [mm]	h_{2f} [mm]	C_{2h} [%]
1	14.96	13.23	11.564	25.13	22.22	11.598	14.96	13.24	11.469	25.03	22.20	11.500
2	14.98	13.27	11.415	25.16	22.24	11.586	14.98	13.26	11.496	25.16	22.26	11.507
3	15.08	13.34	11.538	25.11	22.20	11.599	15.08	13.35	11.474	25.11	22.22	11.499
4	15.12	13.37	11.574	25.09	22.18	11.595	15.12	13.38	11.502	25.09	22.20	11.533
5	15.01	13.27	11.592	25.07	22.16	11.598	15.01	13.28	11.517	25.17	22.28	11.497
6	15.12	13.38	11.508	24.95	22.06	11.583	15.12	13.39	11.473	24.94	22.07	11.508
7	14.94	13.23	11.435	25.02	22.12	11.601	14.94	13.23	11.468	25.04	22.16	11.506
8	15.02	13.29	11.518	24.96	22.07	11.597	15.02	13.30	11.462	24.99	22.12	11.482
9	14.92	13.21	11.455	25.12	22.21	11.584	14.92	13.20	11.496	25.14	22.24	11.552
10	15.04	13.31	11.503	25.07	22.16	11.592	15.04	13.32	11.462	25.13	22.23	11.527

From the outer diameter Φ_e of spherical pieces the constriction coefficient C_e is determinate with formula (3) [5, 6]:

Pentru diametrul Φ_e exterior al pieselor sferice coeficientul de contracție C_e este determinat cu formula (3) [5, 6]:

$$C_e = \frac{\Phi_{ei} - \Phi_{ef}}{\Phi_{ei}} \times 100\% , \quad (3)$$

where:

- Φ_{ei} are outer diameter of pieces before final sintered;
- Φ_{ef} are outer diameter of pieces after final sintered.

For the inner diameter Φ_i of spherical pieces the constriction coefficient C_i is determinate with formula (4) [5, 6]:

unde:

- Φ_{ei} este diametrul exterior al pieselor înainte de sinterizare;
- Φ_{ef} este diametrul exterior după de sinterizare.

Pentru diametrul Φ_i interior al pieselor sferice coeficientul de contracție C_i este determinat cu formula (4) [5, 6]:

$$C_i = \frac{\Phi_{ii} - \Phi_{if}}{\Phi_{ii}} \times 100\% , \quad (4)$$

where:

- Φ_{ii} are inner diameter of pieces before final sintered process;
- Φ_{if} are inner diameter of ceramic pieces after final sintered.

In Table 4 are shown the original outer diameters Φ_{ei} and the original interior diameters Φ_{ii} of turning spherical pieces presintered and the final outer diameter Φ_{ef} and the final inner diameter Φ_{if} obtained after final sintered process at two presintered temperature: 1250 °C and 1350 °C.

unde:

- Φ_{ii} este diametrul interior al pieselor înainte de sinterizare;
- Φ_{if} este diametrul exterior al pieselor după sinterizare.

În Tabelul 4 sunt prezentate diametrele exterioare inițiale Φ_{ei} și diametrele interioare inițiale Φ_{ii} ale pieselor sferice strunjite și presinterizate, și diametrele exterioare finale Φ_{ef} și diametrele interioare finale Φ_{if} ale pieselor sferice după sinterizarea finală la două temperature: 1250 °C și 1350 °C.

7. Evaluation of the dimensional precision

Considering the mean values from Tables 2...4, the graphical variation of the diameter and high of parts was pointed out in diagrams.

7. Evoluția preciziei dimensionale

Având în vedere valorile medii din Tabelele 2...4, variația diametrului exterior și înălțimile pieselor au fost prezentate în următoarele diagrame.

Table 4. Outer diameters Φ_{ei} , Φ_{ef} and interior diameters Φ_{ii} , Φ_{if} of the spheres before and after sintered process
 Tabelul 4. Diametrele exterioare Φ_{ei} , Φ_{ef} și interioare Φ_{ii} , Φ_{if} ale sferelor înainte și după sinterizare

No.	Presintered temperature											
	1250 °C						1350 °C					
	Φ_{ei} [mm]	Φ_{ef} [mm]	C_e [%]	Φ_{ii} [mm]	Φ_{if} [mm]	C_i [%]	Φ_{ei} [mm]	Φ_{ef} [mm]	C_e [%]	Φ_{ii} [mm]	Φ_{if} [mm]	C_i [%]
1	39.96	35.24	11.787	16.09	14.23	11.560	39.93	35.23	11.782	16.12	14.26	11.528
2	40.01	35.29	11.807	16.07	14.22	11.512	40.08	35.36	11.772	16.07	14.22	11.497
3	40.04	35.32	11.799	16.13	14.27	11.531	40.11	35.38	11.792	16.09	14.24	11.524
4	40.06	35.33	11.806	16.11	14.25	11.546	39.96	35.25	11.784	16.16	14.30	11.504
5	40.09	35.36	11.790	16.09	14.23	11.560	40.11	35.39	11.776	16.05	14.20	11.528
6	40.12	35.38	11.811	16.11	14.25	11.546	40.02	35.30	11.783	16.14	14.28	11.536
7	40.13	35.40	11.784	16.14	14.27	11.586	40.07	35.35	11.772	16.12	14.26	11.546
8	40.14	35.41	11.776	16.15	14.28	11.579	39.98	35.28	11.762	16.02	14.17	11.564
9	40.14	35.41	11.785	16.07	14.21	11.574	40.13	35.40	11.780	16.07	14.21	11.552
10	40.15	35.42	11.789	16.12	14.26	11.538	40.06	35.34	11.777	16.12	14.26	11.526

Figure 6 present the dependence of sintering contraction coefficient C_d from outer diameters $d_1 = 25$ mm of pieces before final sintering, at two presintered temperature first at 1250 °C and the second at 1350°C.

Figura 6 prezintă variația coeficientul de contracție la sinterizare C_d la diametrele exterioare $d_1 = 25$ mm a pieselor înainte de sinterizarea finală, pentru două temperaturi de presinterizare, prima la 1250 °C și a doua la 1350 °C.

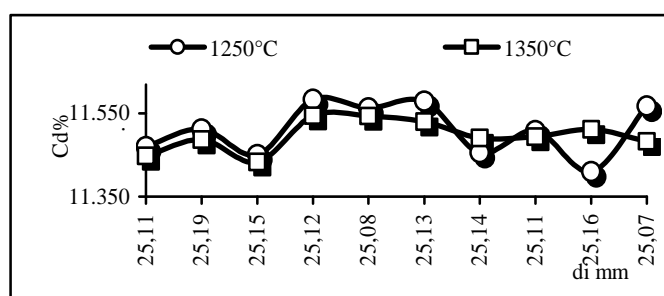


Figure 6. Variation of constriction coefficient C_d from $d_1 = 25$ mm exteriors diameters of pieces
 Figura 6. Variația coeficientul de contracție la sinterizare C_d la diametrele exterioare $d_1 = 25$ mm

Figure 7 present the variation of constriction coefficient C_h from high $h_1 = 15$ mm of pieces before final sintered, at presintered temperature 1250 °C and 1350 °C.

Figura 7 prezintă variația coeficientul de contracție C_h la înălțimea $h_1 = 15$ mm a pieselor înainte de sinterizarea finală, la temperaturile de presinterizare de 1250 °C și 1350 °C.

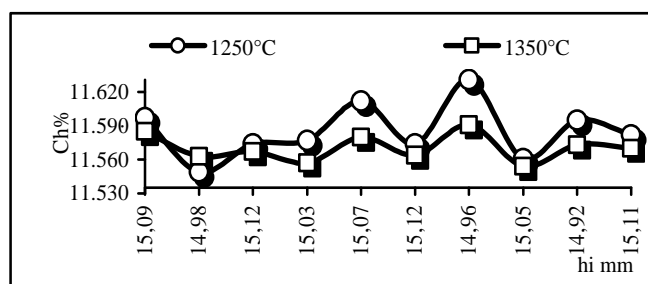


Figure 7. Variation of constriction coefficient C_h from high $h_1 = 15$ mm of pieces
 Figure 7. Variația coeficientul de contracție la sinterizare C_h la înălțimea $h_1 = 15$ mm a pieselor

In Figure 8 are presented the dependence of constriction coefficient C_d from outer diameters of pieces $d_2 = 15$ mm before final sintered at two temperature, at 1250 °C and at 1350 °C.

În Figura 8 este prezentată variația coeficientului de contracție la sinterizare C_d la diametrele exterioare $d_2 = 15$ mm ale pieselor înainte de sinterizarea finală, pentru două temperaturi, 1250 °C și 1350 °C.

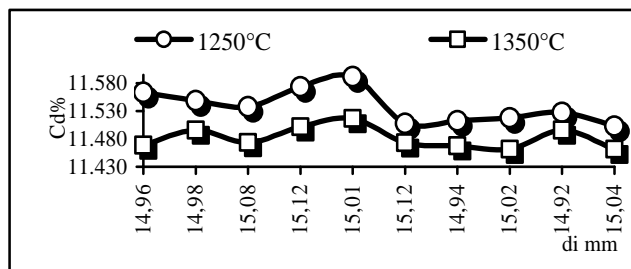


Figure 8. Dependence of constriction coefficient C_d from $d_2 = 15$ mm exterior diameters of pieces
 Figura 8. Variația coeficientul de contracție la sinterizare C_d la diametrele $d_2 = 15$ mm ale pieselor

In Figure 9 are present the dependence of constriction coefficient C_h from high $h_2 = 25$ mm of pieces before final sintered, at two presintered temperature, 1250 °C and the second at 1350 °C.

În Figura 9 este prezentată variația coeficientului de contracție C_h la înălțimea $h_2 = 25$ mm a pieselor înainte de sinterizarea finală, la două temperature, 1250 °C și 1350 °C.

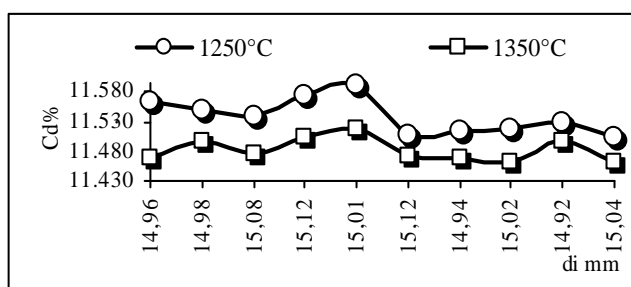


Figure 9. Dependence of constriction coefficient C_h from high $h_2 = 25$ mm of pieces
 Figura 9. Variația coeficientul de contracție C_h la înălțimea $h_2 = 25$ mm a pieselor

In Figure 10 are presented the dependence of constriction coefficient C_e from diameters $\Phi_e = 40$ mm of spherical pieces before final sintered, at two temperatures, 1250 °C and 1350 °C.

Figura 10 prezintă variația coeficientul de contracție la sinterizare C_e la diametrele $\Phi_e = 40$ mm ale pieselor înainte de sinterizarea finală, pentru două temperaturi de presinterizare, de 1250 °C și 1350 °C.

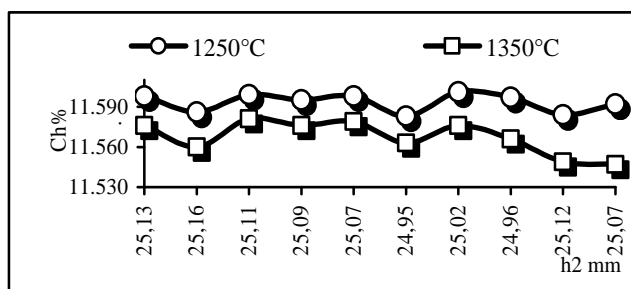


Figure 10. Dependence of constriction coefficient C_e from exterior diameters $\Phi_e = 40$ mm of spherical pieces
 Figura 10. Variația coeficientul de contracție la sinterizare C_e la diametrele $\Phi_e = 40$ mm ale pieselor

Figure 11 present the dependence of constriction coefficient C_i from interior diameters $\Phi_i = 16$ mm of spherical pieces before final sintered.

Figura 11 prezintă variația coeficientului C_i de contracție la sinterizare la diametrele $\Phi_i = 16$ mm pentru piesele sferice înainte de sinterizare.

Analysing charts shown in Figures 6÷11 can make the following observations in relation to the sintering contraction coefficient:

Analizand diagramele din Figurile 6÷11 se pot face următoarele observații în legatură cu cocoefficientul de contracție la sinterizare:

- for cylindrical turned parts with exterior diameter $d_1 = 25$ mm sintering contraction coefficient of diameter has a variation between 11.451% and 11.584%, that is comprised 0.133% at temperature 1250 °C;

- pentru piesele strunjite cilindrice cu diametrul exterior $d_1 = 25$ mm, coeficientul de contracție la sinterizare a diametrului are valori cuprinse între 11,451% și 11,584%, cu o variație de 0,133% la temperatura de 1250 °C;

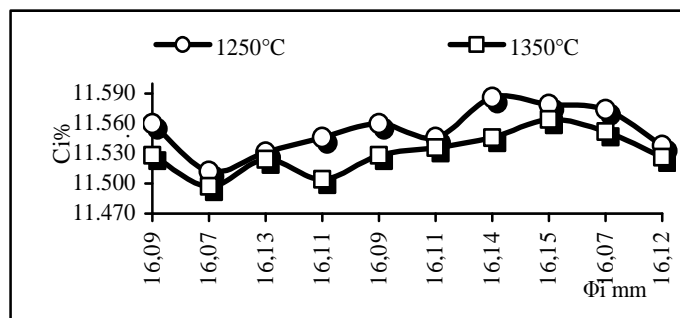


Figure 11. Dependence of constriction coefficient C_i from $\Phi_i = 16$ mm interior of spherical pieces
 Figura 11. Variația coeficientului de contracție la sinterizare C_i la diametrele $\Phi_i = 16$ mm ale pieselor sferice

- for cylindrical turned parts with exterior diameter $d_1 = 25$ mm sintering contraction coefficient of diameter has a variation between 11.448% and 11.545%, that is comprised 0.097% at temperature 1350 °C;
- for high $h_1 = 15$ mm of turned parts sintering contraction coefficient has a variation between 11.508% and 11.631%, that is comprised 0.123% at temperature 1250 °C;
- for high $h_1 = 15$ mm of turned parts sintering contraction coefficient has a variation between 11.535% and 11.617%, that is comprised 0.082% at temperature 1350 °C;
- for cylindrical turned parts with exterior diameter $d_2 = 15$ mm sintering contraction coefficient of diameter has a variation between 11.415% and 11.592%, that is comprised 0.177% at temperature 1250 °C;
- for cylindrical turned parts with exterior diameter $d_2 = 15$ mm sintering contraction coefficient of diameter has a variation between 11.462% and 11.517%, that is comprised 0.055% at temperature 1350 °C;
- for high $h_2 = 25$ mm of turned parts sintering contraction coefficient has a variation between 11.500% and 11.584% that is comprised 0.084% at temperature 1250 °C;
- for high $h_2 = 25$ mm of turned parts sintering contraction coefficient has a variation between 11.482% and 11.552% that is comprised 0.070% at temperature 1350 °C;
- for spherical turned parts with exterior diameter $\Phi_e = 40$ mm sintering contraction coefficient of diameter C_e has a variation between 11.776% and 11.811%, that is comprised 0.035% at temperature 1250 °C;
- for spherical turned parts with exterior diameter $\Phi_e = 40$ mm sintering contraction coefficient of diameter C_e has a variation between 11.762% and 11.792%, that is comprised 0.030% at temperature 1350 °C;
- pentru piesele strunjite cilindrice cu diametrul exterior $d_1 = 25$ mm, coeficientul de contracție la sinterizare a diametrului are valori cuprinse între 11,448% și 11,545%, cu o variație de 0,097% la temperatura de 1250 °C;
- pentru piesele strunjite cu înălțimea $h_1 = 15$ mm coeficientul de contracție la sinterizare are valori cuprinse între 11,508% și 11,631%, cu o variație de 0,123% la temperatura de 1250 °C;
- pentru piesele strunjite cu înălțimea $h_1 = 15$ mm coeficientul de contracție la sinterizare are valori cuprinse între 11,535% și 11,617% cu o variație de 0,082% la temperatura de 1350 °C;
- pentru piesele strunjite cilindrice cu diametrul exterior $d_2 = 15$ mm, coeficientul de contracție la sinterizare a diametrului are valori cuprinse între 11,415% și 11,592%, cu o variație de 0,177% la temperatura de 1250 °C;
- pentru piesele strunjite cilindrice cu diametrul exterior $d_2 = 15$ mm, coeficientul de contracție la sinterizare a diametrului are valori cuprinse între 11,462% și 11,517%, cu o variație de 0,055% la temperatura de 1350 °C;
- pentru piesele strunjite cu înălțimea $h_2 = 25$ mm, coeficientul de contracție la sinterizare are valori cuprinse între 11,500% și 11,584%, cu o variație de 0,084% la temperatura de 1250 °C;
- pentru piesele strunjite cu înălțimea $h_2 = 25$ mm, coeficientul de contracție la sinterizare are valori cuprinse între 11,482% și 11,552%, cu o variație de 0,070% la temperatura de 1350 °C;
- pentru piesele strunjite sferic cu diametrul exterior $\Phi_e = 40$ mm, coeficientul de contracție la sinterizare C_e a diametrului are valori cuprinse între 11,776% și 11,811%, cu o variație de 0,035% la temperatura de 1250 °C;
- pentru piesele strunjite sferic cu diametrul exterior $\Phi_e = 40$ mm, coeficientul de contracție la sinterizare C_e a diametrului are valori cuprinse între 11,762% și 11,792%, cu o variație de 0,030% la temperatura de 1350 °C;

- for spherical turned parts with interior diameter $\Phi_i = 16$ mm sintering contraction coefficient of diameter has a variation between 11.512% and 11.586%, that is comprised 0.074% at temperature 1250 °C;
- for spherical turned parts with interior diameter $\Phi_i = 16$ mm sintering contraction coefficient of diameter has a variation between 11.497% and 11.564%, that is comprised 0.067% at temperature 1350 °C.

8. Conclusions

The experimental tests presented in this paper highlight the following conclusions:

1. Ascending order of degree of influence of sintering contraction coefficient is: the presintering temperature, the exterior and interior pieces diameter (d , Φ), high (h) of pieces and the form of pieces (cylindrical or spherical);
2. Contraction coefficient for sintering of ceramic aluminium oxide has in general a quite small variation around 11.5% as at presintering temperature 1250 °C even at the presintering temperature 1350 °C;
3. Contraction coefficient for sintering of ceramic aluminium oxide has a consistently lower values for parts presintered at presintering at temperature 1250 °C even at the presintering temperature of 1350 °C;
4. Contraction coefficient for sintering of ceramic aluminium oxide decreases proportional with decreasing size for parts presintered at presintering temperature 1250 °C even at the presintering temperature 1350 °C;
5. Contraction coefficient for sintering of ceramic aluminium oxide depends on the direction for compaction force of the parts at presintering temperature 1250 °C even at the presintering temperature 1350 °C;
6. Contraction coefficient for sintering of ceramic aluminium oxide is higher for the parts size who are in the direction of powder compaction force so at presintering temperature 1250 °C even the presintering temperature 1350 °C;
7. Contraction coefficient for sintering of ceramic aluminum oxide are lower values for the parts size who are in the perpendicular direction of powder compaction force so at presintering temperature 1250 °C even the presintering temperature 1350 °C;
8. Contraction coefficient for sintering of ceramic aluminium oxide is higher for the exterior size of spherical form parts so at presintering

- pentru piesele strunjite sferic cu diametrul interior $\Phi_i = 16$ mm, coeficientul de contracție la sinterizare C_i a diametrului are valori cuprinse între 11,512% și 11,586%, cu o variație de 0,074% la temperatura de 1250 °C;
- pentru piesele strunjite sferic cu diametrul interior $\Phi_i = 16$ mm, coeficientul de contracție la sinterizare C_i a diametrului are valori cuprinse între 11,497% și 11,564%, cu o variație de 0,067% la temperatura de 1350 °C.

8. Concluzii

Testele experimentale prezentate în această lucrare scot în evidență următoarele concluzii:

1. În ordine crescătoare, gradul de influență a coeficientului de contracție la sinterizare este dat de: temperatura de presinterizare, diametrul exterior și interior (d , Φ), înălțimea (h) pieselor și forma acestora (cilindrice sau sferice);
2. Coeficientul de contracție la sinterizare pentru ceramica din oxidul de aluminiu are în general o variație destul de mică în jurul valorii de 11,5% atât la temperatura de presinterizare de 1250 °C, cât și la cea de 1350 °C;
3. Coeficientul de contracție la sinterizare pentru oxidul de aluminiu are constant valori mai mici pentru piesele presinterizate la temperatura de 1350 °C față de cele presinterizate la temperatura de 1250 °C;
4. Coeficientul de contracție la sinterizare pentru oxidul de aluminiu scade proporțional cu scăderea dimensiunii semifabricatului atât la temperatura de presinterizare de 1250 °C, cât și la cea de 1350 °C;
5. Coeficientul de contracție la sinterizare pentru oxidul de aluminiu depinde de direcția forței de compactare a semifabricatelor atât la temperatura de presinterizare de 1250 °C, cât și la cea de 1350 °C;
6. Coeficientul de contracție la sinterizare pentru oxidul de aluminiu este mai mare pentru dimensiunile semifabricatelor aflate pe direcția forței de compactare a pulberii atât la temperatura de presinterizare de 1250 °C, cât și la cea de 1350 °C;
7. Coeficientul de contracție la sinterizare pentru oxidul de aluminiu este mai mic pentru dimensiunile semifabricatelor aflate pe o direcție perpendiculară față de cea forței de compactare a pulberii atât la temperatura presinterizare de 1250 °C, cât și la cea de 1350 °C;
8. Coeficientul de contracție la sinterizare pentru oxidul de aluminiu este mai mare pentru dimensiunile exterioare ale semifabricatelor de

temperature 1250 °C even the presintering formă sferică atât la temperatura presinterizare de temperature 1350 °C. temperature 1250 °C, cât și la cea de 1350 °C.

References

1. Willmann, G.: (2007) *Biokeramik für Anwendungen in der Orthopädie*. Medizintechnik Life Science Engineering, p. 1273-1282
2. Gülgün, M.A., Voitovych, R., Bischoff, E., Cannon, R.M., Rühle, M. (2000): *Microstructural development in α -Al₂O₃*. Grain Boundary Engineering in Ceramics, Ceramic Transactions, vol. 118, p. 115-125 (Proceedings of Intern. Workshop on Fine Ceramics by the Am. Cer. Soc., March, 2000, Nagoya, Japan)
3. https://www.ceramtec.com/files/mt_bioloX_delta_en.pdf, p. 22. Accessed: 10/09/2015
4. ***: *Soluții în Artroplastia de Șold*. Available at: <http://www.biotechnic.ro>. Accessed: 10/09/2015
5. Bulea, H., Păunescu, R. (2009): *Experimental and theoretical research of dimensional and roughness variation of high concentrated ceramic aluminum oxide presintering after final sintering process*. Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Signal Processing, Robotics and Automation, ISSN 1790-5117, ISBN 978-960-474-054-3. Available at: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2009/cambridge/ISPRA/ISPRA12.pdf>
6. Bulea, H. (2013): *Grinding influence parameter of dimensional and roughness variation at exterior profilated pieces of high concentrated aluminum oxid after the final sintering process*. Proceedings of International Conference Challenges in Higher Education and Research in the 21st Century, ISBN 978-954-580-325-3, Sofia, Bulgaria

Received in October 2015

Lucrare primită în Octombrie 2015