



Technologia selektywnego spiekania laserowego – możliwości wykorzystania w przemyśle

R. Podstawski^a, A. Achteлик-Franczak^b

^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie
email: anna.achteлик-franczak@polsl.pl

Streszczenie: W pracy przedstawiono zalety oraz możliwości zastosowania w przemyśle nowoczesnej technologii selektywnego spiekania laserowego.

Abstract: This paper presents the advantages and possibilities of application in industry selective laser sintering technology.

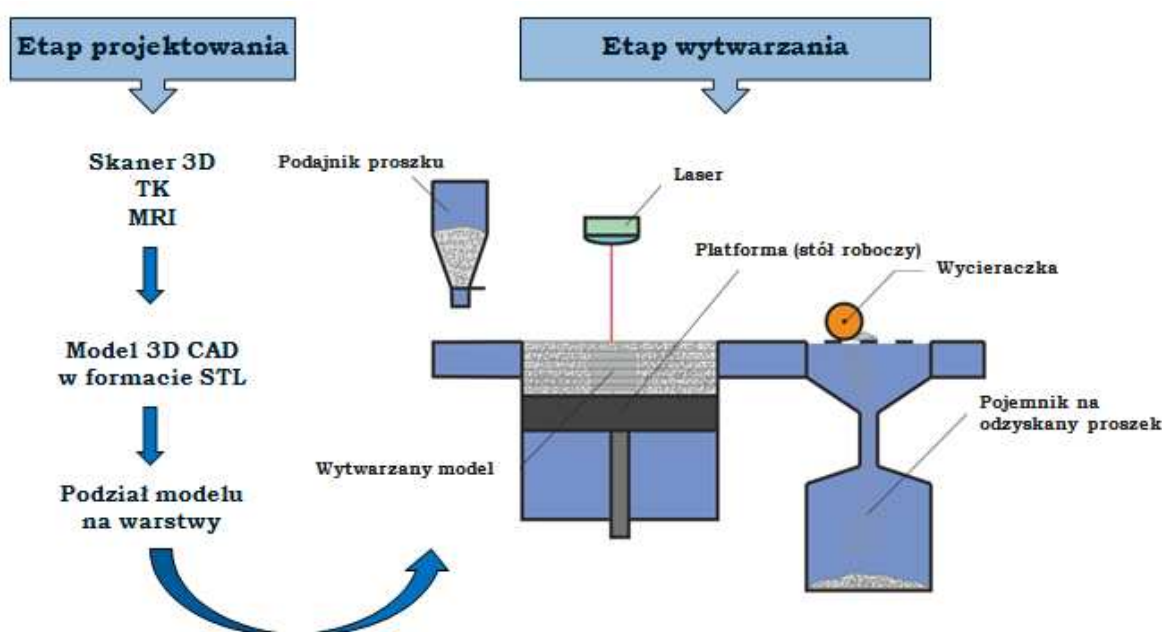
Słowa kluczowe: metalurgia proszków, spiekanie, technologie wytwarzania przyrostowego, selektywne spiekanie laserowe

1. WPROWADZENIE

Spiekanie jest jednym z głównych procesów metalurgii proszków, polegającym na wysokotemperaturowej konsolidacji luźno zasypanego proszku, w wyniku której proszek ten ulega przekształceniu w lity polikryształ. Podczas tego przekształcenia dochodzi w układzie do skurczu co dowodzi faktu, iż podczas spiekania zachodzą procesy przenoszenia masy. Proces przenoszenia masy odbywa się w dwojaki sposób i w obydwu przypadkach zachodzi ukierunkowany transport masy wywołany działającymi w układzie siłami i naprężeniami, a każdy z tych mechanizmów dominuje w innym zakresie temperatur. Proces spiekania jest procesem samorzutnym i przebiega najczęściej w temperaturze od 0,8 do 0,9 bezwzględnej temperatury topnienia podstawowego składnika. Spiekaniu poddawane są różne materiały od proszków metalicznych, poprzez materiały ceramiczne, aż do materiałów kompozytowych.

Technologie selektywnego spiekania laserowego można traktować jako nowoczesną technologię metalurgii proszków, która należy do szerszego grona technologii zwanych technologiami wytwarzania przyrostowego gdzie element powstaje z materiału w postaci proszku metodą warstwa po warstwie. Ogólna idea technologii wytwarzania przyrostowego znana jest już prawie od 30 lat, a po raz pierwszy została opracowana i opatentowana w 1977 roku przez Housholdera [1]. Dalsze prace nad technologią laserowego spiekania rozpoczęto na Uniwersytecie w Teksasie co doprowadziło do powstania w 2001 roku pierwszego komercyjnego

urządzenia, w którym połączono pracę lasera z systemem komputerowym i trójwymiarowym skanerem umożliwiając bezpośrednie wytwarzanie trójwymiarowych elementów bezpośrednio z modeli komputerowych wykonanych za pomocą oprogramowania CAD [2]. Obecnie istnieje wiele technik bazujących na idei technologii wytwarzania przyrostowego jednak różniących się między sobą źródłem energii, która powoduje spajanie drobin proszku dając w efekcie lity element. Jedną z nowoczesnych technologii wytwarzania przyrostowego, dzięki której można wytwarzać elementy o bardzo złożonych kształtach i skomplikowanych konstrukcjach, są techniki, w których źródłem energii powodującej spajanie drobin proszku jest promieniowanie laserowe z zakresu podczerwieni [3-6]. Do tych technologii należy wspomniana wcześniej technologia selektywnego spiekania laserowego (rys. 1) gdzie jednym ze stosowanych w procesie laserów jest włóknowy laser o materiale czynnym domieszkowanym Yterbem – w skrócie YFL.



Rysunek 1. Schemat ideowy technologii selektywnego spiekania laserowego
 Figure 1. Schematic diagram of the selective laser sintering technology

Proces spiekania laserowego składa się z dwóch etapów:

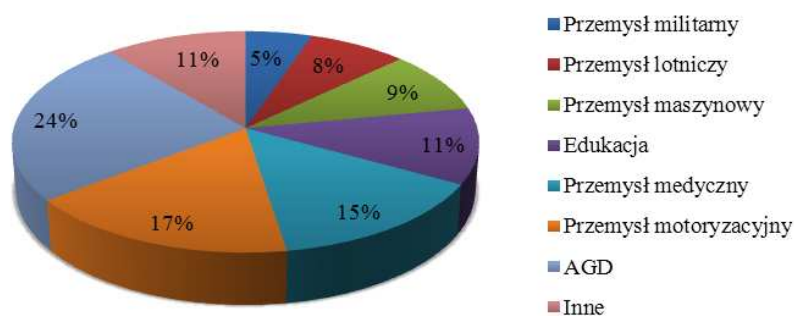
- I etap projektowania, w którym następuje zaprojektowanie danego elementu, a efektem jest model 3D CAD w formacie STL, kolejno następuje podział elementu na warstwy o określonej grubości, ustala się optymalne warunki procesu wytwarzania (szybkość skanowania, grubość warstwy, odległość pomiędzy kolejnymi ścieżkami nadtopień, średnicę wiązki lasera), po ustaleniu warunków procesu ma miejsce transfer zaprojektowanego modelu do oprogramowania maszyny.
- II etap wytwarzania – tutaj rozpoczyna się właściwy proces budowania zaprojektowanego elementu, po uzyskaniu próżni oraz atmosfery ochronnej, którą stanowi gaz obojętny np. argon, zaczyna się proces wytwarzania elementu.

Proces budowania elementu metodą laserowego spiekania rozpoczyna się od zadozowania z podajnika proszku odpowiedniej ilości proszku, a następnie rozprowadzenia go przy pomocy tzw. wycieraczki na stole roboczym. Nadmiar proszku gromadzony jest w pojemniku

na odzyskany proszek. Rozprowadzony proszek jest miejscowo spiekany wiązką lasera, tworząc kształt zaprojektowanego elementu. W następnym kroku stół roboczy obniża się o grubość warstwy, rozprowadzana jest kolejna warstwa proszku oraz ma miejsce kolejne nadtopienie drobin proszku. Proces rozprowadzania i spiekania kolejnych warstw proszku trwa, aż do momentu uzyskania gotowego elementu. Dzięki tej metodzie istnieje możliwość uzyskania gęstości wyprodukowanych elementów prawie równej gęstości materiału litego – sięgającej niemalże 99%, co powoduje że wytrzymałość takich elementów jest praktycznie taka sama jak elementów wykonanych metodami konwencjonalnymi. Wielką zaletą jest również wysoka jakość wykonanych elementów zarówno pod względem czystości jak i dokładności w porównaniu do elementów uzyskiwanych metodami konwencjonalnymi takimi jak np. tradycyjna metalurgia proszków, odlewanie czy skrawanie. Jakość ta wynika z faktu iż proces spiekania laserowego przebiega w atmosferze ochronnej gazu obojętnego lub przy obniżonym ciśnieniu, proces przebiega również bez zastosowania tygli odlewniczych, nie ma tutaj kontaktu z żadnym ciałem obcym dlatego otrzymany element pozbawiony jest wszelkich domieszek oraz ubocznych efektów spalania.

2. ZASTOSOWANIE TECHNOLOGII SELEKTYWNEGO SPIEKANIA LASEROWEGO

Ogromne możliwości jakie daje technologia selektywnego spiekania laserowego sprawiły, że jej wykorzystanie w różnych obszarach przemysłu stało się tylko kwestią czasu. Znaczne skrócenie czasu od zaprojektowania produktu do momentu wprowadzenia go na rynek spowodowało, że technologia ta stała się ogromnie konkurencyjna w porównaniu do dotychczas stosowanych metod wytwarzania – tradycyjnych metod kształtowania do których zaliczyć można odlewanie, skrawanie, frezowanie, toczenie, czy formowanie wtryskowe. Znaczne obniżenie kosztów wytwarzania, większa dokładność i wysoka jakość uzyskiwanych produktów, a co za tym idzie polepszenie własności otrzymywanych elementów poprzez wyeliminowanie błędów konstrukcyjnych już na etapie projektowania umożliwia zastosowanie tej metody w wielu gałęziach przemysłu (rys. 2): od elementów wykorzystywanych w przemyśle zbrojeniowym i lotniczym, w medycynie umożliwiając wytwarzanie narzędzi chirurgicznych, implantów medycznych [7-12], a także przy produkcji ogniw słonecznych wykorzystywanych w fotowoltaice [13-14]. Wszystkie te aspekty sprawiają, że technologie przyrostowe wykorzystywane są już między innymi przez konstruktorów, technologów, chirurgów, stomatologów, projektantów, architektów, a nawet artystów [15].



Rysunek 2. Możliwości wykorzystania technologii wytwarzania przyrostowego w przemyśle
Figure 2. The possibility of using additive manufacturing technology in the industry

Zrozumienie procesu spiekania laserowego wymaga dużego zaangażowania w:

- zrozumienie zjawisk zachodzących w spiekany materiał,
- poznanie warunków procesu, których odpowiedni dobór umożliwi wytworzenie elementu o interesujących nas własnościach.

Warunki, w których przebiega proces spiekania laserowego: moc lasera, szybkość skanowania, grubość warstwy, środowisko pozwalają na sterowanie takimi własnościami wytwarzanych elementów jak chropowatość powierzchni, gęstość względna, własności mechaniczne, czy też mają wpływ na charakter struktury wewnętrznej i zewnętrznej.

W tabelicy 1 przedstawiono warunki selektywnego spiekania, których właściwe połączenie pozwoli uzyskać produkt o oczekiwanych własnościach np.: mechanicznych, cieplnych, chemicznych, a czasem także elektrycznych.

Tablica 1. Warunki procesu selektywnego spiekania laserowego

Table 1. Conditions for selective laser sintering process

Materiał	Laser	Skanowanie	Środowisko
skład	tryb	szybkość skanowania	ogrzewanie wstępne
gęstość proszku	długość fali	obszar kreskowania	ciśnienie
morfologia	moc	grubość warstwy	typ gazu
średnica ziaren	częstotliwość	strategia skanowania	poziom tlenu
rozmieszczenie	czas trwania impulsu	strefa skanowania	
własności termiczne	offset	odległość pomiędzy impulsami	
własności przepływu	apertura plamki	współczynnik skalowania	

3. PRZYKŁAD URZĄDZENIA DO SELEKTYWNEGO SPIEKANIA LASEROWEGO: SYSTEM AM 125

System AM 125 (rys. 3) jest urządzeniem firmy RENISHAW służącym do procesu selektywnego spiekania laserowego. Za pomocą tego urządzenia możliwe jest wykonywanie elementów o maksymalnych wymiarach 120x120x120 mm z proszków metali takich jak: stal nierdzewna 316L i 17-4PH, tytan CP, stopy tytanu: Ti-6Al-4V i Ti-6Al-7Nb, kobalt-chrom, czy stal narzędziowa 718 i 625. Czas potrzebny na wykonanie zaprojektowanego modelu zależy od jego wielkości, złożoności jego struktury, a także ilości modeli, które chcemy wykonać w jednym procesie. Dokładność wytwarzania modeli zależy od zastosowanej mocy lasera: dla niskiej mocy wynosi +/-20 μm w płaszczyźnie XY, a dla wysokiej mocy +/- 100 μm w płaszczyźnie XY przy grubości warstwy wynoszącej od 20 do 50 μm . Urządzenie to zintegrowane jest również z odpowiednim oprogramowaniem, które pozwoli na dostosowanie zaprojektowanego modelu do warunków procesu i uzyskanie scharakteryzowanych własności.

a) Urządzenie AM 125



b) Pojemnik na odzyskany proszek



c) Komora robocza urządzenia AM 125



d) Stół roboczy z wytworzonymi elementami



Rysunek 3. System AM 125 do selektywnego spiekania laserowego

Figure 3. The AM 125 system for selective laser sintering

LITERATURA

1. L. Lu, J. Fuh, Y. Wong, *Laser Induced Materials and Processes for Rapid Prototyping*, Kluwer Publishers, Dordrecht, 2001.
2. R. Housholder, *Molding process*, US Patent 4247508, 1979.
3. S. Kumar, *Selective Laser Sintering: A Qualitative and Objective Approach, Modeling and Characterization* 55/10 (2003) 43-47.
4. M. Chuchro, J. Czekaj, A. Ruszaj, *Wytwarzanie modeli funkcjonalnych i narzędzi metodą selektywnego spiekania laserowego (SLS, DMLS)*, *Mechanik* 81/12 (2008) 1064.
5. M. Klimek, *Zastosowanie technologii SLS w wykonawstwie stałych uzupełnień protetycznych*, *Protetyka* 12 (2012) 47-55.
6. L.A. Dobrzański, G. Matula, *Podstawy metalurgii proszków i materiały spiekane*, *Open Access Library* 8(14) (2012) 1-156.
7. L.S. Bertol, W.K. Júnior, F.P. da Silva, C.A. Kopp, *Medical design: Direct Metal Laser Sintering of Ti-6Al-4V*, *Materials and Design* 31 (2010) 3982-3988.
8. L. Ciocca, M. Fantini, F. De Crescenzo, G. Corinaldesi, R. Scott, *Direct Metal Laser Sintering (DMLS) of a customized titanium mesh for prosthetically guided bone regeneration of atrophic maxillary arches*, *Medical and Biological Engineering and Computing* 49 (2011) 1347-1352.

9. A. Mazzoli, Selective laser sintering in biomedical engineering, *Medical & Biological Engineering & Computing* 51/3 (2013) 245-256.
10. A. Bandyopadhyay, F. Espana, V.K. Balla, S. Bose, Y. Ohgami, N.M. Davies, Influence of porosity on mechanical properties and in vivo response of Ti6Al4V implants, *Acta Biomaterialia* 6/4 (2010) 1640-1648.
11. S. Van Bael, Y.C. Chai, S. Truscetto, M. Moesen, G. Kerckhofs, H. Van Oosterwyck, J.P. Kruth, J. Schrooten, The effect of pore geometry on the in vitro biological behavior of human periosteum-derived cells seeded on selective laser-melted Ti6Al4V bone scaffolds, *Acta Biomaterialia* 8/7 (2012) 2824-2834.
12. I. Shishkovsky, V. Scherbakov, Selective laser sintering of biopolymers with micro and nano ceramic additives for medicine, *Physics Procedia* 39 (2012) 491-499.
13. L.A. Dobrzański, M. Musztyfaga, A. Drygała, Selective laser sintering method of manufacturing front electrode of silicon solar cell, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 42/1-2 (2010) 111-119.
14. L.A. Dobrzański, A. Drygała, M. Musztyfaga, P. Panek, Porównanie struktury i właściwości elektrycznych przednich elektrod ogniw słonecznych wypalanych w piecu taśmowym i selektywnie spiekanych laserowo, *Elektronika. Konstrukcje – Technologie – Zastosowania* 4/2011 (2011) 50-52.
15. K. Chojnowska, Model wirtualny wsparty wydrukiem 3D, *Desing News Polska* 3 (2008).