



Wytrzymałość na zginanie preform wykonanych techniką SLS

M. Budziszewska^a, K. Birowski^a, J. Karkoszka^a, G. Matula^b, M. Król^b

^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Studenckie koło naukowe Metalurgii Proszków
e-mail: magdalena.budziszewska92@gmail.com, kamil.birowski@gmail.com, john.karkoszka@gmail.com

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych
e-mail: grzegorz.matula@polsl.pl, mariusz.krol@polsl.pl

Streszczenie: Celem badań było określenie wytrzymałości na zginanie próbek otrzymanych metodą selektywnego spiekania laserowego SLS (ang. *Selective Laser Sintering*). Modele posiadały budowę komórkową o kształcie: diagonalnym o długości boku komórki 1 mm, heksagonalnym o boku komórki 0,7 mm oraz heksagonalnym o długości boku 1 mm. Tak opracowane modele zostały następnie zapisane w formacie STL i wykorzystane do wykonania modeli fizycznych. Modele zostały wykonane ze stali 316L, których wytrzymałości na zginanie została wyznaczona na podstawie badań trój-punktowego zginania.

Abstract: The aim of the study was to determine the bending strength of samples obtained by selective laser sintering SLS. Models have shaped cell structure: diagonal with the side length of 1 mm, hexagonal with the side length of 0.7 mm and hexagonal with the side length of 1 mm. The models were then saved in STL format and used to perform physical models. The models were made of stainless steel 316L, which bending strength was determined based on the research three-point bending.

Słowa kluczowe: spiekanie laserowe, budowa komórkowa, wytrzymałość na zginanie

1. WSTĘP

Wzrastające zapotrzebowanie na nowe materiały inżynierskie, które mają za zadanie spełniać w jak największym stopniu oczekiwania konsumenta determinuje ciągle doskonalenie znanych już technologii, jak również wdrażanie nowych rozwiązań w celu wytworzenia materiałów o kompleksowych i stale rosnących własnościach użytkowych. Kompozyty, których założeniem jest łączenie w sobie zalet materiałów wejściowych, stanowią często remedium na stawiane materiałom coraz to wyższe wymagania m.in. mechaniczne, wytrzymałościowe, ekonomiczne.

Metalurgia proszków jest działem metalurgii, który zajmuje się wytwarzaniem proszków metalicznych lub proszków z dodatkiem proszków niemetalicznych przy zastosowaniu procesów formowania i spiekania (rys. 1).



Rysunek 1. Uproszczony schemat wytwarzania wyrobów metodą metalurgii proszków [1]
 Figure 1. A simplified diagram the production of products by powder metallurgy

Najważniejszą cechą metalurgii proszków jest uniwersalność, dzięki tej metodzie można uzyskać [2,6]:

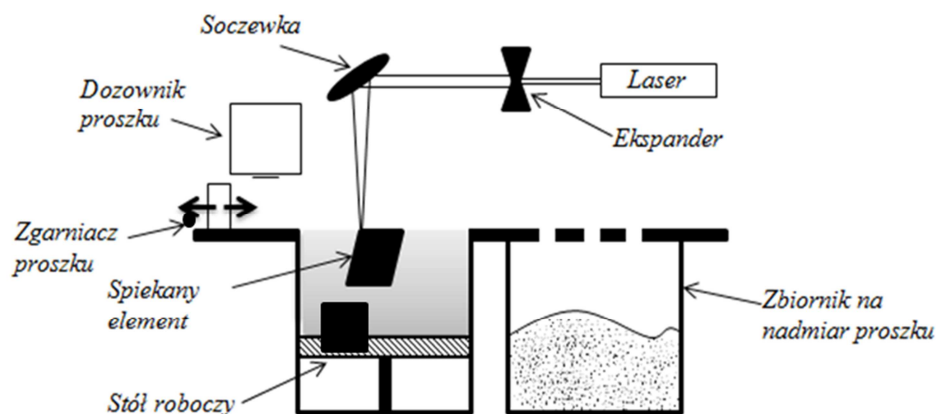
- materiały o gęstości zbliżonej do teoretycznej (lite),
- materiały porowate (do 90% porowatości),
- materiały izotropowe lub anizotropowe pod względem składu chemicznego, struktury oraz własności,
- materiały jednorodne,
- metale wysokotopliwe,
- materiały ceramiczne i ceramiczno-metalowe,
- materiały jednofazowe oraz wielofazowe.

2. MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Spiekanie laserowe, nazywane także selektywnym spiekaniem laserowym jest jednym ze sposobów wytwarzania materiałów w metalurgii proszków. Metoda ta została zapoczątkowana w USA na początku lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku [1]. Jest procesem polegającym na lokalnym spiekaniu lub nadtopianiu sproszkowanego materiału wsadowego warstwa po warstwie przy użyciu wiązki lasera w zakresie podczerwieni. Wytwarzanie elementów metodą SLS rozpoczyna się od zaprojektowaniażądanego układu w programie typu CAD. Model wyeksportowany do programu kompatybilnego z urządzeniem lub też od razu stworzony w tym programie jest dzielony na warstwy o zadanej grubości. Grubość warstw poddawana spiekaniu uzależniona jest m.in. od stopnia rozdrobnienia proszku oraz mocy lasera i powinna być tak dobrana, aby nie nastąpiły niepożądane nieciągłości w finalnym produkcie. Proces spiekania rozpoczyna się od rozprowadzenia cienkiej warstwy proszku na platformie poruszającej się w osi Z, następnie wiązka lasera zostaje poprowadzona po ścieżce odpowiadającej przekrojowi poprzecznemu modelu na danej wysokości. W kolejnym etapie platforma robocza obniża się o zadaną wysokość, a na spieczoną w odpowiednich miejscach warstwę proszku nakładana i równomiernie rozprowadzana jest kolejna warstwa, która ponownie pod wpływem działania lasera podlega spiekaniu [3,4]. Proces ten powtarzany jest, aż do uzyskania gotowego produktu.

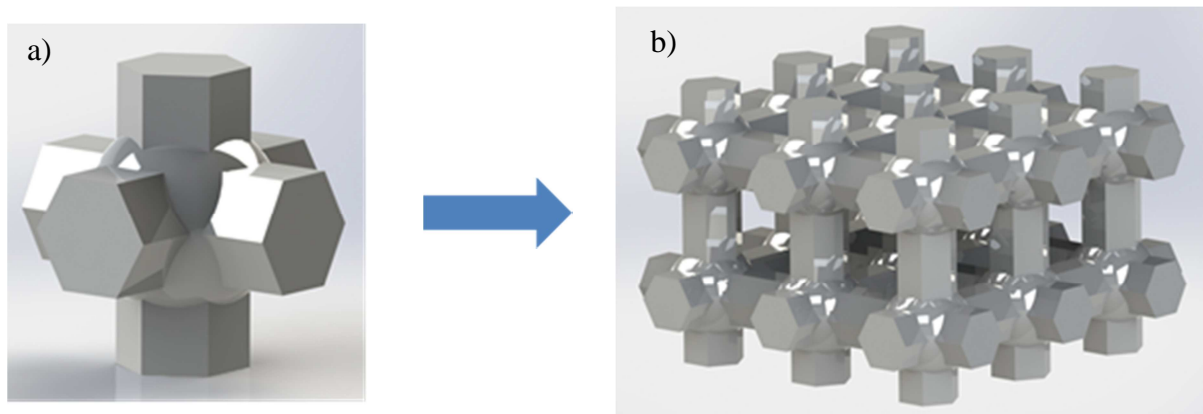
Technika SLS pozwala na spiekanie stali oraz polimerów, czy ceramiki technicznej. Ponadto technika ta pozwala na wytwarzanie modeli o praktycznie dowolnym kształcie, a jedynym technicznym ograniczeniem jest wielkość platformy roboczej [1,4]. Niewątpliwą zaletą metody SLS jest możliwość uzyskania modeli o skomplikowanych kształtach, przy zachowaniu gęstości niemalże dorównującej materiałom litym. Komercyjnie używane proszki mają rozmiar z zakresu od 0,015 do 0,1 mm. Ponadto cały proces odbywa się w atmosferze ochronnej [3].

Proces spiekania preform przedstawiony w tym artykule został wykonany na maszynie AM125 firmy RENISHAW (rys. 2). Źródłem promieniowania w tym urządzeniu jest YFL iterbowy laser typu fiber (włóknowy) o długości fali 1070 nm. Główne parametry maszyny to: maksymalna moc lasera o wartości 200 W w trybie ciągłym, prędkość skanowania lasera na poziomie do 2000 mm/s, średnica wiązki lasera na powierzchni proszku wynosząca 35 μm , grubość warstwy z zakresu od 20 do 100 μm . Komora robocza zapewnia zamknięte środowisko procesu i jest wypełniona azotem, który zapewnia warunki ochronne procesu [5-7].

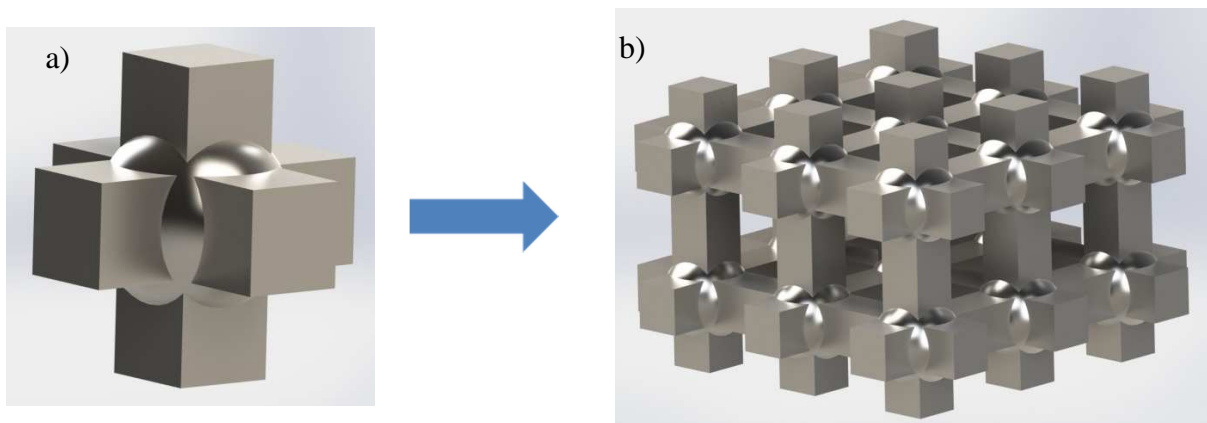


Rysunek 2. Uproszczony schemat urządzenia do selektywnego spiekania laserowego
 Figure 2. A simplified scheme of Selective Laser Sintering machine

Proces tworzenia stalowych szkieletów rozpoczęto od stworzenia modelu CAD w programie AutoFab. Program ten dedykowany jest to modelowania brył przy użyciu technologii przyrostowej. Posiada on wbudowane już podstawowe modele wypełnień, jak również ma możliwość wykonania własnych modeli, które mogą zostać wykorzystane do wytworzenia szkieletów. AutoFab pozwala na automatyczne skalowanie komórki będącej podstawą do wykonania modelu oraz jej multiplikowanie. Do badań wybrano próbki o przekroju komórki diagonalnymi (rys. 3) i heksagonalnym (rys. 4) o średnicach 0,7 mm i 1 mm.



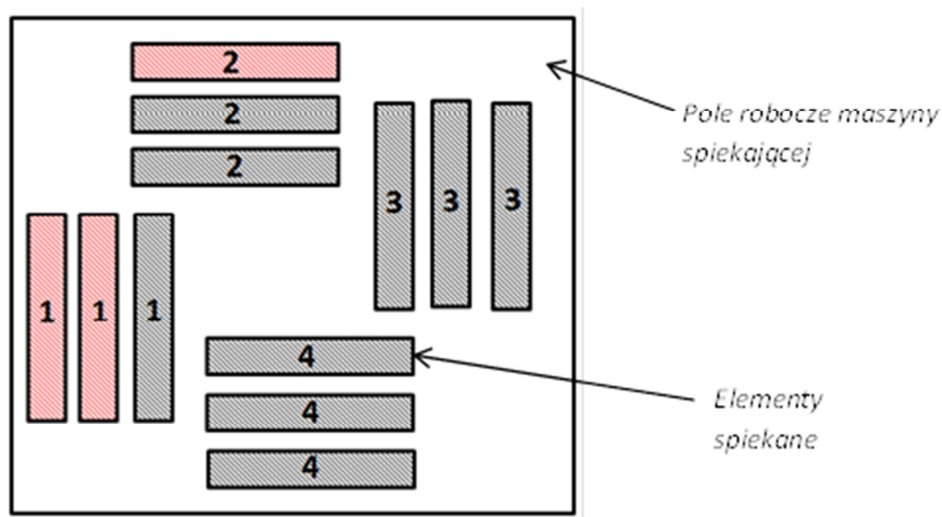
Rysunek 3. Budowa szkieletu o przekroju heksagonalnym: a) część konstrukcyjna, b) gotowy model szkieletu
 Figure 3. Construction of model with a hexagonal cross-section: a) construction part, b) the full model



Rysunek 4. Budowa szkieletu o przekroju diagonalnym: a) część konstrukcyjna, b) gotowy model szkieletu.

Figure 4. Construction of model with a diagonal cross-section: a) construction part, b) the full model

Następnie modele o wymiarach 30x10x5 mm zostały wyeksportowane do programu zintegrowanego z maszyną SLS, wybrano rodzaj materiału, a następnie ustalono moc lasera na poziomie 200 W, a rozdzielczość maszyny AM125 ustawiono na 30 μm . Po ustaleniu wszystkich parametrów, przystąpiono do spiekania. Materiałem wykorzystanym do spiekania był proszek stali 316L. Na rysunku 5 przedstawiono sposób rozmieszczenie próbek na platformie roboczej maszyny do selektywnego spiekania. Kolorem czerwonym zaznaczone zostały próbki, które nie zostały poprawnie wykonane [5,8].

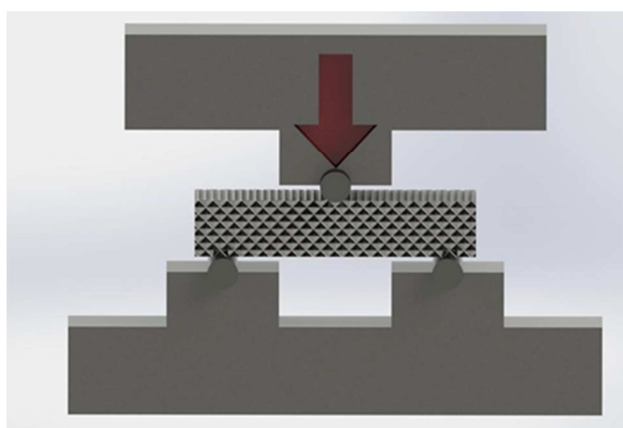


Rysunek 5. Rozmieszczenie próbek na platformie roboczej maszyny spiekającej, 1 – próbki o diagonalnym przekroju komórki – średnica 0,7 mm; 2 – próbki o heksagonalnym przekroju komórki – średnica 0,7 mm; 3 – próbki o heksagonalnym przekroju komórki – średnica 0,7 mm; 4 – próbki o diagonalnym przekroju komórki – średnica 1 mm

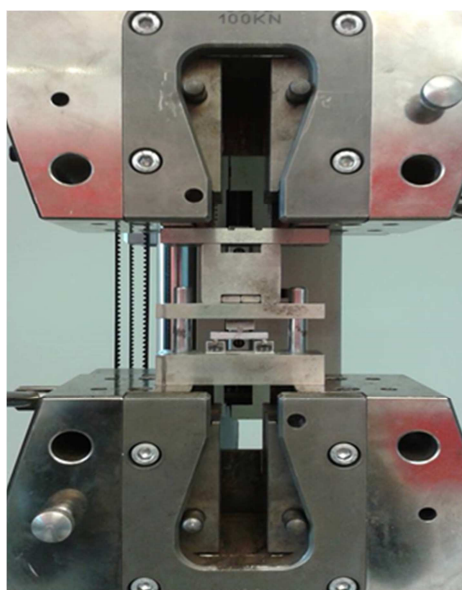
Figure 5. Arrangement of samples on a working platform, 1 – Models with a diagonal cross-cells size 0,7 mm, 2 – Models with a hexagonal cross-cells size 0,7 mm, 3 – Models with a hexagonal cross-cells size 0,7 mm, 4 – Models with a diagonal cross-cells size 1 mm

Trój-punktowe zginanie jest jedną z podstawowych metod, dzięki której wyznacza się wytrzymałość na zginanie oraz moduł sprężystości przy zginaniu, umowną granicę plastyczności i odkształcenia przy zginaniu. Wytrzymałość na zginanie przedstawia największe naprężenia powstające w materiale w chwili złamania.

Po spiekaniu próbek, gotowy model został poddany zginaniu trój-punktowemu, pomiar wytrzymałości został wykonany z wykorzystaniem uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej ZWICK Z/100. Obciążenie zostało przeniesione z ramienia dźwigni na próbkę za pośrednictwem stempla obciążającego. Konstrukcja tego urządzenia umożliwia obciążanie próbki znajdującej się na stanowisku pomiarowym, którym odpowiadają różne warunki oddziaływania obciążenia na próbkę. Na rysunku 6 został przedstawiony schemat pomiaru wytrzymałości na zginanie. Natomiast na rysunku 7 został przedstawiony sposób mocowania próbki w maszynie wytrzymałościowej.



Rysunek 6. Schemat pomiaru próbki na wytrzymałość na zginanie
Figure 6. Scheme of measuring the sample for bending strength



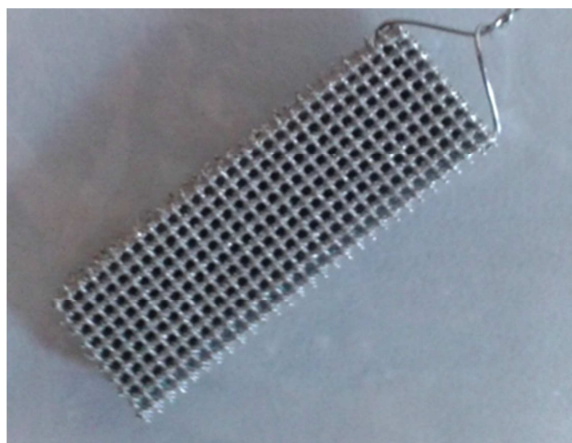
Rysunek 7. Sposób mocowania próbki w maszynie
Figure 7. Method of fixing the sample in the machine

Oceny makrostruktury otrzymanych preform wykonanych techniką SLS dokonano na podstawie badań z wykorzystaniem mikroskopu świetlnego stereoskopowego SteREO Discovery.

3. WYNIKI BADAŃ

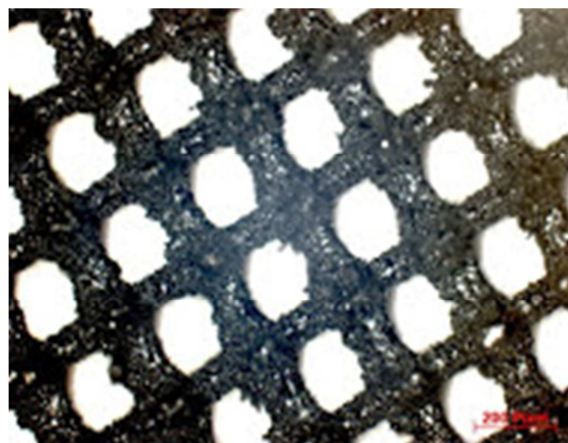
Po ukończeniu operacji spiekania, dwie próbki o diagonalnym przekroju komórki o średnicy 0,7 mm i jedna próbka o heksagonalnym przekroju komórki o średnicy 1 mm nie zostały prawidłowo wykonane.

Badania makroskopowe z wykorzystaniem mikroskopu stereoskopowego (rys. 8-11) ujawniły w niektórych przypadkach niedokładność procesu spiekania proszków. W wielu miejscach stwierdzono karby mogące być zaczątkiem pęknięcia szkieletu pod obciążeniem. W niektórych próbkach stwierdzono, że elementy pękały w jednej płaszczyźnie (rys. 11). Możliwą przyczyną był fakt niedostatecznego spieku proszku w jednej linii. Ponadto próbki mające komórki wielkości 0,7 mm posiadają zdecydowanie bardziej nierówny brzeg oraz częściej występują nieciągłości materiału, co przekłada się na mniejszą zdolność do przenoszenia obciążeń.



Rysunek 8. Widok próbki o przekroju diagonalnym 1 mm

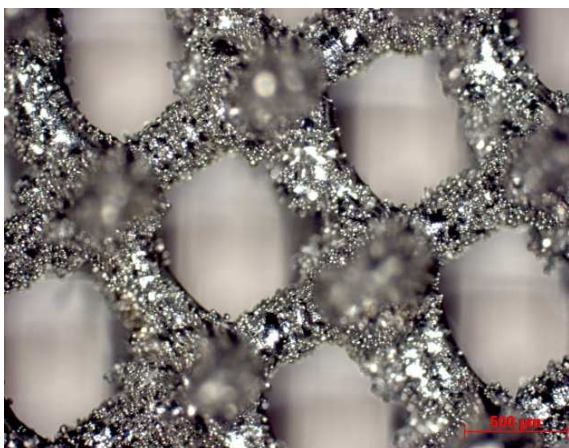
Figure 8. Sample with a diagonal cross-section – 1 mm



Rysunek 9. Makrostruktura próbki o przekroju diagonalnym 1mm, powiększenie 25x

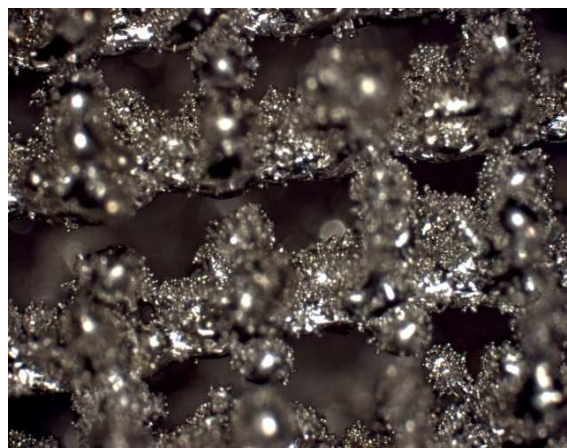
Figure 9. Macrostructure of sample with a diagonal cross-section – 1 mm, mag. 25x

Wyniki badań trój-punktowego zginania analizowanych próbek wykazały, że największą wytrzymałością na zginanie charakteryzowały się preformy o budowie heksagonalnej i długości boku komórki wynoszącej 0.7 mm. Wartość wytrzymałości na zginanie dla tego typu preform wyniosła ok. 107 MPa. Najmniejszą wartością wytrzymałości na zginanie charakteryzowała się próbka o budowie diagonalnej i długości boku komórki 1 mm i wyniosła 41 MPa. Dla próbki o budowie heksagonalnej i długości boku komórki wynoszącej 1 mm wartość wytrzymałości na zginanie wyniosła ok. 66 MPa.



Rysunek 10. Makrostruktura próbki o przekroju diagonalnym 1 mm, powiększenie 50x

Figure 10. Macrostructure of the sample with a diagonal cross-section – 1mm, mag. 50x



Rysunek 11. Makrostruktura próbki o przekroju heksagonalnym 0,7 mm, powiększenie 50x

Figure 11. Macrostructure of the sample with a hexagonal cross-section – 1 mm, mag. 50x

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W wyniku wykonanych badań stwierdzono, że proces spiekania próbek był niedokładny co objawia się powstawaniem karbów, które stają się zalążkiem do pękania preformy. Zastosowany proszek w procesie spiekania metodą SLS nie został poprawnie spieczony co może wynikać ze zbyt niskiej mocy lasera lub zbyt wysokiej prędkości skanowania wiązką lasera. Zbyt duża średnica komórek w zaprojektowanych modelach spowodowała również, że otrzymane próbki charakteryzują się niską wytrzymałością na zginanie.

W celu poprawy wytrzymałości preform otrzymywanych metodą SLS, zaleca się zwiększenie grubości szkieletu przy jednoczesnym pozostawieniu tej samej wielkości komórek elementarnych. Tak obrane założenia pozwolą na poprawę ciągłości materiału. Innym problemem wpływającym na obniżenie własności wytrzymałościowych może być utleniona powierzchnia proszku. Niestety nie zbadano udziału tlenków w zastosowanym proszku. Ponadto, w celu poprawy wytrzymałości na zginanie preform otrzymywanych metodą SLS, należy przeanalizować wykorzystanie w badaniach preform charakteryzujących się na przykład komórką elementarną typu cross, pipe, gyroid czy powszechnie uznawaną za najbardziej wytrzymałą strukturę kształtu plastra miodu.

LITERATURA

1. F. Grosman (praca zbiorowa), Technologia metali, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2010.
2. L.A. Dobrzański, Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, WNT, Warszawa, 2003.

3. L.M. Surhone, M.T. Timpledon, S.F. Marseken, *Selective Laser Sintering*, Betascript Publishing, 2010.
4. M. Król, L.A. Dobrzański, Ł. Reimann, I. Czaja, Surface quality in selective laser melting of metal powders, *Archives of Materials Science and Engineering* 60/2 (2013) 87-92.
5. strona internetowa: <http://www.renishaw.com.pl>.
6. L.A. Dobrzański, G. Matula, Podstawy metalurgii proszków i materiały spiekane, *Open Access Library* 8(14) (2012) 1-156.
7. M. Król, M. Kujawa, L.A. Dobrzański, T. Tański, Influence of technological parameters on additive manufacturing steel parts in Selective Laser Sintering, *Archives of Materials Science and Engineering* 67/2 (2014) 84-92.
8. L.A. Dobrzański, A. Achteлик-Franczak, M. Król, Computer Aided Design in Selective Laser Sintering (SLS) – application in medicine, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 60/2 (2013) 66-75.