

AUTOREFERAT

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych,
w szczególności określonych w 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. z 2017 r. poz. 1789)

dr inż. Dariusz Jarząbek

Zakład Mechaniki Materiałów

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Warszawa 2018

Dariusz Jarząbek

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	3
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego	4
a. Tytuł osiągnięcia naukowego	4
b. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe:	4
c. Omówienie celu naukowego	6
d. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	22
i. Ogólna charakterystyka działalności naukowej	22
ii. Lista publikacji z bazy JCR w porządku chronologicznym	24
iii. Pozostałe publikacje	25
iv. Patenty i zgłoszenia patentowe	25
v. Sumaryczne dane bibliograficzne	26
vii. Nagrody i wyróżnienia	27
viii. Działalność dydaktyczna	27
5. Literatura	29

1. Imię i nazwisko

Dariusz Marek Jarząbek

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

- 29.01.2014 Uzyskanie stopnia naukowego doktora nauk technicznych w obszarze:
Budowa i eksploatacja maszyn
Wydział Mechatroniki, Politechnika Warszawska
Tytuł rozprawy doktorskiej:
„Metoda badania pękania w skali nano za pomocą mikroskopu sił atomowych (SFM) i jej zastosowania”
- 04.2011 Uzyskanie tytułu zawodowego licencjata.
Kierunek: *Fizyka*; specjalność: *Fizyka doświadczalna*
Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski
- 30.06.2010 Uzyskanie tytułu zawodowego magistra inżyniera.
Kierunek: *Mechanika i budowa maszyn*; specjalność: *Mikromechanika*
Wydział Mechatroniki, Politechnika Warszawska

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 2009.07.1 – dzisiaj Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
Obecnie adiunkt, wcześniej asystent i laborant.
- 2010.11.07 – 2012.08.07 Paul Scherrer Institut, Szwajcaria
doktorant

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. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):

a. Tytuł osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie naukowe w rozumieniu 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.) wskazuję cykl 8 publikacji powiązanych tematycznie pod wspólnym tytułem:

„Wpływ wytrzymałości połączenia metal-ceramika na właściwości mechaniczne materiałów kompozytowych o osnowie metalowej wzmacnianych fazą ceramiczną”

b. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe:

Dane bibliograficzne publikacji	Procentowy udział habilitanta/ Punktacja MNiSW/ Impact Factor
DJ1. Jarząbek D.M. , Dera W., The measurement of mechanical properties of interfaces in ceramic composites, Ceramic Matrix Composites Materials, Manufacturing and Engineering, Ed. by J. Paulo Davim, Wydawnictwo: De Gruyter, 2016	90% rozdział w monografii
DJ2. Jarząbek D.M. , Chmielewski M., Wojciechowski T. The measurement of the adhesion force between ceramic particles and metal matrix in ceramic reinforced-metal matrix composites, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2015:76, pp.124-130	80% 50 pkt IF 3.719
DJ3. Jarząbek D.M. , Chmielewski M., Dulnik J., Strojny-Nędza A., <i>The Influence of the Particle Size on the Adhesion Between Ceramic Particles and Metal Matrix in MMC Composites</i> , JOURNAL OF MATERIALS ENGINEERING AND PERFORMANCE, ISSN: 1059-9495, DOI: 10.1007/s11665-016-2107-3, Vol.25, No.8, pp.3139-3145, 2016	60% 20 pkt IF 1.331
DJ4. Jarząbek D.M. , Milczarek M., Wojciechowski T., Dziekoński C., Chmielewski M., <i>The effect of metal coatings on the interfacial bonding strength of ceramics to copper in sintered Cu-SiC composites</i> , CERAMICS INTERNATIONAL, ISSN: 0272-8842, DOI: 10.1016/j.ceramint.2017.01.056, pp.1-9, 2017	70% 40 pkt IF 3.057

DJ5. Jarżabek D.M. , Precise and direct method for the measurement of the torsion spring constant of the atomic force microscopy cantilevers, REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, 2015:86, pp. 013701-1-013701	100% 30 pkt IF 1.584
DJ6. Dziekoński C., Dera W., Jarżabek D.M. , <i>Method for lateral force calibration in atomic force microscope using MEMS microforce sensor</i> , ULTRAMICROSCOPY, ISSN: 0304-3991, DOI: 10.1016/j.ultramic.2017.06.012, Vol.182, pp.1-9, 2017	50% 50 pkt IF 2.929
DJ7. Jarżabek D.M. , The impact of weak interfacial bonding strength on mechanical properties of metal matrix - ceramic reinforced composites, COMPOSITE STRUCTURES, ISSN: 0263-8223, DOI: 10.1016/j.compstruct.2018.06.071, Vol.201, pp.352-362, 2018	100% 35 pkt IF 4.101
DJ8. Jarżabek D.M. Dziekoński C., Dera W., Chrzanowska J., Wojciechowski T., Influence of Cu coating of SiC particles on mechanical properties of Ni/SiC co-electrodeposited composites, CERAMICS INTERNATIONAL, accepted,	75% 40 pkt IF 3.057
Sumaryczny Impact Factor:	19,778
Suma punktów MNiSW:	265

Wkład habilitanta w poszczególne prace

[DJ1] Jestem autorem koncepcji pracy oraz około 80% przedstawionego w pracy przeglądu literatury

[DJ2] Jestem autorem koncepcji pracy, wstępu, przedstawionej w pracy nowej metody badawczej oraz dyskusji wyników. Skonstruowałem urządzenie do rozciągania mikrodrutów, opracowałem technikę wycinania i wytrawiania mikrodrutów i wykonałem przedstawione w pracy pomiary siły rozciągania oraz testy mikroindentacji. Współautorzy byli odpowiedzialni za wytworzenie i dostarczenie próbek materiałów oraz wykonanie zdjęć przy pomocy skaningowego mikroskopu elektronowego i pomoc w ich interpretacji.

[DJ3] Jestem współautorem koncepcji pracy oraz autorem wstępu i dyskusji wyników. Wykonałem eksperymenty rozciągania mikrodrutów. Współautorzy byli odpowiedzialni za wytworzenie i dostarczenie próbek materiałów oraz wykonanie zdjęć przy pomocy skaningowego mikroskopu elektronowego i pomoc w ich interpretacji. Współautorzy dostarczyli również wyniki pomiarów wypadkowych właściwości mechanicznych kompozytów.

[DJ4] Jestem autorem koncepcji pracy, wstępu i dyskusji wyników. Wykonałem około połowy opisanych w pracy prac eksperymentalnych oraz pomiarów wykonanych przy pomocy mikroskopu optycznego.

[DJ5] Jestem jedynym autorem pracy.

[DJ6] Jestem autorem koncepcji pracy. Praca została wykonana pod moim kierownictwem, jestem autorem korespondencyjnym. Brałem udział w pomiarach oraz opracowaniu wyników. Jestem autorem połowy przedstawionych wniosków i dyskusji.

[DJ7] Jestem jedynym autorem pracy.

[DJ8] Jestem autorem koncepcji pracy, wstępu, i dyskusji wyników. Wykonałem około połowy opisanych w pracy prac eksperymentalnych oraz całe modelowanie numeryczne. Współautorzy pomagali przy pracach eksperymentalnych, osadzaniu warstw ochronnych, wytwarzaniu próbek oraz przy wykonaniu i interpretacji zdjęć skaningowym mikroskopem elektronowym.

Kopie wymienionych prac stanowiących jednotematyczny zbiór publikacji wraz z oświadczeniami Współautorów o ich udziale w procesie powstawania publikacji zamieszczono w Załączniku 5.

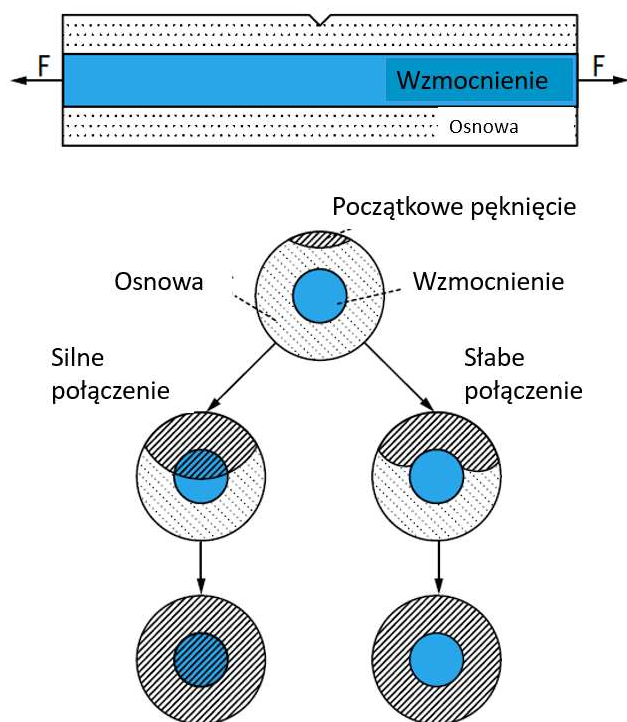
c. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

i. Wstęp

Dzięki połączeniu dwóch różnych materiałów w kompozycie, wytrzymałość wypadkowego, nowego materiału jest większa niż wytrzymałość głównego składnika zwanego osnową. Kompozyty z osnową metalową (MMC) są jednymi z najbardziej zaawansowanych materiałów stosowanych powszechnie w przemyśle lotniczym, samochodowym, obronnym i inżynierskim. MMC charakteryzują się właściwościami interesującymi z punktu widzenia aplikacyjnego, takimi jak podwyższona odporność na wysokie temperatury, wysoka wytrzymałość i sztywność, zwiększona odporność na ścieranie, odporność na zmęczenie termiczne i mechaniczne oraz odporność na pęcznienie. Ponadto technologia tych materiałów jest

stosunkowo tania, a obróbka łatwa dzięki możliwości stosowania takich samych narzędzi jak w przypadku klasycznych materiałów monolitycznych.

W celu otrzymania kompozytów o interesujących właściwościach technika wytwarzania powinna zapewniać dużą zawartość frakcji ceramicznej, równomierną dystrybucję ceramiki i jak najlepszą adhezję pomiędzy osnową a ceramiczną fazą wzmacniającą. Szczególnie, warstwa przejściowa (interfejs) pomiędzy ceramiką a metalem istotnie wpływa na właściwości mechaniczne wypadkowego materiału. Podstawową funkcją warstwy przejściowej jest przenoszenie sił na granicy dwóch faz. Dlatego też, połączenie międzyfazowe wpływa przede wszystkim na inicjację i sposób rozchodzenia się pęknięcia w materiałach kompozytowych. Na przykład, jeśli połączenie międzyfazowe w kompozycie jest bardzo silne, to pęknięcie przejdzie niezakłócone z matrycy do wzmocnienia. Z drugiej strony, jeżeli interfejs jest słaby, pęknięcie rozchodzi wzdłuż warstwy przejściowej wzmocnienie/matryca. W tym wypadku zniszczenie materiału polega na uszkodzeniu matrycy i poślizgu matrycy po wzmocnieniu. Dopiero na koniec może nastąpić pęknięcie włókna, czy cząstek wzmacniających (Rys. 1). Dodatkowo, w tym przypadku pęknięcie jest najczęściej inicjowane na granicy wzmocnienie/matryca. Jeżeli na skutek działania obciążenia powstanie wiele takich mikropęknięć, to wypadkowe właściwości materiału mogą się drastycznie pogorszyć.



Rysunek 1 Schemat rozchodzenia się pęknięcia w przypadku silnego oraz słabego połączenia pomiędzy osnową a wzmocnieniem.

Na podstawie literatury przedmiotu w kompozytach MMC można wyróżnić pięć rodzajów połączenia faz: (1) połączenie mechaniczne - bardzo rzadko spotykane w materiałach kompozytowych; (2) połączenie adhezyjne lub adhezyjno-dyfuzyjne, powstałe na skutek zwilżania ceramiki metalem i częściowego tworzenia roztworów stałych; (3) połączenie reakcyjne powstałe na skutek reakcji chemicznej zachodzącej na granicy metal/ceramika; (4) połączenie reakcyjno-dyfuzyjne podobne do (3), ale dodatkowo następuje zmiana składu chemicznego osnowy; (5) połączenie reakcyjne tlenkowe, gdy faza ceramiczna jest tlenkiem, a w fazie przejściowej powstaje odmienny tlenek wiążący ceramikę z metalową osnową.

Jak wskazano wyżej, kluczem do zrozumienia wypadkowych właściwości termomechanicznych kompozytów MMC jest poznanie zjawisk zachodzących na styku dwóch faz tworzących kompozyt [1]. W związku z tym w ostatnich latach kompozyty MMC są bardzo intensywnie badane. Badaniu adhezji i wpływu parametrów wytwarzania na jej wartość również poświęcono wiele prac. Stosowano różne metody takie jak: scratch test [2], wypychanie ceramicznego włókna [3], wyciąganie ceramicznego włókna [4] i łamanie nanowież [5]. Przegląd technik badawczych, ich porównanie oraz opis wad i zalet został szczegółowo przedstawiony w pracy [DJ1]. Praca ta stanowi wstęp do tematyki mojego osiągnięcia naukowego, które proponuję jako podstawę ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego.

W swojej pracy koncentrowałem się na badaniach właściwości mechanicznych połączeń w różnych materiałach kompozytowych wytwarzanych metodą spiekania proszków lub koelektrodepozycji. Badałem również możliwości modyfikacji warstwy przejściowej w celu poprawienia jej wytrzymałości na rozciąganie i ścinanie. Celem tych modyfikacji była poprawa wypadkowych właściwości mechanicznych kompozytu. Wyniki przedstawione w zebranych cyklu publikacji dotyczą następujących grup materiałów:

- kompozyty o osnowie miedzi spiekane z proszkiem tlenku glinu o różnej wielkości ziaren ($\text{Cu}/\text{Al}_2\text{O}_3$).
- kompozyty o osnowie miedzi spiekane z proszkiem węgla krzemu (Cu/SiC).
- kompozyty o osnowie miedzi spiekane z proszkiem węgla krzemu, który wcześniej pokryto warstwą ochronną np. chromem, wolframem lub tytanem ($\text{Cu}/\text{SiC}-\text{Cr}$, $\text{Cu}/\text{SiC}-\text{W}$, $\text{Cu}/\text{SiC}-\text{Ti}$).
- kompozyty o osnowie niklu wytwarzane metodą koelektrodepozycji (Ni/SiC).

- kompozyty o osnowie niklu wytwarzane metodą koelektrodepozycji z proszkiem SiC, który wcześniej pokryto ochronną warstwą miedzi (Ni/SiC-Cu).

Wyniki prowadzonych przeze mnie badań dotyczących opracowania nowych technik badawczych oraz ich wykorzystania do pomiarów wytrzymałości na rozciąganie i ścinanie warstwy przejściowej w kompozytach MMC zebrałem w cykl publikacji mojego autorstwa lub współautorstwa zatytułowany: *Wpływ wytrzymałości połączenia metal-ceramika na właściwości mechaniczne materiałów kompozytowych o osnowie metalowej wzmacnianych fazą ceramiczną*. Przedstawiony zbiór publikacji o charakterze naukowym opisuje następujące zagadnienia związane z badaniem wytrzymałości warstwy przejściowej na rozciąganie i ścinanie i jej wpływu na wypadkowe właściwości kompozytów:

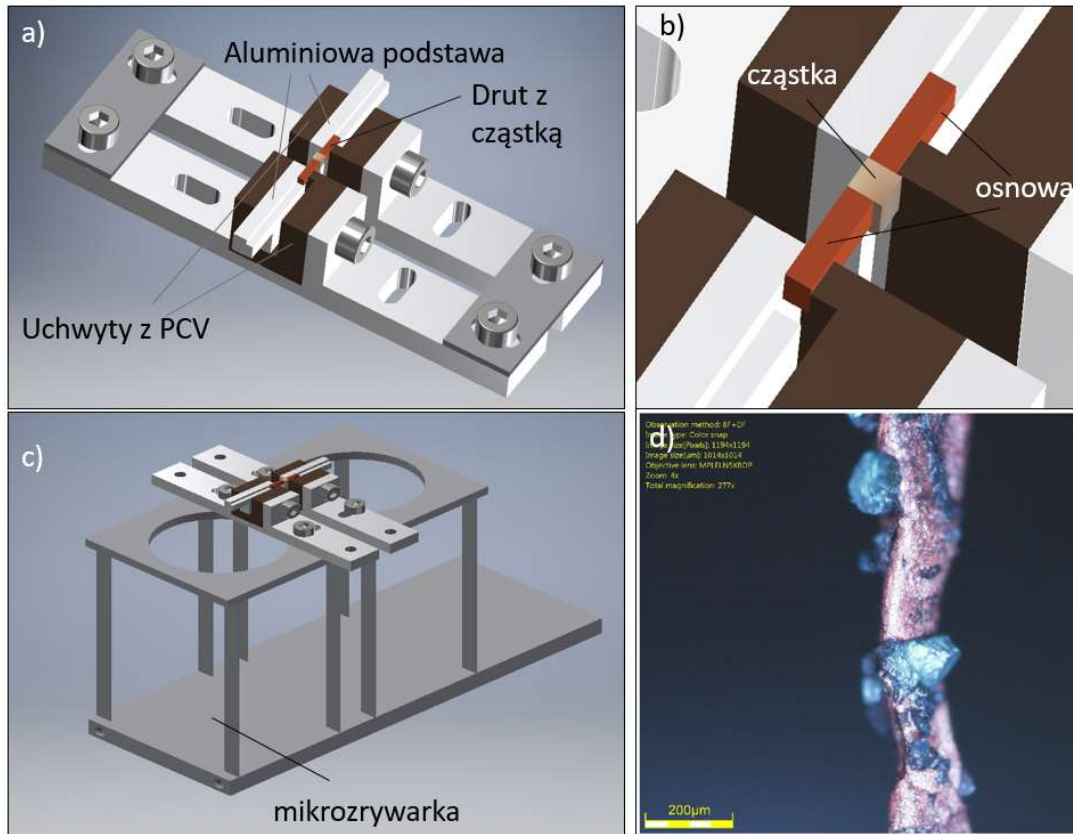
- opracowanie konstrukcji precyzyjnego urządzenia do rozciągania drutów wytworzonych z kompozytów MMC z wyeksponowanym połączeniem metal/ceramika.
- opracowanie techniki wytwarzania ww. cienkich drutów.
- wykorzystanie tej techniki do badania wpływu koncentracji cząstek, ich wielkości oraz warstw ochronnych na wytrzymałość połączenia na rozciąganie.
- rozwój techniki ścinania mikrowieź zawierających połączenie metal/ceramika za pomocą AFMu i opracowanie specjalnego urządzenia do kalibracji siły bocznej w AFM-ie
- badanie wpływu wytrzymałości połączenia metal/ceramika na wypadkowe właściwości mechaniczne koelektroosadzanych kompozytów Ni/SiC
- badanie wpływu zastosowania warstwy ochronnej na cząstki SiC na wytrzymałość warstwy przejściowej oraz wypadkowe właściwości mechaniczne koelektroosadzanych kompozytów Ni/SiC

Poniżej przedstawiono pokrótce opis najważniejszych osiągnięć i wyników opisanych w dziele. Opisano również szczegółowo problemy związane z połączeniem metal/ceramika w poszczególnych materiałach oraz podjęte próby ich przewyciężenia.

ii. Nowa technika badawcza

W przypadku materiałów jednorodnych wytrzymałość materiału mierzy się stosunkowo łatwo dzięki testom rozciągania. Urządzenia do tego typu testów są bardzo popularne oraz mają

wersje w skali mikro, a nawet nano. Badanie wytrzymałości interfejsów na rozciąganie jest zadaniem znacznie trudniejszym, szczególnie w przypadku kompozytów wzmocnionych cząstkami. Próbkę trzeba odpowiednio wypreparować, tak żeby odsłonić połączenie. Dodatkowo należy zwracać uwagę na kształt wypreparowanego interfejsu, tak aby w przypadku rozciągania nie podlegał on np. zbyt dużemu ścinaniu. Technikę spełniającą te warunki opisałem w pracy [DJ2]. Na początku z badanej próbki kompozytu należy precyzyjnie wyciąć małe belki. Najlepiej do tego celu użyć piły drutowej lub elektrodrażarki, które nie wprowadzają do próbki zbyt dużych naprężeń. Belki są następnie umieszczane na specjalnym uchwycie (Rys. 2a) i starannie trawione lub elektrotrawione. W przypadku kompozytów o osnowie miedzianej można zastosować roztwór kwasu fosforowego (40%). Belki są trawione aż do momentu uzyskania mikrodrutów z wypreparowanym interfejsem (Rys. 2b). Uchwyt na próbkę (Rys. 2a) od powstania publikacji [DJ2] został ulepszony i obecnie składa się z dwóch belek aluminiowych, do których przymocowane są zaciski wykonane z PCV. Zaciski służą do ściśnięcia ze sobą trawionej belki i aluminiowej podstawy, na której belka jest kładziona. Taka konstrukcja umożliwia podłączenie napięcia do niewielkiego obszaru uchwytu (izolacja PCV) i precyzyjne sterowanie elektrotrawieniem poprzez zmianę gęstości prądu. Potencjał jest podłączany tylko do jednej strony próbki. Dzięki temu, jeżeli połączenie zostanie całkowicie odsłonięte, druga część próbki przestaje się trawić (cząstki ceramiki słabo przewodzą prąd). W czasie trawienia obydwie części uchwytu są ze sobą połączone poprzez dwie kostki wykonane z PCV. Po odpowiednim wytrawieniu próbki, uchwyt jest montowany na mikrozrywarce, a kostki z PCV są odkręcane (Rys. 2c). W celu sprawdzenia, czy połączenie jest całkowicie odsłonięte i ma odpowiedni, płaski kształt można wykonać pomiary przy pomocy mikroskopu optycznego lub elektronowego (Rys. 2d).



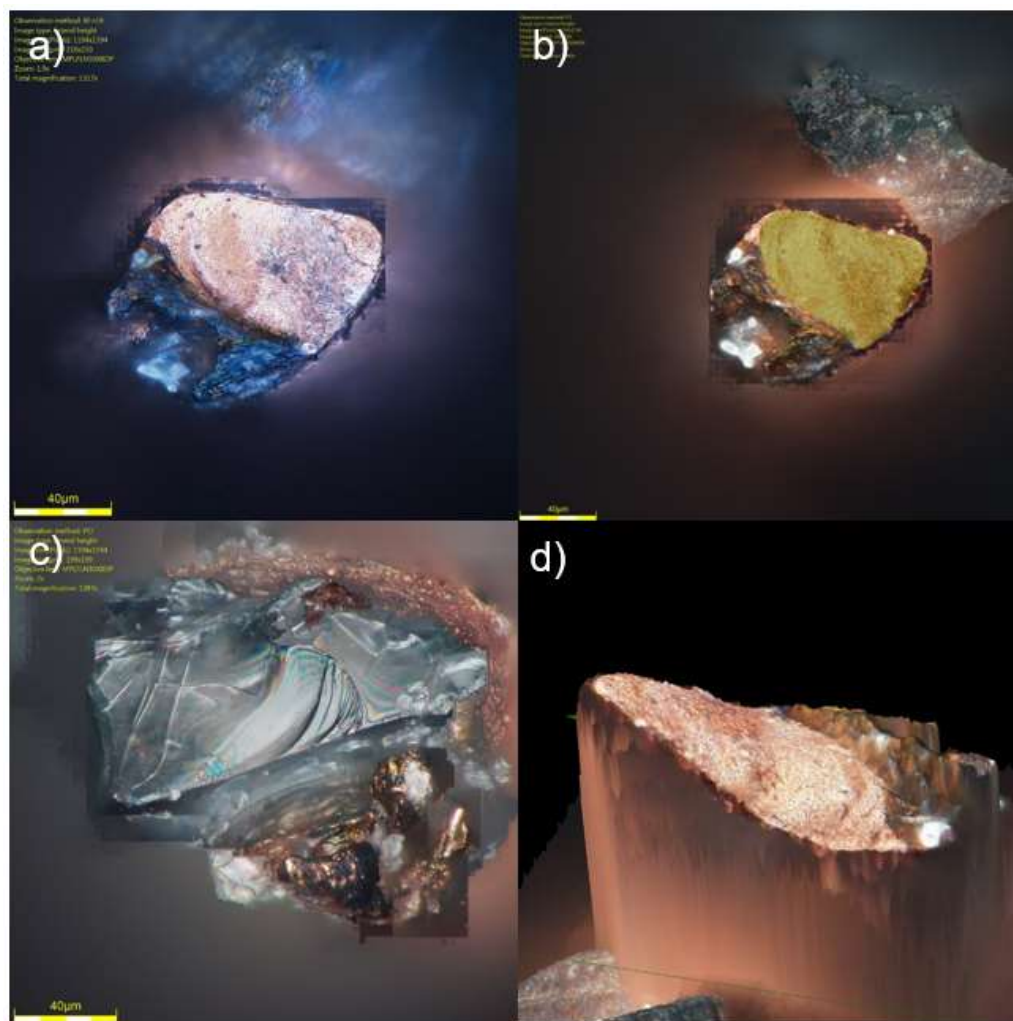
Rysunek 2 Pomiar wytrzymałości połączenia na rozciąganie. a) uchwyt na próbkę; b) schemat próbki zamocowanej w uchwycie; c) schemat mikrozwirarki z zamocowanym uchwycem; d) zdjęcie przykładowej próbki z wyekspowowanym połączeniem metal/ceramika.

Pomiar siły w mikrozwirarce dokonywany jest poprzez tensometry naklejone na płaskie sprężyny i połączone w mostek Wheatstone’a. Rozdzielczość pomiaru siły wynosi 0,1mN. Przemieszczenie nie było początkowo mierzone, natomiast w nowszych publikacjach stosowałem pomiary optyczne przy pomocy szybkiej kamery i cyfrowej korelacji obrazów. Wytrzymałość interfejsu na rozciąganie σ_b jest wyznaczana z poniższego wzoru:

$$\sigma_b = \frac{F_a}{A_c} \quad (1)$$

gdzie F_a jest siłą potrzebną na rozerwanie drutu w interfejsie, a A_c jest powierzchnią kontaktu. Powierzchnię kontaktu najdokładniej można wyznaczyć badając dwie części rozerwanego drutu. W przypadku małych cząstek, o wymiarach mniejszych niż 5 μm , należy to robić przy pomocy skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM). Tak postępowalem w publikacjach [DJ2, DJ3] W przypadku większych cząstek idealnym narzędziem jest mikroskop optyczny wyposażony w opcję EFI (z ang. Extended Focal Image – Obraz z rozszerzonym ogniskowaniem). Technika ta polega na wykonaniu serii zdjęć zmieniając i mierząc odległość

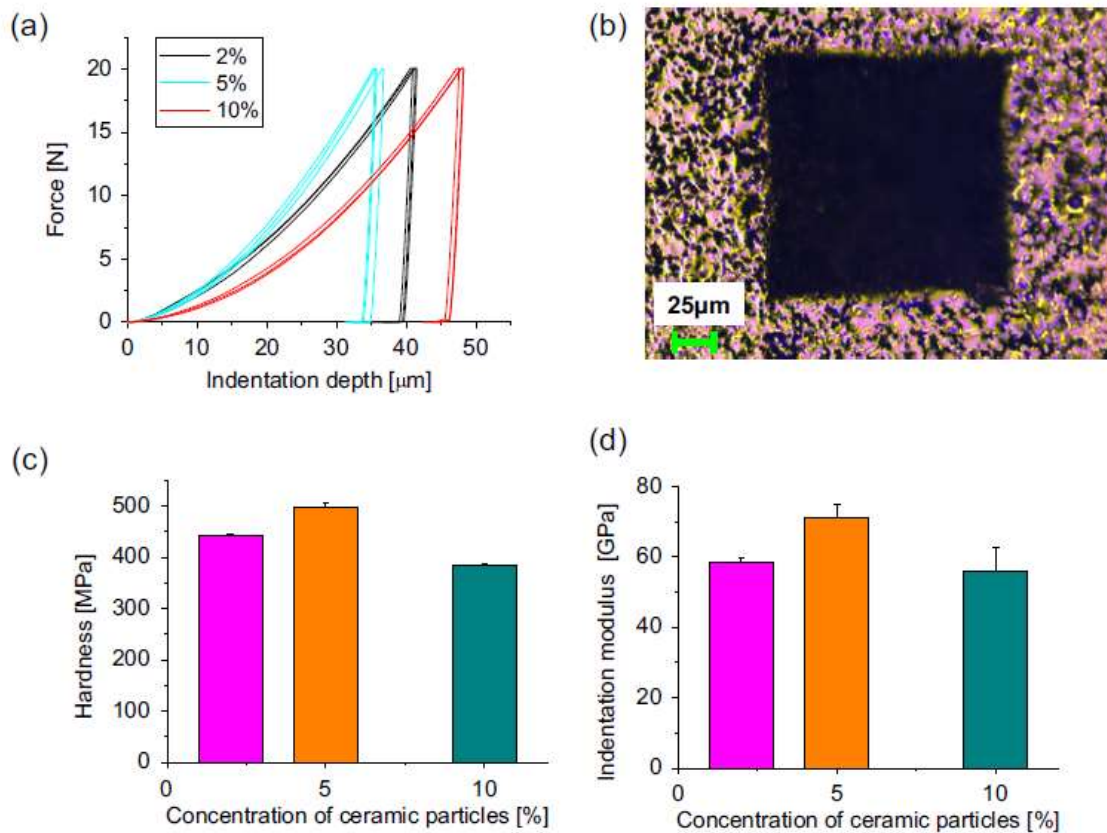
obiektywu od próbki, a następnie „zszyciu” ze sobą ostrych części obrazów w celu uzyskania jednego, trójwymiarowego zdjęcia badanej próbki. Pierwszy raz zastosowałem tę metodę w pracy [DJ4]. Sposób wyznaczania rzeczywistej powierzchni kontaktu przedstawiono na Rys. 3. Na Rys. 3a pokazano część drutu po stronie osnowy (w tym wypadku miedzi), a na Rys. 3b zaznaczono na żółto rzeczywistą powierzchnię kontaktu, która została ustalona na podstawie obserwacji obydwu części rozerwanego drutu (Rys. 3a i Rys. 3c – część drutu, na której została ceramiczna cząstka). W tym celu można sobie pomóc analizując trójwymiarowe zdjęcia takie jak przedstawiono na Rys. 3d.



Rysunek 3 Sposób wyznaczania rzeczywistej powierzchni kontaktu przy pomocy mikroskopu optycznego wyposażonego w funkcję EFI. a) część drutu po stronie osnowy; b) rzeczywista powierzchnia kontaktu; c) część drutu po stronie cząstki ceramicznej; d) obraz 3D części drutu po stronie osnowy.

iii. Wpływ wielkości i koncentracji cząstek na wytrzymałość interfejsu.

W celu przetestowania wyżej opisanej techniki pomiarowej oraz zbadania wpływu koncentracji cząstek na właściwości mechaniczne połączenia, przebadalem 3 próbki z kompozytu Cu/Al₂O₃ wytworzone metodą spiekania proszków. Próbki różniły się między sobą zawartością ceramiki. Zawierały odpowiednio: 2, 5 i 10% objętości fazy ceramicznej. W celu zbadania wypadkowych właściwości mechanicznych tych materiałów przeprowadziłem test mikroindentacji węgelnikiem Vickersa. Wyniki oraz zdjęcie przykładowego odcisku przedstawiono na Rys. 4. Próbka z 5% ceramiki była twardsza i bardziej sztywna od próbki z 2% ceramiki. Wbrew intuicji próbka z 10% ceramiki miała najmniejszą twardość. Wyniki mikroindentacji korelowały z przeprowadzonymi przeze mnie pomiarami siły adhezji pomiędzy cząstkami Al₂O₃, a miedzianą osnową. Zgodnie z Tabelą 1, interfejs był najslabszy w przypadku próbki z 10% ceramiki. Wyjaśnieniem tego zjawiska może być zwiększona porowatość osnowy spowodowana większą koncentracją cząstek ceramiki, które utrudniają odpowiednie wymieszanie i spieczenie kompozytu. Potwierdzeniem tej hipotezy jest mniejsza gęstość względna próbki z 10% ceramiki.



Rysunek 4 Wyniki testu mikroindentacji na badanych kompozytach. a) krzywe indentacji; b) zdjęcie przykładowego odcisku; c) wyniki pomiaru twardości; d) wyniki pomiaru modułu indentacji.

Zawartość ceramiki	2%	5%	10%
Wytrzymałość interfejsu na rozciąganie [MPa]	59 ± 6	58 ± 7	37 ± 4

Tabela 1

Na wytrzymałość połączenia metal-ceramika w kompozytach spiekanych z proszków wpływ ma również wielkość cząstek. Zostało to pokazane w publikacji [DJ3]. W tej pracy przebadano dwa rodzaje próbek wykonanych z kompozytu Cu/Al₂O₃: z małymi cząstkami (mniejszymi niż 3 μm) oraz dużymi (180 μm). W obydwu przypadkach objętościowa zawartość ceramiki wynosiła 5%. Wykonano szczegółową analizę mikrostruktury badanych próbek. Użyto zarówno SEMu jak i elektronowego mikroskopu transmisyjnego (TEM). Dobrej jakości połączenie charakteryzowało obydwie próbki, ale w przypadku mniejszych cząstek zaobserwowano nieliczne pory. Wyniki te zostały również potwierdzone pomiarem gęstości obydwu próbek oraz badaniami makroskopowych, wypadkowych właściwości mechanicznych obydwu kompozytów. Wyniki tych pomiarów przedstawia Tabela 2. Próbką o mniejszych cząstkach była bardziej miękka i posiadała słabsze połączenie pomiędzy wzmocnieniem, a osnową. Miała natomiast większą wytrzymałość na zginanie.

Materiał	Gęstość [g/cm ³]	Gęstość względna [%]	Twardość HV1	Wytrzymałość na zginanie [MPa]	Wytrzymałość interfejsu na rozciąganie [MPa]
Cu-Al ₂ O ₃ małe cząstki (3 μm)	8,35	96,2	54,7±3,4	289,6±1,9	68±3
Cu-Al ₂ O ₃ duże cząstki (180 μm)	8,41	96,9	60,2±0,4	202,1±4,5	74±4

Tabela 2

iv. Ochrona połączenia Cu/SiC przed niekorzystnym wpływem temperatury podczas spiekania

Kompozyty Cu/SiC spiekane z proszków, to kolejny, bardzo obiecujący rodzaj kompozytów o osnowie metalowej. Materiały te charakteryzują się wysokim przewodnictwem cieplnym i elektrycznym. Niestety główną wadą tych materiałów jest rozpuszczanie krzemu w miedzi w czasie spiekania. To zjawisko jest spowodowane podwyższoną temperaturą. Temperatura spiekania tych kompozytów jest zwykle wyższa niż 800°C. Zgodnie z [6] SiC ulega rozkładowi na Si i C w kontakcie z miedzią podczas procesu spiekania. Rozpuszczalność Si w Cu wynosi w przybliżeniu 5% przy 850°C [7, 8]. Si dyfunduje następnie do osnowy, a pozostały węgiel tworzy warstwę, która zapobiega powstaniu międzyfazowego połączenia

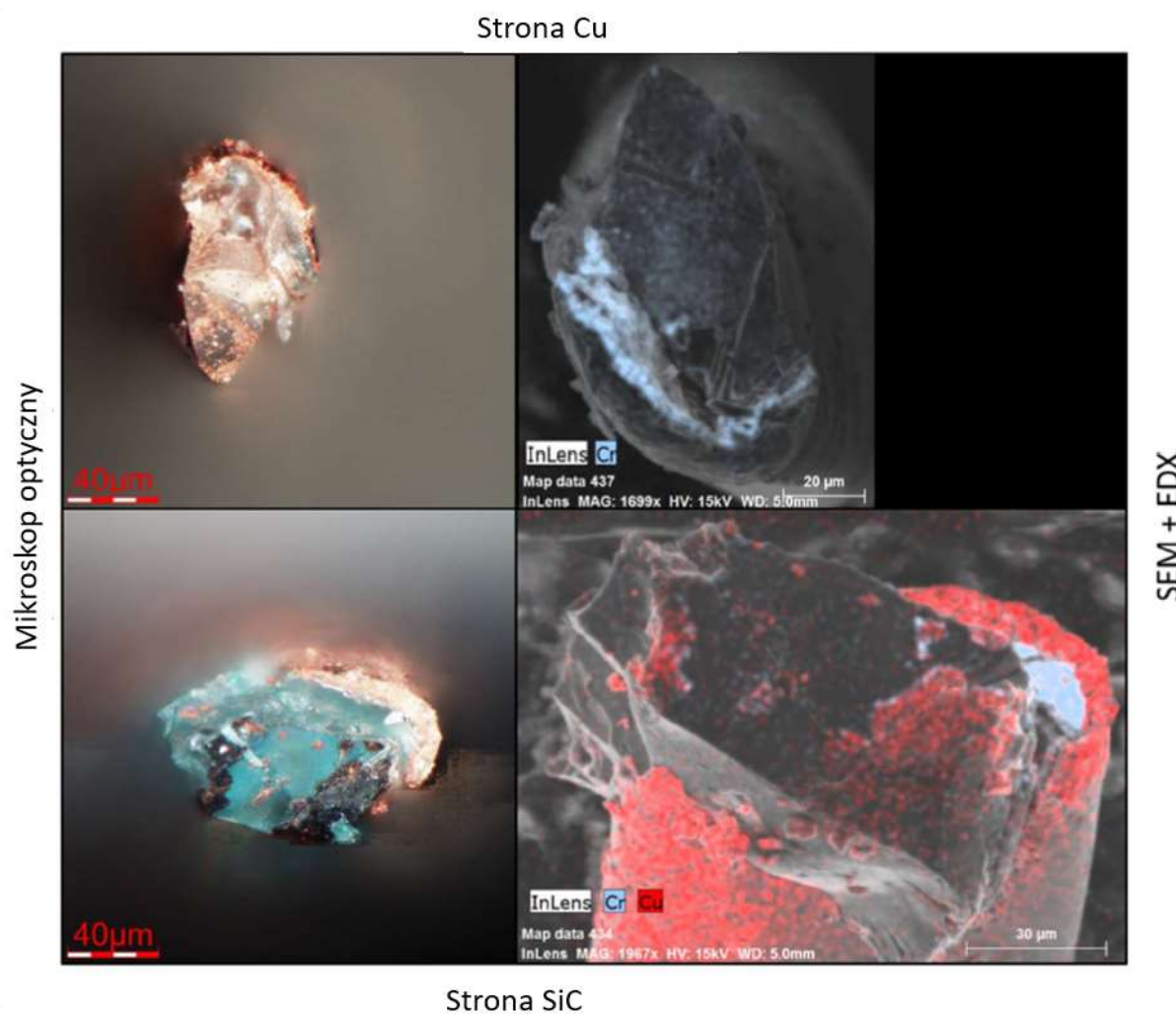
o odpowiedniej wytrzymałości. Dodatkowo węgiel nie reaguje z miedzią i ma niski współczynnik tarcia [9], co dalej zmniejsza wytrzymałość tego złącza. W tym przypadku węgiel działa jak smar stały. W związku z tym szczególne znaczenie ma poprawienie właściwości interfejsu Cu/SiC.

W celu poprawienia adhezji pomiędzy ceramiką a osnową stosuje się nie tylko dobór odpowiednich parametrów spiekania, ale również pokrywanie cząstek ceramiki warstwą zwiększającą zwilżalność oraz chroniącą ceramikę (np. SiC) przed dekompozycją w podwyższonych temp. i powstawaniem niepożądaną warstwy np. czystego węgla [10, 11]. Warstwy takie to najczęściej osadzone techniką PVD tytan, chrom lub wolfram. Brałem udział w pracach nad wytwarzaniem i charakteryzacją takich kompozytów [12, 13], co przyczyniło się do powstania koncepcji pracy [DJ4]. W tej publikacji wykorzystałem 4 próbki z kompozytu Cu/SiC w celu zbadania wpływu warstwy ochronnej na wytrzymałość interfejsu na rozciąganie. Wszystkie materiały zawierały 10% (objętości) ceramiki. Jedna próbka, była próbką referencyjną – nie posiadała warstwy ochronnej na ceramice – a pozostałe zostały spieczone z ceramiki pokrytej wolframem, niklem albo tytanem. Wyniki pomiarów wytrzymałości granicy międzyfazowej na rozciąganie przedstawiono w Tabeli 3. Najlepsze rezultaty otrzymano dla warstwy Cr. Najsłabszy okazał się interfejs dla cząstek pokrytych Ti. Wyniki opisane w pracy [DJ4] są zgodne z innymi podobnymi pomiarami przedstawionymi w literaturze. Na przykład w pracy [14], w której niepowlekanie, pokryte chromem lub wolframem włókna SiC były wypychane z osnowy Cu, najsilniejszy interfejs zaobserwowano dla włókien powlekanych chromem. Próbki z powłoką wolframową włókna były słabsze, a w przypadku włókien niepowlekanych interfejs był bardzo słaby. Oryginalnością podejścia przedstawionego w moich pracach jest badanie wytrzymałości połączenia na rozciąganie. We wcześniejszej literaturze opisano tylko eksperymenty polegające na ścinaniu interfejsu.

Dzięki zbadaniu rozerwanych drutów przy pomocy mikroskopów optycznego i elektronowego (wyposażonego dodatkowo w detektor EDX) można było ustalić sposób w jaki granica międzyfazowa ulegała pęknięciu. Przykładowe wyniki przedstawiono na Rys. 5. W tym przypadku pęknięcie nastąpiło na wskroś ochronnej warstwy Cr. Warstwę chromu widać zarówno na cząstce SiC jak i po stronie Cu. Obserwacje te potwierdził również pomiar przy pomocy SEMu.

Wartwa ochronna na ceramice	Brak	Wolfram	Chrom	Tytan
Wytrzymałość granicy międzyfazowej na rozciąganie [MPa]	54 ± 5	69 ± 8	81 ± 7	43 ± 8

Tabela 3

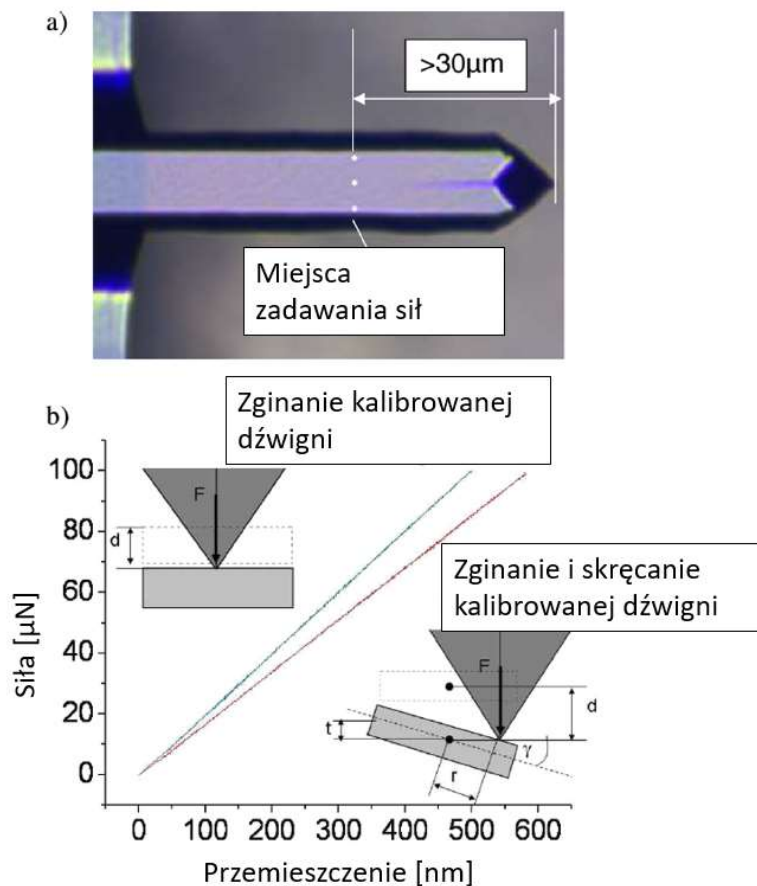


Rysunek 5 Wyniki obserwacji mikroskopowych przykładowego, rozerwanego drutu z cząstką pokrytą chromem.

v. Metody kalibracji siły bocznej w mikroskopie sił atomowych (AFM)

W moim doktoracie opisałem metodę pozwalającą badać właściwości materiałów i struktur w skali nano przy pomocy AFMu [5]. Technika ta może zostać wykorzystana m.in. do badania wytrzymałości na ścinanie połączeń pomiędzy dwoma różnymi materiałami albo dwiema fazami w kompozycie. Zostało to opisane w pracy [DJ1]. Podstawowym problemem, który umożliwiłby szersze zastosowania tej techniki pomiarowej była duża niepewność pomiarowa

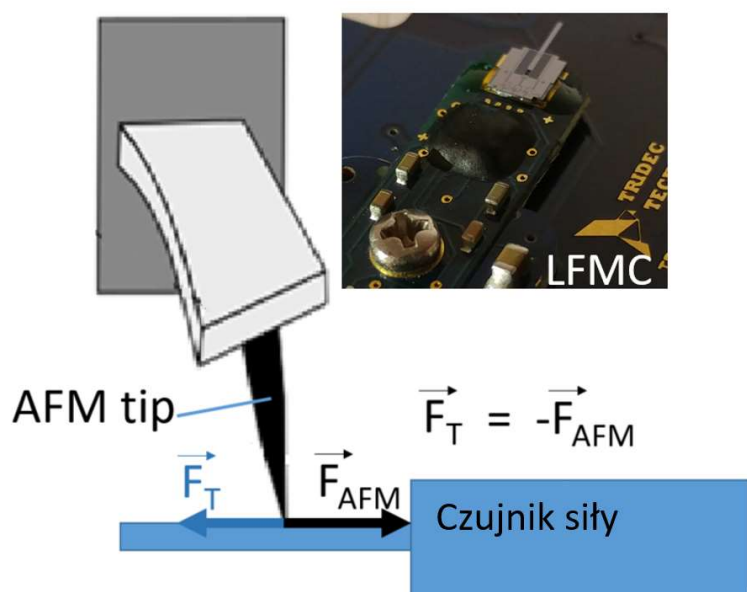
otrzymanych wyników spowodowana brakiem precyzyjnej i dokładnej metody kalibracji siły bocznej w AFMie. Możliwe rozwiązania tego problemu przedstawiłem w dwóch publikacjach [DJ5] i [DJ6]. W pracy [DJ5] opisałem metodę wyznaczania sztywności skrętnej dźwigni pomiarowych stosowanych w AFMach przy pomocy nanoindentera. Diamentowy wgłębnik typu Berkovich zadaje siły w różnych miejscach kalibrowanej dźwigni (Rys. 6a). Dźwignia jest zginana albo zginana i skręcana (Rys. 6b). Zarówno siły jak i przemieszczenia są precyzyjnie mierzone przez czujniki nanoindentera. Z otrzymanych prostych można, na podstawie zależności geometrycznych i teorii belek, wyznaczyć sztywność skrętą kalibrowanej dźwigni. W celu uzyskania stałej kalibracji siły bocznej, konieczne było jeszcze opracowanie metody kalibracji fotodiody w AFMie. W dalszej części pracy [DJ5] opisałem prostą technikę, która wykorzystywała różnice w skręceniu dźwigni pomiarowej w czasie skanowania stopni o różnych wysokościach.



Rysunek 6 Metoda wyznaczania sztywności skrętnej dźwigni pomiarowej AFMu przy pomocy nanoindentera. a) zdjęcie przykładowej dźwigni z zaznaczonymi miejscami zadawania siły; b) przykładowe wyniki.

W pracy [DJ6] wraz z moim zespołem opisaliśmy bezpośrednią technikę kalibracji siły bocznej przy pomocy czujnika siły wykonanego w technologii MEMS

(MicroElectroMechanical Systems). W tym przypadku nie jest potrzebna znajomość jakichkolwiek parametrów geometrycznych albo materiałowych kalibrowanej dźwigni. Dodatkowo, nie potrzebna jest oddzielna kalibracja fotodiody. Z pomiaru otrzymuje się bezpośrednio stałą kalibracji (LFCC – lateral force calibration constant) wyrażoną w $\mu\text{N/mV}$. W celu realizacji tej metody zastosowaliśmy dostępny na rynku czujnik sił o zakresie $100 \mu\text{N}$ i rozdzielczości 5nN z zaawansowaną elektroniką do bezpośredniego pomiaru siły tarcia wywieranej przez końcówkę dźwigni pomiarowej AFMu na płaską powierzchnię jego belki pomiarowej (Rys. 7). Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki, siła tarcia o równej wartości skręca dźwignię pomiarową AFMu. Następnie sygnał skrętny (siła boczna) jest porównywany z sygnałem z czujnika mikrośił i wyznaczana jest wartość LFCC. Metoda, jak i urządzenie do jej realizacji (LFMC – Lateral Force Microscopy Calibrator) zostały opisane w zgłoszeniu patentowym, które zostało złożone zarówno w Polskim jak i Europejskim Urzędzie Patentowym (nr zgłoszenia: 419669).



Rysunek 7 Schemat wyznaczania LFCC przy pomocy czujnika siły oraz zdjęcie czujnika siły.

vi. Wpływ słabego połączenia metal/ceramika na właściwości mechaniczne koelektroosadzanych kompozytów Ni/SiC

Kompozyty metal/ceramika mogą być wytwarzane również techniką koelektrodepozycji – do roztworu stosowanego do galwanicznego osadzania metalu dodawane są cząstki ceramiki. Następnie na skutek mieszania roztworu oraz oddziaływań elektrostatycznych, cząstki są wbudowywane w elektroosadzany metal. Niestety, technika ta posiada wady, które prowadzą do pogorszenia właściwości mechanicznych wytwarzanych warstw. Jednym z takich

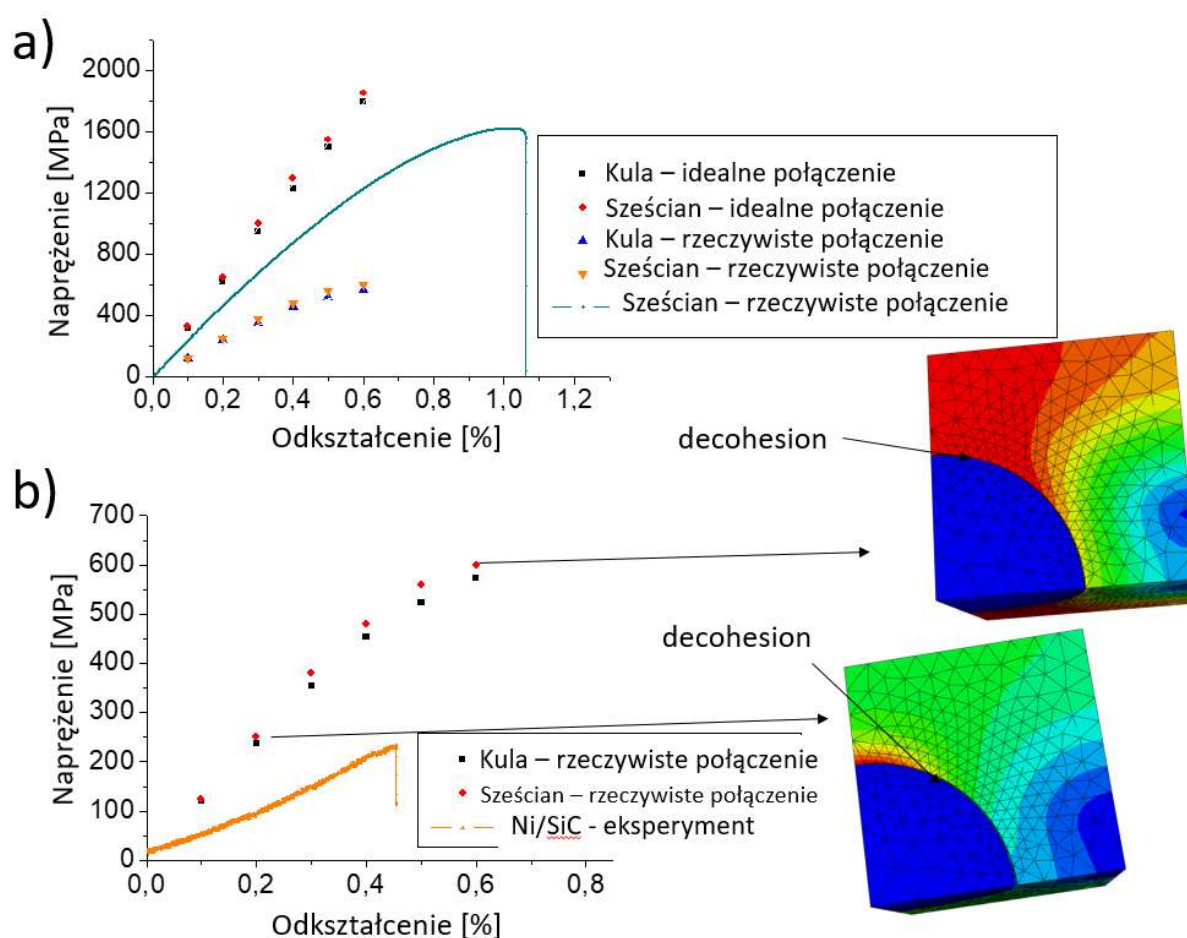
problemów jest słabe wiązanie między cząstkami i osadzonym metalem. Cząstki najczęściej wiążą się z osnową za pomocą słabych sił van der Waalsa, które nie zapewniają wysokiej adhezji i wytrzymałości tak powstałej granicy międzyfazowej. Dodatkowo powierzchniowe właściwości niektórych cząstek ceramicznych np. SiC mogą się znacznie zmieniać pod wpływem kontaktu z kąpielą galwaniczną. Na przykład na powierzchni SiC w kąpeli Watta powstaje tlenek krzemu, tlenek krzemu i bardzo niepożądany grafit [15]. Podobnie jak w przypadku kompozytów Cu/SiC spiekanych z proszków, węgiel jest niepożądany, ponieważ działa jak stały smar i może znacznie pogorszyć właściwości mechaniczne połączenia Ni/SiC [6]

W pracy [DJ7], pokazałem, że warstwa przejściowa Ni/SiC charakteryzuje się bardzo niską wytrzymałością na rozciąganie. Dodatkowo pokazałem jakie konsekwencje niesie to dla wypadkowych właściwości mechanicznych takich materiałów. W tym celu wytworzyłem próbki z kompozytów Ni-SiC z 10%-ową zawartością SiC. Warto wspomnieć, że cząstki SiC nie był w żaden sposób aktywowane chemicznie, co dodatkowo obniżyło ich adhezję do Ni. Następnie wykonałem próby rozciągania tego materiału. Zmierzony moduł sprężystości był równy 67 ± 8 GPa, a wytrzymałość na rozciąganie wynosiła 230 ± 15 MPa. Kompozyt był znacznie słabszy niż czysty nikiel, co było spowodowane bardzo słabym połączeniem wzmocnienia i osnowy. Zgodnie z zaimplementowanym przeze mnie prostym modelem numerycznym, w którym założono „idealne” połączenie Ni i SiC moduł Younga powinien być równy około 320 GPa. „Idealność” interfejsu oznaczała w tym przypadku ciągłość przemieszczeń.

Aby bliżej przyjrzeć się granicy Ni/SiC oraz uzyskać niezbędne parametry do modelu numerycznego rzeczywistej granicy międzyfazowej, wykonałem pomiary wytrzymałości na rozciąganie i ścinanie tego interfejsu. Konieczne było wytworzenie specjalnych próbek, co dokładnie opisałem w pracy [DJ7]. Należy jednak zaznaczyć, że w celu łatwiejszej interpretacji wyników, zamiast wytrawiać druty wytworzyłem próbki z dużą i płaską granicą międzyfazową. Wyniki eksperymentalne pokazały, że adhezja pomiędzy Ni i SiC jest bardzo słaba. Wytrzymałość granicy międzyfazowej na rozciąganie była równa $0,10 \pm 0,03$ MPa, a wytrzymałość na ścinanie $4,9 \pm 0,2$ MPa.

Powyższe wyniki posłużyły do stworzenia modelu numerycznego kompozytu z „rzeczywistym” interfejsem. Model został wykonany metodą elementów skończonych (MES). Połączenie Ni/SiC zostało zamodelowane przy pomocy elementów kohezyjnych. Kompozyt został poddany rozciąganiu. Założyłem okresowe warunki brzegowe. Wyznaczony w ten

sposób „moduł sprężystości” wynosił około 120 GPa. „Moduł sprężystości” napisałem w cudzysłowie ponieważ jego obniżenie w stosunku do modelu z „idealnym” połączeniem wynika z odwarstwiania się elementów kohezyjnych i powstania pęknięcia w miejscu granicy międzyfazowej. Dla małych sił, które nie powodują powstania pęknięcia, moduły sprężystości dla obydwu modeli będą równe. Zostało to dokładnie opisane i przedyskutowane w pracy [DJ7]. Otrzymane krzywe rozciągania, zarówno eksperymentalne jak i numeryczne przedstawiono na Rys. 8. Należy jeszcze dodać, że w pracy przedyskutowano dwa rodzaje modeli numerycznych, w których wtrącenie SiC było modelowane albo jako kula, albo jako sześcián.

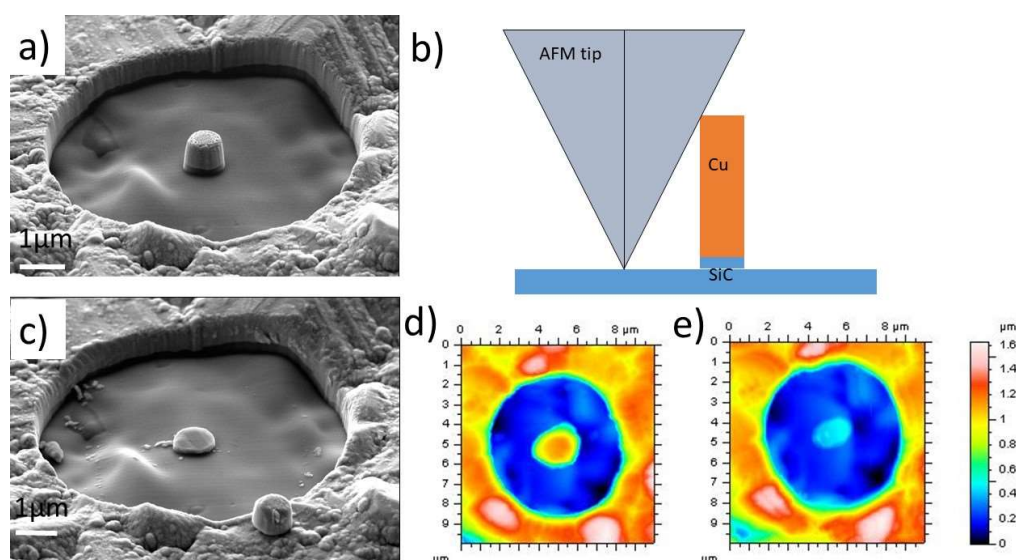


Rysunek 8 Wyniki numerycznych oraz rzeczywistych testów rozciągania kompozytów Ni/SiC

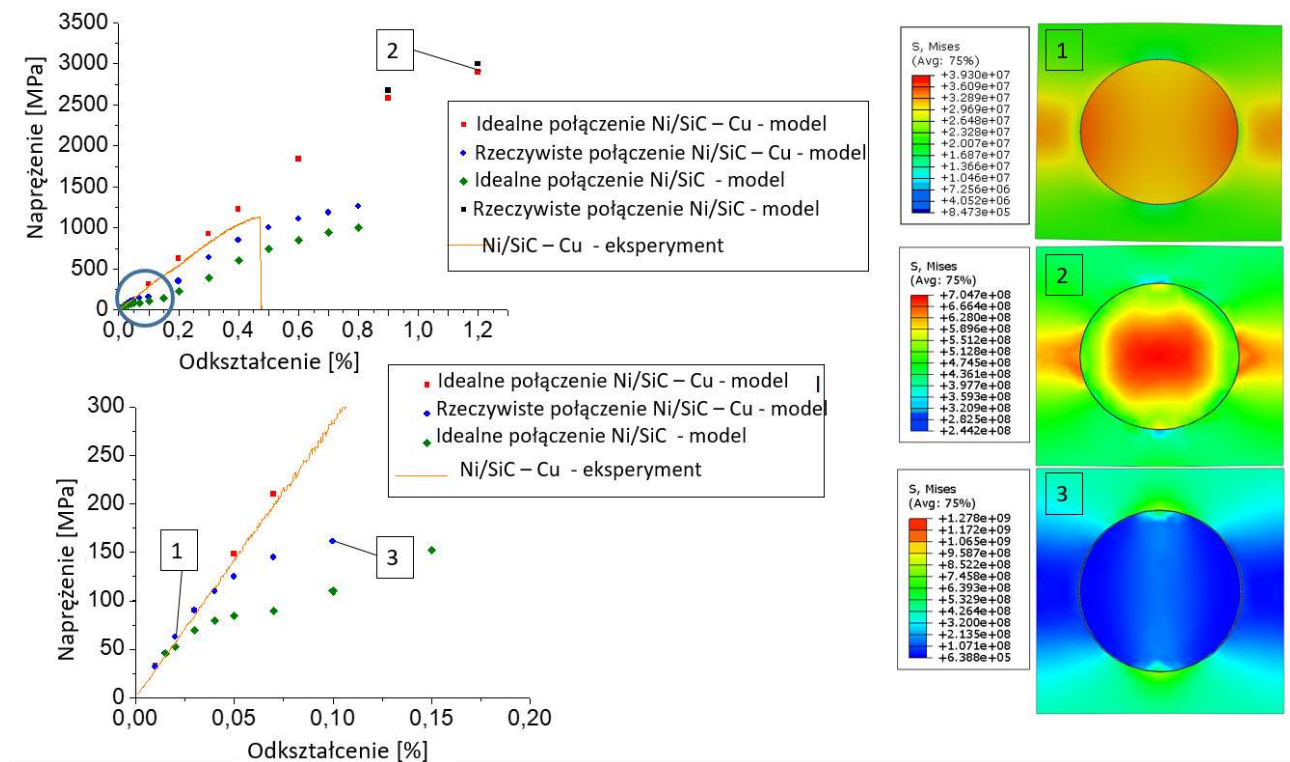
vii. Zastosowanie warstwy ochronnej na ceramikę w celu poprawy właściwości mechanicznych koelektroosadzanych kompozytów Ni/SiC

W pracy [DJ8] przedstawiono badanie właściwości mechanicznych kompozytów składających się z osadzonych galwanicznie warstw Ni i koosadzonych cząstek SiC z ochronną powłoką Cu. Wykazano, że powłoka pozwoliła na zwiększenie koncentracji cząstek

ceramicznych w kompozycie. Choć parametry osadzania były takie same dla obu typów kompozytów, zawartość SiC wynosiła 15% objętości dla kompozytu zawierającego powlekane cząstki (Ni/SiC-Cu) i 10% dla kompozytu zawierającego niepowlkane cząstki (Ni/SiC). Co więcej, testy rozciągania wykazały, że próbki Ni/SiC-Cu wykazują wyższy moduł Younga niż próbki czystego Ni lub próbki Ni/SiC. Zmierzony moduł Younga dla kompozytu Ni/SiC-Cu wynosił 250 ± 10 GPa. Niestety wytrzymałość na rozciąganie kompozytu Ni/SiC-Cu była mniejsza niż czystego Ni. W celu głębszego zrozumienia zachowania się kompozytu Ni/SiC-Cu zbadaliśmy mikrostrukturę warstwy przejściowej w tym materiale oraz jej mechaniczną wytrzymałość. Badania mikrostruktury przeprowadzone przy użyciu SEMu wykazały, że połączenie SiC/Cu było gładkie i dobrej jakości, podczas gdy połączenie Cu/Ni było nieregularne, ale także dobrej jakości. Pomiary wytrzymałości na rozciąganie i na ścinanie wykazały, że interfejs SiC/Cu był dosyć słaby (choć znacznie silniejszy niż w przypadku braku warstwy ochronnej), co było główną przyczyną niskiej wytrzymałości kompozytu na rozciąganie. Należy też zaznaczyć, że wytrzymałość na ścinanie granicy faz SiC/Cu została zmierzona przez ścinanie mikrokolumn przy pomocy AFMu, do czego niezbędna była wcześniej opisana metoda kalibracji (Rys. 9). W dalszej części pracy [DJ8] opracowano prosty model numeryczny kompozytu przy pomocy metody elementów skończonych. Podobnie jak poprzednio do modelowania połączenia metal/ceramika zastosowano elementy kohezyjne. Model zastosowano do przeprowadzenia numerycznych testów rozciągania, których wyniki porównano z wynikami eksperymentów (Rys. 10).



Rysunek 9 Pomiary wytrzymałości połączenia Cu/SiC na ścinanie przy pomocy AFMu. a) kolumna przed ścięciem – zdjęcie SEM; b) schemat metody; c) kolumna po ścięciu – zdjęcie SEM; d) kolumna przed ścięciem – obraz AFM; e) kolumna po ścięciu – obraz AFM.



Rysunek 10 Wyniki numerycznych oraz rzeczywistych testów rozciągania kompozytów Ni/SiC oraz Ni/SiC-Cu

d. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

i. Ogólna charakterystyka działalności naukowej

Od początku tematyka moich badań naukowych koncentrowała się na pomiarach właściwości mechanicznych, trybologicznych oraz reologicznych materiałów w skalach mikro i nano. Początkowo zajmowałem się głównie nanoimprintingiem – obiecującą technologią mikroelektroniczną, która może zastąpić fotolitografię. Badania w tej dziedzinie prowadziłem jeszcze na studiach w grupie prof. Zygmunta Rymuzy w Instytucie Mikromechaniki i Fotoniki PW. Badania te obejmowały pomiary współczynników tarcia i lepkości cienkich warstw polimerów stosowanych w nanoimprintingu. Moja praca magisterska również była związana z tą tematyką. Nauczyłem się w tym czasie wykonywania pomiarów na mikroskopie sił atomowych (AFM), a następnie wykorzystałem tę umiejętność w pracy licencjackiej obronionej na Wydziale Fizyki UW. Praca ta dotyczyła pomiarów przy pomocy AFMu płatków grafenu wytwarzanego na węglu krzemowym.

Po obronie pracy magisterskiej wyjechałem na prawie dwuletni staż do Paul Scherrer Institut w Szwajcarii. Pracowałem tam w Laboratorium Mikro i Nanotechnologii (LMN), w grupie prof. Thomasa Junga. Przez ten czas wykonywałem badania, których wyniki opisałem

w pracy doktorskiej. Jak już wcześniej wspomniałem, w doktoracie opracowałem metodę pomiaru wytrzymałości materiałów w skali nano przy pomocy AFMu.

Po powrocie ze Szwajcarii kontynuowałem pracę naukową w IPPT PAN. Jestem tam zatrudniony w Zakładzie Mechaniki Materiałów, w Pracowni Warstwy Wierzchniej. Obecnie moje zainteresowania badawcze, oprócz kompozytów o osnowie metalowej, obejmują pomiary tarcia i zużycia warstw, które mają obniżać współczynniki tarcia (np. w łożyskach) i zapobiegać zużyciu. Skonstruowałem również stanowisko do elektrodepozycji warstw nanokrystalicznych odpornych na zużycie. W IPPT zaangażowałem się również w badania podstawowe dotyczące mechaniki odkształceń plastycznych w monokryształach oraz badanie efektów skali. Eksperymenty obejmują głównie nanoindentację monokryształów i cienkich warstw oraz pomiary odcisków przy pomocy AFMu oraz eksperymenty z nanowieżami, nanokolumnami i nanodrutami wykonanymi z monokryształów lub materiałów nanokrystalicznych.

W mojej pracy badawczej, oprócz wykonywania pomiarów, zajmuję się również konstrukcją innowacyjnych urządzeń badawczych. W ramach projektu „Technika badawcza oraz urządzenie do pomiarów właściwości lepkosprężystych materiałów w skali nano” sfinansowanego przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej (program IMPULS, Projekt współfinansowany przez UE w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego) powstał unikalny reometr, który obecnie jest wykorzystywany np. do badań anizotropii lepkości w cieczach magnetoreologicznych. Reometr jest przedmiotem uzyskanego patentu (nr 419571), a jego powstanie jest kontynuacją tematyki rozpoczętej w mojej pracy magisterskiej. Jako podwykonawca brałem udział w konstruowaniu innowacyjnego trybometru w ramach międzynarodowego projektu „3-Scale modeling for robust design of vibrating micro sensors” (ERA-NET+, 7 Program Ramowy UE). W ramach projektu „Konstrukcja kompaktowej nanozrywarki” sfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (program LIDER) konstruujemy, wraz z powołanym przeze mnie zespołem badawczym, unikalną nanozrywarkę, która przyda się w badaniach efektów skali oraz w pomiarach adhezji w kompozytach. W ramach tego projektu powstał również unikalny na skalę światową, opisany wcześniej, kalibrator siły bocznej do AFMów. Dzięki temu urządzeniu możliwe jest nie tylko ścinanie mikro i nanowież, ale również badanie tarcia i zużycia w skali nano przy pomocy AFMu z niespotykaną wcześniej dokładnością (błąd pomiaru rzędu 3%, przy 10% dotychczas).

ii. **Lista publikacji z bazy JCR w porządku chronologicznym**
(bez 8 publikacji zaliczonych do osiągnięcia naukowego)

PRZED OBRONĄ DOKTORATU

1. Jarzabek D. , Rymuza Z., Wada T., Mechanical and tribological behaviour of carbon nanotube brushes , Int. Mat. Res., 99 (2008): 883-887	25 pkt IF 0.83
2. Jarzabek D. , Rymuza Z., Ohmae N., Friction and adhesion of carbon nanotube brushes , Int. J. Mat. Res., 100 (2009): 973-977	25 pkt IF 0.83
3. Kravchuk A. Rymuza Z., Jarzabek D. , Penetration of a pyramid indenter into a multilayer coating , Int. J. Mat. Res., 100 (2009): 933-935	25 pkt IF 0.83
4. Jarzabek D. , Rymuza Z., Horiba A., Hirai Y., Development of an experimental technique for testing rheological properties of ultrathin polymer films used in nanoimprint lithography , J. Vac. Sci. Technol. B, 2011, Vol. 29, No.6	25 pkt IF 1.338
5. Atasoy H; Vogler M; Haatainen T; A., Schleunitz A., Jarzabek D. , Schiff H., Reuther F., Gruetzner G., Rymuza Z., Novel thermoplastic polymers with improved release properties for thermal NIL , Microelectron. Eng., 88 (2011): 1902-1905	25 pkt IF 1.233

PO OBRONIE DOKTORATU

6. Jarzabek D. , Kaufmann A., Schiff A., Rymuza Z., Jung T. Elastic modulus and fracture strength evaluation on the nanoscale by scanning force microscope experiments . Nanotechnology, 2014, 25:21	35 pkt IF 3.672
7. Kucharski S., Jarzabek D.M. Depth Dependence of Nanoindentation Pile-Up Patterns in Copper Single Crystals , Metallurgical and Materials Transactions A, 2014, 45:11, pp. 4997-5008	35 pkt IF 1.730
8. Jarzabek D.M. , Siewert D., Fabianowski W., Schiff H., Rymuza Z., Jung T., Influence of Alkali Ions on Tribological Properties of Silicon Surface , TRIBOLOGY LETTERS (ISSN: 1023-8883), Vol.60, No.2, pp.1-8, 2015	35 pkt IF 1.739
9. Kucharski S., Jarzabek D.M. , Piątkowska A., Woźniacka S., Decrease of Nano-hardness at Ultra-low Indentation Depths in Copper Single Crystal , EXPERIMENTAL MECHANICS, ISSN: 0014-4851, DOI: 10.1007/s11340-015-0105-2, Vol.56, No.3, pp.381-393, 2016	35 pkt IF 1.548
10. Chmielewski M., Pietrzak K., Strojny-Nędza A., Jarzabek D.M. , Nosewicz S., Investigations of interface properties in copper-silicon	30 pkt IF 0.571

<p>carbide composites, ARCHIVES OF METALLURGY AND MATERIALS, ISSN: 1733-3490, DOI: 10.1515/amm-2017-0200, Vol.62, No.2B, pp.1315-1318, 2017</p>	
<p>11. Jarzabek D.M., Gwiazda M., Dera W., The Influence of Alkali Metal Chloride Treatments on the Wear Resistance of Silicon Surfaces for Possible Use in MEMS, TRIBOLOGY TRANSACTIONS, ISSN: 1040-2004, DOI: 10.1080/10402004.2017.1296211, pp.1-7, 2017</p>	<p>30 pkt IF 1.658</p>
<p>12. Chmielewski M., Pietrzak K., Teodorczyk M., Nosewicz S., Jarzabek D.M., Zybala R., Bazarnik P., Lewandowska M., Strojny-Nędza A., Effect of metallic coating on the properties of copper-silicon carbide composites, APPLIED SURFACE SCIENCE, ISSN: 0169-4332, DOI: 10.1016/j.apsusc.2016.12.130, Vol.421, pp.159-169, 2017</p>	<p>35 pkt IF 3.387</p>
<p>13. Strojny-Nędza A., Pietrzak K., Gładki A., Nosewicz S., Jarzabek D.M., Chmielewski M., The effect of ceramic type reinforcement on structure and properties of Cu-Al₂O₃ composites, BULLETIN OF THE POLISH ACADEMY OF SCIENCES: TECHNICAL SCIENCES, ISSN: 0239-7528, DOI: 10.24425/124271, Vol.66, No.4, pp.553-560, 2018</p>	<p>25 pkt IF 0.914</p>
<p>14. Leszek J.Fras, Cezary Dziekonski, Wojciech Dera, Dariusz M. Jarzabek, Piezoelectric bimorph as a high-sensitivity viscosity resonant sensor to test the anisotropy of magnetorheological fluid, accepted in REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS</p>	<p>30 pkt IF 1.428</p>

iii. Pozostałe publikacje

S.O. Abetkovskaya, S.A. Chizhik, I.V. Pogoskaya, Z. Rymuza, **D. Jarzabek**, M. Michalowski, and J. Linke, **Determining the Young Modulus of Nanosize Thickness Coatings for MEMS from the Results of Static Force Spectroscopy**, Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics, 2012, Vol. 76, No. 9, pp. 1009–1011

Jarzabek D.M., Michałowski M, Characterization of Polymeric Biomaterials, rozdział: Surface mechanical properties, Woodhead Publishing (an imprint of Elsevier), United Kingdom, pp.255-279, **2017**

iv. Patenty i zgłoszenia patentowe

Przyznany patent:

419571 2016-11-23 BUP 12/18 2018-06-04	Jarząbek D.M. , Dera W., Dziekoński C. <i>Urządzenie do pomiaru lepkości cienkich warstw materiałów lepkosprężystych</i> PL, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
---	--

Zgłoszenia patentowe:

424702 2018-02-28	Frąś L., Jarząbek D.M. , Pręgowska A. <i>Przyrząd pomiarowy do mikroskopowej obserwacji i pomiaru deformacji materiałów w czasie rzeczywistym</i> PL, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
126911 2017-12-28	Pręgowska A., Jarząbek D.M. , Frąś L. <i>Uchwyt do modułu umożliwiającego obserwację deformacji materiałów pod mikroskopem optycznym</i> PL, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
419669 2016-12-14	Dera W., Dziekoński C., Jarząbek D.M. <i>Metoda kalibracji siły bocznej w mikroskopie AFM i urządzenie do kalibracji siły bocznej w mikroskopie AFM.</i> PL, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
411559 2015-03-12 <hr/> BUP 20/16 2016-09-26	Jarząbek D.M. <i>Metoda pomiaru siły adhezji na jednostkę powierzchni w kompozytach ceramiczno - metalowych oraz przyrząd do pomiaru siły adhezji.</i> PL i EU, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

v. Sumaryczne dane bibliograficzne

- Liczba wszystkich publikacji z listy JCR: 21
- Sumaryczny Impact Factor: 40.572
- Liczba cytowań (według Web of Sciences): 92
- Indeks Hirscha: 6

vi. Kierowanie projektami naukowymi

1.07.2016-dzisiaj

Kierownik projektu: **Zewnętrzne i wewnętrzne efekty skali oraz ich sprzężenie w pojedynczych kryształach oraz materiałach nanokrystalicznych badane przy pomocy**

ściskania, rozciągania i zgnania nanokolumn oraz nanodrutów, program SONATA, NCN

- 01.2016-dzisiaj Kierownik projektu: **Konstrukcja kompaktowej nanozrywarki**, program LIDER, NCBiR
- 01.2015-12.2015 Kierownik projektu: **Technika badawcza oraz urządzenie do pomiarów właściwości lepkosprężystych materiałów w skali nano**, program IMPULS, Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej
- 06.2013-12.2014 Kierownik projektu: **Badanie adhezji pomiędzy cząstkami ceramiki a metalem w kompozytach ceramiczno-metalowych.**
- Grant Preludium Narodowego Centrum Nauki

vii. Nagrody i wyróżnienia

- 2018 Nagroda Naukowa II Stopnia Komitetu Mechaniki PAN
- 2018 Nagroda I Stopnia Dyrektora IPPT PAN za osiągnięcia naukowe w 2017 roku
- 2017 Nagroda II Stopnia Dyrektora IPPT PAN za osiągnięcia naukowe w 2016 roku
- 2016 Nagroda II Stopnia Dyrektora IPPT PAN za osiągnięcia naukowe w 2015 roku
- 2014 Nagroda III Stopnia w konkursie IMPULS Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej.
- 2013 Laureat programu stypendialnego START Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej
- 2012 Laureat programu stypendialnego START Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej
- 2009 Nagroda I Stopnia Rektora Politechniki Warszawskiej za wybitne osiągnięcia naukowe w latach 2007-2008

viii. Działalność dydaktyczna

WYKŁADY:

- Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki - od 2016 roku do dzisiaj - 30 godziny wykładów z Trybologii w semestrach letnich

PROMOTOR PRAC INŻYNIERSKICH:

- inż. Piotr Jencyk, Konstrukcja kompaktowej mikrozwarywarki do pomiarów wytrzymałości cienkich folii z kompozytów ceramiczno-metalowych, Wydział Mechatroniki, Politechnika Warszawska
- inż. Michał Milczarek, Konstrukcja głowicy pomiarowej mikrotrybometru, Wydział Mechatroniki, Politechnika Warszawska
- inż. Łukasz Nowicki, Opracowanie konstrukcji piły drutowej do precyzyjnego cięcia beznapięzeniowego, Wydział Mechatroniki, Politechnika Warszawska
- inż. Daniel Trzaskoma, Opracowanie konstrukcji trybometru typu kula-płaszczyzna o ruchu posuwisto-zwrotnym, Wydział Mechatroniki, Politechnika Warszawska

PROMOTOR PRAC MAGISTERSKICH:

- mgr inż. Marcin Pilarski, Rozciąganie folii z nanokrystalicznego niklu, Wydział Mechatroniki, Politechnika Warszawska

PROMOTOR POMOCNICZY W PRZEWODACH DOKTORSKICH:

Jestem promotorem pomocniczym w dwóch, otwartych przewodach doktorskich:

- mgr inż. Leszek Frańs, *Określenie dynamicznych właściwości materiałów magnetoreologicznych: badania doświadczalne i opis konstytutywny lepkoplastycznej deformacji*, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
- mgr inż. Marcin Michałowski, *Rozwój mikroskopii sił atomowych na potrzeby projektowania mikrouządzeń mechanicznych*, Wydział Mechatroniki, Politechnika Warszawska

ix. Recenzje

Recenzowałem artykuły dla następujących czasopism:

- Materials Science and Engineering A (IF 2.647)
- Multidiscipline Modeling in Materials and Structures
- Bulletin of Polish Academy of Sciences: Technical Sciences

Recenzuję również projekty zgłoszone do finansowania przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (od 2017 roku).

x. Popularyzacja nauki

Od 2014 roku, co roku we wrześniu uczestniczę w Festiwalu Nauki. Oprowadzam dzieci i młodzież po naszych laboratoriach i wygłaszam część wykładu wprowadzającego.

5. Literatura

- [1] C.Y. Liu, B. Liu, T. Kang, Y.F. Xing, Micro/macro-mechanical analysis of the interface of composite structures by a differential quadrature hierarchical finite element method, *Composite Structures* 154 (2016) 39-48.
- [2] H. Hirakata, T. Kitamura, Y. Yamamoto, Direct measurement of interface strength between copper submicron-dot and silicon dioxide substrate, *Jsm International Journal Series a-Solid Mechanics and Material Engineering* 47(3) (2004) 324-330.
- [3] D.B. Marshall, AN INDENTATION METHOD FOR MEASURING MATRIX-FIBER FRICTIONAL STRESSES IN CERAMIC COMPOSITES, *Journal of the American Ceramic Society* 67(12) (1984) C259-C260.
- [4] R.J. Day, J.V.C. Rodrigez, Investigation of the micromechanics of the microbond test, *Composites Science and Technology* 58(6) (1998) 907-914.
- [5] D.M. Jarzabek, A.N. Kaufmann, H. Schiff, Z. Rymuza, T.A. Jung, Elastic modulus and fracture strength evaluation on the nanoscale by scanning force microscope experiments, *Nanotechnology* 25(21) (2014).
- [6] T. Schubert, A. Brendel, K. Schmid, T. Koeck, L. Ciupinski, W. Zielinski, T. Weissgarber, B. Kieback, Interfacial design of Cu/SiC composites prepared by powder metallurgy for heat sink applications, *Composites Part a-Applied Science and Manufacturing* 38(12) (2007) 2398-2403.
- [7] C. Rado, B. Drevet, N. Eustathopoulos, The role of compound formation in reactive wetting: The Cu/SiC system, *Acta Materialia* 48(18-19) (2000) 4483-4491.
- [8] E. Kolawa, J.S. Chen, J.S. Reid, P.J. Pokela, M.A. Nicolet, TANTALUM-BASED DIFFUSION-BARRIERS IN SI/CU VLSI METALLIZATIONS, *Journal of Applied Physics* 70(3) (1991) 1369-1373.
- [9] A. Brendel, C. Popescu, H. Schurmann, H. Bolt, Interface modification of SiC-fibre/copper matrix composites by applying a titanium interlayer, *Surface & Coatings Technology* 200(1-4) (2005) 161-164.
- [10] G.C. Efe, S. Zeytin, C. Bindal, The effect of SiC particle size on the properties of Cu-SiC composites, *Materials & Design* 36 (2012) 633-639.
- [11] D.M. Jarzabek, M. Milczarek, T. Wojciechowski, C. Dziekonski, M. Chmielewski, The effect of metal coatings on the interfacial bonding strength of ceramics to copper in sintered Cu-SiC composites, *Ceramics International* 43(6) (2017) 5283-5291.
- [12] M. Chmielewski, K. Pietrzak, A. Strojny-Nedza, D. Jarzabek, S. Nosewicz, INVESTIGATIONS OF INTERFACE PROPERTIES IN COPPER-SILICON CARBIDE COMPOSITES, *Archives of Metallurgy and Materials* 62(2) (2017) 1315-1318.
- [13] M. Chmielewski, K. Pietrzak, M. Teodorczyk, S. Nosewicz, D. Jarzabek, R. Zybała, P. Bazarńnik, M. Lewandowska, A. Strojny-Nedza, Effect of metallic coating on the properties of copper-silicon carbide composites, *Applied Surface Science* 421 (2017) 159-169.
- [14] T. Kock, A. Brendel, H. Bolt, Interface reactions between silicon carbide and interlayers in silicon carbide-copper metal-matrix composites, *Journal of Nuclear Materials* 362(2-3) (2007) 197-201.
- [15] R.P. Socha, K. Laajalehto, P. Nowak, Oxidation of the silicon carbide surface in Watts' plating bath, *Surface and Interface Analysis* 34(1) (2002) 413-417.