

Dr inż. Wojciech Paweł Depczyński
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn
Katedra Metaloznawstwa i Technologii Materiałowych
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

Autoreferat prezentujący opis dorobku i osiągnięć naukowych

Załącznik nr 2

1. Imię nazwisko

Wojciech Paweł Depczyński

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

1995 r. **Magister inżynier mechanik**

Dyscyplina naukowa: Nauki techniczne, Mechanika i budowa maszyn
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn

1996 r. **Informatyka Stosowana** – Studia podyplomowe, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

2004 r. **Doktor nauk technicznych**, w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn;
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn.
Specjalność: Inżynieria powierzchni.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych

1997 - obecnie Politechnika Świętokrzyska w Kielcach,

Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn

Katedra Metaloznawstwa i Technologii Materiałowych

Rodzaj działalności: praca naukowo-dydaktyczna

Stanowisko: Adiunkt

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art.16 ust.2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

a) tytuł osiągnięcia naukowego:

Moje osiągnięcie naukowe w rozumieniu art.16 ust. Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku wraz z późniejszymi zmianami, stanowi jednotematyczny cykl publikacji technologiczno – badawczych zatytułowany:

„Technologia wytwarzania spiekanych materiałów porowatych o porach otwartych na bazie proszków metali do zastosowań w zakresie dyssypacji energii i wymiany ciepła”

b) wykaz prac naukowych dokumentujących osiągnięcia technologiczno – badawcze, stanowiące podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.

1. W. Żórawski, R. Chatys, W. Depczyński, Patent PL 199720 Sposób wytwarzania struktur porowatych, 2008 (Udział procentowy 33%).
2. W. Depczyński, Sintering of copper layers with a controlled porous structure, 15 pkt. w czasopiśmie: METAL 2014 23rd International Conference on Metallurgy and Materials, strony: 1219-1224 Opublikowano: 2014 .
3. W. Depczyński Investigating porosity of sintering porous copper structure with 3D micro-focus X-ray computed tomography (μ CT), 9 pkt., w czasopiśmie: Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering Tom: 66, Zeszyt: 2, strony: 67-71 Opublikowano: 2014.
4. P. Młynarczyk, W. Depczyński The Selected Properties of Fusion of Fe Foam and Sheet Metal with Use of the Nd: YAG Laser, w czasopiśmie: Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering Tom: 65, Zeszyt: 2, Strony: 68-72, 9 pkt . Opublikowano: 2014 (Udział procentowy 50%).
5. W. Depczyński, S. Spadło, P. Młynarczyk, E. Ziach, P. Hepner The Selected Properties of Porous Layers formed by Pulse Microwelding Technique, 15 pkt w czasopiśmie: Proceedings of 24th International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2015, strony: 1087-1092, Opublikowano: 2015 (Udział procentowy 50%).
6. W. Depczyński, P. Młynarczyk, S. Spadło, E. Ziach, WYTWARZANIE WARSTW POROWATYCH PRZY UŻYCIU MIKROSPAWANIA, 5 pkt. w czasopiśmie: TTS. Technika Transportu Szynowego, Strony: 378-380, Opublikowano: 2015 (Udział procentowy 45%),
7. W. Depczyński, P. Młynarczyk, S. Spadło, E. Ziach ANALIZA MIKROSTRUKTURY WARSTW POROWATYCH NANOSZONYCH W PROCESIE MIKROSPAWANIA, 5 pkt w czasopiśmie: TTS. Technika Transportu Szynowego, strony: 374-377 Opublikowano: 2015 (Udział procentowy 45%),
8. W. Depczyński, R. Kazała, K. Ludwinek, K. Jedynak, Modelling and Microstructural Characterization of Sintered Metallic Porous Materials, 35 pkt w czasopiśmie: Materials Tom: 9(7), Zeszyt: 567, strony: 1-12 Opublikowano: 2016 (Udział procentowy 50%).
9. W. Depczyński, THE SELECTED PROPERTIES OF FUSION OF FE FOAM AND SHEET METAL WITH USE OF SINTERING IN DISSOCIATED AMMONIA, 15 pkt, w czasopiśmie: Proceedings of 25TH ANNIVERSARY INTERNATIONAL CONFERENCE ON METALLURGY AND MATERIALS METAL 2016, strony: 682-687, Opublikowano: 2016.
10. W. Depczyński THE INFLUENCE OF CARBON ADDITION ON UPSETTING CHARACTERISTICS OF POROUS COMPONENTS PREPARED BY FE-BASED SINTERING TECHNOLOGY, 15 pkt. w czasopiśmie: 26th International Conference on Metallurgy and Materials, Strony: 761-765, Opublikowano: 2017.
11. W. Depczyński, Ł. Nowakowski, P. Hepner, E. Miko, THE INFLUENCE OF POROSITY ON MACHINABILITY OF SINTERED FE FOAM ELEMENTS, 25 pkt., w czasopiśmie: METALURGIJA, Tom: 56, Zeszyt: 3-4, Strony: 364-366, Opublikowano: 2017 (Udział procentowy 45%).

12. W. Depczyński, A. Piasecki, M. Piasecka, K. Strąk, Impact of Fe powder sintering and soldering in production of porous heating surface on flow boiling heat transfer in minichannels, 15 pkt. w czasopiśmie: E3S Web of Conferences Tom: 19, Strony: 1-6 Opublikowano: 2017, (Udział procentowy 25%).
13. W. Depczyński, T. Miłek, Ł. Nowakowski, Experimental comparison between upsetting characteristics of porous components prepared by Fe-based sintering technology, 15 pkt., w czasopiśmie: IOP Conference Series-Materials Science and Engineering Tom: 179, Strony: 1-7, Opublikowano: 2017 (Udział procentowy 33%).
14. W. Depczyński, Fabrication of Fe/Al₂O₃ composite foam by sintering techniques w czasopiśmie: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Tom: 461, Zeszyt: 1, Strony: 1-6, Opublikowano: 2018.

Powyższy cykl publikacji został przedstawiony w porządku chronologicznym zgodnie z kolejnością powstawania poszczególnych opracowań.

c) omówienie celu naukowego prac wymienionych w punkcie 4b i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Inspiracja naukowa

Moja praca naukowo-dydaktyczna w Katedrze Metaloznawstwa i Technologii Materiałowych Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach koncentruje się na zagadnieniach z zakresu materiałoznawstwa i inżynierii powierzchni ze szczególnym uwzględnieniem spiekania, wykorzystania źródeł skoncentrowanej energii do konstytuowania warstwy wierzchniej materiałów funkcjonalnych, mikrospawania, a także obróbek dyfuzyjnych. Na wybór moich zainteresowań badawczych wpłynęła długoletnia współpraca z zespołem interdyscyplinarnym (m.in. Katedra Termodynamiki i Mechaniki Płynów /KTMiP/ oraz Katedry Metaloznawstwa i Technologii Materiałowych /KTMiTM/) zajmującym się badaniem intensyfikacji wymiany ciepła na powierzchniach rozwiniętych.

W początkowym okresie badania dotyczyły opracowania technologii wytwarzania wymienników ciepła z tzw. miedzianym pokryciem włóknisto-porowatym typu SKP (struktura kapilarno-porowata, lub ang. Capillary Porous Structure - CPS) w wymiarze krajowym celem uniknięcia importu elementów wymienników z ww. pokryciami z zagranicy. Prace te zakończyły się sukcesem i pozwoliły na dostarczanie tych elementów do eksperymentów w ramach prac badawczych prowadzonych w KTIMP prac badawczych finansowanych w ramach grantów KBN. W wyniku tych działań powstało szereg publikacji i patentów wykorzystujących przedmiotowe pokrycia. Publikacje te ukazały się w czasopismach wymienionych w wykazie MNiSzW (część A). Dzięki opanowaniu procesu technologicznego wytwarzania pokryć CPS w stopniu umożliwiającym kontrolowaną modyfikację parametrów technicznych pokryć m.in. porowatości i grubości warstwy, zyskałem umiejętność dostarczania zespołowi elementów o oczekiwanych parametrach. Wnioski z przeprowadzonych badań zaowocowały powstaniem 2 patentów krajowych.

Logicznym krokiem w rozwoju badawczym stało się doskonalenie technologii wytwarzania pokryć struktur kapilarno porowatych - SKP („ang. Capillary Porous Structure - CPS”) poprzez tworzenie m.in. elementów rur cieplnych z wewnętrznym i zewnętrznym pokryciem SKP (CPS). Pokrycia SKP (CPS) mają wiele niezaprzeczalnych zalet z punktu widzenia wymiany ciepła. Są to struktury wytworzone z „włókienek” miedzianych – czyli z odcinków drutu miedzianego o średnicy 50 μm i długości około 3 mm. Element wymiennika spieka się z wcześniej odmierzoną porcją „włókienek” w ceramicznej formie w atmosferze redukującej. Taka struktura nie posiadająca zamkniętych porów. Istnieje duża ilość połączeń dyfuzyjnych pomiędzy poszczególnymi elementami struktury zapewniająca transport ciepła. Rys. 1. Wadą jest ograniczona możliwość kontroli geometrii spiekane go elementu i możliwość wytwarzania warstw o minimalnej grubości co najmniej kilku średnic użytego włókna. Oczekiwania w zakresie szerszej zmiany tych parametrów okazały się nie do pokonania z przyczyn rozmiaru dostępnych włókien.



Rysunek 1. Elementy wymienników ciepła i „rur cieplnych” z pokryciami strukturalnymi typu SKP (CPS) wykonanymi przez autora.

Ograniczenia technologii spiekania pokryć włóknisto-porowatych w naturalny sposób wymusiły poszukiwanie lepszej metody wykonywania elementów spełniających następujące kryteria:

- otwarta porowatość,
- rozbudowane kanały,
- duża gęstość powierzchniową porów, jako potencjalnych ośrodków nukleacji,
- duże średnice ujść porów.

Technologia powinna zapewnić też lepszą regulację wielkości porów, możliwości regulacji grubości warstwy w szerszym zakresie niż uzyskiwane przy zastosowaniu

technologii SKP (CPS). Badania doprowadziły do opracowania sposobu wytwarzania warstw techniką natrysku cieplnego proszku Cu w warunkach jego silnego utleniania, co doprowadziło do wytworzenia warstwy mieszanej miedzi i tlenku miedzi. Warstwa ta następnie została poddana redukcji w kontrolowanej atmosferze zdysocjowanego amoniaku. Doprowadziło to do powstania porów w miejscu występowania tlenków miedzi. Próby okazały się obiecujące, a nowatorska metoda wytwarzania materiałów porowatych uzyskała ochronę patentową w 2008 r. Pokonanie niedogodności pierwotnej metody wytwarzania warstw z wykorzystaniem technologii natryskowych związanych z dostępnością i ceną urządzeń skierowały moją uwagę na wykorzystanie technologii spiekania proszków metalu i tlenku metalu w kontrolowanej atmosferze zdysocjowanego amoniaku.

Jako materiały do tworzenia warstw porowatych dla zastosowań w wymianie ciepła wykorzystałem dostępne w handlu proszki miedzi i tlenków miedzi. Stosowałem je w różnych konfiguracjach – w zależności od oczekiwanych rezultatów – porowatości i wielkości porów. Proszki miedzi używane w technologiach natryskowych i do spiekania występują w bardzo szerokim zakresie wielkości ziarna. Podobnie ich sproszkowane tlenki. Stosowanie technik metalurgii proszków ma tę zaletę, iż jest niedroga i dostępna a zatem ekonomicznie opłacalna oraz łatwa do wdrożenia w praktyce gospodarczej. Wszystkie składniki do produkcji są wytwarzane w Kraju. Wsadem do spiekania jest mieszanka proszku miedzi i tlenków miedzi (II i III) w takich proporcjach by zredukowane tlenki spowodowały powstanie pustek w spiekany materiale.

Założono, że w wyniku „nałożenia” kompozycji miedzi z wtrąceniami tlenkowymi lub z dodatkiem proszku tlenku miedzi, w trakcie wyżarzania i spiekania w atmosferze wodoru, zostaną wytworzone pory pochodzenia dyfuzyjnego, co powinno doprowadzić do rozwinięcia powierzchni wewnątrz struktury.

Podstawą procesu uzyskiwania miedzianych struktur porowatych jest prosta reakcja chemiczna: $Cu_2O + 2H = 2Cu + H_2O$

Redukujące się tlenki w atmosferze zdysocjowanego amoniaku tworzą parę wodną, która musi znaleźć ujście z całej objętości spiekane go elementu (wsadu). Dodatkowo objętość cząsteczek tlenków miedzi jest większa niż cząsteczek miedzi powstałej z redukcji tlenków, co prowadzi do zmniejszenia objętości wsadu i pomaga w generowaniu pustek – porów.

M.F. Ashby et. Al. w pracy Metal Foams: A Design Guide przedstawia następujące metody wytwarzania metalicznych materiałów porowatych:

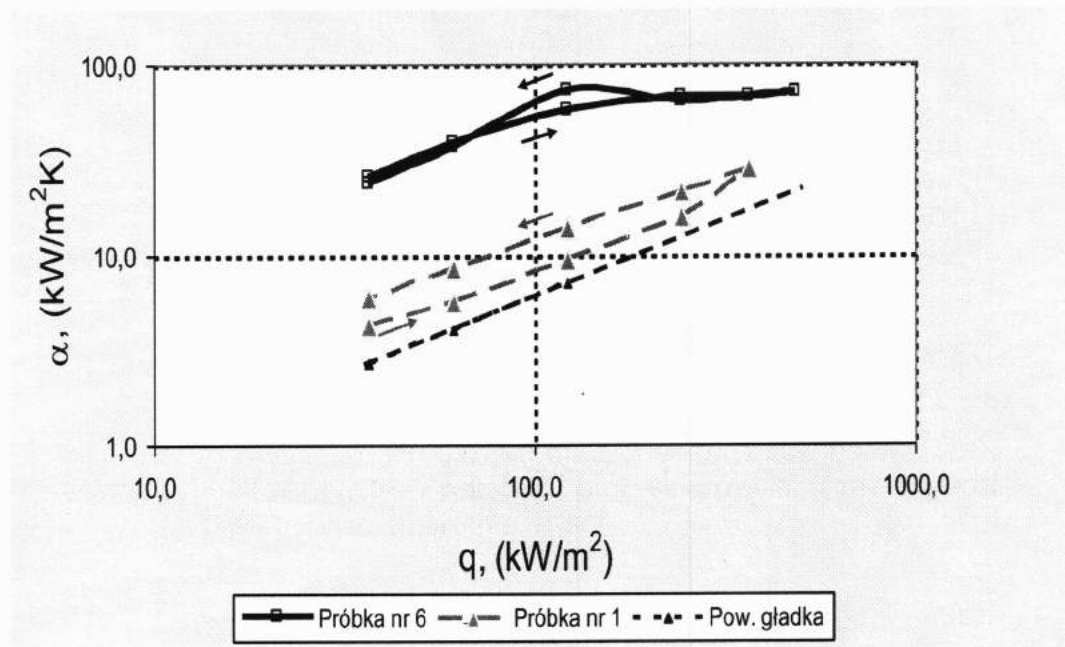
- 1) Nadmuch gazu przez stopione stopy Al – SiC lub Al – Al_2O_3 (Al, Mg)
- 2) Mieszanie środka spieniającego (Foaming agent- zazwyczaj TiH_2) w stopionym stopie (zazwyczaj stopie aluminium) i kontrolowanie ciśnienia podczas chłodzenia (Al).
- 3) Konsolidacja proszku metalicznego (najczęściej stopów aluminium) z rozdrobnionym środkiem spieniającym (TiH_2 ponownie), a następnie podgrzanie do stanu „papkowatego”, gdy środek spieniający uwalnia wodór, rozszerzając materiał (Al, Zn, Fe, Pb, Au).
- 4) Wytwarzanie formy ceramicznej z prekursora wosku lub pianki polimerowej (Space holder), a następnie wypalenie prekursora i infiltracja ciśnieniowa

- stopioną metalową lub metalową zawiesziną proszku, którą następnie spieka się. [Al, Mg, Ni – Cr, stal nierdzewna, Cu]
- 5) Osadzanie w fazie gazowej lub osadzanie elektrolityczne metalu na prekursorze pianki polimerowej, który jest następnie wypalany, pozostawiając krawędzie komórek z pustymi rdzeniami. [Ni, Ti] Rozmiar komórki (cm).
 - 6) Zatrzymywanie wysokociśnieniowego gazu obojętnego w porach przez prasowanie izostatyczne proszku na gorąco (HIPing), a następnie rozprężanie gazu w podwyższonej temperaturze. [Ti]
 - 7) Spiekanie pustych kulek, wykonanych w zmodyfikowanym procesie rozpylania lub z kulek tlenku metalu lub wodoru, po których następuje redukcja lub odwodnienie, lub przez osadzanie par metalu na kulkach polimeru (Stopy Ni, Co, Ni – Cr)
 - 8) Współwytłaczanie proszku metalicznego z ługowalnym proszkiem lub ciśnieniowa filtracja złoża wymywalnych cząstek ciekłym metalem, a następnie ługowanie w celu uzyskania szkieletu metalowo-piankowego. (Al, z solą jako wymywalnym proszkiem)
 - 9) Rozpuszczanie gazu (zazwyczaj wodoru) w ciekłym metalu pod ciśnieniem, umożliwiając jego uwolnienie w kontrolowany sposób podczas późniejszego krzepnięcia (Cu, Ni, Al)

J. Banhart w pracy pt. Light Metal Foams - History of Innovation and Technological Challenges proponuje znacznie bardziej rozbudowany podział bazując na nomenklaturze i technologiach producentów tego typu materiałów. J. Banhart zawęża definicję pianki metalicznej do materiałów wytwarzanych z ciekłych metali. Biorąc pod uwagę dotychczas opisywane metody produkcji materiałów porowatych (M. Ashby i J. Banhart) moją autorską metodę można sklasyfikować jako połączenie metod wytwarzania z użyciem tzw. Foaming Agent – środka spieniającego i Space Holder – środka wypełniającego. Nie znajduję w literaturze opisów technologii wykonania materiałów porowatych stosujących te metody wspólnie w celu efektywnego wytworzenia materiału porowatego. Biorąc pod uwagę powyższe rozważania jest to z pewnością rozwiązanie unikatowe.

Naturalne materiały, takie jak pumeks, drewno lub kość, które były używane przez długi czas ze względu na ich unikalne właściwości. Porowate metale stosowane jako materiały strukturalne i funkcjonalne zyskały znaczną uwagę ze względu na interesujące kombinacje właściwości mechanicznych, termicznych i fizycznych. Na ogół porowate metale o dużej porowatości są zawsze klasyfikowane według wielkości porów i kształtu porów, w tym pianek metalowych i materiałów porowatych z włókien metalowych. W zastosowaniach inżynierskich metaliczne materiały porowate są szeroko stosowane w przemyśle obronnym i wojskowym, przemyśle petrochemicznym, maszynach metalurgicznych, ochronie środowiska ze względu na doskonałą wydajność filtracji i separacji, absorpcji energii, reakcji katalitycznej, wymianie ciepła etc. Wraz z rozszerzeniem zakresu zastosowania i zwiększeniem złożoności środowiska pracy, ważne jest zrozumienie związku między strukturą i właściwościami tych w celu poszerzenia zakresu jego zastosowania. Od XX wieku materiały komórkowe są konstruowane z „gęstych” materiałów podstawowych, ich właściwości są systematycznie badane i określa się, w jakich sytuacjach są one lepsze od ich gęstych odpowiedników.

Stopniowe doskonalenie składu użytych mieszanek proszków doprowadziło do takiej możliwości kontroli parametrów warstwy i procesu wrzenia, iż efektywność wymiany ciepła wzrosła nawet ponad 10-krotnie. Rys 2.



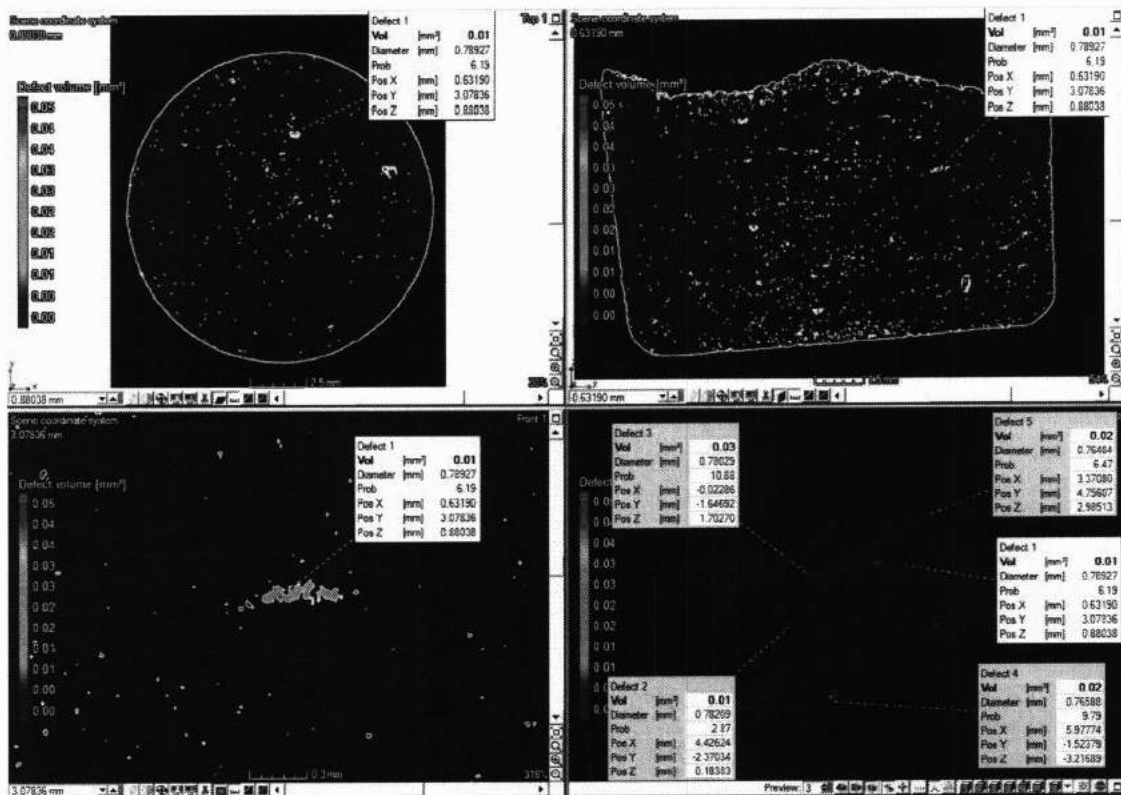
Rysunek 2. Porównanie krzywych dla próbki nr 6 wykonanej w technologii opisanej w patencie Nr 199720 o porowatości 59,2% i grubości 0,7 mm, próbki nr 1 o rozwiniętej do Rz 80 μm chropowatości powierzchni i powierzchni technicznie gładkiej.

Do prawidłowego zrozumienia struktury i geometrii metalicznej pianki istnieje potrzeba przeprowadzenia badań w różnej skali z zastosowaniem różnych dostępnych metody badawcze. Badania te pozwalają określić miejsce potencjalnego zastosowania pianki o ujawnionej mikrostrukturze. W tym celu są używane konwencjonalne metody standardowej mikroskopii optycznej OM i skaningowej mikroskopii SEM. Metody te mają jednak ograniczenia w odniesieniu do materiałów o strukturze porowatej – pozwalają na obserwacje jedynie dwuwymiarową. Konieczne jest stosowanie technik badawczych pozwalających na badania (wizualizację) materiałów porowatych w 3 wymiarach. W literaturze spotyka się coraz częściej opinie, że technika tomograficzna powinna być szeroko stosowana w celu wizualizacji struktury geometrycznej. Autor zastosował zatem technikę mikrotomografii rentgenowskiej w celu uzyskania obrazów 3D, które można wykorzystać do uzyskania ważnych parametrów morfologicznych opisujących materiały porowate (pianki). Naukowcy, którzy opracowują technologie wytwarzania pianek metalicznych, zaczynają wykorzystywać metody mikrotomografii rentgenowskiej μCT jako narzędzia do uzyskania unikalnych danych dotyczących "architektury" materiałów porowatych w tym pianek metalicznych i wpływu tejże na ich właściwości np. wpływ na transport płynów (filtracja, kataliza, wymiana ciepła)

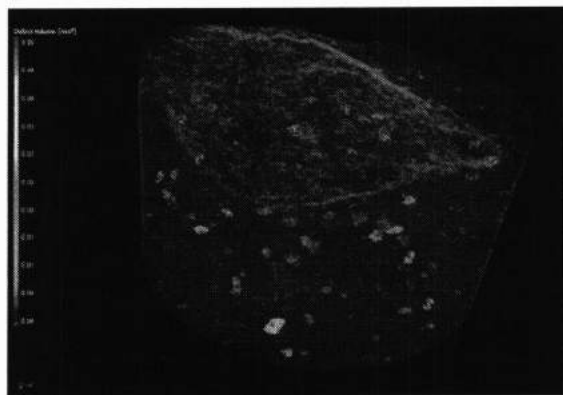
Mikrotomografia rentgenowska to potężne nieniszczące techniki pomiarowe pozwalające uzyskać istotne informacje dotyczące wewnętrznej struktury 3D materiałów porowatych. Przy stosowaniu materiałów porowatych o dużej powierzchni rozwiniętej w obszarach przenoszenia ciepła niezwykle ważne są informacje dotyczące porowatości lub wielkości rozwinięcia powierzchni.

W przypadku wymiany ciepła przy wrzeniu rozkład wielkości porów określa charakterystykę temperatury wrzenia - początek i koniec przepływu ciepła. Autor przeprowadził eksperyment przy użyciu elektrolitycznego proszku miedzi o wielkości cząstek 45-63 μm . Sproszkowany tlenek miedzi wytworzono ogrzewając sproszkowaną Cu w powietrzu w temperaturze 850°C. Rozmiar cząstek tlenku miedzi w proszku wynosił od 80 do 200 μm . Próbkę spiekano w postaci cylindrów o średnicy około 20 mm i wysokości około 8 mm.

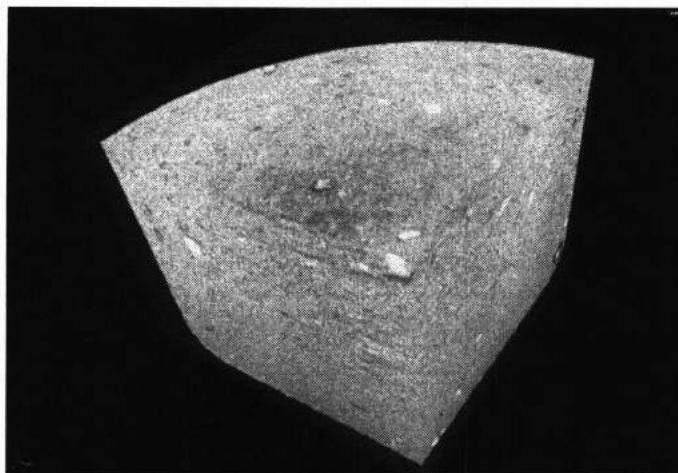
W celu dokonania badań μCT zastosowano urządzenie NIKON XTH 225 (ST) z otwartym źródłem typu *tube-reflective-wolfram*. Źródło promieniowania posiadało następujące parametry: napięcie przyspieszające 225 kV i prąd katodowy 35 μA . Wykonano 3142 obrazy rentgenowskie z interwałem 4 sek. Całkowity czas testu wyniósł 4 godziny. Wielkość ogniska wynosiła 3 μm . Próbkę wykonała obrót o 360 stopni. Próbkę znajdowała się na obrotowym stole pomiędzy źródłem promieniowania rentgenowskiego a detektorem. Źródło typu mikrofokus generowało promieniowanie rentgenowskie i transmitowało promienie przez próbkę. Cyfrowy detektor z płaskim panelem przechwytywał obrazy 2D prześwietleń rentgenowskich, które przeszły przez próbkę, pokazując różne odcienie szarości w zależności od gęstości materiału i geometrii wewnętrznej próbki. „Grubszy” lub gęstszy materiał, taki jak miedź, przekłada się na ciemniejsze obszary niż „cienkie” lub lekkie materiały. Skrajnym przypadkiem jest powietrze ma najmniejszą gęstość wśród prześwietlanych substancji (najjaśniejsze barwy). W celu wygenerowania obrazu μCT 3D, wykonywana jest seria kolejnych obrazów rentgenowskich 2D, gdy obiekt obraca się o 360°. Zarejestrowane obrazy 2D następnie przechodzą przez algorytm oprogramowania do rekonstrukcji obrazu 3D, który generuje przestrzenną mapę 3D obiektu. Oprócz zewnętrznej powierzchni, rekonstrukcja zawiera wewnętrzną powierzchnię, jak również pełną wewnętrzną strukturę. Struktura ta jest uzyskiwana przez przyporządkowanie zarejestrowanej gęstości do właściwego woksela (woksel jest trójwymiarowym analogiem piksela). Rekonstrukcja próbki elementu spiekane go na podstawie rzutowanych przekrojów obrazu prowadzi do modelu woksela, gdzie „skala szarości” wartości woksela jest miarą liniowego współczynnika tłumienia materiału. Dane woksela są poddawane obróbce końcowej za pomocą algorytmów wykrywających krawędzie i cechy obrabianego przedmiotu, umożliwiając pomiar wymiarów oraz m.in. kontrolę jakości (Rys. 3 i 4).



Rysunek 3. Chmura punktów wykorzystana do rekonstrukcji procesu.



Rysunek 4. Transformacja chmury punktów 3D



Rysunek 5. Rekonstrukcja części elementu.

Podstawowe algorytmy działają na zasadzie analizy całej chmury punktów, w zakresie ustawionego limitu dla poziomu szarości dla szczegółów środowiska "tło" i sprawdzają poziom szarości danego woksela. Jeśli ten poziom odpowiada poziomowi powietrza (niskie wartości poziomu szarości), rozpoznaje go jako wadę - pustkę (jest mniejsza niż zdefiniowany limit). W wyniku transformacji uzyskano chmurę punktów 3D. Następnie rekonstrukcja pozwoliła otrzymać "obraz" próbki utworzonej na podstawie dostępnych algorytmów. Dzięki wykonanej rekonstrukcji i powstaniu modelu 3D możliwe były następujące działania:

- automatyczne i szybkie wykrywanie, analiza i wizualizacja porów lub inkluzji w materiale,
- objętość, położenie, wielkość i powierzchnia są określane dla każdego pojedynczego pora/ inkluzji,
- kodowanie kolorami pora lub wtrącenia według objętości,
- statystyki wielkości defektu, całkowity procent porowatości i histogram objętości porów,
- analiza całego obiektu lub regionów zainteresowania.

Dla prac nad materiałami do wymiany ciepła niezwykle ważne jest rozkład wielkości porów w objętości wymiennika ciepła. W wyniku rekonstrukcji otrzymano rozkład wielkości porów w objętości elementu testowego (ryc. 5) i rozkład powierzchni porów w objętości.

Parametry strukturalne, takie jak porowatość, średnia wielkość porów i powierzchnia właściwa zostały obliczone na podstawie obrazów 3D uzyskanych za pomocą mikro tomografii. Tego typu parametry geometryczne zostały wprowadzone w modelach opisanych w literaturze, aby przewidzieć efekty termiczne wrzenia w piance/ materiale porowatym. Tego rodzaju wyniki dają okazję do szczegółowego modelowania wymiany ciepła jako podstawy przyszłych eksperymentów i zastosowań pianki metalicznej. Metody μ CT zapewniają dokładniejsze wyniki z uwzględnieniem objętości badanego elementu niż te stosowane dotychczas przy metodach analizy

obrazu opartych na mikrofotografii. Metody analizy obrazu są odpowiednie tylko dla małych objętości obserwacji.

Miedź jest materiałem o bardzo dobrych parametrach w zakresie przewodnictwa ciepła i energii elektrycznej. W postaci czystej stosowana jest technicznie przeważnie w tych dziedzinach. Wykorzystując dotychczasowe doświadczenia postanowiłem zsyntetyzować materiały porowate oparte o inne stosowane w technice pierwiastki – szczególnie żelazo jako najczęściej stosowane. Proszki żelaza są używane powszechnie do wykonywania spiekanych komponentów i części maszyn. Wykorzystywane technologie spiekania są co do zasady identyczne dla Cu i Fe. Jednocześnie obserwowany jest wzrost zainteresowania materiałami porowatymi jako materiałów konstrukcyjnych, spowodowany przez fakt, że porowata struktura występuje w żywych organizmach, na przykład w morfologii drewna lub ludzkich kościach. Porowata struktura charakteryzuje się niezwykłym połączeniem dwóch właściwości: wysoka sztywność i minimalna waga. Wysoce porowate materiały o otwartych komórkach oparte na różnych metalach i stopach cieszą się coraz większym zainteresowaniem łącząc właściwości strukturalne i funkcjonalne. Pianki metaliczne o otwartych komórkach i ich specyficznych właściwościach strukturalnych są atrakcyjnymi kandydatami do szerokiego zakresu zastosowań w dziedzinie budowy katalizatorów, technologiach procesowych (filtracja) i energetycznych. Olbrzymie pole do zastosowania dają świetne parametry materiałów porowatych, jeśli chodzi o rozpraszanie energii – tzw. dyssypacja energii – zarówno jeśli dotyczy to tłumienia uderów jak i tłumienia hałasu.

Wczesne próby uzyskania porowatej struktury na bazie żelaza i jego stopów oparte były o wiedzę na temat spienialnych polimerów, gdzie wdmuchiwany gaz był stosowany jako środek spieniający. Badania przeprowadzone w ciągu ostatnich 15-20 lat wykazały, że pianki metalowe do celów badań laboratoryjnych można wytwarzać na bazie żelaza, stanowiąc interesujący i rozwojowy temat badawczy w odniesieniu do ich właściwości i zastosowań.

Inna stosowana metoda koncentrowała się na generowaniu struktury komórkowej za pomocą granulek, które były wprowadzone do ciekłego metalu lub do formy odlewniczej. Elementy wykonane z tych materiałów z powodzeniem są stosowane w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym i zbrojeniowym. Chociaż stopy żelaza są najczęściej używanymi materiałami konstrukcyjnymi, uzyskane z nich porowate materiały nigdy nie były szeroko stosowane. Może to być spowodowane problemami z dostępnością na rynku pianek stalowych (na bazie Fe) i niewystarczająca liczba proponowanych zastosowań.

Pianki metalowe, które są obecnie opracowywane i wytwarzane do użytku przemysłowego w charakterze materiałów konstrukcyjnych, bazują głównie na Al, Cu i w mniejszym stopniu Fe.

Wykorzystując doświadczenia z badań nad wytwarzaniem elementów i powłok porowatych na bazie miedzi postanowiłem opracować metodę wytwarzania tego typu materiałów na bazie proszków żelaza. Moje prace rozwijały się dwutorowo.

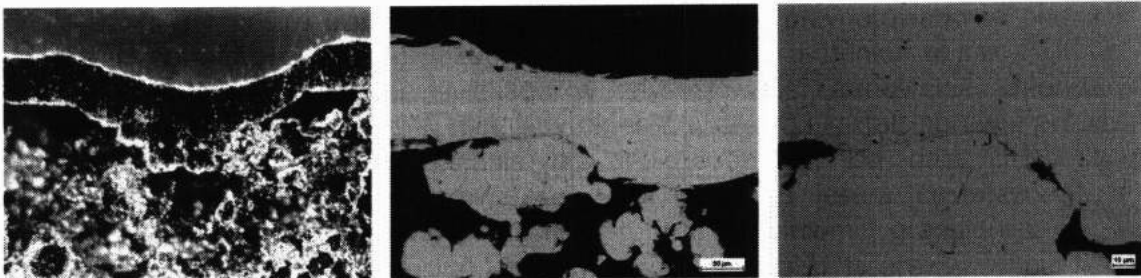
W ramach współpracy z (M. Piasecka, grant badawczy NCN, umowa nr UMO 2013/09/B/ST8/02825) pojawiła się potrzeba wykonania warstw o dużym rozwinięciu powierzchni na elementach grzejnych wykonanych z superstopów: Haynes H230 i Hastelloy X.

Wypróbowałem kilka metod wykonania takiej powierzchni. Pierwsza z nich opierała się na wytworzeniu materiału porowatego na bazie proszków Fe, wykonania z nich za pomocą obróbki mechanicznej elementów stanowiących warstwę. Następnie połączone zostały z podłożem wykonanym z Haynes H230®.

Do łączenia elementów użyłem lasera Nd-YAG. Piankę Fe przygotowano za pomocą mieszaniny proszku żelaza ASC 100.29 (firmy Höganäs) i tlenku żelaza Fe_2O_3 o różnych składach. Mieszaninę spiekano w zdysocjowanej atmosferze amoniaku w temperaturze 1180°C przez 45 min. Aby określić wielkość i kształt porów z próbek pianki, zastosowano oprogramowanie do analizy obrazu. Do dalszych badań wyselekcjonowano piankę o porowatości 57%. Promień lasera dostarczono za pomocą światłowodu. Ogniskowa dla lasera Nd: itr / aluminium / granat (Nd: YAG) o długości fali 1064 nm wynosiła 100 mm. Średnica wiązki laserowej w punkcie ogniskowania wynosiła 300 μm .

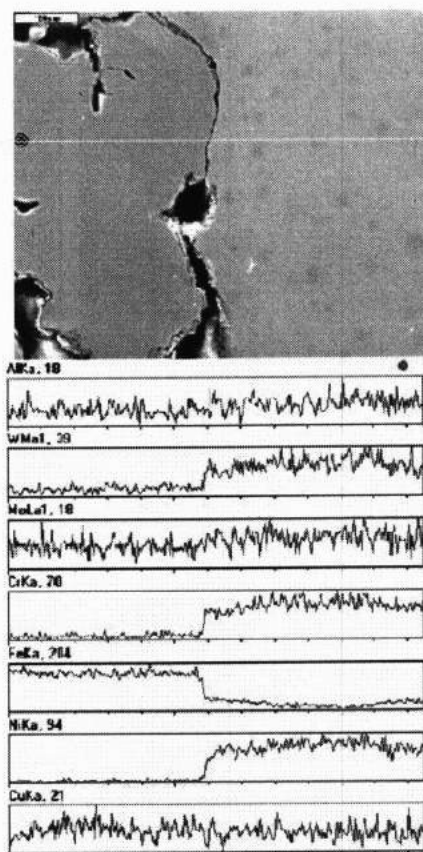
- moc wiązki laserowej 600W
- stosowanie skanowania 250 mm / min
- stopniowa częstotliwość 44 Hz
- czas pulsu 0,5 ms.

Uzyskałem satysfakcjonujące połączenie pomiędzy spajanymi elementami.



Rysunek 6. Makro i mikro struktury połączenia blachy ze stopu H230 oraz pianki Fe.

Wyniki wskazały, że istnieje możliwość uzyskania wymaganej jakości połączenia pomiędzy pianką Fe i superstopem Hynes H230® (rys.6.). Ważne było, aby nie nastąpiła znacząca dyfuzja Fe w kierunku superstopu H230®. W wyniku analizy EDS wykazano, że nie występowała dyfuzja Fe w kierunku H230®. Dyfuzja Fe w H230® miałaby niekorzystny wpływ na parametry superstopu i oznaczałaby znaczny spadek właściwości wysokotemperaturowych. Podczas procesu spawania nastąpiła natomiast dyfuzja Mo i Al w kierunku pianki Fe i niewielka dyfuzja Cu w kierunku H230® (rys.7.).



Rysunek 7. Rozkład liniowy pierwiastków w rejonie połączenia H230@ i Distaloy SE.

Należy dodać, że strefa dyfuzji jest bardzo mała. Inna analiza EDS przeprowadzona w większej odległości od spoiny nie wykazała dyfuzji Cu.

Technologia spawania laserowego pianki z podłożem została zarzucona ze względu na komplikacje w wyznaczeniu parametrów spawania i problematyczne uzyskiwanie cienkich, poniżej 1 mm, elementów piankowych pokryć metodą obróbki skrawaniem i późniejszego szlifowania.

Oczywistym wyborem w tym momencie stały się technologie pozwalające na wytworzenie porowatej warstwy bezpośrednio na elemencie podłoża z superstopu. Dla ograniczenia kosztów pierwsze próby podjąłem stosując jako podłoże stal węglową. Zaproponowałem nową metodę wytwarzania warstwy porowatej przy użyciu mikronapawania opornościowo-indukcyjnego i późniejszej redukcji składników warstwy (mieszanki tlenków w osnowie proszku żelaza), w wyniku czego otrzymuje się pory.

Proces mikronapawania opornościowo-impulsowego przy wykorzystaniu aparatu do mikronapawania WS7000S można, jak się okazało, z powodzeniem stosować również do napawania porowatych powłok na podłoże z tworzyw metalicznych – przewodników elektrycznych. Proces ten wymaga jednak doboru odpowiednich

parametrów mikronapawania oraz starannego i bardzo dokładnego przygotowania powierzchni materiału podłoża.

Materiały wykorzystywane w moich eksperymentach badawczych są szeroko stosowane do wytwarzania elementów maszyn i urządzeń. Jako materiał podłoża zastosowano stal gatunku S235JR. Jako materiał napawany zostały użyte pasty wykonane z mieszaniny oleju silikonowego i:

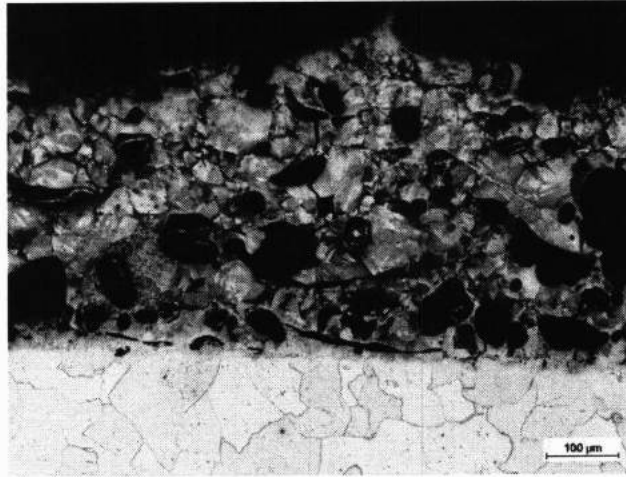
- proszku żelaza NC 100.24,
- proszku żelaza ASC 100.29,
- proszku Distaloy SE.

Ponadto do proszków zostały dodane inne materiały takie jak: proszek tlenku żelaza Fe_2O_3 oraz proszek miedzi Cu. Proszek miedzi spełnia w procesie spiekania rolę prekursora, pozwalając na tworzenie mostków dyfuzyjnych pomiędzy spiekanymi elementami struktury. Dla uzyskania dobrego połączenia, niezbędne było gruntowne przygotowanie powierzchni. Materiał podłoża został mechanicznie oczyszczony z pozostałości tlenkowych i odtłuszczony, także w miejscu podłączenia przewodu masowego.

Z punktu widzenia technologii mikronapawania bardzo istotny jest odpowiedni dobór parametrów, ponieważ:

- odpowiednia intensywność impulsów pozwala na osiągnięcie optymalnej jakości napoiny,
- zbyt niska intensywność impulsów może spowodować jedynie przyklejenie materiału, a nie jego trwałe przyspawanie,
- zbyt wysoka intensywność impulsów powoduje deformacje i uszkodzenia materiałów nanoszonych oraz uszkodzenie elektrody wolframowej i przewodu masowego.

Wszystkie parametry zostały dobrane eksperymentalnie. Doświadczenie było przeprowadzane z wykorzystaniem różnych kombinacji parametrów, aż do uzyskania warstw osiągających najlepsze rezultaty w badaniach makroskopowych. Na blachę nanoszono cienką warstwę pasty, a następnie z umiarkowanym naciskiem przemieszczano elektrodę wzdłuż naniesionej warstwy pasty. Proces ten powtarzano kilkunastokrotnie, aż do odparowania całego oleju silikonowego z nakładanej mieszaniny. Uzyskana powłoka miała grubość poniżej 1 mm. Po wykonaniu powłok fragmenty próbek zostały wycięte na przecinarce ramowej i poddane wygrzewaniu w piecu w temperaturze 1130°C przez okres ok. 45 min. Proces ten przebiegał w atmosferze zdysocjowanego amoniaku. Po zakończeniu wygrzewania, studzenie próbek odbywało się w atmosferze ochronnej, aż do uzyskania temperatury pokojowej. Średnia prędkość chłodzenia wynosiła około 25°C/min. Parametry wygrzewania odpowiadają średnim wartościom stosowanym przy produkcji spieków, opartych na materiałach bazujących na proszkach żelaza. Zastosowano także typową atmosferę redukującą, wykorzystywaną przy produkcji elementów spiekanych. W czasie wygrzewania redukujące właściwości atmosfery spowodowały powstanie porowatości na skutek zredukowania tlenków żelaza.



Rysunek 8. Mikrostruktura porowatej warstwy wierzchniej wykonanej przy użyciu pasty z oleju silikonowego i proszku Distaloy SE po trawieniu nitałem, powiększenie 100x

W celu określenia podstawowych parametrów geometrycznych takich jak porowatość, grubość warstwy i rozkład wielkości porów, a także pomiarów twardości warstw i ich morfologii wykonano szereg obserwacji metalograficznych.

Znaczna rozbudowa powierzchni wewnątrz struktury została osiągnięta. Należy zauważyć, że niejednorodna dystrybucja porów, powstała ze względu na różnorodność wielkości cząstek kompozycji proszkowej. Można zaobserwować mostki łączące porowatą warstwę z powierzchnią podłoża stalowego (rys.8.). Została przeprowadzona analiza ilościowa mikrostruktury próbki Distaloy SE w celu określenia jej porowatości. Zastosowano zasadę Cavalieri-Hecqueta dla określenia porowatości uzyskanych warstw. Średnia porowatość wynosiła 64%. W przypadku innych próbek analizy wykazały, że średnia porowatość wynosiła od 57% dla kompozycji ASC 100.29 i od 41% dla kompozycji ASC 100.24. Wynikają one głównie z kształtu ziarn proszków ASC100.29 i ASC 100.24. Konieczne do kompozycji opartych na ASC 100.24 okazało się użycie mniejszej energii impulsów podczas procesu osadzania i stosunkowo długi impuls. Wpływa to bezpośrednio na morfologię uzyskiwanej struktury a co za tym idzie na możliwości zastosowania w elementach wymienników ciepła.

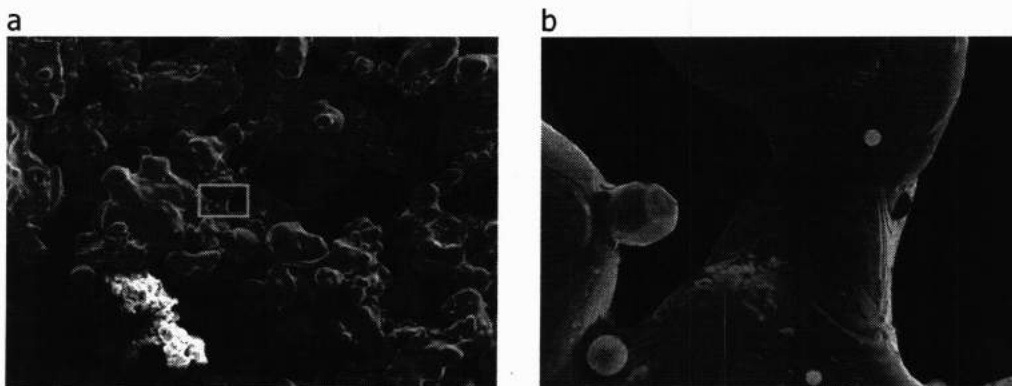
W dalszych badaniach skupiłem się na materiale wyprodukowanym z proszku żelaza (Fe) typu ASC 100.29 i Distaloy SE. Proszek ASC 100.29 powstaje przez atomizację i ma charakterystyczną morfologię. Składa się z sferycznych cząstek Fe o różnych rozmiarach tworzących aglomeraty, może zawierać maksymalnie do 0,01 %C. Distaloy SE (w nowszej wersji AE) opiera się na żelazie gąbczastym z dodatkiem 4% Ni 1,5 %Cu i 0,5 % Mo. Obydwa materiały stanowią podstawowe tworzywa do wytwarzania na skalę masową spiekanych części maszyn. Są to zatem materiały tanie i dostępne. Kompozycja wsadu do spiekania była podobna do wykorzystanej we wcześniejszych eksperymentach z użyciem proszków żelaza. Kompozycje składały się z proszku żelaza, proszku tlenku żelaza, proszku miedzi. Zostały zasypywane do formy w gęstości usypowej i poddane spiekaniu w kontrolowanej atmosferze zdysocjowanego amoniaku.

Analiza sitowa ASC 100.29 i Distaloy SE pokazująca procent różnych rozmiarów ziarna przedstawiona jest w Tabeli 1. Rozkłady określa się na podstawie danych wykorzystanych w procesie produkcji materiałów porowatych.

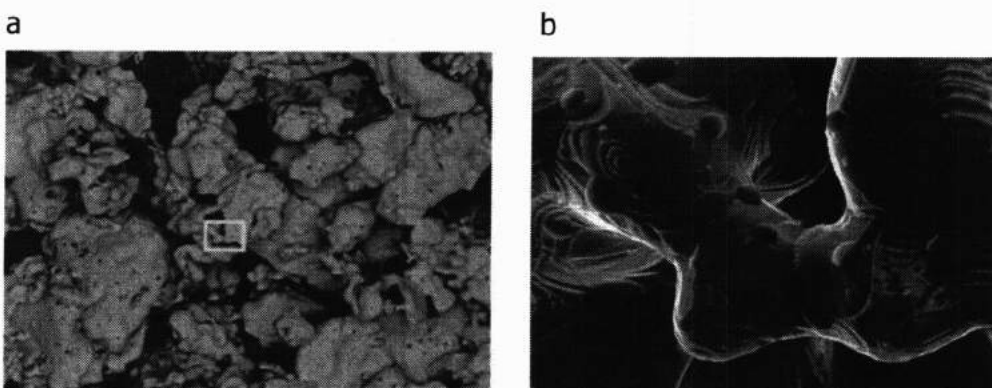
Tabela 1. Analiza sitowa – procentowy rozkład wielkości ziarna

Struktura ziarna (μm)	Analiza sitowa	
	ASC 100.29 (%)	Distaloy SE (%)
<45	18	22
45–150	65	76
150–180	17	2
>180	0	0

W wyniku zastosowania tego typu materiałów i otrzymałem pianki o otwartych porach o rozmiarach mikrometrycznych. Pory powstają między cząstkami żelaza połączonymi mostkami dyfuzyjnymi.



Rysunek 9. Obraz SEM spieku z ASC 100.29 (a) powiększenie x 350 z widocznym materiałem rodzimym oraz pustkami porowatości (b) powiększenie x 5000 z widocznym mostkiem dyfuzyjnym pomiędzy dwoma ziarnami materiału pianki.



Rysunek 10. Obraz SEM spieku z Distaloy SE (a) powiększenie x 350 z widocznym materiałem rodzimym oraz pustkami porowatości (b) powiększenie x 5000 z widocznym mostkiem dyfuzyjnym pomiędzy dwoma ziarnami materiału pianki.

W dalszej części moich badań podjąłem temat modelowania przestrzennego 3D wytwarzanych struktur porowatych. Przedstawiono modelowanie materiałów porowatych zawierających mostki dyfuzyjne umożliwiające trójwymiarowe obrazowanie (3D) w środowisku Blender. Środowisko Blender umożliwia generowanie geometrii cząstek wsadu i ich wizualizację.

Obecnie stosowane modele symulacyjne opierają się zwykle na uproszczonej strukturze materiału o regularnym kształcie, bez uwzględnienia mostów dyfuzyjnych. W literaturze można znaleźć różne sposoby modelowania mostów dyfuzyjnych. Jednak metody te nie są skuteczne w komputerowej symulacji złożonych struktur z dużą ilością ziaren o różnych rozmiarach.

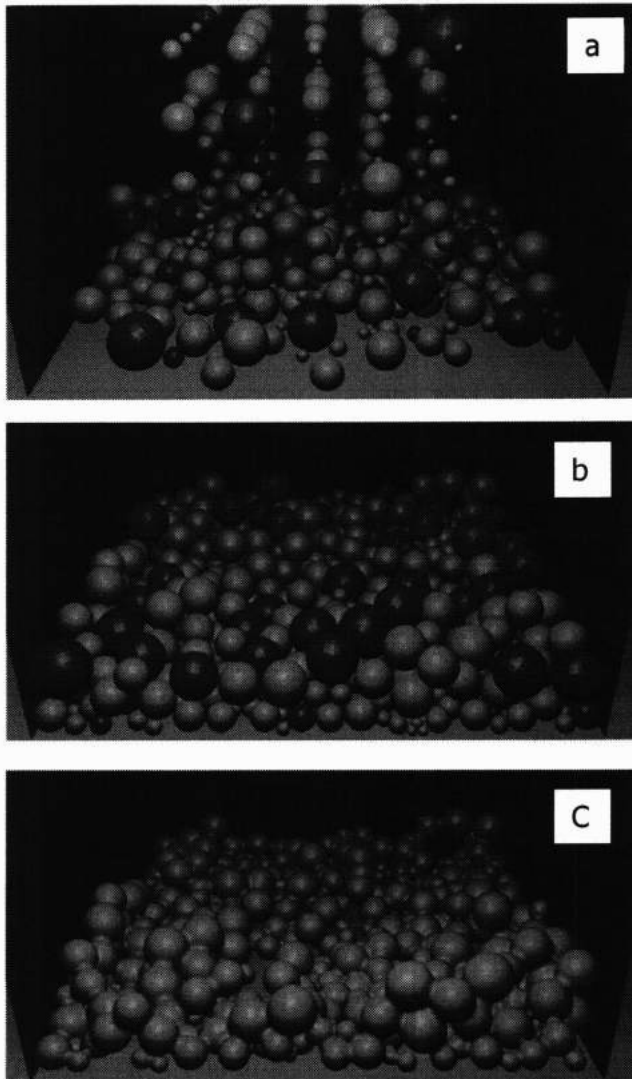
Aby zilustrować różne etapy produkcji materiału porowatego, modeluje się zbiór cząstek o losowym rozmiarze. Następnie do wypełnienia pojemnika porowatym materiałem stosuje się modelowanie fizyczne. Do modelowania materiałów porowatych zawierających mostki dyfuzyjne wykorzystano wyspecjalizowaną bibliotekę generującą obiekty typu metaball. Takie obiekty służą do modelowania struktur organicznych w grafice komputerowej, co stanowi innowacyjne podejście do modelowania struktur porowatych.

Na podstawie analizy autorzy zaobserwowali, że mechanizm łączenia obiektów typu metaball jest bardzo podobny do zjawiska zachodzącego podczas tworzenia mostów dyfuzyjnych w rzeczywistych materiałach o porowatych strukturach (z metalicznymi proszkami jako bazą). Obraz SEM mostów dyfuzyjnych (rysunek 10b) w porównaniu do modelu pokazanego na rysunku 13 wydaje się bardzo podobny, prawie identyczny, co wskazuje na dokładność przyjętej metody modelowania (obiekty metaball). Pełniejszą weryfikację wygenerowanych modeli można przeprowadzić, porównując je z rekonstrukcją struktur uzyskanych techniką μ CT. Aby skonstruować model symulacyjny materiałów porowatych o arbitralnej strukturze ziaren założono, że rozkład i rozmiary cząstek w partii są losowe, ale rozkłady wielkości cząstek są znane. Modelowanie metaboliczne metalowych porowatych materiałów zawierających mostki dyfuzyjne może być odpowiednie dla innych spiekanych materiałów, na przykład stopów Cu, Cu stopów Ni i Ni, w tym kompozytów metal-ceramika itp.

Rysunek 11 przedstawia proces napełniania pojemnika porcją porowatego materiału. Początkowy stan napełnienia pokazano na rysunku 11a. Rysunek 11b przedstawia napełniony pojemnik porcją porowatego materiału. Widoczny jest nierównomierny rozkład cząsteczek żelaza i tlenków. Po napełnieniu pojemnika (Rysunek 11c) symuluje się spiekanie, jak opisano powyżej, w celu wyeliminowania cząstek tlenku żelaza i utworzenia mostków dyfuzyjnych. Aby naśladować rzeczywistą konfigurację przestrzenną, w symulacji wykorzystuje się modelowanie mostków dyfuzyjnych pokazanych na rysunku 10. Otrzymany porowaty materiał pokazano na rys. 11c.

Na rys. 10 pokazano, że mostki dyfuzyjne łączące poszczególne cząstki wsadu nie mają ustalonego kierunku. W ten sposób opracowany model właściwie odzwierciedla konfigurację przestrzenną mostków w rzeczywistym porowatym materiale. Na podstawie przedstawionej metody modelowania i wyniku symulacji rys 12. można stwierdzić, że jest możliwe do obserwacji struktury morfologicznej elementów o skomplikowanych konfiguracjach przestrzennych i uzyskania wyników symulacji zbliżone do tych uzyskanych dla rzeczywistych elementów.

Zastosowane metody badań zostały wykorzystane do określenia początkowych parametrów procesu modelowania. Uzyskując wyniki dotyczące morfologii struktur materiałów rzeczywistych, autorzy stworzyli bardzo realistyczne, geometryczne modele odpowiadające rzeczywistym strukturom.



Rysunek 11. Screen'y symulacji napełniania formy ziarnami proszków.

Metaball charakteryzuje się polem wpływu. Pole obiektu można opisać za pomocą następującej formuły:

$$f_m(x, y, z) = \frac{R^2}{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}$$

gdzie R jest promieniem metaballa i (x_0, y_0, z_0) jest środkiem.

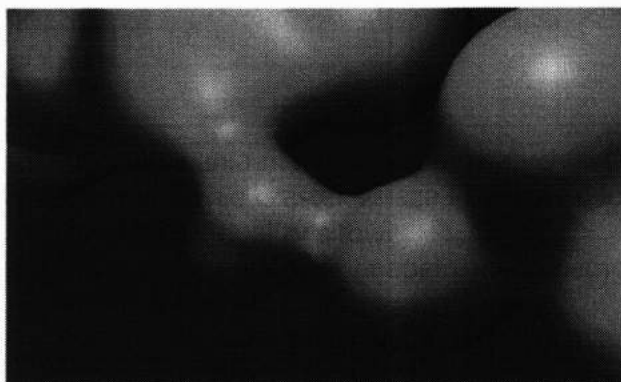
Aby wizualizować obiekt utworzony z wielu metaball, należy dodać pola wszystkich cząstek. Aby zdefiniować powierzchnię utworzonej cząstki, należy również wybrać wartość progową. Powierzchnia utworzonego obiektu jest zdefiniowana przez powierzchnię isosurface, dla której wartość pola jest równa progowi T . Objętość obiektu składa się ze wszystkich wartości większych niż próg T .

$$T = \sum_{i=1}^n f_{mi}(x, y, z)$$

Proces generowania materiałów porowatych składa się z następujących kroków:

- generowanie cząstek żelaza i tlenków o losowym rozmiarze i rozkładzie na podstawie analizy sitowej
- symulacja mieszania i napełniania pojemnika za pomocą modelowania fizycznego
- usuwanie kulek tlenkowych, wymienianie kulek żelaza za pomocą metabolitów o odpowiedniej wielkości
- modelowanie spiekania poprzez ustawienie właściwej wartości progowej

Przykładowy model struktury odpowiadający faktycznej strukturze mostku pokazano na rysunku 12.



Rysunek 12. Model mostka dyfuzyjnego utworzony przez modelowanie Metaball.

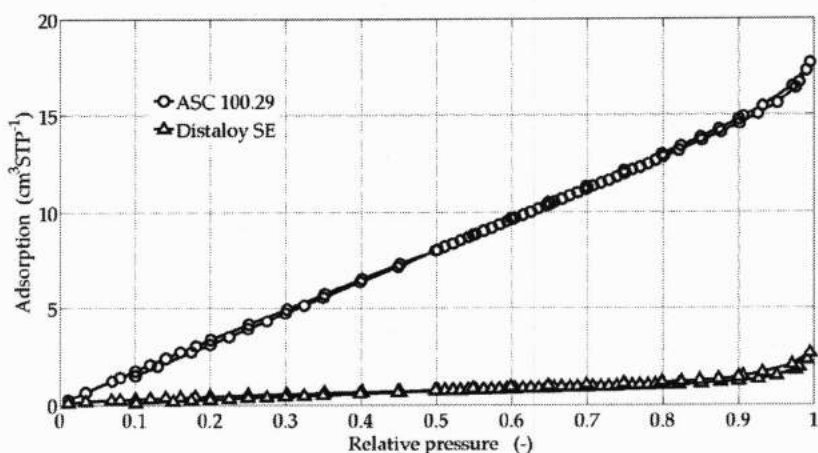
Pełniejszą weryfikację wygenerowanych modeli można przeprowadzić, porównując je z rekonstrukcją struktur uzyskanych techniką μ CT.

W związku z szerokimi możliwościami aplikacji materiałów porowatych do celów filtracyjnych oraz jako szkielety katalizatorów konieczne okazało się przebadanie materiałów pod kątem tych zastosowań.

W zależności od planowanego zastosowania materiału porowatego konieczne jest uzyskanie odpowiedniej wielkości pustych przestrzeni. W zastosowaniach mikrofiltracyjnych i katalitycznych parametry określające przydatność materiału jest klasyfikacja porowatości wg. IUPAC (Międzynarodowa Unia Chemii Czystej i

Stosowanej). Wg. klasyfikacji IUPAC mikropory to pory o średnicy mniejszej niż 2 nm, mezo 2-50 nm, macro powyżej 50 nm.

Materiały są dzielone ze względu na wielkość porowatości na mikro, mezo i makroporowate. Materiały na bazie Fe zostały przez mnie przetestowane w celu określenia rodzaju porów i porowatości próbek zgodnie z IUPAC. W celu uzyskania wyżej wymienionych parametrów zastosowano metody obliczeniowe oparte BET – został użyty model S_{BET} (Brunauer-Emmett-Teller). Rysunek 13 przedstawia charakterystykę izoterm adsorpcji badanych próbek przy LN_2 przy 77 K. Izotermy (Rysunek 13), uzyskane zgodnie z klasyfikacją IUPAC są umieszczone w drugiej klasie z niewielką histerezą. Wyniki demonstrują nieporowate lub makroporowate materiały, a większość cząstek tworzących porowaty materiał ma powierzchnię ponad 500 nm. Otrzymane izotermy adsorpcji wskazują na brak porowatości w zakresach mikro i mezo. Jednakże porowatość w zakresie makroporów jest ważna, gdy materiał porowaty jest stosowany do celów konstrukcyjnych.



Rysunek 13. Charakterystyka izoterm adsorpcji badanych próbek przy LN_2 przy 77 K.

Kolejnym podjętym problemem badawczym było określenie możliwości tworzenia cienkich napiekanych warstw piankowych o kontrolowanej porowatości na superstopach. Uzyskałem dobrze przyczepne warstwy na topie Hastalloy X.

Wykonana struktura była przeznaczona do badań nad wrzeniem w przepływie. W kontekście tych prac pojawił się problem sterowania własnościami mechanicznymi i porowatością materiałów spiekanych na bazie żelaza wykraczającą poza możliwości jej uzyskania za pomocą zmiany granulacji materiałów wsadowych i ilości środka wypełniającego – spieniającego Fe_2O_3 . Zmiany porowatości i właściwości mechanicznych okazały się możliwe poprzez dodatek węgla aktywnego – prowadzi do dwóch zmian:

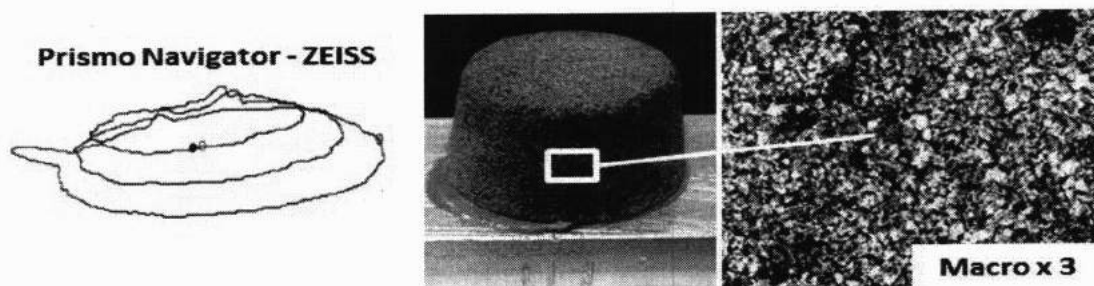
- powoduje zwiększenie porowatości
- powoduje nawęglenie struktury pianki żelaznej podczas spiekania.

Niektóre wyniki testów nie pozwoliły nam określić, czy dodatek węgla silnie wpłynął na właściwości mechaniczne porowatych materiałów. Ważne jest, aby pamiętać, że materiał porowaty zachowuje się inaczej niż materiał ciągły i mogą występować

problemy z definicją zgodnie z pewnymi właściwościami. Granica plastyczności R_{0,2} zwiększyła się o 2 [MPa] dla ASC + C i spadła o 1,2 [MPa] w przypadku SE + C.

Istotne dla materiałów porowatych wytwarzanych za pomocą zaproponowanej przeze mnie i opisywanej technologii jest skrawalność. Wytwarzanie materiałów spienionych poprzez spiekanie jest możliwe tylko w formach nadających im odpowiedni kształt. Nie zawsze jest to ostateczna postać geometryczna tak wytworzonej pianki. Wielokrotnie dla zastosowań praktycznych potrzebna jest korekta kształtu spieku. Badania prowadzone pod kątem określenia obrabialności dały pozytywne rezultaty. Po odpowiednim zamocowaniu materiały na bazie proszków żelaza wykazują dobrą obrabialność.

Badane czynniki obejmowały geometrię próbek, stan powierzchni w zależności od parametrów obróbki (frezowanie) i porowatość pianki metalowej. Strukturę porowatego metalu uzyskano w wyniku spiekania mieszaniny proszków na bazie żelaza ASC 100.29 i DISTALLOY SE (DIST SE) o porowatości od 67,9% (SE 1) do 77,8% (SE 2) dla proszku bazowego ASC i 75,7 % do 80,3% dla DISTALLOY SE. Próbkę pianek SE 1, SE 2 i DISTALLOY SE były wytwarzane w kształcie zdeformowanego cylindra o maksymalnych wymiarach 17 mm średnicy i 15 mm wysokości. Kształt formy i tolerancja jej wymiarów uniemożliwiają jednak praktyczne wykorzystanie półproduktów w zastosowaniach technicznych wymagających precyzji kształtu. Rysunek 14 przedstawia przykład spiekanej próbki pianki DIST SE. Porównawczo zastosowano obróbkę elektroerozyjną w celu zmiany wymiarów i kształtu próbki. Obróbka elektroerozyjna (EDM) została wykonana przy użyciu ZAP BP-93L.



Rysunek 14. Spiekana próbka DIST SE.

Kształt i dokładność wymiarową czterech rodzajów pianek wytwarzanych przez spiekanie określono za pomocą współrzędnościowej maszyny pomiarowej Zeiss Prismo Navigator wyposażonej w sondę skanującą ASS VAST Gold S.

Próbki spiekanej pianki cylindrycznej $\varnothing 15 \times 10$ mm poddano frezowaniu na sucho w centrum obróbczym Hermle B300 za pomocą frezu Sandvik Coromant R216.32-10025-AK32AH10F frez $\varnothing 10$ mm (rysunek 16). Obejmowano dwie operacje: frezowanie czołowe i frezowanie obwodowe próbek. Obróbkę wykonano z następującymi parametrami: prędkość skrawania (V_c) = 470 m / min, szybkość posuwu v_f = 300 mm / min, głębokość skrawania a_p = 0,5 (frezowanie czołowe) i 10 mm (frezowanie obwodowe), boczne podawanie a_e .

Pomiary średnic i odchyłeń cykliczności wykonano na próbkach prawie cylindrycznych. Dodatkowo określono odchylenie prostopadłości osi cylindra

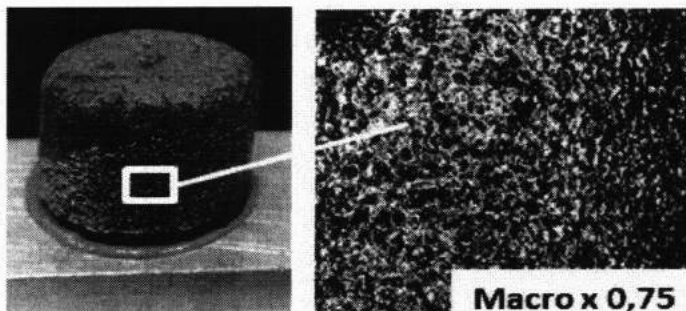
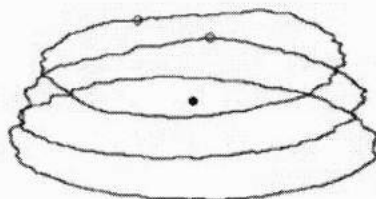
względem powierzchni pomiarowej. Zastosowano następujące strategie pomiarowe: a) pomiar profili okrągłości (trzy profile okrągłości na wysokości 18 mm, po 3 000 punktów każdy), b) skanowanie powierzchni pomiarowej (okrąg o średnicy 10 mm, składający się z 1 000 punktów). Tabela 2 zestawia wyniki dla średnic, odchyłeń cylindrycznych i odchyłeń prostokątności osi cylindra względem powierzchni pomiarowej próbek pianki mierzonych bezpośrednio po procesie spiekania i obróbce wyładowaniem elektrycznym (EDM).

Tabela 2. Wyniki dla średnic, odchyłeń cylindrycznych i odchyłeń prostokątności osi cylindra po spiekanii oraz obróbce EDM.

Typ pianki	Pianki po spiekanii			Pianki po obróbce EDM
	SE 1	SE 2	DIST SE	DIST SE
Średnica wyjściowa spieku / mm	18 (max.)			-
Średnica / mm	16,268	16,849	17,050	15,900
Odchylenie cylindryczne / mm	0,460	0,321	0,683	0,265
Odchylenie prostokątności / mm	0,182	0,102	0,255	0,613

Próbka po EDM została pokazana na rysunku 15. W wyniku EDM odchylenie cylindryczności wynosiło 0,265 mm, a odchylenie prostokątności wynosiło 0,613 mm. Dodatkowo, pory w piance zostały zamknięte warstwą metaliczną spowodowaną przez szereg wyładowań elektrycznych.

Prismo Navigator - ZEISS



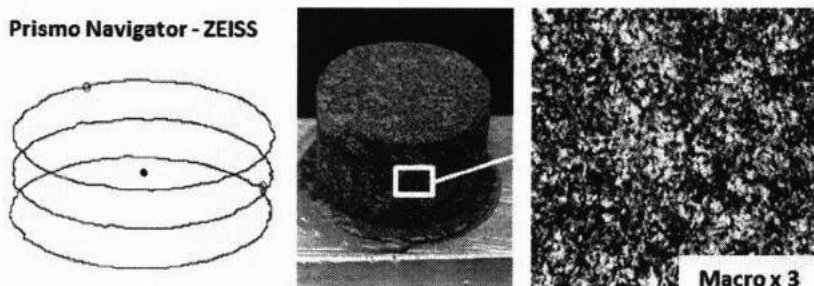
Rysunek 15. Spiekana próbka SE2 po obróbce EDM

Tabela 3 przedstawia wyniki pomiarów średnicy i zmierzone wartości odchyłeń od średnicy nominalnej.

Tabela 3. Wyniki pomiarów średnicy i zmierzone wartości odchyień od średnicy nominalnej (15 mm).

Rodzaj pianki	Średnica /mm	Odchylenie średnicy/ mm	Klasa dokładności IT
SE 1	14,976	0,024	IT8
SE 2	14,983	0,017	IT7
DIST SE	14,987	0,013	IT7
DIST SE /EDM	14,988	0,012	IT7

Operacja frezowania spowodowała, że wszystkie wymiary średnicy były poniżej nominalnego wymiaru, dlatego korekty należy wprowadzić podczas projektowania procesu obróbki. Przykład próbki po obróbce pokazano na rysunku 16.



Rysunek 16. Spiekana próbka SE2 po frezowaniu

Tabela 4 pokazuje wyniki pomiarów dla odchyień cylindryczności i prostopadłości przed i po obróbce.

Tabela 4. Odchylenia pomiaru średnic po frezowaniu

Typ pianki	Odchylenie cylindryczne /mm,		Odchylenie prostopadłości /mm,	
	Spiekane	Frezowane	Spiekane	Frezowane
SE 1	0,460	0,074	0,182	0,004
SE 2	0,321	0,071	0,102	0,009
DIST SE	0,683	0,053	0,255	0,004
DIST SE /EDM	0,683	0,265	0,613	0,010

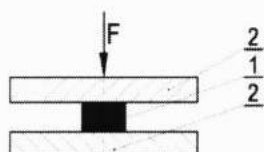
W badaniu został oceniony wpływ frezowania czółowego i EDM na dokładność formy i wymiarów próbek spiekanej pianki. Wyniki wskazują, że w wyniku procesu spiekania otrzymujemy półprodukty o niskiej dokładności wymiarowej ze strefą tolerancji średnic mierzoną 0,7819 mm, średnia wartość odchylenia cylindrycznego 0,488 mm, średnia wartość odchylenie prostopadłości osi cylindra względem powierzchni cylindra 0,180 mm. Również proces EDM pozostawił metaliczną warstwę zamykającą pory w piance, ale zmniejszył odchylenie cylindryczne z 0,683 mm do 0,265 mm, podczas gdy odchylenie prostopadłości wzrosło do 0,613 mm. Obróbka poprzez frezowanie ramieniowe dała próbki spieków piankowych o dokładności w klasie IT7 ÷ IT8. Porowatość nie ma prawie żadnego wpływu na półprodukt metalowy

i dokładność kształtu produktu. Wykazano, że można w wyniku obróbki skrawaniem znacząco poprawić dokładność wykonania elementów piankowych.

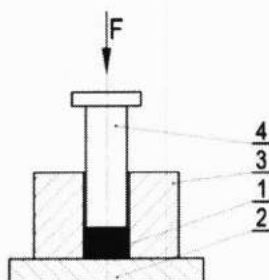
Stosując zdobyte doświadczenia wykonano próbki, które umożliwiły porównanie zachowania się pianek przy ściskaniu swobodnym w przestrzeni zamkniętej. Uzyskałem istotne informacje dotyczące parametrów wytrzymałościowych przy ściskaniu potrzebnych przy projektowaniu elementów pochłaniających energię.

Podjęto badania mające na celu zbadania właściwości mechanicznych spiekanych porowatych materiałów na bazie żelaza poddanych statycznej próbie ściskania. Zastosowano dwa warianty eksperymentu. Pierwszy polega na spęczaniu między dwiema płaskimi płytami (kowadłami)(rys.17a). Drugi opiera się na odkształceniu materiału w zamkniętej matrycy (rys. 17b). W badaniu porównano wykresy zmiany siły w funkcji przemieszczenia. Celem pracy było porównanie cech eksperymentalnych procesu spęczania próbek o różnych porowatościach.

a.



b.



Rysunek 17. Schemat procesu ściskania swobodnego (a) i zamkniętej matrycy (b), gdzie: 1- element ściskany, 2 – płyta, 3 – forma, 4 – stempel, F – siła

Niektóre próbki spiekano z dodatkiem sproszkowanego węgla aktywnego, co powoduje zwiększenie porowatości i dyfuzję węgla w ziarnach spieku. Kompozycja prekursora metalicznego została wykonana z proszków na bazie żelaza: Distaloy SE, ASC 100.29. Aby określić rozmiar i kształt porów z próbek pianki, użyto oprogramowania do analizy obrazu. Właściwości materiałów na bazie żelaza przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Skład chemiczny i średnia wielkość cząsteczek proszków Fe

Proszek	Skład chemiczny (% masowy)					Średnia wielkość cząsteczek (μm)
	C	Cu	Ni	Mo	Fe	
ASC 100.29	<0.01	-	-	-	Balans	45–180
Distaloy SE	-	1.5	4	0.5	Balans	45–180

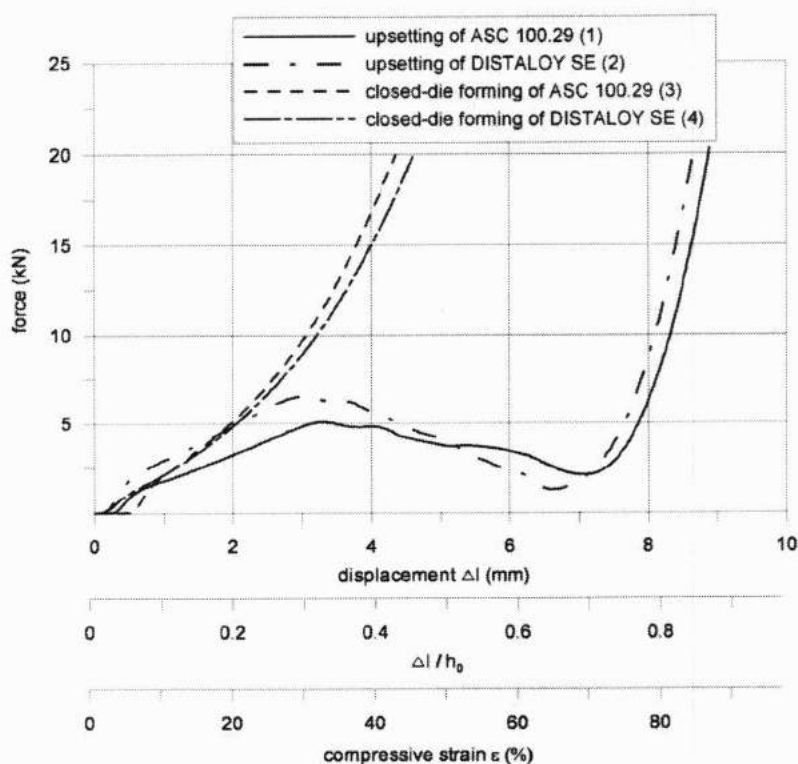
Proces formowania próbek do badań wykonanych ze spiekanej pianki sprowadzał się do frezowania przedniej powierzchni zewnętrznych cylindrycznych próbek o wymiarach $\varnothing 15 \times 10$ mm. Proces obróbki przeprowadzono bez użycia chłodziwa w centrum frezarskim Hermle B300. Narzędziem do przeprowadzenia zabiegu był frez walcowo-czołowy firmy Sandvik Coromant o średnicy 10 mm. Obróbkę przeprowadzono z następującymi parametrami: prędkość skrawania $v_c = 150$ m / min, szybkość posuwu $v_f = 300$ mm/min, głębokość skrawania $a_p = 10$ mm.

Statyczną próbę ściskania przeprowadzono używając:

- Narzędzia do swobodnego spęczania i tworzenia matryc zamkniętych
- Maszyny wytrzymałościowej LabTest 5.20SP1 (firma LABORTECH), siła 20kN (maszyna skalibrowana zgodnie z PN-EN ISO 7500-1: 2005 i spełnia wymagania metrologiczne dla klasy 0,5),
- Stanowisko komputerowe z oprogramowaniem Test & Motion (LABORTECH) do pomiaru sił i przemieszczeń.

Materiałami do badań doświadczalnych były wykonane wg. powyższego opisu próbki z Distaloy SE i ASC 100.29, których średnica wynosiła $D = 15$ mm i wysokość $h_0 = 10,3$ mm (co odpowiadało współczynnikowi względnemu $h_0/D = 0,69$).

Wcześniejsze badania wykazały, że porowata pianka metalowa o gęstości nasypowej uzyskanej z: ASC 100.29 posiadała porowatość 62%, a uzyskana z proszku Distaloy SE posiadała 75%. Kształt spiekanych cząstek materiału i skład chemiczny wpłynęły na wygląd tworzenia mostków dyfuzyjnych. Dane literaturowe badania dotyczące pianek metalicznych na bazie Fe dotyczą struktur o innym rozkładzie wielkości porów. Obecnie porowate materiały metaliczne mają różne struktury i właściwości mechaniczne. Aby ocenić te właściwości, należy wykonać test na próbkach uzyskanego materiału. Większość testów była przeprowadzana na próbkach o standardowych rozmiarach. Ale w przypadku materiałów porowatych, które mają złożone konfiguracje elementów przestrzennych, trudno jest wdrożyć standardowe testy. Testy eksperymentalne są potrzebne do uzyskania faktycznych strukturalnych i mechanicznych właściwości porowatego materiału i jego konfiguracji przestrzennej.



Rysunek 18. Wykres zależności siła/przemieszczenie podczas ściskania próbek wykonanych z Distaloy SE i ASC 100.29 dla $h_0/D=0.69$

Charakterystyka spęczania wszystkich materiałów wykazała typowe zachowanie pianki sprężysto-plastycznej pod naciskiem. Testy na ściskanie wszystkich materiałów wykazały typowe zachowanie elastycznej pianki w stanie ściśniętym. Proces prasowania oparty na silnie porowatym spieku Fe obejmuje trzy etapy: etap liniowej elastyczności, etap odkształcenia plastycznego i zagęszczanie stopniowe. Krzywe dla próbek 1 i 2 wykonanych z DISTALOY SE i ASC 100.29 pokazano na rysunku 18.

Na początku materiał odkształcał się w zakresie sprężystym, 5% odkształcenia ściskającego (które odpowiadało stosunkowi $\Delta l/h_0 = 0,05$), gdzie siła wzrastała liniowo wraz ze wzrostem przemieszczenia Δl . Następuje częściowo odwracalny proces deformacji. Następnie obciążenie powoli wzrasta przy większym przemieszczeniu Δl w następnym etapie dochodzi do odkształcenia plastycznego. Gdy obciążenie wzrasta do 30% odkształcenia ściskającego, prawie wszystkie połączenia między cząstkami proszku zostały odkształcone plastycznie. W tym czasie pory stają się mniejsze, a kształt porów zmienia się nieodwracalnie, obciążenie wzrastało powoli z progresywnym przemieszczeniem Δl . Przeanalizowano maksymalne wartości doświadczalne obciążeń uzyskanych podczas spęczania próbek 1 i 2 wykonanych z Distaloy SE i ASC 100.29 na etapie odkształcenia plastycznego. Wartości otrzymano przy naprężeniu ściskającym $\varepsilon = 30\%$. Największą wartość siły odnotowano w spęczaniu próbki 2 wykonanej z Distaloy SE ($F = 6529,36$ N). Była ona większa niż siła dla próbki 1 wykonanej z ASC 100.29 ($F = 5097,98$ N) o około 30%. W wyniku analizy bazowej zmian sił spęczających próbek 3 przy użyciu ASC 100,29 w matrycach można stwierdzić, że wraz ze wzrostem względnego stosunku $\Delta l/h_0$ i

odkształcenia ściskającego ϵ , obciążenie wzrasta wykładniczo dla obu badanych materiałów, podobnie z materiałem Distaloy SE.

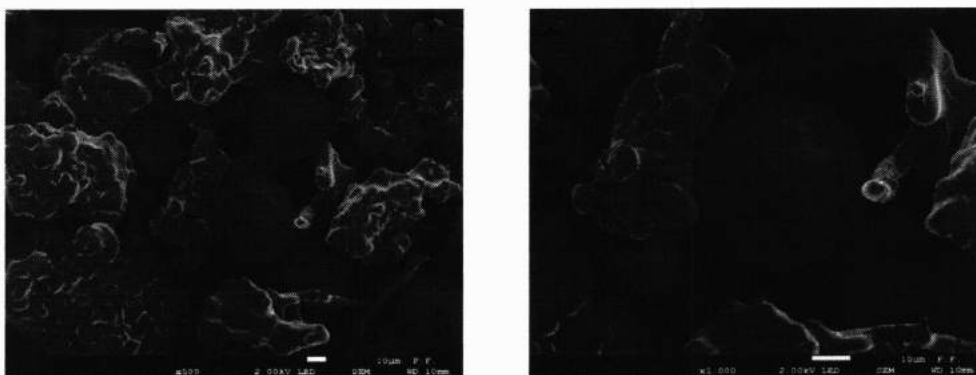
Próbki porowatego spiekane Fe o porowatości do 75% obj. Szczegółowo zbadano wpływ początkowej wielkości proszku żelaza i wielkości tlenku żelaza na właściwości mikrostrukturalne i mechaniczne. Próbki zawierały pory pochodzące z gęstości nasypowej i porów, które powstały w wyniku rozkładu przestrzennego (Fe_2O_3). Zwiększenie ilości „space holdera” i środka spieniającego w mieszaninie początkowej zwiększyło całkowitą porowatość. Ma to wyraźny wpływ na przebieg obciążeń podczas procesów spęczania i formowania w zamkniętej matrycy. W obu przypadkach przebiegi wykresów krzywych obciążeń względem odkształceń są podobne. Różnice wynikają z zastosowania materiału o różnych właściwościach mechanicznych i różnej porowatości.

Zastosowana technologia wytwarzania spiekanych materiałów porowatych na bazie Fe umożliwia także tworzenie piankowych elementów kompozytowych. Stosowanie samego materiału porowatego często nie jest optymalnym rozwiązaniem inżynierskim. Materiały te nie są w stanie dobrze znieść obciążeń rozciągających i są podatne na uszkodzenia lub korozję pod wpływem środowiska. Dlatego może być pożądane wytwarzanie kompozytów z porowatych i metalowych arkuszy, rur lub innych gęstych części metalowych lub ceramiki. Częsteczki ceramiczne są obojętne chemicznie, mogą stanowić doskonałą matrycę w zastosowaniach katalitycznych, filtracyjnych.

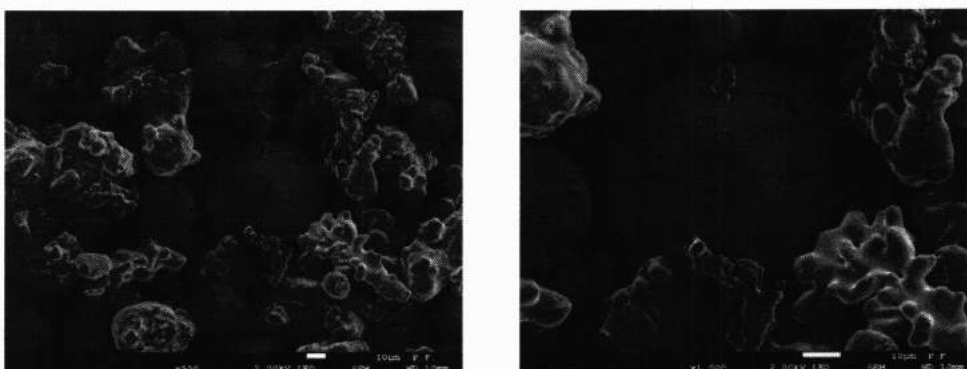
Tabela 6. Skład chemiczny próbek kompozytowych (I, II, III)

Skład	Próbka I	Próbka II	Próbka III
ASC 100.29 [g]	140	140	140
Cu [g]	8	8	8
Fe_2O_3 [g]	16,8	16,8	16,8
Al_2O_3 [g]	3	12	6

Pianka Fe została przygotowana z mieszaniny sproszkowanego żelaza ASC 100.29 i tlenku żelaza Fe_2O_3 + mikrosfery Al_2O_3 . Spiekanie przygotowanych próbek przeprowadzono w laboratoryjnym piecu rurowym w 1180°C , w osłonie gazu redukującego dysocjowanego amoniaku. Obserwacje makroskopowe i mikroskopowe dostarczyły wglądu w morfologię struktury (rys. 19 i 20). W porównaniu z doniesieniami literaturowymi przedstawiającymi inne metody wytwarzania porowatych kompozytów $\text{Fe}/\text{Al}_2\text{O}_3$, zastosowano stosunkowo prostą i dostępną technologię wytwarzania. Uzyskane efekty są zachęcające i pozwalają zakładać, że kompozyty kompozytowe można wytwarzać na podstawie innych spiekanych proszków metali przy użyciu stosowanej technologii.



Rysunek 19. Mikrofotografie SEM próbki I (pow. 500x and 1000x).



Rysunek 20. Mikrofotografie SEM próbki II (pow. 500x and 1000x).

Osiągnięto znaczne rozszerzenie powierzchni wewnątrz struktury. Należy zauważyć, że nierównomierny rozkład porów był spowodowany różnorodnością wielkości cząstek proszku kompozycji. Względną objętość cząstek określono zgodnie z zasadą Cavalieri-Hacquert. Wynik pomiaru porowatej pianki metalicznej wykazał porowatość w zakresie 51-59% przy gęstości nasypowej. Zwiększenie powierzchni jest korzystne w przypadku zastosowania technologii do konstrukcji elementów filtracyjnych i lub nośników szkieletów katalizatorów.

Wnioski

Moje badania są spójne i stanowią logiczne następstwo podejmowanych etapów badawczych skoncentrowanych w ramach 4 tematów:

- I. Opracowanie technologii wytwarzania spiekanych struktur porowatych na bazie Cu dla zastosowań w intensyfikacji wymiany ciepła.
- II. Prace nad opracowaniem technologii wytwarzania warstw porowatych na bazie Fe za pomocą technik mikrospawalniczych.
- III. Opracowanie technologii wytwarzania spiekanych struktur porowatych na bazie Fe.
- IV. Prace nad doskonaleniem technologii wytwarzania materiałów porowatych na bazie proszków Fe i Cu oraz określenia ich parametrów fizykomechanicznych i technologicznych definiujących właściwości użytkowe predestynujące do zastosowań dyssypacji energii i wymiany ciepła.

Szczegółowe wnioski opracowanej przeze mnie technologii wytwarzania metalicznych materiałów porowatych są zawarte w ww. artykułach stanowiących monotematyczny cykl publikacji naukowych.

Na obecnym etapie prowadzonych badań dysponuję technologią wytwarzania metalicznych materiałów porowatych w oparciu o proszki metali i proszki tlenków metali podlegających rozkładowi w atmosferze redukującej. Technologia zapewnia kontrolę parametrów wytwarzanego materiału w granicach określonych przez zastosowane materiały i ich geometrię. Do parametrów tych zaliczyć można wielkość porów, porowatość materiału – gęstość, geometrię zewnętrzną w granicach określonych przez wielkość i kształt formy.

Dodatkowo wielkość porów i porowatość materiałów na bazie Fe można powiększać poprzez obróbkę cieplną podczas spiekania – wypróbowałem z sukcesem możliwość dodawania węgla aktywnego. Węgiel ten działa jako space holder i jednocześnie dyfunduje podczas spiekania w cząsteczkach żelaza podnosząc ich parametry wytrzymałościowe. Spieki porowate na bazie Fe okazały się podatne na obróbkę skrawaniem – eliminuje ona podstawową wadę stosowanej technologii z użyciem form ceramicznych – niską dokładność i konieczność stosowania pochyleń technologicznych.

Z powodu stochastycznego rozkładu cząstek tworzących otrzymane spieki, matematyczny opis metalicznych porowatych materiałów jest bardzo złożony. Przedstawiona metoda modelowania i wyniki symulacji dowodzą, że możliwe jest (za pomocą obiektów metabolicznych zaimplementowanych w środowisku Blendera) graficzne przedstawienie struktury morfologicznej konfiguracji przestrzennych zbliżonych do mikrostruktury uzyskanej za pomocą mikroskopii optycznej.

Przedstawiona metoda modelowania sprawdza się we wszystkich przypadkach, w których można modelować kształt cząstek i rozkład ich wielkości. W opisywanym przypadku modelowano konstrukcje z cząstek o możliwie regularnych kształtach, które są charakterystyczne dla proszków metalicznych wytwarzanych przez rozpylenie. Aby uzyskać dobre dopasowanie między modelowaną strukturą a rzeczywistą metalową strukturą porowatą, należy przeprowadzić analizę sitową w celu określenia rozkładu wielkości cząstek i badania metalograficznego określającego morfologię cząstek proszku. Taki model umożliwia przeprowadzenie różnorodnych analiz dla struktur metalowych materiałów porowatych.

Badania metalograficzne i analiza EDS wykazały możliwość zastosowania technik spiekania w przypadku materiałów trudnych do wiązania, takich jak pianki metaliczne z niemetalicznym składnikiem Al_2O_3 . W porównaniu z doniesieniami literaturowymi przedstawiającymi inne metody wytwarzania porowatych kompozytów Fe/ Al_2O_3 , zastosowano stosunkowo prostą i dostępną technologię wytwarzania.

Istnieje szeroki zakres możliwych zastosowań prezentowanych materiałów, np. jako wymienniki ciepła, filtry lub katalizatory. Zastosowano nową i obiecującą metodę wytwarzania metalowych pianek o otwartych komórkach na bazie proszku miedzi, proszku żelaza, proszków ze stali niskostopowej i wysokostopowej oraz proszku stopu niklu. Obserwacje makroskopowe i mikroskopowe i μ CT dostarczyły wglądu w morfologię struktury. Uzyskane efekty są zachęcające i pozwalają zakładać, że materiały kompozytowe można wytwarzać na podstawie innych spiekanych proszków metali przy użyciu stosowanej technologii.

Przeprowadzone badania właściwości otrzymywanych struktur na bazie Cu pod kątem wymiany ciepła dowodzą, iż proponowana technologia znajduje się w czołówce rozwiązań tego typu.

Mając na uwadze wymienione powyżej osiągnięcia badawczo-naukowe, opracowana przeze mnie technologia jest w pełni aplikacyjna i może stanowić realną alternatywę dla do stosowanych obecnie metod wytwarzania materiałów porowatych. Rozwiązanie jest w pełni skalowalne - od eksperymentu laboratoryjnego do potwierdzonego rozwiązania technologicznego i znajduje się na poziomie 8 w skali gotowości technologicznej (TRL).

Elementy wymienników ciepła z pokryciem porowatym na bazie miedzi, wytwarzane przeze mnie w skali laboratoryjnej są stosowane w badaniach eksperymentalnych wymiany ciepła podczas wrzenia na Wydziale Energetyki i Paliw AGH.

Elementy grzejne wykonane na bazie Fe są stosowane w Politechnice Świętokrzyskiej w Katedrze Mechaniki. Struktury wytwarzane na bazie Fe przeznaczone na elementy do dyssypacji energii są w fazie gotowego opracowania technologicznego przeznaczonego do wdrożenia lub udzielenia licencji.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.

5.1 Publikacje naukowe w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR) po uzyskaniu stopnia doktora nie wchodzące w skład osiągnięcia naukowego wymienionego w pkt 4a.

1. Sławomir Spadło, Wojciech Depczyński, Piotr Młynarczyk; SELECTED PROPERTIES OF HIGH VELOCITY OXY LIQUID FUEL (HVOLF) - SPRAYED NANOCRYSTALLINE WC-CO INFRAALLOY(TM) S7412 COATINGS MODIFIED BY HIGH ENERGY ELECTRIC PULSE 25 pkt., w czasopiśmie: METALURGIJA, Tom: 56, Zeszyt: 3-4, Strony: 412-414, 2017 r. (udział procentowy 33%)
2. Maciej Sułowicz, Krzysztof Ludwinek, Jarosław Tulicki, Wojciech Depczyński, Łukasz Nowakowski; Practical Adaptation of a Low-Cost Voltage Transducer with an Open Feedback Loop for Precise Measurement of Distorted Voltages 30 (15,00) pkt, w czasopiśmie: Sensors, Tom: 19(5), Zeszyt: 1071, Strony: 1-19, 2019 r. (udział procentowy 20%)

Materiały z konferencji międzynarodowej (zarejestrowane w Web of Science):

1. Piotr Młynarczyk, Wojciech Depczyński, Robert Jasionowski, Marek Skowron (2018) *SELECTED PROPERTIES OF ALLOY 400 PROTECTIVE COATINGS COVERING CuZn30 BY ESD TECHNIQUE*, 15 pkt. w czasopiśmie: Proceedings of 27th International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2018, Strony: 1246-1251. (udział procentowy 25%)
2. Wojciech Depczyński, Robert Jasionowski, Piotr Młynarczyk, (2018) *THE IMPACT OF PROCESS VARIABLES ON THE CONNECTION PARAMETERS DURING PULSE MICRO-WELDING OF THE H800 SUPERALLOY*, 15 pkt. w

- czasopiśmie: Proceedings of 27th International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2018, strony: 1506-1512. (udział procentowy 33%)
3. Wojciech Depczyński, Robert Jasionowski, Dariusz Zasada (2018), *Analysis of the initial cavitation erosion period of selected nickel alloys*, w czasopiśmie: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tom: 461, Zeszyt 1 (udział procentowy 33%). Skierowany do publikacji w bazie WoS.
 4. Wojciech Depczyński (2018), *Fabrication of Fe/Al₂O₃ composite foam by sintering techniques*, w czasopiśmie: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tom: 461, Zeszyt: 1, Strony: 1-6. Skierowany do publikacji w bazie WoS.
 5. Joanna Borowiecka-Jamrozek, Wojciech Depczyński (2018), *The effect of the addition of zeolite on the properties of a sintered copper-matrix composite*, w czasopiśmie: Proceedings of conference METAL2017, strony: 1652-1657 (udział procentowy 50%)
 6. Piotr Młynarczyk, Sławomir Spadło, Wojciech Depczyński (2017), *Investigations into the effects of spot welding on thin sheet of superalloys Hastelloy X and Haynes 230@*, w czasopiśmie: Proceedings of 26th International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2017, Strony: 1881-1886. (udział procentowy 33%)
 7. Sławomir Spadło, Piotr Młynarczyk, Wojciech Depczyński, Ewelina Skowron, Radosław Mijas (2017), *Research on the influence of electron beam welding if titanium alloy microstructure connection*, w czasopiśmie: Proceedings of 26th International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2017, Strony: 1939-1944. (udział procentowy 20%)
 8. Sławomir Spadło, Piotr Młynarczyk, Wojciech Depczyński (2015), *Investigation of the Selected Properties of the Superficial Layer Alloying with the Tungsten Electrodes*, w czasopiśmie: Proceedings of 24th International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2015, Strony: 863-867. (udział procentowy 33%)
 9. Piotr Młynarczyk, Sławomir Spadło, Wojciech Depczyński, Edyta Śliwa, Damian Strzębski (2015), *The Selected Properties of the Connection Superalloy Haynes H 230@ using Microwelding*, w czasopiśmie: Proceedings of 24th International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2015, Strony: 792-797. (udział procentowy 20%)
 10. Renata Mola, Wojciech Depczyński (2013), *Formation of a Mg-Al-Zn intermetallic surface layers on magnesium*, w czasopiśmie: Metal 2013, 22nd International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings, Strony: 1261 (udział procentowy 50%)
 11. Wojciech Depczyński, Norbert Radek (2013), *Properties of elektrosparc deposited stellite coating on mild steel*, w czasopiśmie: Metal 2013, 22nd International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceeding, Strony: 129. (udział procentowy 50%)

5.2 Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopiśmie międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazach lub na listach, o których mowa w punktach 4B i 5.1

5.2.1 Rozdziały w monografiach

1. Kinga Strąk, Magdalena Piasecka, Wojciech Depczyński (2016), Zastosowanie struktur porowatych wytworzonych na bazie proszków Fe w badaniach wymiany ciepła podczas wrzenia w minikanalach, w monografii: Wybrane problemy w mechatronice i inżynierii materiałowej, s: 425-439. *Mój udział procentowy szacuję na 33%.*
2. Wojciech Depczyński, Piotr Młynarczyk, Krzysztof Łakomic (2013), Wybrane własności i mikrostruktura połączenia stal-miedź wykonanego metodą mikrospawania opornościowo-impulsowego, w monografii: Problematyka funkcjonowania i rozwoju branży metalowej w Polsce, s. 36-49. *Mój udział procentowy szacuję na 33%.*
3. Tadeusz Michał Wójcik, Mieczysław Edward Poniewski, Andrzej Dziadoń, Wojciech Depczyński, Robert Kaniowski (2008), Badania eksperymentalne nowych pokryć porowatych intensyfikujących proces wrzenia, w monografii: Termodynamika w nauce i gospodarce, Tom: 2, s. 554-561. *Mój udział procentowy szacuję na 20%.*

5.2.2 Publikacje w recenzowanych czasopiśmie wymienionych w wykazie ministra MNiSzW (część B)

1. Wojciech Depczyński, Łukasz Nowakowski (2018) *Projekt i budowa urządzenia stabilizującego ciśnienie zaczynu cementowego w technologii Deep Soil Mixing*, w czasopiśmie: Mechanik, Tom: 12, Strony: 1157-1159. (udział procentowy 20%)
2. Sławomir Spadło, Wojciech Depczyński, Piotr Młynarczyk, Tadeusz Gejewski, Jarosław Dąbrowa (2017), *Wpływ parametrów spawania opornościowo-impulsowego superstopów niklu na wybrane właściwości połączenia*, w czasopiśmie: Mechanik, Zeszyt: 11, Strony: 1060-1062. (udział procentowy 20%)
3. Sławomir Spadło, Wojciech Depczyński, Piotr Młynarczyk, Wojciech Wójtowicz, Radosław Mijas (2017), *Wybrane właściwości i mikrostruktura złącza ze stopu tytanu spawanego wiązką elektronów*, w czasopiśmie: Mechanik, Zeszyt: 11, Strony: 1069-1071. (udział procentowy 20%)
4. Wojciech Depczyński, Piotr Młynarczyk, Ewelina Ziach (2017), *Wybrane właściwości warstw porowatych powstałych podczas mikrospawania opornościowo-impulsowego*, w czasopiśmie: Mechanik, Tom: 01/2017, Strony: 56-57. (udział procentowy 33%)
5. Sławomir Spadło, Piotr Młynarczyk, Wojciech Depczyński (2015), *WYBRANE WŁASNOŚCI STOPOWEJ WARSTWY WIERZCHNIEJ NA BAZIE WOLFRAMU, WYTWORZONEJ TECHNIKĄ ESD*, w czasopiśmie: TTS. Technika Transportu Szynowego, Strony: 1411-1413. (udział procentowy 33%)

6. Wojciech Depczyński, Piotr Młynarczyk, Sławomir Spadło, Edyta Śliwa (2015), WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI POŁĄCZEŃ SUPERSTOPU HAYNES H 230® PRZY UŻYCIU MIKROSPAWANIA OPORNOŚCIOWO IMPULSOWEGO, w czasopiśmie: TTS. Technika Transportu Szynowego, Strony: 370-373 (udział procentowy 25%)
7. Renata Mola, Wojciech Depczyński (2014), Characterization of coatings on grey cast iron fabricated by hot-dipping in AlSi11alloy, w czasopiśmie: Archives of Materials Science and Engineering, Tom: 68, Zeszyt: 1, Strony: 20-23. (udział procentowy 50%)
8. Wojciech Depczyński, Tomasz Kniefel (2014) *Mikroprocesorowe sterowanie wybranymi parametrami procesów elektroiskrowych stosowanych w regeneracji maszyn*, w czasopiśmie: Logistyka, Zeszyt: 6, Strony: 3063-3070. (udział procentowy 50%)
9. Renata Mola, Wojciech Depczyński (2012), Wytwarzanie i struktura warstwy aluminiowanej na magnezie, w czasopiśmie: Rudy i Metale Nieżelazne, Tom: 57, Zeszyt: 7, Strony: 459-462. (udział procentowy 50%)
10. R. Jasionowski, Marzena Podrez-Radziszewska, Wojciech Depczyński, Norbert Radek (2011), Odporność na erozję kawitacyjną warstw powierzchniowych wytworzonych technologią elektroiskrową, w czasopiśmie: Inżynieria Materiałowa, Tom: 32, Zeszyt: 4, Strony: 450-453. (udział procentowy 25%)
11. Wojciech Depczyński, Norbert Radek (2010), Własności warstw stelitowych wytwarzanych na drodze osadzania elektroiskrowego, w czasopiśmie: Logistyka, Zeszyt: 6, Strony: 679-687. (udział procentowy 50%)
12. Wojciech Depczyński, Robert Kaniowski (2010), Wybrane aspekty technologii wytwarzania i zastosowania spiekanych proszkowych struktur porowatych, w czasopiśmie: Logistyka, Zeszyt: 6. (udział procentowy 50%)
13. Wojciech Depczyński, Norbert Radek (2008) Naprawa powłoki cynkowej, w czasopiśmie: Inżynieria Materiałowa, Tom: 29, Zeszyt: 6, Strony: 904-907. (udział procentowy 50%)
14. Wojciech Depczyński, Norbert Radek, Justyna Kasińska (2007), Naprawa powłok cynkowych, w czasopiśmie: Inżynieria Powierzchni, Tom: Nr 2, Strony: 70-72. (udział procentowy 33%)
15. Wojciech Depczyński, Norbert Radek, Justyna Kasińska (2007), Zabezpieczenie spoin elementów cynkowych, w czasopiśmie: Przegląd Spawalnictwa, Zeszyt: 8, Strony: 121-124. (udział procentowy 33%)
16. Monika Madej, Stanisław Skrzypek, Wojciech Depczyński (2005), Chemiczne techniki wytwarzania kompozytowych powłok Ni-P-Al₂O₃, w czasopiśmie: Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej. Mechanika, Zeszyt: 82, Strony: 223-229. (udział procentowy 33%)
17. Karol Przybyłowicz, Wojciech Depczyński (2005), Inżynieria procesów metastabilnych, w czasopiśmie: Inżynieria Materiałowa, Tom: 9-10, Strony: 428-430. (udział procentowy 50%)

5.2.3 Publikacje w materiałach konferencyjnych

1. Piotr Młynarczyk, Wojciech Depczyński, Krzysztof Łakomicz (2015), Charakterystyka mikrosparowania opornościowo impulsowego służącego do

- regeneracji części, w czasopiśmie: Logistyka, Tom: 4/2015, Strony: 4954-4958. (udział procentowy 33%)
2. Medard Makrenek, Wojciech Żórawski, Wojciech Wolak, Wojciech Depczyński (2015), Struktura i właściwości mechaniczne natryskanej plazmowo nanostrukturalnej powłoki $Al_2O_3-13TiO_2$, w czasopiśmie: Logistyka, Tom: 3. (udział procentowy 25%)
3. Piotr Młynarczyk, Wojciech Depczyński (2015), Wybrane właściwości powłok regeneracyjnych wykonanych techniką mikroskawania na przykładzie wału korbowego z żeliwa ADI, w czasopiśmie: Logistyka, Tom: 4/2015 (udział procentowy 50%)
4. Zygmunt Mucha, Piotr Kurp, Wojciech Depczyński, Piotr Młynarczyk (2014), Wpływ temperatury wyżarzania na deformację oraz strukturę metalograficzną elementów formowanych laserowo, w czasopiśmie: TEROTECHNOLOGIA 2013, Strony: 131-137 (udział procentowy 25%)
5. Norbert Radek, Wojciech Depczyński, Augustin Sladek (2013), Cavitation Erosion and Corrosion Resistance of the Electro-Spark Deposited Coatings, w czasopiśmie: XIII vedecka konferencia so zahranicnou ucast`ou "Degradacia Konstrukcyjnych Materialov 2013", Strony: 90-95. (udział procentowy 33%)
6. Wojciech Depczyński, Norbert Radek (2013), Properties of Elektro Spark Deposited Co-Cr-W-C Coating on Mild Steel, w czasopiśmie: Proceedings VII International Symposium on Mechanics of Materials and Structures, Zeszyt: 45, (udział procentowy 50%)
7. Sławomir Spadło, Wojciech Depczyński, Dominik Dudek, Piotr Młynarczyk (2012), The Superficial Layer Forming by Electroerosion-Mechanical Alloying Process With A Flexible Electrode. (appendix), w czasopiśmie: Proceedings 29th International Colloquium Advanced manufacturing and repair technologies in vehicle industry, Strony: 1-6. (udział procentowy 25%)
8. Wojciech Depczyński, Norbert Radek (2010), The properties of stellite alloy layers applied by electro-spark deposition, w czasopiśmie: 14th International Conference "Computer Systems Aided Science Industry And Transport", Strony: 112. (udział procentowy 50%)
9. Renata Mola, Marek Konieczny, Wojciech Depczyński (2009), Wpływ dodatku tytanu na mikrostrukturę i twardość stopu AlSi11, w czasopiśmie: Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Budowa i Eksploatacja Maszyn Tom: 13, Strony: 289-294. (udział procentowy 33%)
10. Tadeusz Michał Wójcik, Mieczysław Edward Poniewski, Andrzej Dziadoń, Wojciech Depczyński (2008), Experimental investigation of boiling heat transfer on new porous coverings, w czasopiśmie: XII Int. Symp. - Heat Transfer and Renewable Sources of Energy, Strony: 403-410. (udział procentowy 20%)
11. Wojciech Depczyński (2008), Struktura i własności warstw cynkowych powstałych na stalach reaktywnych w procesie cynkowania, w czasopiśmie: Seminarium Naukowo-Techniczne TEROTECHNOLOGIA '2008, Strony: 69-72
12. Tadeusz Michał Wójcik, Mieczysław Poniewski, Andrzej Dziadoń, Wojciech Depczyński (2008), Technologia wytwarzania i zastosowania spiekanych proszkowych struktur porowatych, w czasopiśmie: Seminarium Naukowo-Techniczne TEROTECHNOLOGIA' 2008, Zeszyt: 11, Strony: 321-328. (udział procentowy 25%)

13. Wojciech Depczyński, Norbert Radek, Justyna Kasińska (2007), Nowa metoda naprawy powłok cynkowych, w czasopiśmie: STAL Metale&Nowe Technologie, Zeszyt: 5-6, Strony: 40-42. (udział procentowy 33%)
14. Norbert Radek, Wojciech Depczyński (2007), Obróbka elektroiskrowa - nowe aplikacje przemysłowe, w czasopiśmie: Spajanie Metali i Tworzyw w Praktyce, Zeszyt: 3, Strony: 31-34. (udział procentowy 50%)
15. Norbert Radek, Wojciech Depczyński, Justyna Kasińska (2007) The reparation of the zinc coatings, w czasopiśmie: Wisnik Chmielnickowo Nacionalnowo Universitieta, Zeszyt: 5, Strony: 43-45. (udział procentowy 33%)
16. Wojciech Depczyński, Norbert Radek, Justyna Kasińska (2006), Naprawa powłoki cynkowej metodą depozycji elektroiskrowej, w czasopiśmie: XXXIV Szkoła Inżynierii Materiałowej, Strony: 501-506. (udział procentowy 33%)
17. Wojciech Depczyński (2005), Struktura i wybrane własności połączeń spawanych rur stalowych pokrytych powłoką konwersyjną, w czasopiśmie: XXXIII Szkoła Inżynierii Materiałowej, Strony: 247-254.

5.2.4 Udzielone patenty międzynarodowe lub krajowe

Uzyskane patenty i prawa ochronne

1. Depczyński Wojciech, Nowakowski Łukasz (2019) Tłumik pulsacji ciśnienia, Zakres terytorialny: patent krajowy decyzja z dnia 15-04-2019 znak DP.P.424788.7.tjez dot. zgłoszenia A1 424788 (udział procentowy 50%) - **wynalazek został wdrożony- zał. karta wdrożenia**
2. Krzysztof Ludwinek, Wojciech Depczyński, Łukasz Nowakowski (2018) Rdzeń do urządzeń elektrycznych zwłaszcza do zasilaczy, przetwornic częstotliwości, filtrów i układów pomiarowych, Zakres terytorialny: patent krajowy PL 231380 (udział procentowy 33%)
3. Krzysztof Grysa, Kazimierz Bolanowski, Wojciech Depczyński (2014) Laser processing apparatus with mirror having different concave profiles, Zakres terytorialny: patent międzynarodowy w trybie EPO nr EP2416921 oraz PCT PCT/PL2010/000025. (udział procentowy 33%)
4. Wojciech Depczyński, Maciej Lachowicz (2013) Sposób cięcia, zwłaszcza tworzyw sztucznych, Zakres terytorialny: patent krajowy w PL 215393(udział procentowy 50%)
5. Magdalena Piasecka, Wojciech Depczyński (2013) Struktura intensyfikująca wymianę ciepła przy wrzeniu, Zakres terytorialny: patent krajowy PL 217287 (udział procentowy 20%)
6. Kazimierz Bolanowski, Wojciech Depczyński, Krzysztof Grysa (2011) Urządzenie do obróbki laserowej, Zakres terytorialny: patent krajowy PL 210631 (udział procentowy 33%)
7. Wojciech Depczyński, Norbert Radek (2009,) Sposób wytwarzania powłok cynkowych i napraw powłok cynkowych, Zakres terytorialny: patent krajowy PL 203009 (udział procentowy 50%)

8. Wojciech Żórawski, Rafał Chatys, Wojciech Depczyński (2008) Sposób wytwarzania struktur porowatych, Zakres terytorialny: patent międzynarodowy/ krajowy PL 199720 (udział procentowy 33%)
9. Karol Przybyłowicz, J. Przybyłowicz, Wojciech Depczyński (2000), Sposób badania absorpcyjności powłok antyrefleksyjnych, Zakres terytorialny: patent krajowy PL 187037 (udział procentowy 33%)

Zgłoszenia wynalazków

1. Lucjan Zygmunt Fijałkowi, Krzysztof Ludwinek, Łukasz Nowakowski, Wojciech Depczyński (2016) Przekładnia magnetyczna, Zakres terytorialny: zgłoszenie patentowe krajowe nr A1 419733. (udział procentowy 20%)

5.2.5 Wynalazki, wzory użytkowe i przemysłowe, które uzyskały ochronę i zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach lub targach.

1. Depczyński Wojciech, Srebrny Medal od Przewodniczącego Zarządu Targów Warszawskich S.A. Międzynarodowej Wystawy Wynalazków i Innowacji 2010 za projekt "Urządzenie do podwyższania efektywności mocy lasera", Warszawa, 22.09.2009 r.
2. Depczyński Wojciech, IVth International Trade Fair "Ideas - Invention - New products" IENA - 2010. Awarded special prize of Ukrainian Academy of Sciences (Kiev) Kielce University of Technology was awarded for outstanding performances "Laser processing apparatus". Norymberga, 28-31 październik 2010.

5.2.6 Zestawienie publikacji po uzyskaniu stopnia doktora

Typ publikacji	Publikacje indywidualne	Publikacje zbiorowe	suma
Publikacje z listy A	0	4	4
Publikacje z listy B	1	20	21
Materiały z konferencji międzynarodowej rejestrowane w bazie WoS	3	14	17
Pozostałe publikacje	2	15	17
Rozdziały w monografiach	0	3	3
Patenty	0	9	9
Zgłoszenia patentowe	0	1	1
suma	6	66	72

5.3 Sumaryczny impact factor publikacji według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem wydania

Pozycja	Rok	Liczba punktów	IF
1. W. Depczyński, R. Kazała, K. Ludwinek, K. Jedynak Modelling and Microstructural Characterization of Sintered Metallic Porous Materials 35 pkt. w czasopiśmie: Materials Tom: 9(7), Zeszyt: 567, Strony: 1-12 Opublikowano: 2016 (Udział procentowy 40%)	2016	35	2,654
2. W. Depczyński, Ł. Nowakowski, P. Hepner, E. Miko The Influence Of Porosity On Machinability Of Sintered Fe Foam Elements 25 pkt. w czasopiśmie: METALURGIJA Tom: 56, Zeszyt: 3-4, Strony: 364-366 Opublikowano: 2017 (Udział procentowy 45%)	2017	25	0
3. Sławomir Spadło, Wojciech Depczyński, Piotr Młynarczyk Selected Properties Of High Velocity Oxy Liquid Fuel (Hvolf) - Sprayed Nanocrystalline Wc-Co Infralloy(Tm) S7412 Coatings Modified By High Energy Electric Pulse 25 pkt. w czasopiśmie: METALURGIJA Tom: 56, Zeszyt: 3-4, Strony: 412-414 Opublikowano: 2017 (Udział procentowy 33%)	2017	25	0
4. Maciej Sułowicz, Krzysztof Ludwinek, Jarosław Tulicki, Wojciech Depczyński, Łukasz Nowakowski Practical Adaptation of a Low-Cost Voltage Transducer with an Open Feedback Loop for Precise Measurement of Distorted Voltages 30 pkt. w czasopiśmie: Sensors Tom: 19(5), Zeszyt: 1071, Strony: 1-19 Opublikowano: 2019 (Udział procentowy 30%)	2019	35	2,475
SUMA			5,129

Sumaryczny impact factor (IF) publikacji zgodnie z rokiem wydania wynosi 5,129.

5.4 Liczba cytowani publikacji oraz indeks Hirscha według Web of Sciene (WoS):

Całkowita liczba cytowań w bazie Web of Science na dzień 03.04.2019 wynosi: **53**
Liczba cytowani bez autocytowań **32**.

5.5 Indeks Hirscha opublikowanych publikacji według bazy Web of Science (WoS):

Indeks Hirscha publikacji, **h-index** wynosi **5.129**

5.6 Kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach

1. Wykonawca w Projekcie badawczym MNiSW, grant nr 3T 10B 065 29 (1.31/6.12) pt. „Analiza wymiany ciepła przy wrzeniu w wąskich tunelach ograniczonych strukturą porowatą”; kierownik: dr inż. R. Pastuszko, czas trwania projektu: 10.2005 - 10.2008 r., miejsce realizacji: Politechnika Świętokrzyska, charakter udziału przy realizacji projektu: wykonawca badania, projekt zakończony.
2. Wykonawca w Projekcie badawczym MNiSW, grant nr 8 T 10B 021 23 (1.31/6.10) pt. „Badania wymiany ciepła przy wrzeniu na cylindrycznych włóknistych pokryciach kapilarno-porowatych z wykorzystaniem metod rozpoznawania obrazu”, kierownik dr hab. inż. T. M. Wójcik, czas trwania projektu: 2002-2006, miejsce realizacji: Politechnika Świętokrzyska, charakter udziału przy realizacji projektu: wykonawca, badania, projekt zakończony.
3. Projekt badawczy MNiSW, grant nr 4T10B 02123(1.31/6.10) pt. *Badania wymiany ciepła przy wrzeniu na cylindrycznych włóknistych pokryciach kapilarno-porowatych z wykorzystaniem metod rozpoznawania obrazu*. Kierownik dr inż. T.M. Wójcik, czas trwania projektu 2002-2006, miejsce realizacji Politechnika Świętokrzyska, charakter udziału przy realizacji projektu: wykonawca, badania, projekt zakończony.
4. Opracowanie dla grantu nr UMO 2013/09/B/ST8/02825 pn. „Wpływ rozwiniętych powierzchni grzejnych na wymianę ciepła przy wrzeniu w przepływie przez mini przestrzenie”, czas trwania projektu: 03.2014-03.2017, miejsce realizacji: PŚk, charakter udziału przy realizacji projektu: wykonawca badania, projekt zakończony, kierownik dr hab. inż. Magdalena Piasecka.

Kierownik statutowych prac badawczych:

- 1 Badania wybranych parametrów wysokoporowatych materiałów spiekanych wytwarzanych na bazie żelaza, Praca naukowa 31/12/2016.
- 2 Badania nad otrzymywaniem nowych wysokoporowatych materiałów spiekanych do zastosowań specjalnych, Praca naukowa 31/12/2014.
- 3 Strukturalne aspekty świeżenia stopów aluminium typowymi gazami stosowanymi w praktyce przemysłowej, Praca naukowa 01/01/2012.
- 4 Charakterystyka struktury warstw ochronnych nanoszonych techniką zanurzeniową na przykładzie cynkowania, Praca naukowa 31/12/2008.
- 5 Charakterystyka cynkowych warstw zabezpieczających wytworzonych za pomocą osadzania elektroiskrowego, Praca naukowa 31/12/2008.
- 6 Wpływ wybranych dodatków stopowych kąpieli do cynkowania na zwilżalność powierzchni stalowych i żeliwnych, Praca naukowa 31/12/2007.

5.7 Nagrody międzynarodowe

1. Depczyński Wojciech, Srebrny Medal od Przewodniczącego Zarządu Targów Warszawskich S.A. Międzynarodowej Wystawy Wynalazków i Innowacji 2010 za projekt *„Urządzenie do podwyższania efektywności mocy lasera”*, Warszawa, 22.09.2009 r.

2. Depczyński Wojciech, IV International Trade Fair "Ideas - Invention - New products" IENA - 2010. Specjalna nagroda Ukraińskiej Akademii Nauk, Kielce University of Technology was awarded for outstanding performances "Laser processing apparatus". Norymberga, 28-31.10.2010.

5.8 Wygłaszanie referatów na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych

- a) Wygłaszanie referatów na międzynarodowych konferencjach: udział w 15 –tu sesjach plakatowych (publikacje jak w pkt. 5.2.3)
- b) Wygłaszanie referatów na konferencjach krajowych: wygłoszenie referatów na 7-miu konferencjach krajowych.

6. Kryteria oceny w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej habilitanta we wszystkich obszarach wiedzy

6.1 Uczestnictwo w programach europejskich i innych programach międzynarodowych lub krajowych

1. Koordynator projektu partnerskiego realizowanego ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach programu PATENT PLUS na podstawie Rozporządzenia Ministra i Nauki Szkolnictwa Wyższego w ramach programu „Patent Plus - wsparcie patentowania wynalazków” pt.: „Ochrona własności intelektualnej w praktyce akademickiej (program pilotażowy: OWIwPA”).
2. Kierownik projektu realizowanego w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Patent Plus - wsparcie patentowania wynalazków” pt.: „Wsparcie uzyskania ochrony patentowej na wynalazek pt.: „Urządzenie do podwyższania efektywności wykorzystywania mocy lasera i wsparcie jego komercjalizacji”. Nr umowy 38/PMPP/U/14-09.09/E-368/2010.
3. Kierownik projektu pt.: „Opracowanie projektu oraz badanie wybranych podzespołów prototypu dla nowego zasilacza do obróbek elektroiskrowych.”, realizowanego w ramach projektu „Perspektywy RSI Świętokrzyskie - IV Etap”, finansowanej z funduszy Unii Europejskiej, do końca listopada 2014 r. nr WND-POKL.08.02.02-26-001/12.
4. Kierownik projektu pt. Wsparcie procesu uzyskania ochrony na wynalazek pt.: „Urządzenie do obróbki laserowej” finansowany z funduszy Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, działanie 1.3.2.
5. Członek półudział w wykonaniu opracowania pn.: „Strategia grupy naukowo-edukacyjnej województwa świętokrzyskiego” realizowanego w ramach projektu pn. „Perspektywy RSI Świętokrzyskie (II Etap)” współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Społecznego, w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, luty 2010 r.

6.2 Udział w międzynarodowych lub krajowych konferencjach naukowych lub udział w komitetach organizacyjnych tych konferencji.

Brałem udział w wyżej wymienionych międzynarodowych oraz krajowych konferencjach naukowych, natomiast nie brałem udziału w komitetach organizacyjnych tych konferencji.

6.3 Otrzymane nagrody i wyróżnienia

1. Depczyński Wojciech, List gratulacyjny Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego prof. Barbary Kudryckiej za projekt pod nazwą *"Urządzenie do podwyższania efektywności wykorzystania mocy lasera"*, Warszawa, 03.12.2010.
2. Nagroda zespołowa JM. Rektora II stopnia za patenty i zgłoszenia patentowe (2010)
3. Nagroda zespołowa JM. Rektora II stopnia za publikację w znaczących czasopismach i patenty (2011)
4. Nagroda zespołowa JM. Rektora III stopnia za publikację w znaczących czasopismach (2012)
5. Nagroda zespołowa JM. Rektora III stopnia (2016)
6. *Racjonalizator Świętokrzyski 2012 – IV edycja Konkursu:*
 - a) Wyróżnienie za patent: na rzecz zespołu twórców, tj.: dr inż. Wojciech Depczyński, dr inż. Kazimierz Bolanowski, prof. dr hab. Krzysztof Grysa, pn.: *Urządzenie do obróbki laserowej.*
 - b) Nagroda za zgłoszony wynalazek: na rzecz zespołu twórców, tj.: dr inż. Wojciech Depczyński, dr inż. Magdalena Piasecka, pn.: *Struktura intensyfikująca wymianę ciepła przy wrzeniu.*

6.4 Udział w konsorcjach i sieciach badawczych

Brak

6.5 Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z naukowcami z innych ośrodków polskich i zagranicznych, a w przypadku badań stosowanych we współpracy z przedsiębiorcami

1. Koordynator projektu partnerskiego realizowanego ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach programu PATENT PLUS na podstawie Rozporządzenia Ministra i Nauki Szkolnictwa Wyższego w ramach programu „Patent Plus - wsparcie patentowania wynalazków” pt.: *„Ochrona własności intelektualnej w praktyce akademickiej (program pilotażowy: OWIwPA)”*
2. Kierownik projektu realizowanego w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Patent Plus - wsparcie patentowania wynalazków” pt.: *„Wsparcie uzyskania ochrony patentowej na wynalazek pt.: „Urządzenie do*

- podwyższania efektywności wykorzystywania mocy lasera i wsparcie jego komercjalizacji". Nr umowy 38/PMPP/U/14-09.09/E-368/2010
3. Kierownik projektu pt.: „Opracowanie projektu oraz badanie wybranych podzespołów prototypu dla nowego zasilacza do obróbek elektroiskrowych.”, realizowanego w ramach projektu „Perspektywy RSI Świętokrzyskie - IV Etap”, finansowanej z funduszy Unii Europejskiej, do końca listopada 2014 r. nr WND-POKL.08.02.02-26-001/12,
 4. Kierownik projektu pt. Wsparcie procesu uzyskania ochrony na wynalazek pt.: „Urządzenie do obróbki laserowej” finansowany z funduszy Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, działanie 1.3.2.

Brałem udział w prowadzeniu **badania stosowanych** we współpracy z przedsiębiorcami oraz na ich zamówienie w ramach 8-miu poniżej wymienionych prac B+R:

Lp	Numer zlecenia	Zleceniodawca	Temat pracy	Pełniona funkcja	Data zawarcia umowy
1	01.0.06.00/2.0 2.06.01.0024	Zeocomplex Sp. z o.o. ul. Limanowskiego 1 A, 32-020 Wieliczka	Wykonanie badań morfologii i własności fizykochemicznych zeolitu po wygrzewaniu w różnych temperaturach w obecności metali Fe, Cu, Al.	Kierownik	20.12.2016
2	01.0.09.00/2.0 2.06.01.0009	PALACAR Skarżysko-Kam.	Wykonanie prac badawczo-rozwojowych dotyczących opracowania technologii obróbki dyszy i korpusu wtryskiwacza do urządzenia	Gł. Wykonawca	04.04.2016
3	19.1.01.00/2.0 2.06.01.0001	Fluid SA Sędziszów, ul. Spółdzielcza 9	Wykonanie prac badawczo-rozwojowych w zakresie: Zadanie 1. Opracowanie koncepcji wykonania prototypu silnika Stirlinga; Zadanie 2. Wykonanie prototypu silnika Stirlinga; Zadanie 3. Optymalizacja konstrukcji silnika Stirlinga pracującego w układzie kompleksowego przetwarzania energii chemicznej biomasy.	Wykonawca	10.10.2014
4	01.0.06.00/2.0 2.06.01.0004	Ekokanwod Czyszczoń i Półtorak Sp.J., ul. Farna 6, 28-136 Nowy Korczyn	Nowoczesne i innowacyjne technologie iniekcji gruntów - <i>Poszukiwanie rozwiązań służących wdrożeniu nowych, tańszych, bardziej efektywnych i szybszych technologii iniekcji gruntów (praca badawczo-rozwojowa)</i>	Kierownik pracy PRACA B+R ZAKOŃCZONA WDROŻENIEM	22.05.2017
5	01.0.06.00/2.0 2.06.01.0019	GKN DRIVELINE POLSKA sp. z o.o., ul. Bolesława Krzywoustego 31G, 56- 400 Oleśnica	Wykonanie modułu nr 1: Zmiana organizacji przeprowadzania badań wytrzymałościowych. Obliczenie metodami analitycznymi lub numerycznymi minimalnej długości połączenia wielowypustowego, które będzie w stanie przenieść założone obciążenia.	Kierownik pracy	08.11.2017
6	01.0.09.00/2.0 2.06.01.0005	Techmotion Technology Sp. z o.o., Ostrowiec 1A, 05-650 Chynów	Przeprowadzenie prac badawczo-rozwojowych dotyczących badania i oceny zużycia ramion chwytaka do owoców	Gł. Wykonawca	25.01.2017

Lp	Numer zlecenia	Zleceniodawca	Temat pracy	Pełniona funkcja	Data zawarcia umowy
7	01.0.09.00/2.0 2.06.01.0010	ZAMTECHNIKA Gładyszek Sp. J., ul. Wojska Polskiego 6C, 39-300 Mielec	Przeprowadzenie prac badawczo-rozwojowych dotyczących regulowanego stabilizatora meblowego: Zakres prac: - współudział w opracowaniu wytycznych do konstrukcji regulowanego stabilizatora meblowego, - badanie odkształceń prototypu regulowanego stabilizatora meblowego, - optymalizacja konstrukcji stabilizatora meblowego.	Gł. Wykonawca	20.03.2017
8	01.0.09.00/2.0 2.06.01.0000	MUEHSAM Rozwiązania dla przemysłu Sp. J., ul. Zagnańska 149C, 25-563 Kielce	Konsultacje techniczne oraz opracowanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych dotyczących wadliwie działającego systemu wibracyjnego urządzenia do depaletyzacji workowanego granulatu tworzyw sztucznych. Rezultatem prac ma być wykonanie dwóch prototypowych części.	Gł. Wykonawca	19.02.2019

Jedna z w/w prac zakończyła się wdrożeniem patentu do praktyki gospodarczej w firmie Ekokanwod Czyszczoń i Półtorak Sp.J. (pisemne potwierdzenie wdrożenia).

6.6 Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism,

- brak

6.7 Członkostwo w międzynarodowych lub Krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych

Członek PNTTE Polskie Naukowo Techniczne Towarzystwo Eksploatacyjne

6.8 Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki

1. Wykładowca w projekcie mającym na celu popularyzację nauki, skierowanym do dzieci i młodzieży Woj. Świętokrzyskiego organizowanym przez Świętokrzyskie Centrum Doskonalenia Nauczycieli pt.: „Wynalazcy i ich wynalazki” w ramach Rządowego programu wyrównywania szans edukacyjnych dzieci i młodzieży – 2007 r.
2. Opracowanie wykładów i laboratoriów z następujących przedmiotów:
 - a) Mikroskopia optyczna: wykład / laboratorium
 - b) Laserowe i plazmowe techniki spawalnicze; wykład/laboratorium
 - c) Systemy CADM/CAMS; wykład /projekt
 - d) Wstęp do metalografii ilościowej; wykład
 - e) Strukturalne aspekty obróbki laserowej i plazmowej; wykład / laboratorium
 - f) Bezpieczeństwo systemów i sieci przesyłowych: wykład/ projekt

6.9 Opieka nad Studentami

Promotor 8 inżynierskich i 10 magisterskich

6.10 Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego, z podaniem tytułów rozpraw doktorskich

Pełnię funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim mgr inż. Piotra Młynarczyka, tytuł rozprawy: Badania teoretyczno-eksperymentalne procesu mikrostopowania z zastosowaniem wyładowań elektrycznych. (19 09 2013).

6.11 Staże w zagranicznych lub krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich

Uczestnik stażu krajowego na Politechnice Wrocławskiej w ramach projektu współfinansowanego przez Unię Europejską „Politechnika Świętokrzyska Uczelnia na miarę XXI w.” realizowanego na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn PŚk, XII.2012 r.

6.12 Wykonanie ekspertyz lub innych opracowań na zamówienie organów władzy publicznej, samorządu terytorialnego, podmiotów realizujących zadanie publiczne lub przedsiębiorców.

Wykonałem **24** ekspertyzy i opracowań badawczo-rozwojowych na zamówienie podmiotów gospodarczych, wg. zestawienia poniżej:

Lp.	Nr zlecenia	Zleceńodawca	Temat pracy	Pełniona funkcja	Rodzaj pracy	Data zawarcia umowy
1	01.0.06.00/2.02.06.01.0003	Zakład Urządzeń Metalowych Sp. J. METAL-CHEM, Rudki, Nowa Słupia	Wykonanie pracy badawczo-rozwojowej z opracowaniem opinii o innowacyjności nowego projektu w postaci profili giętych	Kierownik	ekspertyza	23.03.2016
2	01.0.06.00/2.02.06.01.0004	TAWOL PPHU Sp.J. Chęciny	Opinia o innowacyjności technologii produkcji kolan stalowych metoda "cold forming"	Kierownik	ekspertyza	23.03.2016
3	01.0.06.00/2.02.06.01.0005	Envo Sp. z o.o. Starachowice	Sporządzenie opinii o innowacyjności dwukomorowej kabiny lakierniczej	Kierownik	ekspertyza	06.04.2016
4	01.0.06.00/2.02.06.01.0006	INMET Konstrukcje Sp. z o.o. Kielce	Sporządzenie opinii o innowacyjności produktowej w systemie wytwarzania konstrukcji stalowych.	Kierownik	ekspertyza	07.04.2016
5	01.0.06.00/2.02.06.01.0007	LT LIGHT Magdalena Trzcina-Doamradzka Ostrowiec Świętokrzyski	Sporządzenie opinii o innowacyjności produktowej dotyczącej nowych opraw oświetleniowych led	Kierownik	ekspertyza	06.01.2016

Załącznik nr 2 – Autoreferat

Lp.	Nr zlecenia	Zleceniodawca	Temat pracy	Pełniona funkcja	Rodzaj pracy	Data zawarcia umowy
6	01.0.06.00/2.02.06.01.0008	P.P.H.U. PROFIL Sp. z o.o. Starachowice	Sporządzenie opinii o innowacyjności centrum tokarskiego oraz prasy krawędziowej serwo-elektrycznej	Kierownik	ekspertyza	06.04.2016
7	01.0.06.00/2.02.06.01.0017	K&K J. Korczak, T. Knefel Busko-Zdrój	Sporządzenie opinii o innowacyjności urzędnia Autonomiczna łożnia ogrodowa.	Kierownik	ekspertyza	27.04.2016
8	01.0.09.00/2.02.06.01.0003	P.P.U.H. Demarol-Zielonki Marek Dziekan Zielonki, Solec-Zdrój	Wykonanie badań badawczo-rozwojowych dotyczących noża tnącego rębaka do gałęzi z wydaniem opinii o innowacyjności	Gł. Wykonawca	ekspertyza	07.01.2016
9	01.0.09.00/2.02.06.01.0007	KIEL-INOX S.c. Wola Kopcowa	Sporządzenie opinii o innowacyjności produktowej nowych demontowanych rur okładzinowych	Gł. Wykonawca	ekspertyza	11.04.2016
10	01.0.09.00/2.02.06.01.0008	CARMICHAEL ENGINEETING GROUP LTD Sp. z o.o. Starachowice	Sporządzenie opinii o innowacyjności produktowej Mobilnej Linii Rozlewniczej	Gł. Wykonawca	ekspertyza	14.04.2016
11	01.0.09.00/2.02.06.01.0010	PALACAR Skarżysko-Kam.	Sporządzenie opinii o innowacyjności produktowej urzędnia do wtrysku paliwa gazowego dla silników spalinowych	Gł. Wykonawca	ekspertyza	15.04.2016
12	03.0.14.00/2.02.06.01.0001	P.P.H.U. K. Orzełek, k. Markisz Sp. J., Kleśniska, Parzymiechy	Opinia o innowacyjności linii technologicznej do produkcji profili z taśmy stalowej	Gł. Wykonawca	ekspertyza	05.01.2016
13	03.0.14.00/2.02.06.01.0003	PALKO Sp. z o.o. Tomasz Kozik Sędziszów	Sporządzenie opinii o innowacyjności procesowej oraz produktowej dotyczącej uruchomienia linii technologicznej do produkcji palet wyposażonych w tagi 1RFID	Gł. Wykonawca	ekspertyza	06.04.2016
14	01.0.06.00/2.02.06.01.0006	Gwarant-Eko GEKO FILTRATION Sp. z o.o., Końskie	Wystawienie opinii o innowacyjności w zakresie sposobu produkcji worków i rękawów filtracyjnych do urządzeń odpylających, w tym zastosowań uszczelnień szwów w workach i rękawach filtracyjnych.	Kierownik	ekspertyza	03.07.2017
15	01.0.06.00/2.02.06.01.0015	INVESTTIM Sp. z o.o. Ostrowiec Świętokrzyski	Wykonanie opinii stwierdzającej innowacyjność produktową drzwi dźwiękoizolacyjnych do	Kierownik	ekspertyza	10.10.2017

Lp.	Nr zlecenia	Zlecieniodawca	Temat pracy	Pełniona funkcja	Rodzaj pracy	Data zawarcia umowy
			zabudowy wewnątrzkatkowej oraz wewnątrzlokalowej o nowatorskiej konstrukcji z hybrydową ramą i skrzydłem kompozytowo-drewnianym			
16	01.0.09.00/2.02.06.01.0001	Ustronianka Sp. z o.o. Ustroń	Opinia o innowacyjności technologii linii pilotażowej do kompletowania zestawów różnorodnych napojów od poziomu pojedynczej butelki do opakowania zbiorczego stabilizowanego folią termokurczliwą	Gł. Wykonawca	ekspertyza	13.01.2017
17	01.0.09.00/2.02.06.01.0002	PPUH "TAWOL" M.Bajek, C.Bajek, D.Piezga Sp. J. Chęciny	Opinia o innowacyjności projektu „System kontrolowania temperatury procesów w układach rurociągowych dostosowanych do Euro Normy EN10253” obejmująca badanie stanu techniki	Gł. Wykonawca	ekspertyza	11.01.2017
18	01.0.09.00/2.02.06.01.0004	Techmotion Technology Sp. z o.o., Chynów	Wydanie opinii o innowacyjności produktowej dotyczącej chwytaka do owoców twardych	Gł. Wykonawca	ekspertyza	23.01.2017
19	01.0.09.00/2.02.06.01.0006	Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Handlowo-Usługowe K.Orzełek, K. Markisz	Opracowanie opinii o innowacyjności produktowej dotyczącej: Wdrożenia innowacyjnej technologii formowania stali na zimno, pozwalającej na wprowadzenie nowych ulepszonych produktów w przedsiębiorstwie	Gł. Wykonawca	ekspertyza	09.01.2017 r.
20	01.0.09.00/2.02.06.01.0008	Eurolider Sp. z o.o., Wrocław	Opracowanie opinii o innowacyjności procesu produkcji wiązek elektrycznych przez osoby z dysfunkcją narządu wzroku	Gł. Wykonawca	ekspertyza	24.02.2017
21	01.0.09.00/2.02.06.01.0009	ZAMTECHNIKA Gładysiek Sp. J., Mielec	Opracowanie opinii o innowacyjności produktowej dotyczącej stabilizatora meblowego	Gł. Wykonawca	ekspertyza	20.03.2017
22	01.0.09.00/2.02.06.01.0016	SKW GROUP Sp.c., Morawica	Opracowanie opinii o innowacyjności produktowej dotyczącej hybrydowej ramy okiennej.	Gł. Wykonawca	ekspertyza	09.08.2017
23	03.0.14.00/2.02.06.01.0003	MUEHSAM Rozwiązania dla przemysłu Sp. J.,	Wydanie opinii dotyczącej innowacyjności produktowej	Gł. Wykonawca	ekspertyza	16.10.2017

Lp.	Nr zlecenia	Zleceniodawca	Temat pracy	Pełniona funkcja	Rodzaj pracy	Data zawarcia umowy
		Kielce	"Innowacyjne urządzenie z systemem odzysku energii elektrycznej do depaletyzacji workowanego granulatu tworzyw sztucznych.			
24	01.0.10.00/2.02.06.01.0000	SEPIO sp. z o.o. sp. k., Kije	Wykonanie opinii o innowacyjności produktowej, technologii wytworzenia oraz konstrukcji suszarki na białiznę - wolnostojącej.	Kierownik	ekspertyza	15.03.2019

6.13 Udział w zespołach eksperckich i konkursowych

Brak

6.14 Recenzowanie projektów międzynarodowych i krajowych oraz publikacji w czasopiśmie międzynarodowych

Wykonałem **8** recenzji publikacji w czasopiśmie międzynarodowym MDPI Journal „Materials” w latach 2017-2019.

6.15 Inne formy działalności

- Staż w przedsiębiorstwie** – udział w programie stażowym realizowanym w ramach projektu: „INWENCJA II – Transfer wiedzy, technologii i innowacji wsparciem dla kluczowych specjalizacji świętokrzyskiej gospodarki i konkurencyjności przedsiębiorstw”, Cel stażu: Celem stażu jest projekt zasilania urządzeń ze źródeł odnawialnych i o zwiększonej efektywności energetycznej. Dedykowane rozwiązanie przedsiębiorstwu Jerzy Skrabacz będzie miało charakter innowacyjny poprzez połączenie technologii OZE z kogeneracją, 2014 r. (6 m-cy).
- Autor wniosków** aplikacyjnych i wykonawca w projektach infrastrukturalnych na konkurs w 4 projektach współfinansowanych w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Woj. Świętokrzyskiego na lata 2007-2013, poddz. 2.1. Rozwój innowacji oraz wspieranie działalności dydaktycznej i badawczej szkół wyższych oraz placówek sektora "badania i rozwój", dzięki którym miałem czynny udział w powstaniu na Wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn czterech nowych laboratoriów: mikroskopii optycznej, obróbek wykończeniowych, odlewnictwa, badań nieniszczących i makroskopowych:
 - „OPTILAB – Zakup wyposażenia laboratorium mikroskopii optycznej szansą na zwiększenie innowacyjności naukowo badawczej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach”

- „FINLAB – zakup wyposażenia laboratorium obróbek wykończeniowych szansą na zwiększenie innowacyjności naukowo badawczej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach”
- „FOUNDLAB – zakup wyposażenia laboratorium odlewnictwa szansą na zwiększenie innowacyjności naukowo badawczej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach”
- „TESTLAB – Zakup wyposażenia laboratorium badań nieniszczących i makroskopowych szansą na zwiększenie innowacyjności naukowo badawczej Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach”; Uzyskane Środki to Około 1 600 tys PLN.

Wojciech Depczyński