

Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Nowych Technologii i Chemii
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
(nazwa i dane adresowe podmiotu habitującego, wybranego
do przeprowadzenia postępowania)

za pośrednictwem:

Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Paweł JÓŻWIK

(imię i nazwisko wnioskodawcy)

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie
Wydział Nowych Technologii i Chemii
(miejsce pracy/jednostka naukowa)

Wniosek

z dnia 18 września 2023 roku

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie **nauk inżynieryjno-technicznych** w dyscyplinie¹ **inżynieria materiałowa**

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia
doktora habilitowanego:

Autorska monografia naukowa (zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2a Ustawy):

***Stabilność strukturalna warstwy powierzchniowej cienkich taśm Ni₃Al
w przykładowych procesach termokatalitycznej dekompozycji substancji chemicznych***

Wnioskuje – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie
wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała uchwałę
w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **tajnym/jawnym***²

Zostałem poinformowany, że:

Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w sprawie nadania
stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej z siedzibą w Warszawie (pl.
Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).

Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu. Dane
osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679
z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art.

232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu
przeprowadzenie postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków
oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie
www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html


.....
(podpis wnioskodawcy)

¹ Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r.
w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).

² * niepotrzebne skreślić.

AUTOREFERAT

ppłk dr inż. Paweł JÓŹWIK

Wydział Nowych Technologii i Chemii
Wojskowa Akademia Techniczna
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2
00-908 Warszawa

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	3
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) (omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej)	4
4.1. Autorska monografia naukowa (zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2a ustawy)	4
4.2. Zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne (zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2c ustawy)	33
4.3. Bibliografia (do pkt 4 Autoreferatu)	47
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej. .	55
5.1. Badania depozytu w składzie warstwy powierzchniowej cienkich taśm Ni ₃ Al powstałej w efekcie termokatalitycznej dekompozycji substancji chemicznych	55
5.2. Charakteryzacja struktury WW materiałów metalicznych z wykorzystaniem subtelnych narzędzi badawczych STM, AFM i XPS	55
5.3. Obróbka plastyczna i cieplno-plastyczna stopów na osnowie faz międzymetalicznych	56
5.4. Badania procesów przebudowy struktury zachodzących w efekcie obróbki plastycznej i/lub cieplno-plastycznej.....	57
5.5. Badania materiałowe w procesach aktywności katalitycznej (także z udziałem plazmy) katalizatorów metalicznych	57
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.....	58
6.1. Osiągnięcia dydaktyczne.....	58
6.2. Promotorstwo pomocnicze w przewodach doktorskich	63
6.3. Osiągnięcia organizacyjne	63
6.4. Nagrody i wyróżnienia	64
6.5. Udział w komitetach redakcyjnych i recenzje publikacji naukowych.....	66
6.6. Realizacja projektów naukowo-badawczych.....	67
6.7. Udział w kursach, szkołach i stażach (wybrane).....	69

1. Imię i nazwisko

Paweł Robert JÓŹWIK

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

1999 r. tytuł magistra inżyniera mechanika w dyscyplinie Mechanika i Budowa Maszyn na kierunku: Mechanika i budowa maszyn,
w zakresie: Wojskowe pojazdy mechaniczne
podmiot nadający stopień: Wydział Mechaniczny,
Wojskowa Akademia Techniczna
tytuł pracy magisterskiej: Obróbka cieplno-plastyczna intermetali Ni-Al przeznaczonych na elementy silników spalinowych wozów bojowych
kierownik pracy dyplomowej: prof. dr hab. inż. Zbigniew BOJAR

2004 r. stopień naukowy doktora nauk technicznych,
dyscyplina: Budowa i eksploatacja maszyn
specjalność: Technologia stopów specjalnych
podmiot nadający stopień: Wydział Mechaniczny,
Wojskowa Akademia Techniczna
tytuł rozprawy doktorskiej: Właściwości mechaniczne i przebieg pęknięcia stopów na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al
promotor: prof. dr hab. inż. Zbigniew BOJAR

2007 r. studia podyplomowe: Zaawansowane techniki i metody pracy dydaktycznej
podmiot prowadzący: Wojskowa Akademia Techniczna

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

1999 – dowódca plutonu (stop. wojskowy ppor.), Wojskowa Akademia Techniczna,
2000 – inżynier, Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna,
2002 – starszy specjalista, Wydział Mechaniczny, Wojskowa Akademia Techniczna,
2003 – asystent naukowo-dydaktyczny, Wydział Mechaniczny/Wydział Techniki Wojskowej, Wojskowa Akademia Techniczna,
2008 – asystent naukowo-dydaktyczny, Wydział Nowych Technologii i Chemii, Wojskowa Akademia Techniczna,
2009 – adiunkt naukowo-dydaktyczny, Wydział Nowych Technologii i Chemii, Wojskowa Akademia Techniczna,

2019 – obecnie, adiunkt badawczo-dydaktyczny (stop. wojskowy: ppłk), kierownik Zakładu Materiałów Konstrukcyjnych w Wydziale Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie.

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) (omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej)

Zgodnie z artykułem 219 ust.1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) moje główne osiągnięcie naukowe stanowi:

4.1. Autorska monografia naukowa (zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2a ustawy)

Zatytułowana: *Stabilność strukturalna warstwy powierzchniowej cienkich taśm Ni₃Al w przykładowych procesach termokatalitycznej dekompozycji substancji chemicznych*, Warszawa 2023, str. 484, ISBN 978-83-7938-402-0 wydana przez *Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej*, ujęte w Komunikacie Ministra Edukacji i Nauki z dnia 22 lipca 2021 r. w sprawie wykazu wydawnictw publikujących recenzowane monografie naukowe – zwana dalej Monografią

Wskazane osiągnięcie – autorska monografia naukowa „*Stabilność strukturalna warstwy powierzchniowej cienkich taśm Ni₃Al w przykładowych procesach termokatalitycznej dekompozycji substancji chemicznych*” stanowi podsumowanie moich wieloletnich prac w zakresie badań aktywności katalitycznej stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al. W badaniach tych uwzględniono szeroki zakres wariantów stanu materiału przedmiotowych stopów, jak też szeroki zbiór substancji chemicznych poddawanych procesowi termokatalitycznej dekompozycji. Rozpatrywano między innymi różny skład chemiczny taśm – katalizatora Ni₃Al (tj. różną proporcję udziału niklu i aluminium, różną zawartość dodatków stopowych Zr, Mo, Cr), różny stan struktury badanego materiału (tj. poziom dodatkowego umocnienia odkształceniowego, wielkość ziarna osnowy, obecność wyróżnionej warstwy wierzchniej z poprzedzającego procesu technologicznego). Natomiast gama testowanych substancji chemicznych obejmowała m.in. alkohole (etanol, metanol), węglowodory (m.in. toluen, heksan, cykloheksan, metan, benzyna ekstrakcyjna), poprzez toksyczne środki przemysłowe (m.in. ksylen, cykloheksan, toluen, aceton), aż po bojowe środki trujące (m.in. chloropikrynę a także sarin i iperyt siarkowy oraz ich imitatory).

Otrzymane wyniki badań były podstawą podjętej próby uogólnienia, w aspekcie materiałowym, zjawisk i mechanizmów przemian zachodzących w warstwie powierzchniowej (obejmującej WW i depozyt) badanych wersji katalizatora intermetalicznego.

Wysokoalumiiniowe stopy z układu równowagi Ni-Al, ściślej o strukturze w postaci mieszaniny wysokoalumiiniowych faz NiAl_3 i Ni_2Al_3 (Ni – 50 % wag. Al), znane są w zastosowaniach katalitycznych już od dłuższego czasu, głównie jednak jako prekursor do produkcji niklu Raney'a metodą ługowania tych stopów w stężonym roztworze NaOH [1, 2]. Natomiast niżej alumiiniowe fazy NiAl i Ni_3Al , choć popularne w obszarze badań żaroodporności, żarowytrzymałości i prób konstrukcyjnych aplikacji w postaci elementów masywnych, nie były jednak rozpatrywane, przez względnie długi czas, w aspekcie wykorzystania ich właściwości katalitycznych. Szczególnie intensywne prace w zakresie badań aktywności katalitycznej stopów na osnowie faz międzymetalicznych z układu równowagi Ni-Al, w tym dotyczące zmian morfologicznych warstwy powierzchniowej katalizatorów na bazie fazy Ni_3Al po procesie dekompozycji węglowodorów i ich pochodnych, prowadzone są (choć oczywiście nie wyłącznie) przez trzy grupy naukowo badawcze skupione wokół: T. Hirano i M. Demury (Japonia) [1-14] L. Arkatovej (Rosja) [15-21] oraz P. Jóźwika i Z. Bojara (Polska) [22-37].

Bieżący, zaktualizowany na przestrzeni pierwszych dwóch dekad XXI wieku przegląd stanu zagadnienia¹ wskazuje na niewątpliwy brak kompleksowej analizy procesów przemian struktury zachodzących w warstwie powierzchniowej materiału masywnego (tj. nie w postaci proszku) katalizatora intermetalicznego w następstwie termokatalitycznej dekompozycji konkretnych związków chemicznych. W przypadku polikrystalicznych katalizatorów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni_3Al , w szczególności konieczne jest uwzględnienie, przy analizie stanu warstwy powierzchniowej, obecności drugiej (poza osnową) fazy oraz defektów ich budowy krystalicznej (tj. granic ziarnen i granic międzyfazowych).

Istniejące, zdecydowanie ograniczone, próby opisu tych zjawisk (m.in. D. H. Chun i wsp. [5], T. Hirano [7] oraz M. Michalska-Domańska i wsp. [28]) wskazują na mechanizm rozpuszczania węgla w cząstce niklu tj. dyfuzję objętościową, której dominująca rola, przy względnie niskiej temperaturze typowego procesu dekompozycji (rzędu 400-500 °C)² i wobec obecności względnie dużych cząstek niklu (100 nm lub więcej), jest (przynajmniej w początkowym etapie dekompozycji) jednak dyskusyjna³. W innych pracach (np. T. Hirano [7]) autorzy odwołują się wprost do kwestionowanego przez znaczną część badaczy mechanizmu R. Bakera⁴ [38, 39].

Żaden z zespołów badawczych nie dokonał także analizy procesu formowania nanostruktur węglowych w relacji do warunków realizowanych procesów, z określeniem roli jaką spełniają na tym etapie aktywne katalitycznie cząstki Ni. T. Hirano, M. Demura i wsp. ograniczyli dyskusję tego zagadnienia do wskazania obecności nanostruktur węglowych traktowanych jako następstwo wtórnej reakcji Boudouard'a⁵, zachodzącej w trakcie analizowanego przez nich procesu dekompozycji metanolu [4].

¹ szerzej – rozdział 4 Monografii

² dla procesu dekompozycji metanolu lub heksanu

³ szersza analiza tego zagadnienia została przeprowadzona w podrozdziale 2.5 Monografii

⁴ szerzej – Monografia, podrozdział 2.5

⁵ reakcja dysproporcjonowania tlenku węgla na dwutlenek węgla i węgiel

Należy zauważyć, że w literaturze przedmiotu brak jest również dyskusji mechanizmów formowania i wzrostu nanostruktur węglowych uwzględniającej obecność stref funkcjonalnych w aktywnych katalitycznie cząstkach Ni odpowiedzialnych za adsorpcję/dekompozycję cząsteczki reagenta bądź wydzielanie atomów węgla w postaci CNT⁶/CNF⁷.

W konsekwencji, uwzględniając przywołaną dyskusję stanu zagadnienia, **za główny cel naukowy prezentowanego osiągnięcia naukowego - Monografii** uznałem: przeprowadzenie dyskusji mechanizmów transformacji fazowo-strukturalnej w warstwie wierzchniej materiału katalizatora na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al, w powiązaniu z modelowym ujęciem generowania centrów aktywnych katalitycznie na granicy kontaktu warstwa wierzchnia katalizatora - mieszanina reakcyjna, i dalej – analizę relacji przyczynowo-skutkowych zachodzących pomiędzy nanocząstkami niklu i nanoformami węgla w dynamicznie zmieniającej się, podczas procesu katalitycznego, strukturze depozytu zawierającego stałe produkty reakcji katalitycznej.

Zgodnie z przeglądem stanu zagadnienia i wynikami wstępnych badań własnych przyjąłem główną tezę dyskutowanej Monografii w brzmieniu:

Aktywność dyfuzyjna atomów własnych (aluminium i niklu) w strukturze warstwy wierzchniej materiału taśmy - katalizatora Ni₃Al oraz atomów tlenu (pochodzącego z mieszaniny reakcyjnej) stanowi kluczowy warunek osiągnięcia, w wyniku przebudowy warstwy wierzchniej taśmy Ni₃Al w warstwę powierzchniową (z udziałem depozytu), stanu aktywacji takiego systemu katalitycznego i utrzymania jej trwałości w procesach dekompozycji/dezaktywacji substancji chemicznych.

Należy zaznaczyć, że istotą prezentowanych w dyskutowanej monografii analiz są przede wszystkim wyniki badań strukturalnych warstwy wierzchniej katalizatora monolitycznego, w postaci fragmentów taśm Ni₃Al⁸ (rys. 1) i formułującego się na ich powierzchni depozytu, przy wyraźnym zastrzeżeniu ograniczenia do niezbędnego minimum opisu aspektów chemicznych realizowanych procesów termokatalitycznej dekompozycji wytypowanych substancji chemicznych.

⁶ CNT (ang. Carbon Nanotube) – nanorurka węglowa, uogólnione pojęcie obejmujące zarówno jednościenne jak i wielościenne nanorurki węglowe

⁷ CNF (ang. Carbon Nanofiber) – nanowłókno węglowe

⁸ o składzie chemicznym: Ni-22,1 Al-0,26 Zr-0,1B %at.

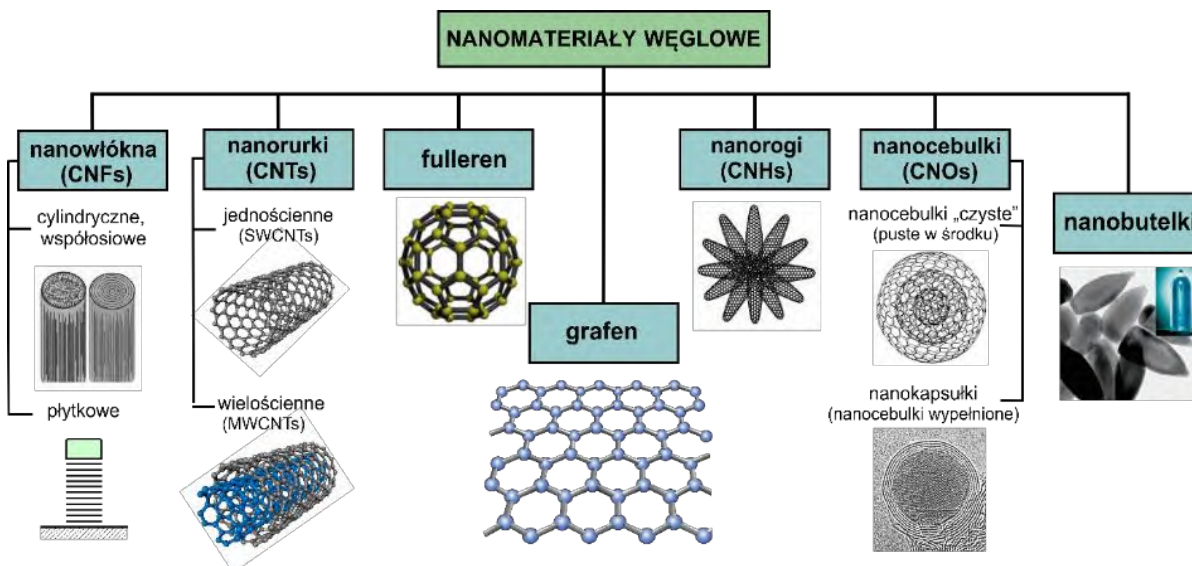


Rys. 1. Przykładowa postać materiału wyjściowego do badań własnych katalizatora – taśmy ze stopu Ni_3Al przed testami aktywności katalitycznej: a) widok ogólny (wymiary taśmy $80\mu m \times 20 mm \times 600 mm$), b) luźne fragmenty stanowiące złożo katalityczne (źródło: Monografia)

Wykazana w części przeglądowej Monografii (rozdz. IV) aktywność katalityczna cienkich taśm Ni_3Al wraz z towarzyszącą jej fazowo-strukturalną przebudową warstwy powierzchniowej (WW + depozyt) katalizatora jest silnie uzależniona od warunków prowadzonego procesu i rodzaju dekomponowanego związku. Stąd też, prezentację badań własnych wraz z ich analizą podzieliłem na dwa, wysokoperspektywiczne obszary związane z **dekompozycją węglowodorów i ich pochodnych** (rozdz. VI, pkt 1.4) oraz **dezaktywacją toksycznych środków chemicznych (BŚT, TŚP)** (rozdz. VI, pkt 2.4).

Pierwszy z wskazywanych obszarów – **termokatalityczna dekompozycja węglowodorów i ich pochodnych** jest aktualnie ukierunkowana głównie na wytwarzanie nanostruktur węglowych i/lub produkcję wodoru.

Nanomateriały węglowe, znajdują się już od kilkadziesiąt lat w obszarze zainteresowań wielu ośrodków naukowo-badawczych na świecie, ze względu na szczególną zdolność atomów węgla do kreowania uporządkowanych układów, z silnymi wiązaniami kowalencyjnymi, tworzących szereg alotropowych odmian węgla (rys. 2). Odmienne geometrycznie nanostruktury, takie jak nanorurka, fuleren czy grafen, wykazują szczególne właściwości, w tym wysokie parametry wytrzymałościowe oraz bardzo dobrą przewodność elektryczną. Cechują się również wysoką wartością powierzchni właściwej co sprawia, że są obiecującym materiałem pod kątem aplikacji w układach adsorpcji gazów (np. do magazynowania wodoru), biosensorach, selektywnym transporcie leków (m.in. w terapii antynowotworowej) jak i ogniwach paliwowych.



Rys. 2. Przykładowe formy nanomateriałów węglowych powstałe w efekcie dekompozycji związków chemicznych zawierających węgiel (źródło: Monografia)

Wodór z kolei traktowany jest jako alternatywny, o ciągle rosnącym znaczeniu gospodarczym, nośnik energii - istotny zarówno w aspekcie ograniczania emisji gazów cieplarnianych, jak i w perspektywie wyczerpania / zaniechania wydobycia zapasów paliw kopalnych. Niestety cechuje się on zdecydowanie małą wartością objętościowej gęstości energii, a żaden z dotychczas wdrożonych sposobów przechowywania wodoru nie zapewnia uzyskania poziomu tego parametru zbliżonego do wartości cechujących węglowodory⁹. W konsekwencji, biorąc pod uwagę możliwość dekompozycji cieczy „wodoronośnych” z zamiarem pozyskania wodoru, węglowodory i ich pochodne są często traktowane jako ciekłe nośniki wodoru, które zapewniają (jeszcze przed dekompozycją) jego względnie proste magazynowanie – bo opierające się na bazie istniejącej już infrastruktury. Wśród szerokiej grupy związków chemicznych mających szansę na aplikacje w tym obszarze należy wymienić alkohol etylowy i metylowy – wybrane przeze mnie do prezentowanych w Monografii badań własnych.

Dezaktywacja toksycznych środków trujących typu BŚT¹⁰ i TŚP¹¹ stanowi w Monografii drugi z rozpatrywanych obszarów termokatalitycznej dekompozycji związków chemicznych prowadzonej z udziałem katalizatora w postaci fragmentów cienkich taśm Ni₃Al.

Broń chemiczna (BŚT) jest, zgodnie z aktualnym prawem międzynarodowym¹², zabronionym środkiem walki, nie mniej jednak znanym i niestety stosowanym przez ludzkość już od czasów prehistorycznych. Aktualne zagrożenie obecnością tego środka związane jest przede wszystkim z korozyjnym zniszczeniem pojemników z BŚT zatopianych w znacznej ilości w morzach i oceanach po II wojnie światowej (np. w obszarze morza Bałtyckiego znalazło się ok. 46 tys. ton BŚT [40-43]) - w ciągu ostatnich dwudziestu lat doszło w Polsce do ponad

⁹ szerzej – Monografia, podrozdział 5.2

¹⁰ BŚT – bojowe środki trujące

¹¹ TŚP – toksyczne środki przemysłowe

¹² używanie i składowanie broni chemicznej zostało zakazane w 1997 roku przez Konwencję ONZ o Zakazie prowadzenia badań, produkcji, składowania i użycia broni chemicznej oraz o zniszczeniu jej zapasów

stu przypadków poparzeń ludzi BŚT [41, 44, 45]. Niebezpieczeństwo użycia broni chemicznej istnieje także ze strony terrorystów (np. zamach w tokijskim metrze¹³ [46, 47]) i reżimów w państwach autorytarnych (m.in. Bashar'a al-Assad'a¹⁴ [48]).

Badania procesu dezaktywacji BŚT w termokatalitycznych procesach z udziałem taśm – katalizatora Ni₃Al przeprowadzono z użyciem metylofosfonianu dimetylu DMMP – najpopularniejszego imitatora sarinu [49, 50]. Warto odnotować, że sarin jest jednym z łatwiej dostępnych bojowych środków trujących, przez co traktowany jest jako szczególnie niebezpieczny, gdyż jest w posiadaniu wielu państw oraz, jak się przypuszcza, bogatych organizacji terrorystycznych [51]. Ze względu jednak na wysoką toksyczność tego związku badania z jego bezpośrednim użyciem wykonywane są bardzo rzadko. W zastępstwie stosowane są natomiast imitatory sarinu wykazujące zdecydowanie zmniejszone zagrożenie skażenia środowiska. Wspominany DMMP¹⁵ wykorzystywany jest jako modelowy związek do badania zarówno procesów odkażania, jak i mechanizmów reakcji, adsorpcji i desorpcji związków o działaniu paralityczno-drgawkowym, w tym właśnie sarinu.

Zbliżone do BŚT właściwości wykazują także toksyczne środki przemysłowe (TŚP), które są często surowcami, półfabrykatami lub też produktami w produkcji przemysłowej. Znaczna powszechność ich występowania sprzyja także dostępności tych związków dla grup terrorystycznych, co w konsekwencji może prowadzić do użycia ich jako broni chemicznej przeciwko ludności cywilnej i wojsku. Należy podkreślić, że cykloheksan i toluen zaliczane są (w aspekcie oddziaływania na środowisko) do toksycznych środków przemysłowych TŚP¹⁶ i jako takie traktowane są jako zanieczyszczenie powietrza stanowiące produkt uboczny w przemyśle petrochemicznym, syntezie organicznej, bądź też opary z farb i lakierów lub procesów spalania paliwa w silnikach ICE¹⁷ [52-54]. W konsekwencji, węglowodory te zostały wytypowane przeze mnie jako reprezentacja toksycznych środków przemysłowych w procesach dezaktywacji BŚT i TŚP z udziałem taśm Ni₃Al prezentowanych w Monografii (badania własne).

Przeprowadzona w Monografii dyskusja wyników badań własnych (rozdz. VI, pkt 1.4 i pkt 2.4) wykazała, że **aktywność dyfuzyjna atomów aluminium i niklu w warstwie wierzchniej materiału taśmy - katalizatora Ni₃Al jest silnie związana zarówno z różną koncentracją tych składników stopu w dwóch, pokrewnych krystalograficznie, fazach tworzących jego strukturę, jak i z konsekwencjami obecności defektów struktury krystalicznej wynikającej z polikrystalicznej budowy dwufazowego materiału taśmy – katalizatora (poczynając od stanu wyjściowego, ujmowanego w analizie jako technologiczna warstwa wierzchnia, poprzez kolejne etapy transformacji do stanu procesowej warstwy wierzchniej).**

¹³ w efekcie zamachu terrorystycznego z 20 marca 1995 roku, w tokijskim metrze 12 osób poniosło śmierć, 54 zostały poważnie ranne, 980 osób odniosło średnie obrażenia a 5500 potrzebowało pomocy lekarskiej [46, 47, 165]

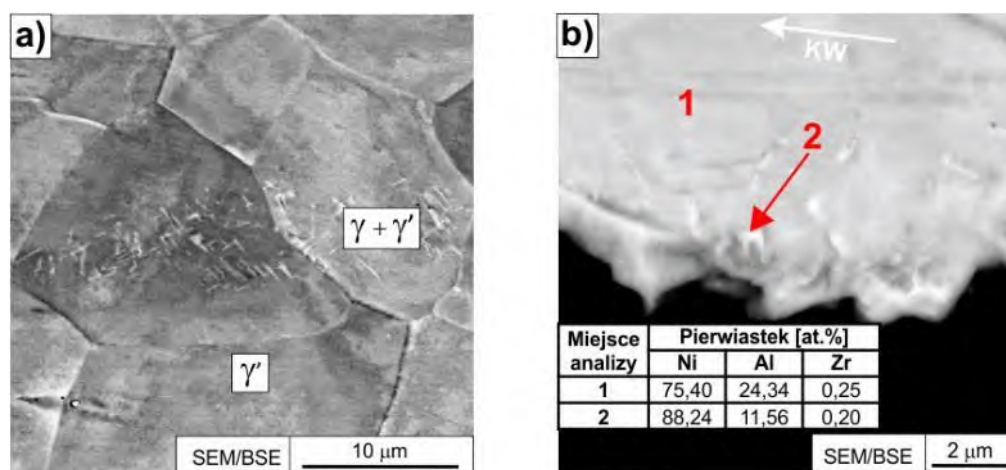
¹⁴ zgodnie z J. Rodriguez-Llanes [48], w czasie trwającej w Syrii wojny domowej w latach 2011-2017 w efekcie użycia broni chemicznej przez reżim Bashar'a al-Assad'a zginęło ponad 1200 osób

¹⁵ DMMP został ujęty w Konwencji o Zakazie prowadzenia badań, produkcji, składowania i użycia broni chemicznej oraz o zniszczeniu jej zapasów, co wskazuje na to, że jest wystarczająco toksyczny, ażeby można było stosować go jako prekursor w tworzeniu innych bardziej toksycznych substancji

¹⁶ przy wyrażnie większej toksyczności toluenu [173-175]

¹⁷ ICE (ang. Internal Combustion Engine) – silnik o spalaniu wewnętrznym

Strukturę badanego katalizatora współtworzy bowiem, obok dominującej osnowy (roztworu wtórnego γ' – rys. 3a), nieuporządkowany roztwór stały aluminium w sieci niklu (faza γ - Ni(Al)) wykazujący znaczną, względem otaczającej go osnowy, blisko 90-cio procentową zawartość niklu (rys. 3b). Proces tworzenia aktywnych katalitycznie nanocząstek Ni w odstępionych na powierzchni katalizatora strefach roztworu γ jest zatem uprzywilejowany względem osnowy γ' stopu. Wobec wyników badań Y. Nishiyamy i Y. Tamai [65,66], którzy wykazali w reakcji dekompozycji benzenu wyższą aktywność stopów Ni-Cu o jednofazowej budowie roztworu stałego, względem czystego niklu - można nawet założyć samoistną (bo bez wstępnej aktywacji) aktywność katalityczną mikrostraf powierzchni taśm – katalizatora Ni₃Al o budowie fazy γ .



Rys. 3. Drobne, równoosiowe ziarna fazy γ' jako osnowa, z udziałem mikroobszarów dwufazowych ($\gamma'+\gamma$) -a) oraz wyniki punktowej analizy EDS wyróżnionych faz w przekroju wzdłużnym -b) (obejmującym kierunek walcowania) taśm – katalizatora Ni₃Al w stanie wyjściowym (KW – kierunek walcowania) (źródło: Monografia)

Pomimo wspomnianego już braku w literaturze zagadnienia dyskusji obecności granic międzyfazowych γ/γ' oraz granic ziaren γ'/γ' na przebudowę WW katalizatora, analiza wyników badań własnych wykazała istotny ich wpływ na procesy przebudowy warstwy wierzchniej polikrystalicznej taśmy Ni₃Al zachodzące w efekcie termokatalizy. Wskazane defekty budowy krystalicznej materiału podłoża (taśm – katalizatora Ni₃Al), stanowią bowiem, ze względu na większą energię swobodną, istotny czynnik strukturalny intensyfikujący lokalne strumienie dyfuzji i przemiany fazowo-strukturalne w strefie bezpośredniego kontaktu katalizatora z mieszaniną reakcyjną¹⁸. Zjawisko to było obserwowane w obu wspomnianych obszarach: dekompozycji węglowodorów i ich pochodnych (rozdz.VI, pkt 1) oraz dezaktywacji toksycznych środków chemicznych (BŚT, TŚP) (rozdz.VI, pkt 2).

¹⁸ szersza dyskusja przemian fazowo-strukturalnych w warstwie powierzchniowej katalizatora Ni₃Al zostanie przedstawiona w dalszej części niniejszej analizy

Z kolei, równoległe do odnotowanej aktywności dyfuzyjnej aluminium i niklu, **dyfuzyjność tlenu pochodzącego z mieszaniny reakcyjnej, jest kluczowa dla strukturalno-fazowej przebudowy procesowej warstwy wierzchniej materiału taśmy – katalizatora Ni₃Al warunkującej jego aktywację (i utrzymanie jej trwałości) w procesach dekompozycji/dezaktywacji substancji chemicznych.**

Tlen oddziałuje z powierzchnią aktywną taśmy - katalizatora Ni₃Al nawet przy jego bardzo ograniczonym (szczątkowym) stężeniu w mieszaninie gazowej otaczającej katalizator. Już 1-minutowa ekspozycja stopu Ni₃Al (Ni-24Al %at.) w warunkach śladowego ciśnienia parcjalego tlenu ($p_{O_2} \cong 10^{-14}$ Pa), w temperaturze 950°C skutkuje powstaniem warstewki tlenku Al₂O₃ i zarodkowaniem nanocząstek Ni [55]. Warto zauważyć, zgodnie z analizą Z. Li i wsp. [56], że nawet użycie argonu o czystości 99,9995 %¹⁹ skutkuje wystąpieniem w takiej atmosferze ochronnej ciśnienia parcjalego tlenu równego aż $p_{O_2} \cong 0,1$ Pa. Tak więc, zastosowanie argonu (w założeniu: nośnika inertnego) jako gazu nośnego powoduje (zasadniczo niezamierzone) wprowadzenie tlenu do mieszaniny reakcyjnej, choć w ilości bardzo ograniczonej²⁰, to jednak w świetle przedstawionej analizy, wystarczającej do zainicjowania przebudowy warstwy wierzchniej taśm – katalizatora Ni₃Al. Oczywistym źródłem tlenu w mieszaninie reakcyjnej może być także sama dekomponowana substancja chemiczna, w tym przykładowo obecność grupy hydroksylowej (-OH) w alkoholach.

Obserwowany w wynikach badań własnych, silny wpływ podaży tlenu w mieszaninie reakcyjnej na zakres jego oddziaływania z atomami „własnymi” materiału katalizatora (tj. atomami niklu i aluminium), można wyjaśnić analizując relacje wartości progowego ciśnienia parcjalego tlenu dla reakcji utleniania aluminium i niklu ($Al \rightarrow Al_2O_3$ i $Ni \rightarrow NiO$) oraz porównując wartości standardowej energii swobodnej tworzenia odpowiednich tlenków tych metali (Al₂O₃ i NiO).

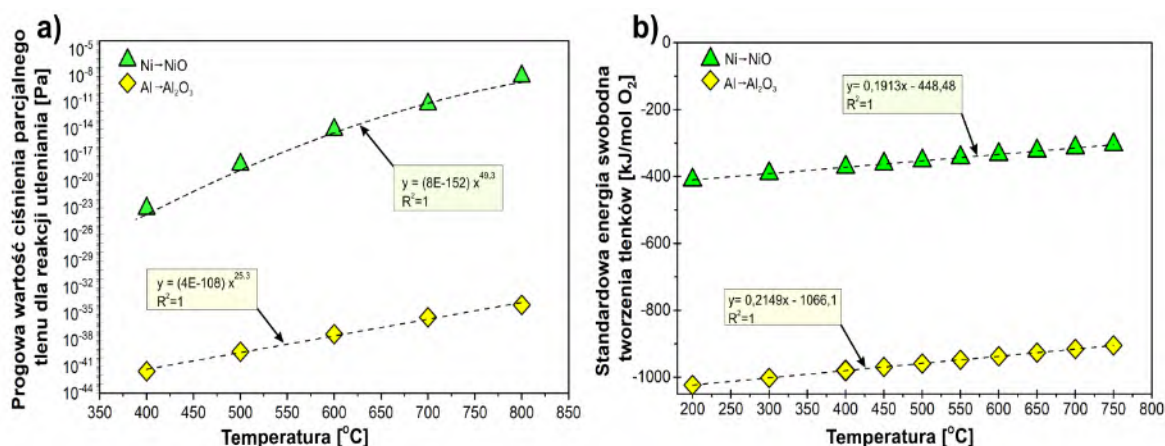
Zgodnie z wykresem Ellingham’a [57] równowagowe ciśnienie parcjale tlenu, przy którym zachodzi transformacja $Al \rightarrow Al_2O_3$ jest, niezależnie od temperatury, kilkanaście rzędów wielkości niższe od ciśnienia (progowego), przy którym rozpoczyna się formowanie tlenku NiO ($Ni \rightarrow NiO$). Dla temperatury 600 °C wartości ciśnienia parcjalego wynoszą, odpowiednio: $p_{(Al \rightarrow Al_2O_3)O_2} \cong 5,1 \times 10^{-38}$ Pa i $p_{(Ni \rightarrow NiO)O_2} \cong 8,1 \times 10^{-15}$ Pa (rys. 4a). Należy jednak dodać, że precyzyjna analiza wpływu obecności O₂ w mieszaninie reakcyjnej na obserwowane przemiany strukturalne w WW katalizatora Ni₃Al jest ponadto znacząco utrudniona, ze względu na mnogość determinujących ją czynników, m.in.: szybkość dyfuzji atomów Ni i Al, energię swobodną tworzenia tlenków, uporządkowanie stopu – podłoża.

Powstawanie tlenku Al₂O₃ wymaga również, niezależnie od temperatury, ponad dwukrotnie mniejszej (względem NiO) wartości standardowej energii swobodnej (rys. 4b), która (w temperaturze 600 °C) wynosi odpowiednio ok. -940 kJ/mol O₂ dla Al₂O₃, przy ok. -335 kJ/mol O₂ dla NiO. Stąd też wynika termodynamiczne uprzywilejowanie utleniania aluminium. Nie zmienia tej oceny fakt, że wskazane wartości ciśnienia parcjalego tlenu i standardowej energii tworzenia zostały określone na podstawie wykresu Ellingham’a sformułowanego dla czystych pierwiastków (a nie dla stopów). Choć należy je traktować

¹⁹ dla porównania, stosowany w badaniach własnych argon cz.d.a. wykazywał czystość 99,999 %Ar

²⁰ szerzej – Monografia, podrozdział 4.5

orientacyjnie, to jednak ustalenia te pozwalają na jakościowy opis przemian zachodzących w WW badanych taśm – katalizatora Ni₃Al.



Rys. 4. Wpływ temperatury wygrzewania/utleniania na progową, dla formowania tlenków NiO lub Al₂O₃, wartość ciśnienia parcyjnego tlenu -a) oraz standardową energię swobodną tworzenia tych tlenków (wartości oszacowano na podstawie wykresu Ellinghama [57]; źródło: Monografia)

Należy zaznaczyć, że pełny bilans wpływu obecności tlenu w mieszaninie reakcyjnej jest w prezentowanych analizach także utrudniony ze względu na świadome pominięcie przeze mnie w badaniach własnych prezentowanych w Monografii²¹ procesu redukcji powierzchni taśm Ni₃Al przed procesem dekompozycji/dezaktywacji. Motywacją tej decyzji było dążenie do uzyskania maksymalnej skuteczności rozpatrywanego procesu termokatalizy (zob. rys. 5.8 – Monografia), jest jednak oczywiste, że subtelna warstewka rodzimego²², amorficznego tlenku AlO_x powstaje (zgodnie z pracami [5, 7, 58, 59]) na Ni₃Al samorzutnie już w temperaturze pokojowej i potencjalnie może wpływać na dynamikę zjawisk przebudowy WW katalizatora podczas dekompozycji/dezaktywacji badanych substancji. W tym aspekcie warta odnotowania jest też obecność wodoru w przestrzeni reakcyjnej, który jest ważnym produktem dekompozycji/dezaktywacji badanych związków chemicznych, gdyż może pełnić rolę samoistnego reduktora in situ zarówno tej subtelnej warstewki pasywnej, jak też wiążąc atomy tlenu zaadsorbowane na powierzchni cienkiej taśmy - katalizatora na etapie przygotowania złoża oraz podczas samego procesu dekompozycji.

Uwzględniając powyższą analizę wpływu podaży tlenu w przestrzeni reakcyjnej na mechanizmy transformacji fazowo-strukturalnej w warstwie powierzchniowej taśm - katalizatora Ni₃Al (obejmującej WW i depozyt) dalsza dyskusja (stanowiąca próbę uogólnienia wyników badań i ich analiz zawartych w Monografii), przeprowadzona została z uwzględnieniem parametru (U_{O₂}). Wprowadzony parametr U_{O₂} definiuje ilościowo względną podaż tlenu (pochodzącego z gazu nośnego) w mieszaninie reakcyjnej w relacji do stężenia (w tej mieszaninie) poszczególnych związków poddawanych dekompozycji, tj. **U_{O₂} = [% udziału obj. O₂] / [% udziału obj. badanego związku chem.]**. Wyznaczone wartości parametru

²¹ zgodnie z analizą zawartą w Monografii (rozdział 5, pkt 5.3.1) proces redukcji powierzchni taśm Ni₃Al przed testami aktywności katalitycznej ograniczał ich aktywność

²² zgodnie z pracą [172] – „native oxide”

U_{O_2} wynoszą odpowiednio: 0,002 dla dekompozycji etanolu i metanolu (w argonie cz.d.a.²³), 0,27 dla dekompozycji toluenu i 0,2 dla dezaktywacji DMMP (w argonie techn.²⁴) oraz 14 dla dezaktywacji cykloheksanu i 140 dla toluenu realizowanych w powietrzu.

Realizowany w powietrzu proces dezaktywacji toluenu wykazywał zatem największą podaż tlenu w mieszaninie reakcyjnej z powietrzem, jako gazem nośnym, tj. wartość $U_{O_2} \approx 140$ była blisko o sześć rzędów wielkości większa niż dla przypadku EtOH i MeOH, ponad dwa rzędy względem DMMP i toluenu (dekomponowanego w argonie techn.) i o jeden rząd wielkości większa względem przypadku dekompozycji cykloheksanu - realizowanej wprawdzie przy udziale powietrza (jako gazu nośnego) ale, co należy podkreślić, przy istotnie większym (o jeden rząd wielkości) stężeniu tego związku²⁵ w mieszaninie reakcyjnej. W efekcie, część tlenu obecnego w przestrzeni reakcyjnej ulega związaniu w reakcji częściowego spalania cykloheksanu skutkując ograniczeniem (bilansowo) podaży tlenu, manifestującym się makroskopową obecnością depozytu węglowego²⁶.

W konsekwencji, uwzględniając obserwowane prawidłowości przebudowy warstwy powierzchniowej²⁷ taśm - katalizatora Ni_3Al dalszą analizę mechanizmów przemian przeprowadzono dla dwóch charakterystycznych zakresów zmian warunków środowiskowych obejmujących²⁸: **względnie małą** ($U_{O_2} \leq 14$) i **istotnie dużą podaż tlenu** ($U_{O_2} \geq 140$) w mieszaninie reakcyjnej.

Zakres względnie małej podaży tlenu w przestrzeni reakcyjnej ($U_{O_2} \leq 14$). Przy tak ograniczonej obecności tlenu w przestrzeni reakcyjnej, w prowadzonych badaniach występującej podczas termokatalitycznej dekompozycji/dezaktywacji etanolu, metanolu, toluenu i DMMP realizowanych w argonie (zarówno techn. jak i cz.d.a.) oraz cykloheksanu w powietrzu, niezależnie od rodzaju wymienionej substancji chemicznej, aktywność atomów tlenu jest ograniczona jedynie do zjawiska powstawania tlenku Al_2O_3 , gdyż podaż ta (zgodnie z przedstawionym bilansem) nie jest wystarczająca do zainicjowania procesu utleniania niklu.

Fakt ten uwzględniono w autorskiej propozycji modelowego ujęcia przebudowy warstwy powierzchniowej taśmy - katalizatora Ni_3Al (WW+depozyt) zachodzącej w początkowym okresie (na etapie aktywacji) procesu dekompozycji/dezaktywacji badanych substancji w warunkach ograniczonej podaży tlenu²⁹. Zgodnie z tym modelem przebudowa warstwy powierzchniowej taśmy - katalizatora Ni_3Al rozpoczyna się od selektywnego

²³ o czystości 99,999% Ar

²⁴ zgodnie z opisanymi w Monografii, rozdział 5, pkt 5.3.1

²⁵ szczegóły procesów dekompozycji – Monografia, rozdział 5, pkt 5.3.1.1 i 5.3.1.2

²⁶ w tych warunkach procesowych udział węgla w gazowych produktach reakcji jest nieznaczny – dominuje jako stały produkt procesu dekompozycji/dezaktywacji

²⁷ szerzej – Monografia, rozdział 4

²⁸ procesów termokatalitycznej dekompozycji/dezaktywacji w przedziale wartości parametru U_{O_2} : $14 < U_{O_2} < 140$ nie prowadzono

²⁹ ściślej - przypadki procesowe dekompozycji etanolu, metanolu, toluenu, DMMP z udziałem argonu jako gazu nośnego oraz cykloheksanu w mieszaninie z powietrzem

oddziaływania tlenu³⁰/pary wodnej³¹ z atomami aluminium pochodzącymi z fazy γ' (stanowiącej osnowę) i/lub fazy γ (stanowiącej mniejszościowy składnik struktury WW katalizatora). Na powierzchni kontaktu atmosfery reakcyjnej z warstwą WW katalizatora konstytuują się subtelne (nanometrycznej grubości) amorficzne nanowarstewki (odpowiednio): Al_2O_3 lub $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Al}(\text{OH})_3$ (powiązane z substancjami chemicznymi w legendzie rys. 5b-d). Istotne znaczenie w procesie aktywacji katalitycznej taśm Ni_3Al mają również defekty struktury (m.in. granice międzyfazowe, granice ziaren, dyslokacje itp.), które wpływają na efektywność procesu dyfuzji w ciele stałym³² [60], [61], [62], [63], [64].

Obecność granic międzyfazowych γ / γ' w polikrystalicznym, dwufazowym materiale taśmy Ni_3Al poprawia efektywność procesu dyfuzji atomów aluminium w WW katalizatora (szczegóły w Monografii), skutkując preferencyjnym formowaniem w strefach powierzchni czynnej (przyległych do tych granic) warstewki Al_2O_3 o większej zwartości względem pozostałych stref tej powierzchni (rys. 5).

Proces formowania centrów aktywnych katalitycznie w dyskutowanych reakcjach dekompozycji/dezaktywacji³³ rozpoczyna się w pierwszej kolejności na odsłoniętych powierzchniach ziaren fazy γ (na poziomie mikrostruktury – pierwotnie w obszarach dwufazowych ($\gamma'+\gamma$)), gdyż ta faza wzbogacona w nikiel względem fazy γ' , może ([65, 66]) wykazywać aktywność samoistną³⁴ (rys. 5b-d).

Wraz z oddalaniem się od stref ujścia granic międzyfazowych γ/γ' na powierzchnię rozdziału depozyt / WW, warstewka Al_2O_3 staje się lokalnie nieciągła. W efekcie powstaje niejednorodność chemiczna i fazowa zewnętrznej strefy warstwy powierzchniowej taśmy Ni_3Al , jako systemu katalitycznego – na powierzchni czynnej katalizatora występują lokalnie (i tylko przez określony czas), strefy w których nie funkcjonuje modelowy mechanizm „uwalniania” atomów niklu z warstwy wierzchniej Ni_3Al (rys. 5c-d).

Utworzony tlenek Al_2O_3 wykazuje większą objętość właściwą (o blisko 30 procent [55], [67]) względem materiału intermetalicznej taśmy Ni_3Al , na której powstaje, co skutkuje generowaniem w objętości warstewki tlenkowej naprężenia ściskającego o wartości dochodzącej, zdaniem M. Bobeth'a, nawet do poziomu 1 GPa [68]. Modelowo, zakłada się w tych warunkach wzmoczoną intensywność ukierunkowanej (ku powierzchni rozdziału) migracji atomów niklu, „uwolnionych” z fazy γ' po wcześniejszym związaniu części atomów aluminium współtworzących tę fazę, przez atomy tlenu. Po osiągnięciu powierzchni rozdziału tlenek Al_2O_3 / depozyt, atomy niklu aglomerują do postaci nanocząstek niklowych wykazujących aktywność katalityczną w prowadzonych reakcjach termicznej dekompozycji/dezaktywacji analizowanych substancji chemicznych (rys. 5c,d).

³⁰ w przypadku dekompozycji/dezaktywacji: toluenu i DMMP w argonie technicznym (Monografia - rozdział 6, pkt 6.1.3 i pkt 6.2.1) oraz cykloheksanu w powietrzu (Monografia – rozdział 6, pkt 6.2.2)

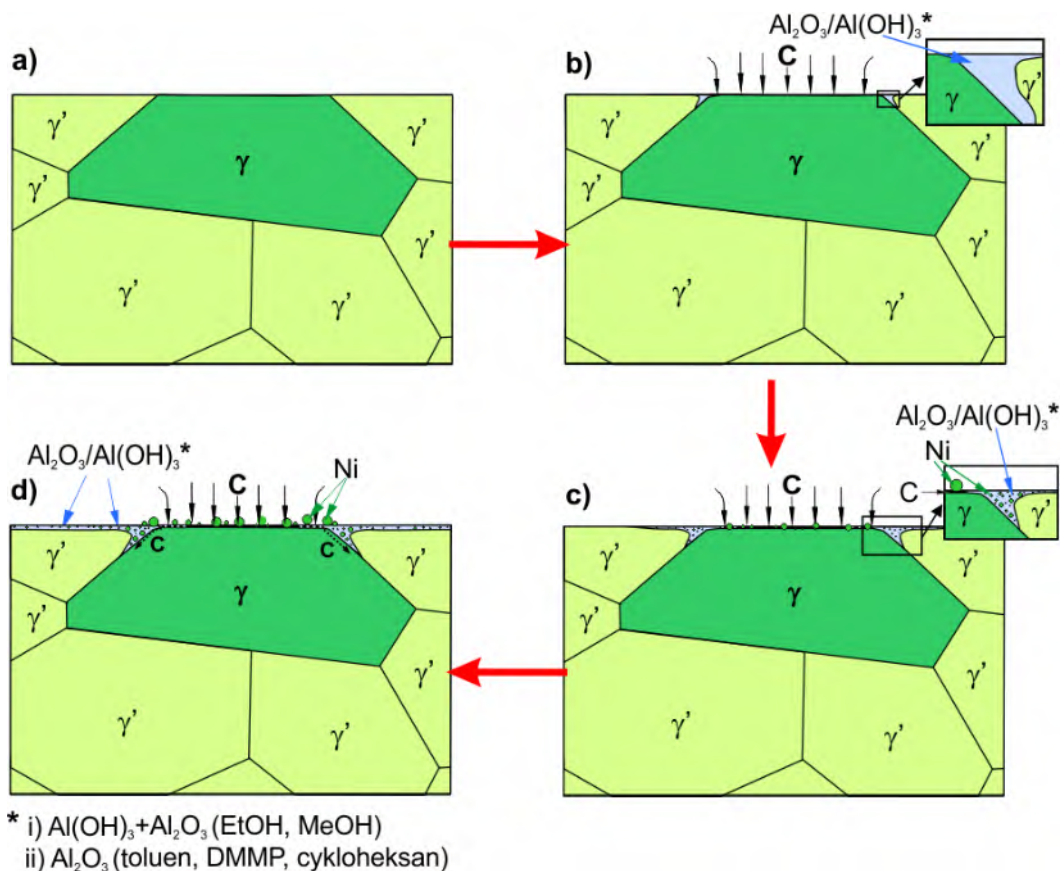
³¹ w przypadku dekompozycji etanolu i metanolu w mieszaninie z argonem - szerszy opis selektywnego oddziaływania pary wodnej z atomami aluminium przedstawiono w Monografii – rozdział 6, pkt. 6.1.4

³² szerzej – Monografia, podrozdział 2.2

³³ ściślej: dekompozycja/dezaktywacja etanolu, metanolu, toluenu i DMMP z udziałem argonu jako gazu nośnego oraz cykloheksanu w mieszaninie z powietrzem

³⁴ szerzej – Monografia, rozdział 6, pkt 6.1.4

Jak już wskazano – w omawianych warunkach ograniczonej podaży tlenu, w strefie kontaktu depozyt / warstwa wierzchnia katalizatora Ni₃Al, warstwa tlenku NiO³⁵ nie powstaje.



Rys. 5. Model graficzny zmian budowy fazowej i morfologii struktury WW taśmy - katalizatora Ni₃Al w obszarze dwufazowej mikrostrefy ($\gamma + \gamma'$) jego powierzchni aktywnej obejmującej ziarna uporządkowanego roztworu wtórnego γ' i nieuporządkowanego roztworu γ : a) stan wyjściowy oraz etapy osiągnięcia początkowej aktywacji b-d; źródło: na podst. Monografii)

W polikrystalicznej, jednofazowej strukturze WW stopów Ni₃Al lokalna intensyfikacja procesu formowania tlenku Al₂O₃ następuje z kolei w strefach „ujścia” granic ziaren γ'/γ' ³⁶. W efekcie, w obszarach przyległych do granic ziaren fazy γ' następuje (w początkowym okresie utleniania, analogicznie – reakcji termokatalitycznej) przyspieszenie procesu migracji atomów Ni z utlenionej strefy warstwy wierzchniej taśm Ni₃Al ku jej powierzchni i ich agregacja (na tej powierzchni) do postaci nanocząstek niklu. Natomiast, ze wzrostem czasu trwania procesu dekompozycji należy oczekiwać na tyle istotnego wzrostu grubości tlenku Al₂O₃ (strefie granic ziaren γ'/γ'), że postulowany proces migracji atomów Ni z/przez błonkę tlenkową ku powierzchni katalizatora będzie stopniowo ograniczany.

Zgodnie z prezentowanymi w Monografii wynikami badań uzyskanych w czasie dekompozycji/dezaktywacji etanolu, metanolu, toluenu i DMMP (realizowanej w argonie)

³⁵ zgodnie z przywoływaną w Monografii (podrozdział 4.5) analizą, zbyt mała podaż tlenu uniemożliwia formowanie tlenku NiO ze względu na większą, względem Al₂O₃, energię tworzenia tego związku [149]

³⁶ szerszą dyskusję roli granic γ'/γ' w procesach powiązanych z dyfuzyjnym transportem masy przeprowadzono w Monografii, rozdz.VI

oraz cykloheksanu (w powietrzu) prowadzonych w warunkach ograniczonej podaży tlenu ($U_{O_2} \leq 14$), proces aktywacji (przebiegający według wyżej opisanych mechanizmów), kończy się w chwili uformowania stref o wysokiej aktywności katalitycznej, tj. odpowiednio, mikroobszarów dwufazowych γ/γ' z nanowarstewką Al_2O_3 i osadzonymi w niej nanocząstkami n-Ni albo obszarów jednofazowych γ'/γ' także z nanowarstewką Al_2O_3 i osadzonymi w niej nanocząstkami n-Ni. To właśnie cząstki n-Ni wchodzi w katalityczne oddziaływanie z gazową mieszaniną reakcyjną właściwą dla dyskutowanych procesów dekompozycji/dezaktywacji.

Kontynuacja rozpatrywanych procesów dekompozycji/dezaktywacji skutkuje subtelnym zróżnicowaniem przebiegu omawianych transformacji strukturalnej procesowej warstwy wierzchniej (PWW) - specyficznie do rodzaju zastosowanej mieszaniny reakcyjnej. Nie mniej jednak, istotne podobieństwo przebudowy warstwy powierzchniowej obserwowane w przypadku dekompozycji/dezaktywacji etanolu, metanolu, toluenu i cykloheksanu (ograniczona podaż tlenu - $U_{O_2} \leq 14$) pozwala na podjęcie próby ich uogólnienia w postaci jednej propozycji modelowej (rys. 6).

Istotne różnice w składzie pierwiastkowym i konfiguracji chemicznej pomiędzy DMMP a pozostałymi substancjami (etanolem, metanolem, toluenem i cykloheksanem) skutkują odmiennym przebiegiem właściwego procesu rozkładu (już po procesie aktywacji) i wzrostu depozytu stałych produktów reakcji termokatalitycznej tego związku – stąd modele przemian dla tych grup substancji chemicznych zostaną przedstawione oddzielnie.

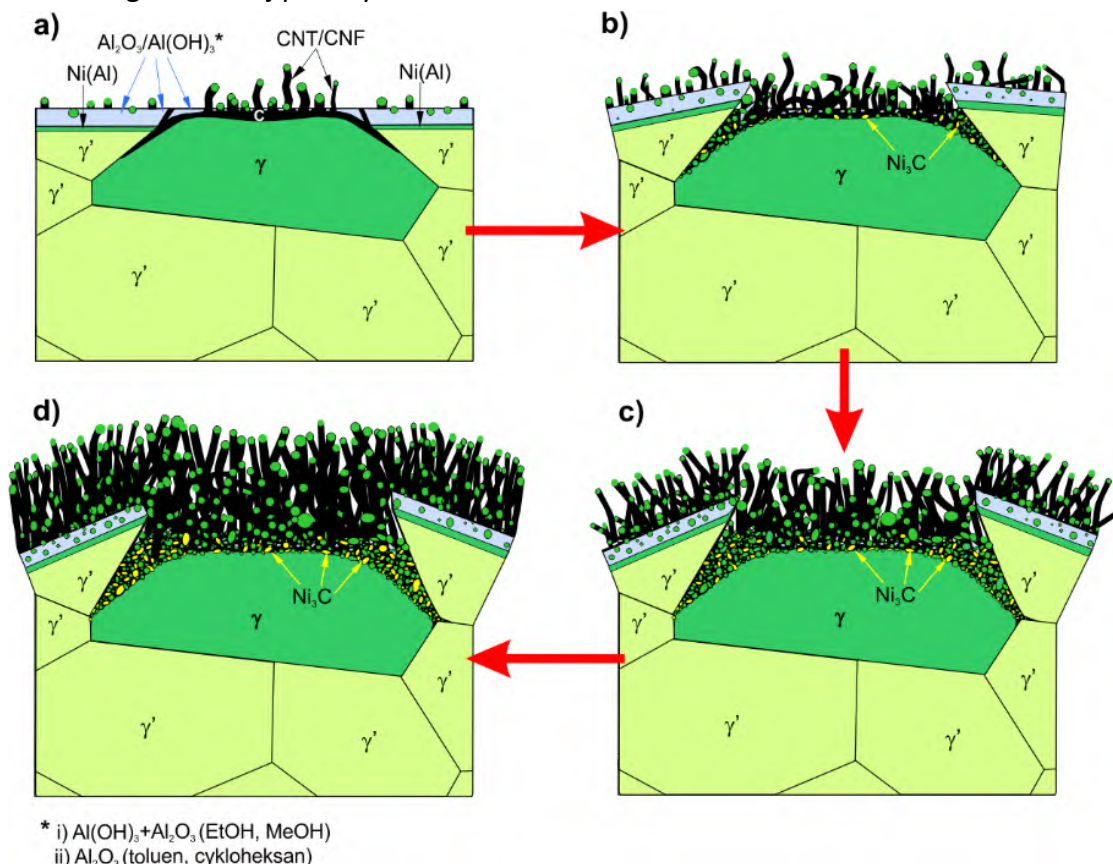
Ze względu na ułatwiony dyfuzyjny transport atomów po granicach międzyfazowych, błonki tlenkowe ukonstruowane w WW w okresie aktywacji (rys. 5d) wykazują (w obszarze fazy Ni(Al)) większą zwartość w strefach „ujścia” granic międzyfazowych γ/γ' na aktywną powierzchnię taśmy, a w miarę oddalania się od tych stref stają się lokalnie nieciągłe i nie stanowią skutecznej bariery dla oddziaływania katalizatora z przepływającą mieszaniną reakcyjną. Brak ciągłości wspomnianych warstw Al_2O_3 (podczas dekompozycji/dezaktywacji toluenu w mieszaninie z argonem i cykloheksanu w powietrzu) i $Al_2O_3 + Al(OH)_3$ (podczas dekompozycji etanolu i metanolu realizowanych w argonie) umożliwia stopniową (narastającą wraz z czasem trwania procesu) adsorpcję (na powierzchni fazy γ), węgla „uwolnionego” w procesie dekompozycji omawianych substancji chemicznych³⁷ (rys. 5a). Wobec większej (względem pozostałej powierzchni katalizatora eksponowanej na kontakt z atmosferą reakcyjną) energii swobodnej stref powierzchni granic międzyfazowych γ/γ' , zasadniczy strumień dyfuzji atomów węgla w głąb WW przebiega wzdłuż tych defektów powierzchniowych skutkując lokalnym, w strefach przylegających do tych granic, przesyleniem sieci $Ni_3Al / Ni(Al)$ węglem. W kolejnym etapie transformacji fazowej prowadzi to do lokalnego utworzenia metastabilnych węglików Ni_3C (rys. 6).

W odniesieniu do wyników własnych należy zauważyć, że spośród wszystkich analizowanych w Monografii związków chemicznych (rozd. VI, pkt 1 i 2) znaczne prawdopodobieństwo udokumentowanej obecności węglików NiC_x i Ni_3C uzyskano tylko

³⁷ w początkowym okresie dekompozycja następuje jedynie lokalnie, w obszarach Ni(Al) wykazujących znaczne zubożenie w Al

w przypadku dekompozycji cykloheksanu, gdzie (co warto podkreślić) warstwa depozytu wykazała zdecydowanie największą zawartość oraz grubość / objętość. Większa masywność stałych produktów rozkładu to między innymi także większa akumulacja energii cieplnej w tej części warstwy powierzchniowej i przez to zwiększona efektywność atomowego transportu masy, bezpośrednio w trakcie procesu dekompozycji, jak i w ramach reakcji wtórnych (po procesie dekompozycji), które odpowiedzialne są za finalną (obserwowaną) morfologię aktywnych nanocząstek niklowych oraz nieodłącznych od tego rezultatu – nanoform węglowych w depozycie.

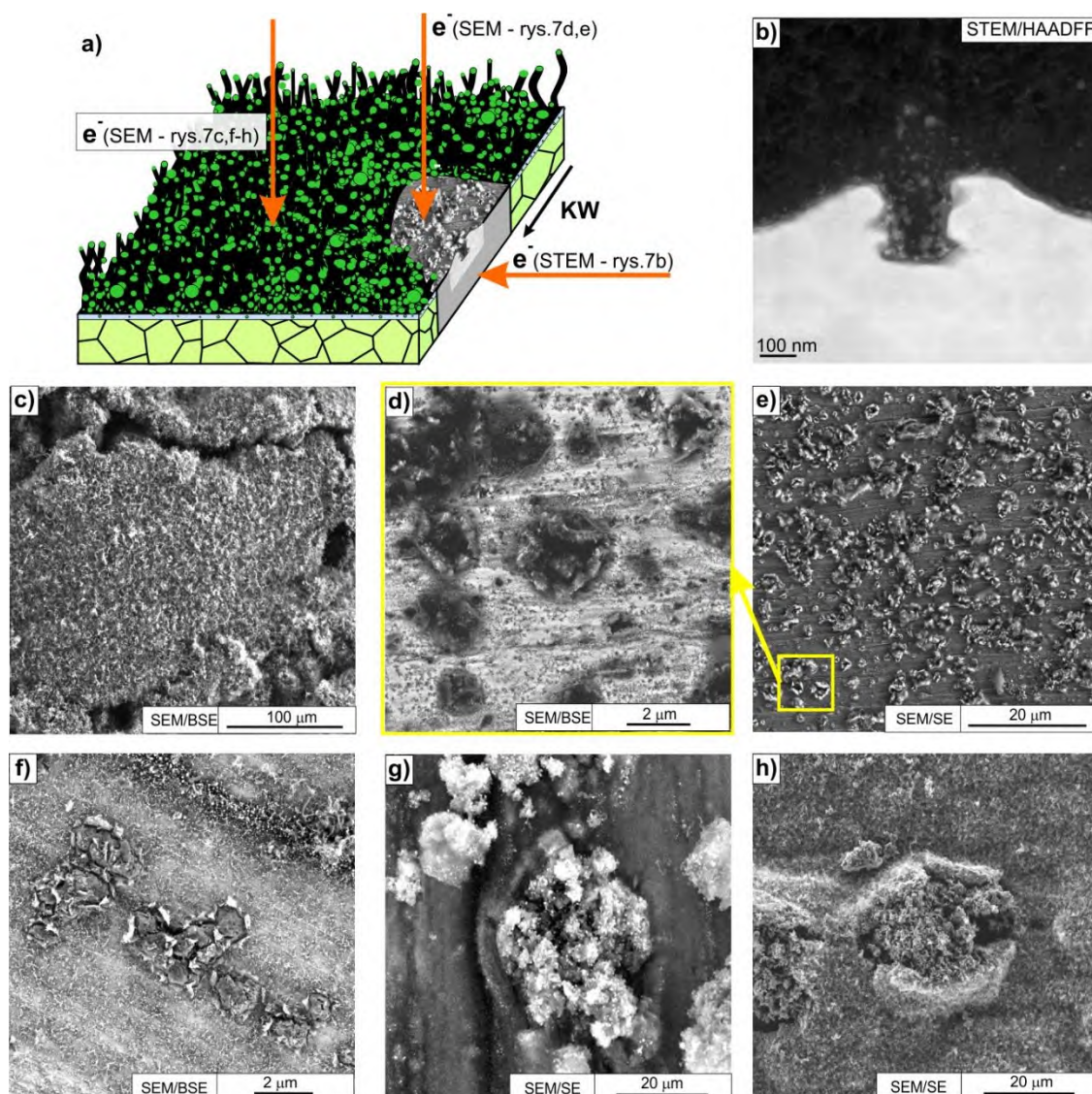
Wraz z postępowaniem procesu termokatalitycznej dekompozycji/dezaktywacji następuje wzrost udziału objętościowego węglików Ni_3C prowadząc do obserwowanego doświadczalnie wypiętrzania stref warstwy powierzchniowej przyległych do granic ziaren, tworzenia „kraterów”³⁸ i odstąpienia przestrzeni międzyfazowej/ międzyziarnowej na dalszą ekspozycję mieszaniny reakcyjnej (ujęcie modelowe - rys. 6b-d oraz przykład dokumentacyjny - rys. 7). kroku następnym, metastabilny węgiel ulega rozpadowi na węgiel oraz nikiel, który uczestniczy aktywnie w dalszym procesie dekompozycji/dezaktywacji badanych substancji³⁹ w warunkach ograniczonej podaży tlenu.



Rys. 6. Modelowe ujęcie modyfikacji struktury warstwy powierzchniowej taśmy-katalizatora Ni_3Al w strefach o budowie dwufazowej $\gamma + \gamma'$, zachodzącej w efekcie dekompozycji/dezaktywacji w warunkach ograniczonej podaży tlenu (dla etanolu, metanolu lub toluenu w mieszaninie z argonem oraz dla cykloheksanu - w powietrzu) (a-d: kolejne etapy rozwoju przemian, opis w tekście; źródło: na podstawie Monografii)

³⁸ podobne efekty morfologiczne obserwowali także N. Jeong'a i J. Lee [74] na powierzchni polikrystalicznego niklu

³⁹ przypadki procesowe dekompozycji etanolu, metanolu, toluenu z udziałem argonu jako gazu nośnego oraz cykloheksanu w mieszaninie z powietrzem



Rys. 7. Wizualizacja kierunków i płaszczyzn obserwacji elektronomikroskopowych z zaznaczeniem obszarów analizy powierzchni katalizatora Ni_3Al – a) po dekompozycji w mieszaninie z argonem: b-e) etanolu ($600\text{ }^\circ\text{C}/3\text{h}$), f) metanolu ($600\text{ }^\circ\text{C}/15\text{min.}$), g) toluenu ($600\text{ }^\circ\text{C}/3\text{h}$), oraz dezaktywacji w powietrzu cykloheksanu ($600\text{ }^\circ\text{C}/3\text{h}$) - h) (obrazy d,e – po usunięciu depozytu węglowego, KW – kierunek walcowania taśmy; źródło: na podst. Monografii)

Stopniowo, wraz z czasem trwania procesu dekompozycji/dezaktywacji i wzrostem objętości obszaru zajętego przez Al_2O_3 lub $Al_2O_3 + Al(OH)_3$ w strefie bezpośredniego kontaktu tej warstewki z materiałem katalizatora następuje zubożenie osnowy γ' w Al (czyli względne wzbogacenie w Ni) rozmycie uporządkowania i lokalne przejście w strukturę nieuporządkowanego roztworu Ni(Al), którego obecność została wskazana w analizie wyników XRD⁴⁰ w dyskutowanej Monografii.

W kolejnych stadiach modelowego ujęcia zjawisk zachodzących w warstwie wierzchniej masywnego katalizatora Ni_3Al (na etapie właściwego procesu dekompozycji/dezaktywacji) należy także wziąć pod uwagę, że w przypadku stref powierzchni czynnej katalizatora o jednofazowej budowie ziarnowej γ' , dyfuzja atomów węgla w głąb

⁴⁰ szerzej – Monografia, rozdział 6

warstwy wierzchniej, z potencjalnym tworzeniem przesyconego roztworu stałego Ni(C), jest stopniowo ograniczana przez błonki Al₂O₃ (przypadki toluenu i cykloheksanu) lub mieszaniny faz Al₂O₃ + Al(OH)₃ (dekompozycja EtOH i MeOH). Równoległe z tym zjawiskiem, obecność pary wodnej powstającej podczas dekompozycji etanolu i metanolu sprzyja oczyszczaniu powierzchni z niezwiązanego/amorficznego węgla ograniczając jego podaż na powierzchni badanych taśm Ni₃Al [84-86].

Sumarycznie, w każdym z analizowanych wariantów procesowych, wydłużenie czasu trwania procesu dekompozycji skutkuje stopniowym wzrostem obecności struktur typu CNT/CNF w depozycie. Prowadzi to do obserwowanego w badaniach SEM ujednorodnienia stopnia pokrycia depozytem całej powierzchni czynnej katalizatora, a w konsekwencji do ograniczenia widoczności opisanych „kraterów”. Ten efekt tylko pozornie sygnalizuje zmniejszenie intensywności występowania tych charakterystycznych zmian geometryczno-fazowych w warstwie powierzchniowej katalizatora Ni₃Al (ujęcie modelowe - rys. 6d, przykład dokumentacyjny - rys. 7c-e).

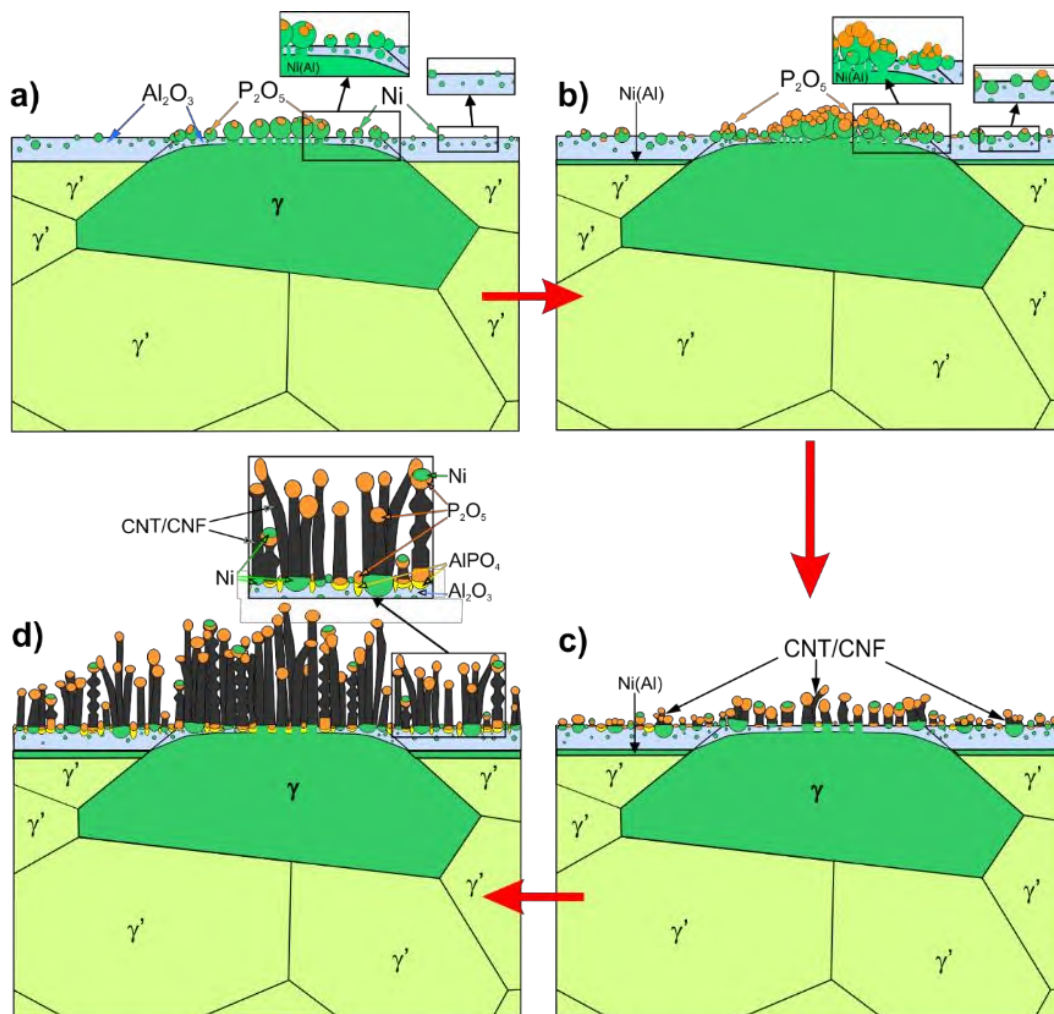
Po szczegółowej analizie danych literaturowych i wyników badań własnych zaprezentowanej w Monografii zaproponowano stosowną modyfikację mechanizmu dla przypadku dekompozycji DMMP. Istotą tej modyfikacji (por. rys. 7 i rys. 8) jest przyjęcie, że wprawdzie w początkowym etapie dekompozycji zasadniczą rolę w inicjowaniu rozkładu cząsteczek DMMP i formowaniu nanostrukturalnego depozytu produktów stałych odgrywają nanocząstki n – Ni, to jednak ich rola, wraz z upływem czasu reakcji jest stopniowo przejmowana przez P₂O₅. Wówczas początkowy wzrost nanostruktur węglowych z bazową rolą cząstek n-Ni sztywno utwierdzonych w warstwie powierzchniowej katalizatora Ni₃Al (tzw. wzrost korzeniowy) przechodzi stopniowo we wzrost, gdzie funkcję „zarodzi” dla części nowych nanoform i/lub kolejnych odcinków nanoform węglowych przejmuje wspomniany tlenek P₂O₅ obecny na zakończeniach CNT/CNF (tzw. wzrost końcówkowy)⁴¹.

W przypadku silnego wbudowania/połączenia aktywnej nanocząstki niklu z podłożem, tj. z błonką tlenku Al₂O₃ w warstwie powierzchniowej fragmentów taśmy – katalizatora Ni₃Al, tlenek P₂O₅ powstaje na odkrytej (od strony mieszaniny gazowej) strefie powierzchni tej nanocząstki (n-Ni). Następnie, wraz z dalszym biegiem reakcji, nanoobjętość tlenku P₂O₅ (n-P₂O₅) zostaje odseparowana od tej „podstawy” - powierzchni n-Ni - przez warstwy grafenowe atomów węgla, wydzielane z lokalnie przesyconych stref przypowierzchniowych n-Ni⁴², i jest dalej „unoszona” poprzez wzrastające nanoformy węglowe „ku górze” (od fizycznej powierzchni katalizatora), tworząc kuliste zakończenie wielościennej nanorurki węglowej (rys. 8c,d). Wraz z dalszym wzrostem tej nanoformy następuje stopniowe ograniczenie roli cząsteczki n-Ni, którą przejmuje nanoobjętość tlenku P₂O₅ – w konsekwencji następuje zmiana mechanizmu wzrostu z korzeniowego na końcówkowy. Uzyskana w ramach badań własnych dokumentacja (rys. 8c,d) potwierdza

⁴¹ szersza dyskusja mechanizmu końcówkowego i korzeniowego mechanizmu formowania i wzrostu CNT/CNF przeprowadzono w dalszej części tej analizy

⁴² dla przejrzystości opisu modelowego propozycje obejmujące etapy wzrostu nanoform węglowych ujęto odrębnie, w dalszej części analizy

zgodność tego zachowania z opisanym w przeglądzie stanu zagadnienia⁴³ mechanizmem wzrostu korzeniowego (z ang. root-growth).



Rys. 8. Modelowe ujęcie graficzne zmian budowy fazowej i morfologii struktury w warstwie powierzchniowej taśmy – katalizatora Ni_3Al , powstałych w efekcie dekompozycji DMMP w mieszaninie z argonem technicznym (a-d: kolejne etapy rozwoju przemian, opis w tekście; źródło: Monografia)

Słabe mechaniczne związanie nanocząstek n-Ni z warstwą tlenkową Al_2O_3 w warstwie powierzchniowej skutkuje wzrostem końcówkowym (z ang. tip-growth) wielościennych nanorurek węglowych wykazujących morfologię zbliżoną do łodygi, która wynika z cyklicznie zachodzącego procesu rozpierania ścian na końcowym (w danej fazie wzrostu) odcinku długości wielościennej nanorurki węglowej przez wypełniającą tę nanorurkę nanoporcję P_2O_5 . Efekt rozpierania, a dalej – naprzemiennie – kurczenia się, końcowego fragmentu nanorurki w kolejnych etapach jej wzrostu pojawia się w następstwie cyklicznej zmiany (odpowiednio - zwiększania/zmniejszania) objętości nanoporcji silnie higroskopijnego P_2O_5 pod wpływem adsorpcji/desorpcji przez ten tlenek pary wodnej z metanolu (będącego kolejnym produktem ubocznym dekompozycji DMMP).

⁴³ szerzej – Monografia, podrozdział 2.5

W konsekwencji na zakończeniach nanoform węglowych obserwowane są nanoobjętości tlenku fosforu (V) – P_2O_5 oraz, sporadycznie, luźno z nimi związane nanocząstki n-Ni. Słaba integracja n-Ni ze strukturą węglową wynika z współobecności w otoczeniu n-Ni nanoobjętości P_2O_5 , wysoce czułych na skutki obecności pary wodnej. Skutki te są na tyle istotne, że bezpośrednie efekty procesu adsorpcji/desorpcji H_2O przez P_2O_5 (w postaci „gazowania” w kolumnie mikroskopu) obserwowano także in situ podczas obserwacji SEM (rys. 11c – wskazane obszary).

Odrębnej uwagi wymaga, wspólnie dla wszystkich analizowanych wariantów procesowych zjawisko zarodkowania i wzrostu nanoform węglowych, ściśle powiązane ze stanem materiałowym warstwy wierzchniej katalizatora Ni_3Al . W uogólnionym, modelowym podejściu do opisu procesu formowania depozytu współtworzącego warstwę powierzchniową taśmy – katalizatora Ni_3Al , jaki formuje się podczas dekompozycji/dezaktywacji badanych substancji chemicznych⁴⁴. W pierwszym stadium, po adsorpcji chemicznej molekuly reagenta „węglonośnego”, który to proces zachodzi w strefie aktywnej cząstki n-niklu, na ograniczających tę nanocząstkę powierzchniach bocznych tożsamyh krystalograficznie z płaszczyznami z rodzin {110} i {100}, następuje wspomagane katalitycznie rozerwanie międzyatomowych wiązań w tej cząsteczce chemicznej, skutkujące uwolnieniem atomów węgla, bezpośrednio, bądź w efekcie reakcji wtórnych (np. reakcji Boudouard’a). W stadium następnym ma miejsce dyfuzyjny transport uwolnionych atomów węgla „po powierzchni” i/lub „przez objętość” cząstki n-Ni, ze skutkiem przejściowym w postaci tworzenia przesyconego roztworu $Ni(C)$, aby w kolejnej fazie nastąpiło wydzielanie atomów węgla w innych specyficznych nanostrefach powierzchni ograniczającej tę samą cząstkę n-Ni, konkretnie, o orientacji zgodnej z płaszczyznami krystalograficznymi z rodzin {111} lub {311} sieci A1 niklu.

W tych właśnie nanostrefach powierzchni aktywnej, na uformowanych wcześniej nanocząstkach niklowych następuje w trakcie dalszej dekompozycji/dezaktywacji badanych substancji chemicznych, zarodkowanie i stopniowy wzrost nanoform węglowych tworzących złożoną geometrycznie architekturę przestrzenną depozytu węglowego na fragmentach taśmy - katalizatora Ni_3Al rozmieszczonych w złożu reakcyjnym.

Sam proces wzrostu i końcowa architektura przestrzenna nanoform węglowych w depozycie, wykazuje natomiast silny związek ze stopniem integracji aktywnych nanocząstek niklu z ich podłożem – konkretnie z błonką tlenku Al_2O_3 lub mieszaniną faz $Al_2O_3 + Al(OH)_3$. Zebrana dokumentacja i przeprowadzone analizy wskazują, że nanostruktury węglowe powstają w opisanych przypadkach⁴⁵ według mechanizmu wzrostu korzeniowego (nanocząstka Ni stabilnie osadzona w błonce tlenkowej – integracja silna) albo wzrostu końcówkowego (gdy nanocząstka Ni jest luźno związana z błonką tlenkową). W tym drugim przypadku, wspólną cechą budowy depozytu, dla każdego z przypadków procesowych realizowanych przy ograniczonej podaży tlenu ($U_{O_2} \leq 14$), jest obecność nanocząstek niklowych

⁴⁴ ścisłej - przypadki procesowe dekompozycji etanolu, metanolu, toluenu z udziałem argonu jako gazu nośnego oraz cykloheksanu w mieszaninie z powietrzem

⁴⁵ szerzej – Monografia, rozdział 6

„uniesionych” przez wzrastające od podłoża nanoformy węgla. W tych przypadkach cząstki n-Ni obserwowano głównie na zakończeniach CNT/CNF (rys. 6).

Subtelna analiza morfologii depozytu węglowego powstałego na powierzchni taśm Ni₃Al w efekcie procesu dekompozycji/dezaktywacji badanych substancji w warunkach ograniczonej podaży tlenu⁴⁶ pozwoliła na identyfikację i próbę modelowego ujęcia procesów formowania nanostruktur węglowych⁴⁷ dla tych przypadków procesowych. Wyróżniono dwa zasadnicze typy, z podziałem na podtypy procesów wzrostu nanoform węglowych tworzących przestrzenną strukturę produktów stałych w analizowanych depozytach:

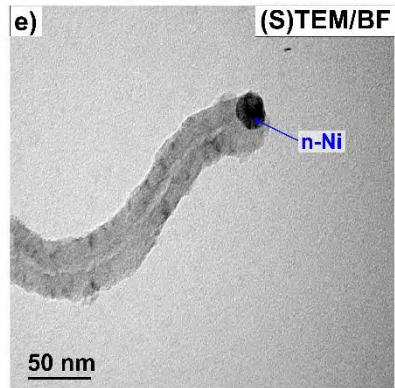
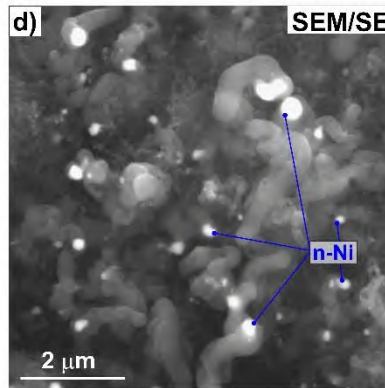
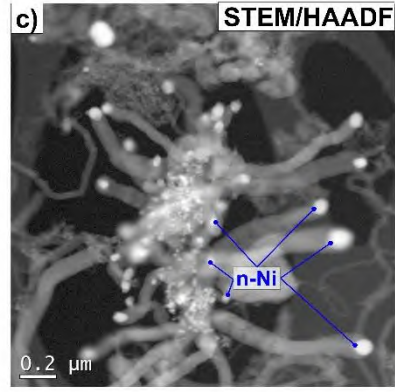
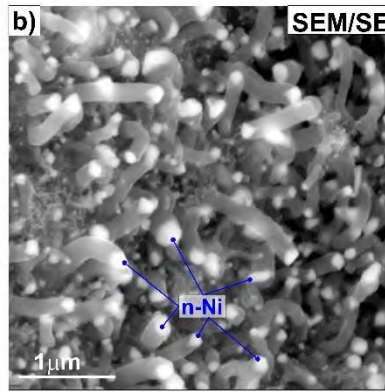
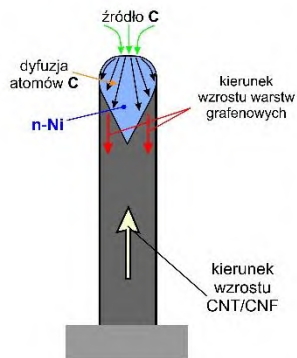
- **jednokierunkowy wzrost końcówkowy** będący odpowiednikiem opisywanego w literaturze – „**tip-growth**”, który polega na wydzielaniu (z przesyconej węglem nanocząstką niklu) warstw grafenowych pomiędzy aktywną katalitycznie nanocząstką Ni a podłożem. W przeprowadzonych badaniach rolę podłoża pełni błonka Al₂O₃ lub mieszanina faz Al₂O₃ + Al(OH)₃. Ten typ wzrostu prowadzi do stopniowego unoszenia przez wzrastającą nanoformę węglową cząstki aktywnej z jej pierwotnej lokalizacji w przypowierzchniowej strefie warstwy wierzchniej katalizatora, w kierunku normalnym do jego powierzchni czynnej (rys. 9, 10). Realizacja takiego mechanizmu formowania nanostruktur węglowych - produktów stałych reakcji termokatalitycznych, prowadzonych w ramach badań własnych i opisanych Monografii⁴⁸ (z potwierdzeniem wyników prezentowanych w literaturze, m.in.: [84, 90 - 96]) może zaistnieć tylko w przypadku wspomnianej względnie słabej integracji cząstek aktywnych katalitycznie z warstwą wierzchnią masywnego fragmentu katalizatora, z której te nanocząstki zostały wydzielone/uwolnione. Fakty doświadczalne wskazują, że zgodnie z tym mechanizmem formowane były zarówno wielościenne nanorurki węglowe MWCNTs (rys. 9a-c, rys. 10), jak i w przypadku dezaktywacji cykloheksanu (realizowanej w powietrzu) – dodatkowo także nanowłókna płytkowe (rys. 9f-h). W przypadku dekompozycji metanolu obserwowano natomiast lokalną obecność rozgałęzionych CNF stanowiących efekt podziału pierwotnie spójnej cząstki n-Ni (rys. 9i-k).

⁴⁶ po dekompozycji toluenu w powietrzu obecności depozytu nie stwierdzono – szerzej Monografia, rozdział 6, pkt 6.2.3

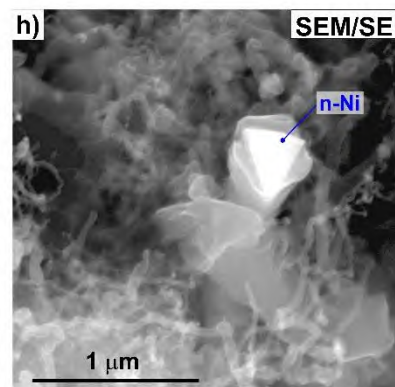
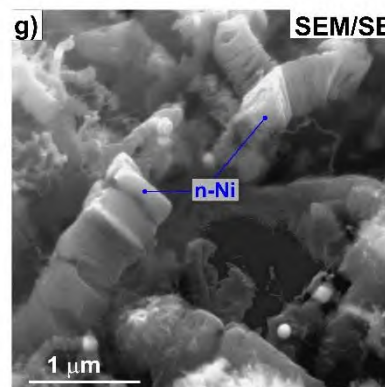
⁴⁷ szerzej – Monografia, podrozdział 2.5

⁴⁸ Monografia, rozdział 6

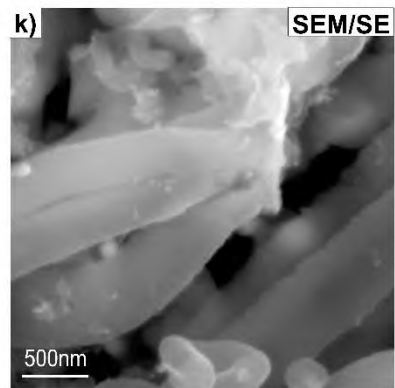
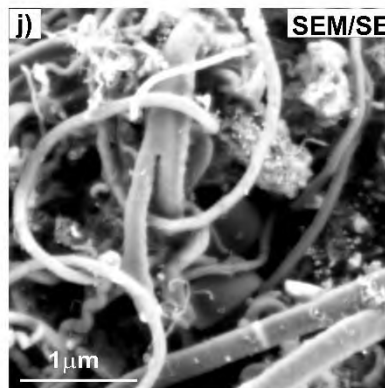
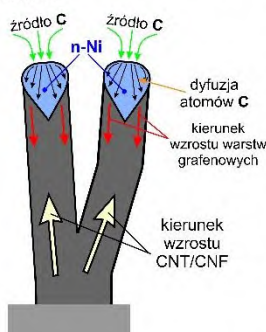
a) obserwowane po dekompozycji:
etanolu, metanolu i toluenu



f) obserwowane po dekompozycji:
cykloheksanu



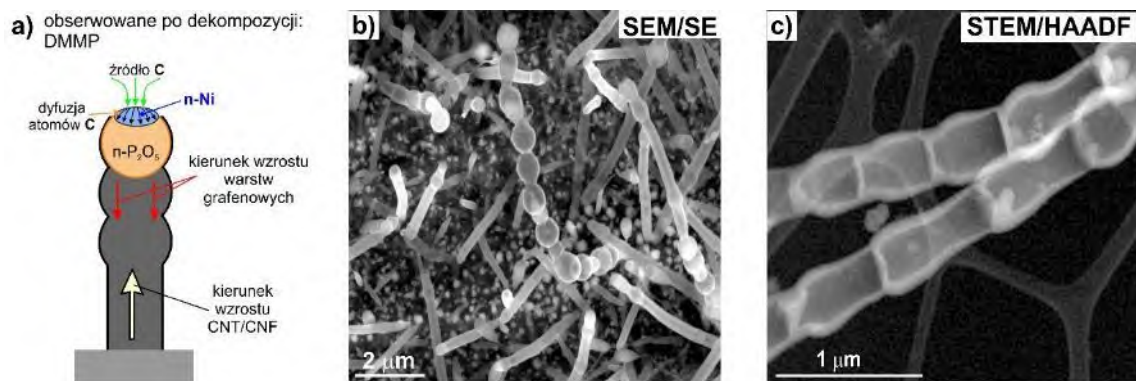
i) obserwowane po dekompozycji:
metanolu



Rys. 9. Propozycja modelowego ujęcia graficznego mechanizmu jednokierunkowego wzrostu nanostruktur typu CNT/CNF w depozycie w składzie warstwy powierzchniowej taśmy-katalizatora Ni_3Al – a,f,i) oraz morfologia depozytu produktów stałych powstałego w efekcie dekompozycji: metanolu – b,j,k), etanolu – c), cykloheksanu – d,e,g,h) (opis w tekście; źródło: na podst. Monografii)

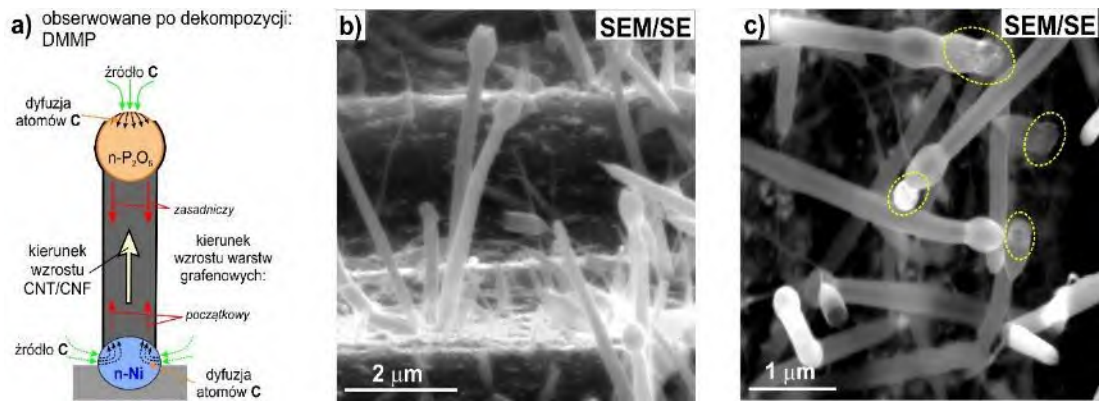
Z kolei, uwzględniając cechy morfologiczne CNT/CNF powstałych zgodnie z modelem wzrostu jednokierunkowego w efekcie dezaktywacji DMMP można w tej kategorii wskazać charakterystyczne podtypy nanoform węglowych wykazujące:

- budowę zbliżoną do łodygi – jako efekt wystąpienia podczas termokatalitycznej dekompozycji procesu formowania nanostruktur węglowych z udziałem cyklicznie zachodzącej adsorpcji/desorpcji pary wodnej przez wykazującą silną higroskopijność tlenek fosforu (V) - P_2O_5 ; na zakończeniach takich nanostruktur węglowych występują luźno z nimi związane cząstki n-Ni oraz nanoobjętości tlenku fosforu (V) (rys. 10),



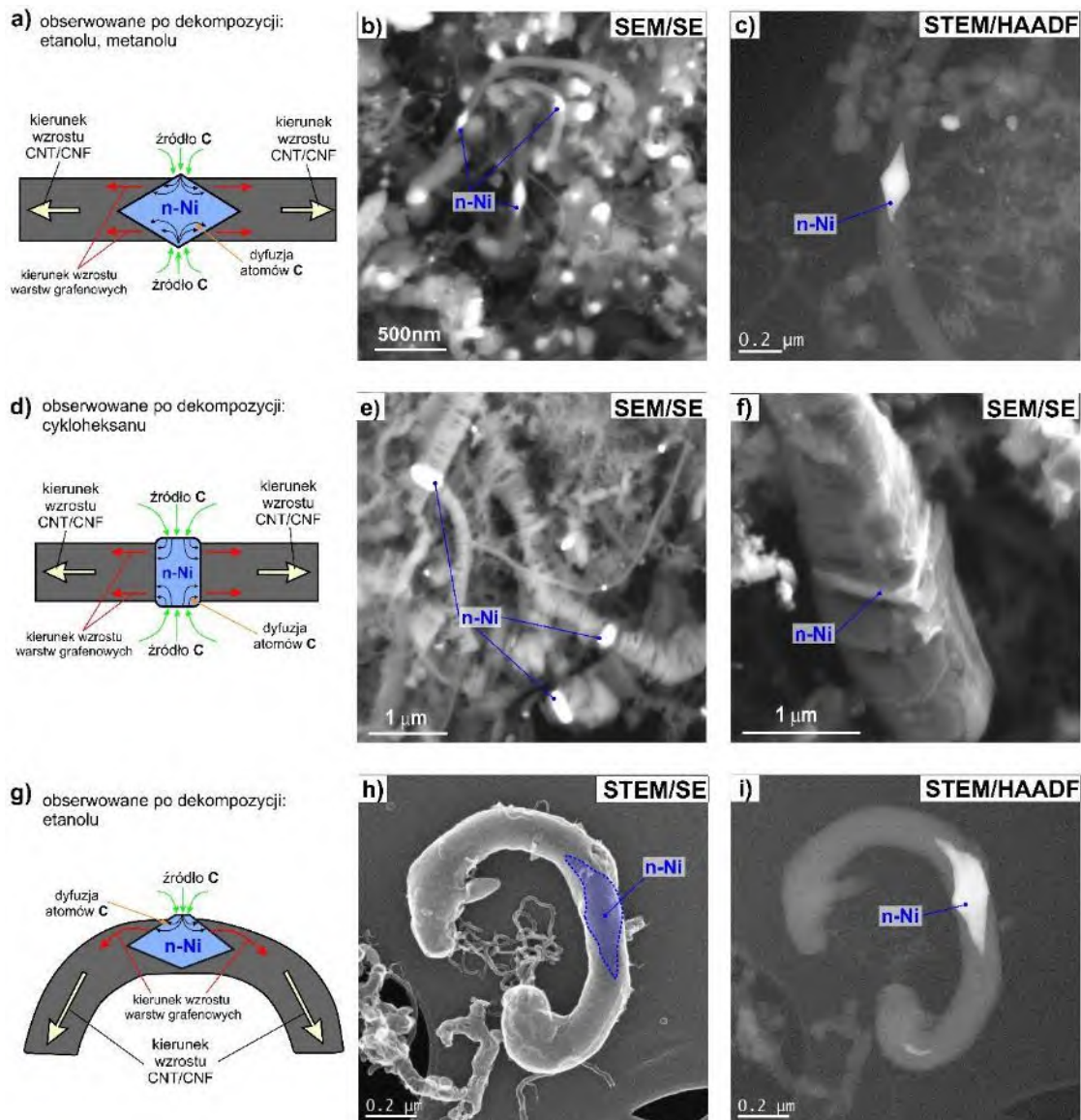
Rys. 10. Propozycja modelowego ujęcia graficznego mechanizmu jednokierunkowego wzrostu nanostruktur typu CNT w depozycie powstałym na powierzchni taśmy - katalizatora Ni_3Al po dekompozycji DMMP – a) oraz morfologia depozytu produktów stałych powstałego w efekcie dekompozycji DMMP – b,c) (opis w tekście; źródło: na podst. Monografii)

- efekty wystąpienia mieszanego mechanizmu wzrostu – korzeniowego i końcówkowego, gdzie w początkowym etapie, na powierzchni nanocząstki Ni silnie związanej z jej podłożem (błoną tlenkową) następuje zarodkowanie nanoobjętości tlenku P_2O_5 ($n-P_2O_5$), która w dalszym etapie zostaje oddzielona przez warstwy grafenowe od podkładki n-Ni i jest unoszona ku górze (od powierzchni aktywnej) przez kolejne warstwy grafenowe tworzone przez atomy węgla wydzielane z przesyconej nanocząstki niklu. Wraz ze wzrostem czasu procesu następuje stopniowe ograniczanie roli n-Ni (w zakresie katalizowania dekompozycji i stymulowania wzrostu CNT), którą przejmuje nanoobjętość tlenku P_2O_5 ($n-P_2O_5$) - w efekcie następuje lokalna zmiana mechanizmu wzrostu z korzeniowego na końcówkowy (rys. 11).



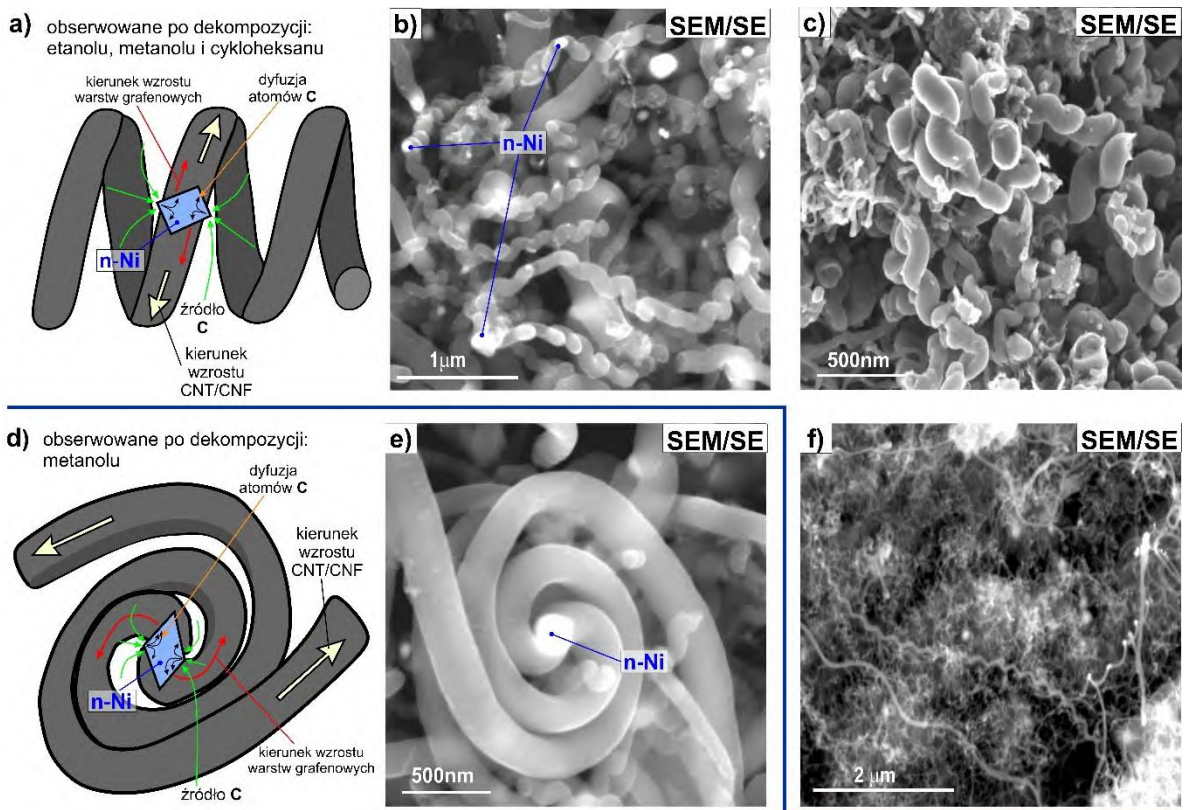
Rys. 11. Propozycja modelowego ujęcia graficznego mieszanego mechanizmu wzrostu – korzeniowego i końcówkowego wzrostu nanostruktur typu CNT w depozycie powstałym na powierzchni taśmy - katalizatora Ni_3Al po dekompozycji DMMP – a) oraz morfologia depozytu produktów stałych powstałego w efekcie dekompozycji DMMP – b,c) (zaznaczone na rys.11c obszary wskazują lokalizację przypadków wydzielania pary wodnej z nanoobjętości tlenku P_2O_5 w efekcie oddziaływania wiązki elektronów w czasie obserwacji SEM) (opis w tekście; źródło: Monografia)

- **dwukierunkowy wzrost typu korzeniowego** będący odpowiednikiem opisywanego w literaturze „**rooth-growth**” – polega natomiast na jednoczesnym wydzielaniu na uprzywilejowanych krystalograficznie powierzchniach aktywnej katalitycznie cząstki n-Ni atomów węgla tworzących warstwy grafenowe w strukturze nanoformy węglowej, wzrastającej od tej cząstki, w dwóch przeciwnych kierunkach (rys. 12, 13). Uwzględniając cechy morfologiczne CNT/CNF uzyskanych w efekcie wzrostu dwukierunkowego można w tej kategorii wskazać specyficzne podtypy nanoform węglowych wykazujących:
 - symetryczny wzrost warstw grafenowych na powierzchniach tworzących (poboczny) osiowo-symetrycznej nanocząstki Ni, skutkujący powstawaniem prostoliniowych odcinków nanowłókien o budowie jodełko-podobnej (dla etanolu i metanolu) lub płytkowej (p-CNF – dla cykloheksanu), które wzrastają odśrodkowo w wyniku zasilania procesu wzrostu atomami węgla wydzielanymi z przesyconego roztworu Ni(C) na powierzchniach bocznych centralnie ułożonej cząstki n-Ni (rys. 12a-f),
 - niesymetryczny wzrost zakrzywionych odcinków CNT/CNF w wyniku różnej prędkości wydzielania warstw grafenowych, stanowiącej konsekwencję częściowego ograniczenia dostępu atmosfery reakcyjnej do środkowej strefy powierzchni cząstki odpowiedzialnej za adsorpcję atomów węgla (rys. 12g-i) – w konsekwencji, widoczna na rys. 12g część dolna cząstki Ni nie uczestniczy w procesie adsorpcji węgla, a zasadniczy wzrost i wydzielanie warstw grafenowych odbywa się po stronie odsoniętego fragmentu powierzchni n – Ni (rys. 12g),



Rys. 12. Propozycja modelowego ujęcia graficznego przypadków mechanizmu dwukierunkowego wzrostu struktur typu CNF/CNT w depozycie w składzie warstwy powierzchniowej taśmy - katalizatora Ni_3Al – a,d,g) oraz morfologia SEM/SE depozytu powstałego w efekcie dekompozycji: etanolu – b,c,h,i), cykloheksanu – e,f (opis w tekście; źródło: na podst. Monografii)

- skośnie symetryczny wzrost warstw grafenowych prowadzący do powstania spiralnych nanorurek/nanowłókien węglowych HMWCNT, podczas którego nierównomierny rozkład centrów aktywnych prowadzi do zaburzenia prędkości wydzielania warstw grafenowych na ściankach n-Ni, przez co kierunek wzrostu nanoformy odtwarza linię spiralną w układzie przestrzennym (rys. 13a-f) lub płaskim (rys. 13d,e).



Rys. 13. Propozycja modelowego ujęcia graficznego przypadków mechanizmu dwukierunkowego wzrostu struktur typu CNF/CNT w depozycie w składzie warstwy powierzchniowej taśmy - katalizatora Ni_3Al – a,d) oraz morfologia SEM/SE depozytu powstałego w efekcie dekompozycji: etanolu – b), metanolu – c,e) i cykloheksanu – f) (opis w tekście; źródło: na podst. Monografii)

Istotny wzrost podaży tlenu, jaki wystąpił w warunkach dezaktywacji toluenu w mieszaninie z powietrzem ($U_{O_2} \geq 140$) wpływa zarówno na odmienny przebieg transformacji fazowo-strukturalnej WW taśmy - katalizatora Ni_3Al jak i na zmianę mechanizmu dekompozycji tego związku chemicznego w kierunku jego spalania (z finalnym brakiem depozytu węglowego po procesie dezaktywacji toluenu w powietrzu). Zaznaczyć jednak należy, że stężenie tego węglowodoru, jako nośnika atomów węgla, było porównywalne do stężenia testowanych w mieszaninie z argonem etanolu, metanolu i DMMP, a jednocześnie o jeden rząd wielkości mniejsze niż w przypadku dezaktywowanego w powietrzu cykloheksanu.

Zgodnie z autorskim modelem modyfikacja warstwy powierzchniowej taśm - katalizatora Ni_3Al zachodząca w procesie dekompozycji toluenu w atmosferze powietrza rozpoczyna się od selektywnego oddziaływania atomów tlenu (z powietrza) i aluminium (ze strefy przypowierzchniowej materiału warstwy wierzchniej taśmy). Efektem tego oddziaływania jest powstanie, w strefie kontaktu atmosfery reakcyjnej z fizyczną powierzchnią odcinków taśmy - katalizatora, błonki pasywnej tlenku Al_2O_3 . Preferencyjne, na tym etapie reakcji termokatalitycznej, zarodkowanie i wzrost błonki tlenku Al_2O_3 względem potencjalnie konkurencyjnej reakcji utleniania niklu i powstawania tlenku NiO (rys. 14a,b) jest uzasadnione mniejszą (dla Al_2O_3 względem NiO) wartością standardowej energii swobodnej formowania tych tlenków (rys. 4 - odpowiednio: w temp. 600 °C: ok. -940 kJ/mol O_2 dla Al_2O_3 i ok. -335 kJ/mol O_2 dla NiO [97]).

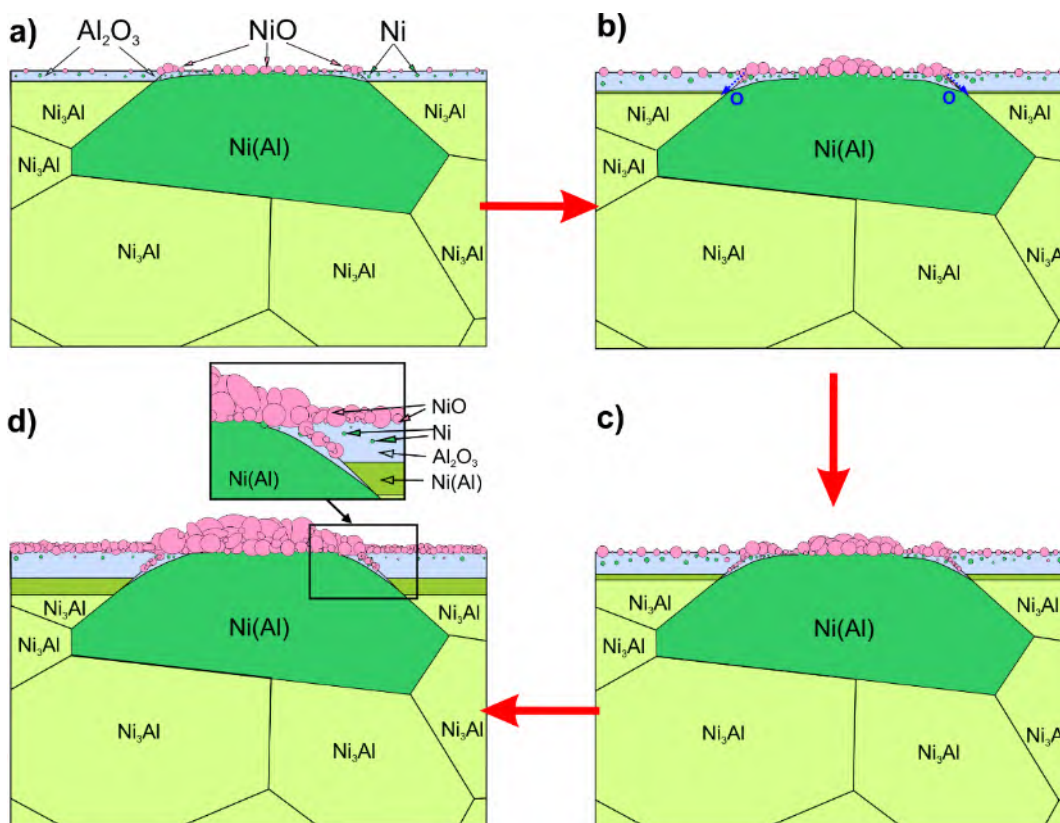
W efekcie stopniowego wzrostu grubości warstewki Al_2O_3 nasila się, omawiany już, efekt wzrostu objętości tego tlenku o ok. 30 % [55, 67] względem materiału warstwy wierzchniej katalizatora Ni_3Al , na którym ona powstaje. Przekłada się to na rosnący gradient naprężenia ściskającego w błonce tlenkowej i przyległej do niej strefie warstwy wierzchniej fragmentów taśmy – katalizatora (poziom naprężenia ściskającego sięga wartości 1 GPa [68]).

Jak wskazują autorzy prac [59 i 68], w takim gradientowym polu naprężeń wygenerowanych samoistnie w warstwie wierzchniej materiału katalizatora zachodzi przyspieszona dyfuzja atomów niklu ku powierzchni aktywnej katalitycznie, wspomagana niedoskonałościami struktury błonki Al_2O_3 (w postaci nieciągłości i defektów struktury krystalicznej). Wspomnianemu procesowi sprzyja także, zdecydowanie większy współczynnik dyfuzji niklu, względem aluminium, w osnowie badanego materiału, tj. fazie Ni_3Al [71].

Utworzone tym sposobem, w warstwie powierzchniowej cienkich taśm - katalizatora Ni_3Al , cząstki NiO (ściślej – strefy powstałych granic międzyfazowych $\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$) ułatwiają, zgodnie z M. Haerig'em, S. Hofmann'em [59], w kroku dalszym dyfuzję tlenu w głąb materiału warstwy wierzchniej taśmy, intensyfikując pogrubianie warstewki tlenku Al_2O_3 , a w konsekwencji także i strumień dyfuzji atomów Ni po defektach struktury ku aktywnej powierzchni katalizatora (rys. 14).

W efekcie, obserwowana jest wyraźna lokalizacja obszarów nasilonego formowania tlenku NiO w powiązaniu ze strefami ujścia granic ziaren faz γ i γ' na powierzchnię czynną – w bezpośredniej styczności katalizatora Ni_3Al z atmosferą reakcyjną. W budowie warstwy powierzchniowej katalizatora, przedstawionej w ujęciu modelowym (rys. 14) i udokumentowanej analitycznie (rys. 15) zostaje wyróżniony tlenek NiO , bezpośrednio „osadzony” na błonce tlenkowej Al_2O_3 . Lokalnie obserwowano (w badaniach HRTEM) obecność formy krystalicznej tlenku aluminium o odmianie polimorficznej γ - Al_2O_3 (rys. 6.112c – Monografia). Na taką identyfikację krystalograficzną tlenku Al_2O_3 wskazywano także w innych pracach, m.in. [59, 70, 152]. Ograniczona obecność (obok dominującego udziału formy amorficznej) postaci krystalicznej tego tlenku jest natomiast zbieżna z wynikami badań A. Venezia, C. Loxton'a [70], którzy wykazali (badając utlenianie stechiometrycznego stopu Ni_3Al przy obniżonym ciśnieniu), że początek procesu transformacji amorficznego tlenku aluminium $\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ następuje w temperaturze 600 °C⁴⁹.

⁴⁹ w warunkach ograniczonej ekspozycji tlenu tj. $8,16 \cdot 10^{-7}$ atm. x s



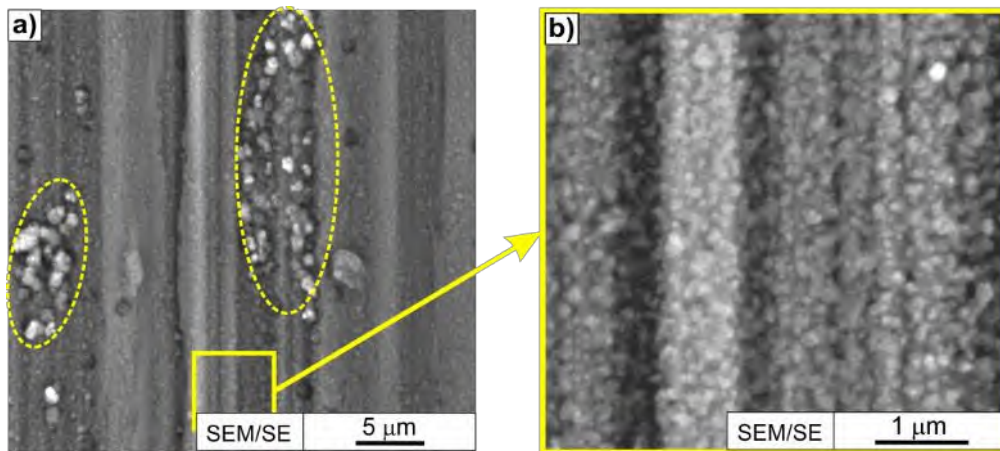
Rys. 14. Modelowe ujęcie graficzne zmian budowy fazowej i morfologii struktury w warstwie powierzchniowej taśmy – katalizatora Ni_3Al , powstałych w efekcie dekompozycji toluenu w mieszaninie z powietrzem (a-d: kolejne etapy rozwoju przemian, opis w tekście; źródło: Monografia)

Formowanie w warstwie powierzchniowej katalizatora Ni_3Al błonki tlenkowej Al_2O_3 prowadzi do lokalnego zubożenia w aluminium przyległej strefy warstwy wierzchniej taśmy (w kierunku do jej rdzenia), co z kolei skutkuje rozporządkowaniem sieci L_{12} fazy γ' , przebudowującej się dyfuzyjnie w (pokrewny parametrami krystalograficznymi) nieuporządkowany roztwór stały aluminium w sieci A1 niklu (fazę γ - $Ni(Al)$; w ujęciu modelowym - rys. 15b-d). Bezsporne istnienie tego roztworu potwierdziłem w badaniach własnych z wykorzystaniem zarówno EDS (rys. 6.110 - 6.111 - Monografia), dyfrakcji rentgenowskiej (rys. 6.114 - 6.116 - Monografia, jak i dyfrakcji elektronowej SAD tej strefy (obszar 1 na rys. 6.113a-c - Monografia).

Należy zauważyć, że obecność obszarów dwufazowych (γ / γ'), podobnie jak we wszystkich prezentowanych w Monografii przypadkach dekompozycji związków chemicznych, intensyfikuje formowanie zasadniczego - aktywnego katalitycznie czynnika strukturalnego - w omawianym przypadku - tlenku NiO (ujęcie modelowe - rys. 14, przykład dokumentacyjny - rys. 15). Podobny, uprzywilejowany proces powstawania tlenku niklu (II) w obszarach wzbogaconych w nikiel, wskazywali także M. Haerig i S. Hoffmann [59] badając stop Ni_3Al^{50} wykazujący, przed zasadniczym procesem utleniania, powierzchniową obecność tlenku Al_2O_3 i nanoobszarów niklu - jako efekt zamierzonego utleniania wstępnego zrealizowanego w warunkach obniżonej podaży tlenu. Zgodnie z propozycją autorów [59] formowanie NiO

⁵⁰ o składzie 76Ni-24Al-0,1B [%at.], poddany wcześniejszemu utlenianiu wstępnemu w warunkach obniżonej podaży tlenu

rozpoczyna się w pierwotnych obszarach n-Ni. Obecne w strukturze warstwy powierzchniowej katalizatora strefy nieciągłości tlenku Al_2O_3 (w tym granice ziaren Al_2O_3 , granice międzyfazowe $\text{NiO} / \text{Al}_2\text{O}_3$) stanowią uprzywilejowane drogi dyfuzji tlenu w głąb materiału, która skutkuje powstaniem wewnętrznej strefy utleniania złożonej z Al_2O_3 i wydzieleń Ni (rys. 14).



Rys. 15. Stan rozwinięcia geometrycznego i zróżnicowania fazowego (SEM/SE – widok w kierunku normalnym do powierzchni) warstwy powierzchniowej cienkiej taśmy - katalizatora Ni_3Al po dekompozycji toluenu w mieszaninie z powietrzem, w temperaturze $600\text{ }^\circ\text{C}$ przez okres 3 godzin

Propozycja kierunków dalszych prac

Uwzględniając wiedzę i doświadczenie technologiczno-badawcze jakie nabyłem w zakresie rozważanego problemu naukowego planuję realizację dalszych prac podstawowych i rozwojowych, ze szczególnym uwzględnieniem:

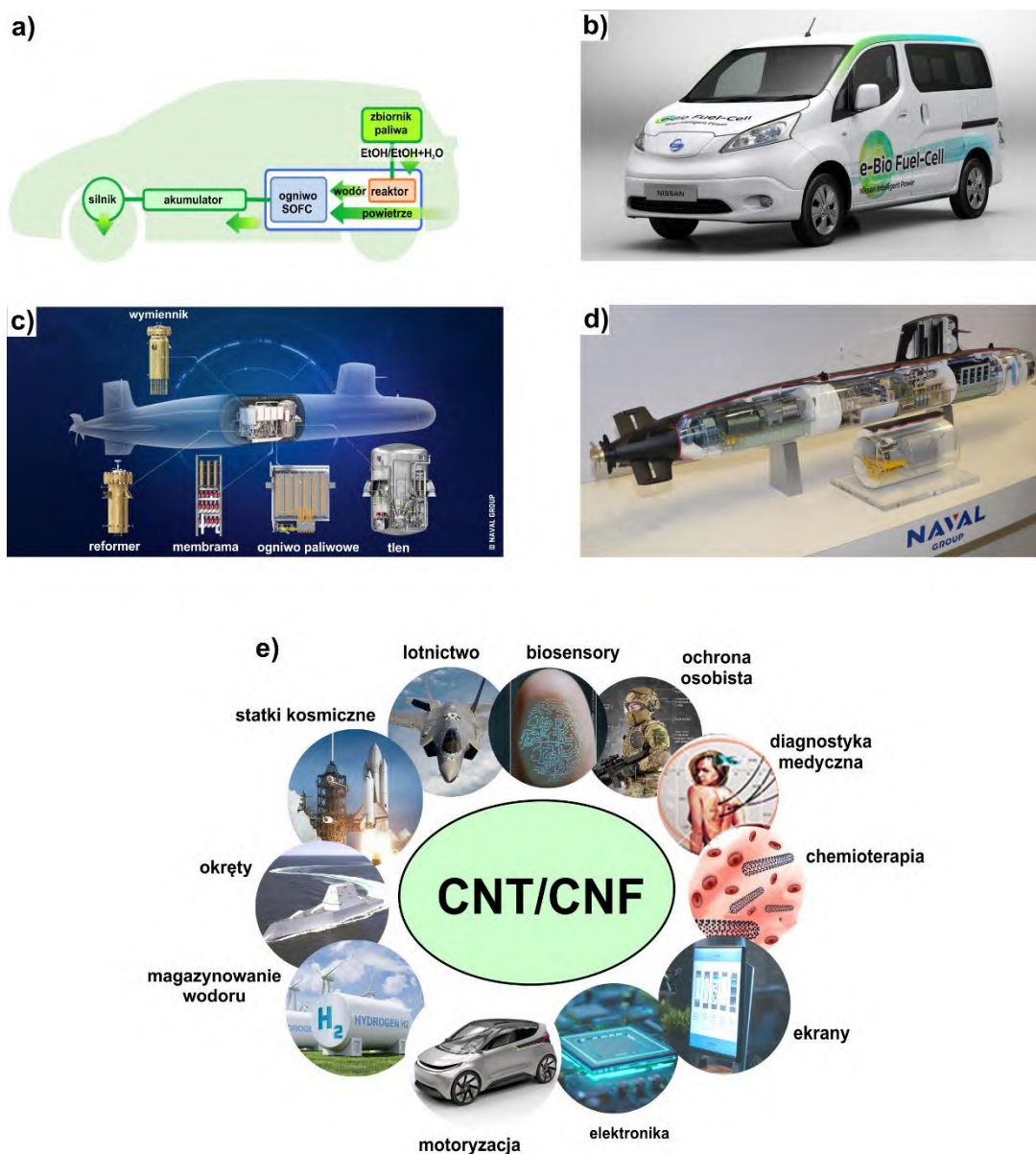
- wpływu odstępstwa od stechiometrii składu chemicznego i stanu uporządkowania bazowej fazy Ni_3Al , jako osnowy materiału katalizatora masywnego, zadawanego poprzez różny udział: (i) pierwiastków głównych Ni i Al (z konsekwencją różnej budowy fazowej), (ii) dodatków stopowych (w tym przede wszystkim: C, Zr, Cr);
- wpływu obecności defektów struktury krystalicznej w materiale katalizatora Ni_3Al , zadawanych poprzez: (iii) obróbkę plastyczną na zimno i kontrolowaną aktywację cieplną po odkształceniu plastycznym (w tym wpływu dyfuzji w polu naprężenia oraz w obecności różnych konfiguracji substruktury, także kształtującej się dynamicznie w procesie aktywacji i w trakcie użytkowania katalizatora), (iv) analizę i kształtowanie stanu granic ziaren w zakresie nano-, ultra- i mikrokryształicznym;
- doboru warunków procesowych (m.in. wyboru składu i parametrów przepływu mieszaniny reakcyjnej, temperatury procesu i schematu cykli cieplnych procesu), zapewniających wysoką aktywność katalityczną taśm-katalizatora Ni_3Al (i utrzymanie jej stabilności) w aspekcie: (v) „produkcji”/pozyskiwania wodoru, (vi) dezaktywacji/dopalania toksycznych substancji chemicznych;
- doboru warunków procesowych ukierunkowanych na efektywne i kontrolowane pozyskiwanie nanoform węglowych (p-CNF, MWCNT) o założonej morfologii, w tym (vii) określenie stabilności aktywności katalitycznej materiału złoża na bazie fazy Ni_3Al

w testach długookresowych dla wyselekcjonowanych stanów procesowych oraz (viii) uwzględnienie wpływu formy geometrycznej masywnego katalizatora Ni_3Al , o postaci luźnych fragmentów taśmy lub struktury przestrzennej typu „plaster miodu”.

Potencjalne, zarówno w bliższej perspektywie, jak i te przyszłościowe, obszary aplikacyjne dla efektów już wykonanych i planowanych badań i analiz aktywności katalitycznej cienkich taśm na osnowie fazy międzymetalicznej Ni_3Al obejmują:

- a)** pokładowe układy zasilania w energię elektryczną z wykorzystaniem wodoru jako nośnika energii, przy czym nośnik ten generowany jest w efekcie termokatalitycznej dekompozycji węglowodorów i ich pochodnych zachodzącej bezpośrednio – w czasie i na pokładzie pojazdu („on-line” i „on-board”);
 - zasilanie pojazdów mechanicznych – jako zasadnicze bądź dodatkowe źródło energii [627]– prace w tym obszarze prowadzi m.in.: Nissan [98, 99] (rys. 16a-b),
 - nowej generacji napędu okrętów podwodnych niezależnego od powietrza AIP (z ang. Air Independence Propulsion) – prace w tym zakresie prowadzone są aktualnie przez Naval Group (Francja) [630], DSME (Korea Południowa) [100] (rys. 16c-d),
- b)** układy oczyszczania powietrza z toksycznych środków chemicznych typu BŚT, TŚP (także utylizację zasobów takich substancji) i/lub szkodliwych czynników biologicznych w: schronach, centrach dowodzenia, szpitalach, archiwach i innych obiektach użyteczności publicznej [7, 45, 46];
- c)** wytwarzanie nanoform węglowych o założonej morfologii warunkującej ich właściwości i zastosowanie⁵¹ (np. c-MWCNT o wysokich parametrach wytrzymałościowych, p-CNT o wysokiej zdolności sorpcji, np. wodoru), w tym także obróbka termiczna nanoform węgla ukierunkowana na poprawę doskonałości atomowej w heksagonalnej sieci wiązań C-C tworzących CNT/CNF (rys. 16e).

⁵¹ szerzej – Monografia, podrozdział 2.3



Rys.16. Przykładowe obszary aplikacji taśm – katalizatora Ni_3Al : układy generowania energii elektrycznej „on-board”: a, b) w pojazdach mechanicznych - schemat poglądowy (a) i poddawany testom samochód (b); c, d) AIP łodzi podwodnej – schemat układu AIP II generacji typu FC2G (Francja - Naval Group) -c) i model planowanego do budowy okrętu z układem FC2G – d) oraz propozycje aplikacji nanostruktur węglowych typu CNT/CNF - e) (źródło: Monografia na podst. [158 - 164, 176])

Wymienione zamierzenia i obszary badawcze są moim zdaniem kluczowe dla osiągnięcia postępu i finalizacji wdrożenia koncepcji masywnych katalizatorów heterogenicznych w postaci struktur przestrzennych typu „plaster miodu” uformowanych z cienkich taśm na osnwie fazy międzymetalicznej Ni_3Al .

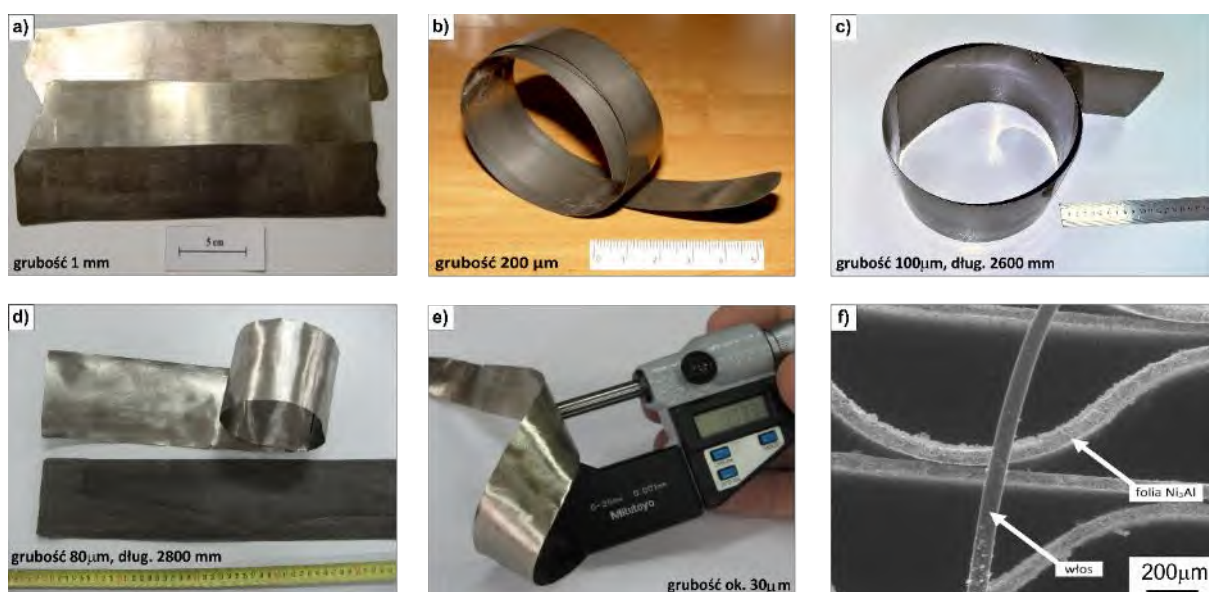
4.2. Zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne (zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2c ustawy)

„Opracowanie i rozwój technologii wytwarzania i przetwarzania stopów intermetalicznych na osnowie fazy międzymetalicznej Ni_3Al ”

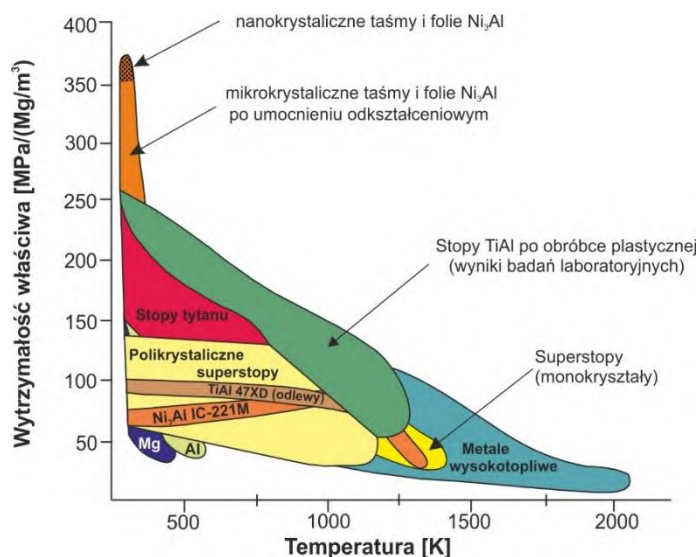
„...mała plastyczność i skłonność do kruchego pęknięcia stanowią istotną przeszkodę do przemysłowego wykorzystania stopów Ni_3Al ...” – to, podnoszone często w literaturze przedmiotu, stwierdzenie definiujące główne wady tych tworzyw, stało się motywacją do podjęcia przeze mnie, pod kierunkiem prof. Z. Bojara, już w okresie studiów magisterskich prac nad uplastycznieniem tych materiałów, kontynuowanych po opracowaniu technologii wytwarzania tych materiałów pod moim kierownictwem.

Należy zauważyć, że aktualnie istnieją dwie metody wytwarzania w skali laboratoryjnej cienkich folii ze stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni_3Al . Pierwsza, bazująca na krystalizacji kierunkowej i odkształceniu plastycznym jest efektem prac działającej do niedawna *Ni_3Al thin foils group*, obejmującej National Institute for Materials Science NIMS (Japonia), Oak Ridge National Laboratory (USA), Max-Planck Institute für Eisenforschung (Niemcy), Oregon State University [101-104] – obecnie prace nad tym materiałem prowadzone są głównie w NIMS.

Druga propozycja wytwarzania cienkich taśm (folii) Ni_3Al to opracowana przez zespół naukowo-badawczy Katedry Zaawansowanych Materiałów i Technologii/ aktualnie - Instytutu Inżynierii Materiałowej WAT z moim wiodącym współudziałem, pod kierunkiem prof. Z. Bojara, technologia oparta o kontrolowane odkształcenie plastyczne „klasycznie” odlewanych stopów, bez konieczności stosowania kosztownego i czasochłonnego procesu krystalizacji kierunkowej. Metoda ta umożliwia uzyskanie finalnego produktu – taśm / folii – o grubości nawet poniżej $50\ \mu\text{m}$, szerokości do 100 mm i długości do 2800 mm (rys. 18) wykazującego znacznie większą (niż w przypadku półfabrykatu po krystalizacji kierunkowej) plastyczność i istotnie lepsze parametry wytrzymałościowe (rys. 19).



Rys. 18. Przykładowe obrazy taśm i folii ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni_3Al uzyskane przeze mnie zgodnie z autorską technologią opracowaną w WAT (źródło: Monografia)



Rys. 19. Wykres wytrzymałości właściwej wybranych stopów konstrukcyjnych, z naniesionymi danymi dla taśm Ni_3Al o budowie mikro-/nanokrystalicznej, otrzymanych zgodnie z technologią opracowaną w WAT

Istota opracowanej w WAT technologii wytwarzania taśm ze stopów Ni-Al zawarta została w czterech przyznanych patentach⁵² dotyczących taśm/folii o strukturze osnowy (fazy γ') wykazującej budowę:

a) mikrokrystaliczną (rys. 20):

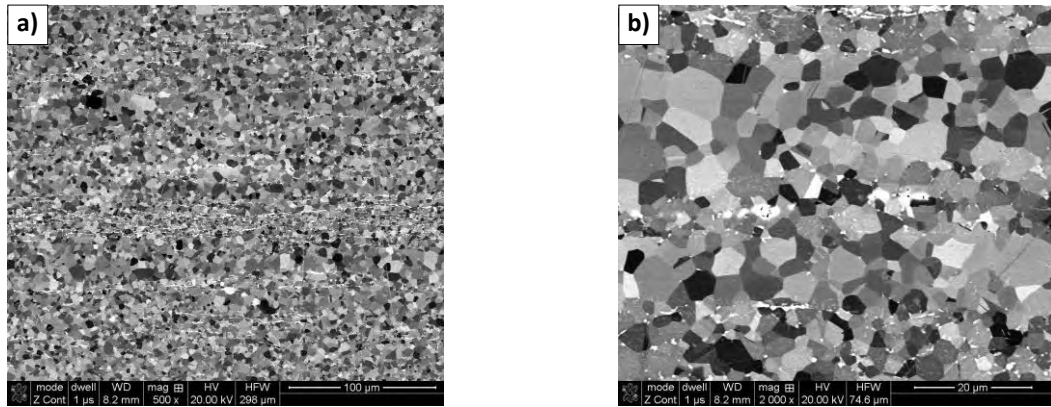
- Z. Bojar, P. Józwick, *Sposób wytwarzania mikrokrystalicznych, plastycznych w temperaturze pokojowej taśm z jedno i dwufazowych stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni_3Al* , patent nr 209444 z 16.06.2005 r. - mój udział 50%

Zrealizowane przeze mnie prace obejmowały udział w: opracowaniu koncepcji technologii uplastycznienia stopów Ni_3Al , jej doświadczalnej weryfikacji na drodze kontrolowanej, wielowariantowej, obróbki plastycznej i cieplnej oraz w opracowaniu dokumentacji patentowej.

- Z. Bojar, P. Józwick, *Sposób kształtowania parametrów wytrzymałościowych wysokowytrzymałych taśm ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni_3Al o wysokiej wytrzymałości*, patent nr 205660 z 21.07.2005 r. - mój udział 50%

Zrealizowane przeze mnie prace obejmowały udział w: opracowaniu założeń kształtowania parametrów wytrzymałościowych taśm Ni_3Al , ich doświadczalnej weryfikacji na drodze kontrolowanej obróbki plastycznej i/lub cieplnej oraz w formułowaniu dokumentacji patentowej.

⁵² stosowne oświadczenia autorów wskazanych patentów zostały zamieszczone jako Załącznik nr 1



Rys. 20. Przykładowe obrazy SEM/BSE cienkiej taśmy ze stopu Ni_3Al o budowie mikrokrystalicznej uzyskanej zgodnie z opracowaną technologią (opis w tekście)

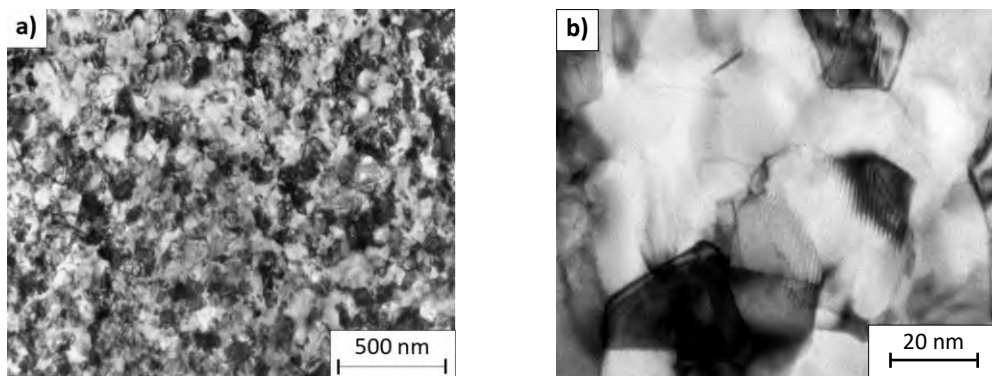
b) nanokrystaliczną (rys. 21)

- Z. Bojar, P. Józwik, J. Bystrzycki, *Sposób wytwarzania nanokrystalicznych taśm ze stopów na podstawie fazy międzymetalicznej Ni_3Al* , patent nr 215410 z 01.08.2005 r. - mój udział 30%

Przeprowadzone przeze mnie prace obejmowały udział w opracowaniu koncepcji wytwarzania nanokrystalicznych stopów Ni_3Al , doświadczalnej jej weryfikacji na drodze kontrolowanej obróbki plastycznej (realizowanej w obniżonej temperaturze) i cieplnej oraz w przygotowaniu dokumentacji patentowej.

- Z. Bojar, P. Józwik *Sposób kształtowania parametrów wytrzymałościowych nanokrystalicznych taśm ze stopów na podstawie fazy międzymetalicznej Ni_3Al* , patent nr 215424 z 02.08.2005 r. - mój udział 50%

Zrealizowane przeze mnie prace obejmowały udział w opracowaniu koncepcji kształtowania parametrów wytrzymałościowych nanokrystalicznych taśm Ni_3Al , jej doświadczalnej weryfikacji na drodze kontrolowanej obróbki plastycznej oraz w przygotowaniu dokumentacji patentowej.



Rys. 21. Przykładowe obrazy TEM/BF cienkiej taśmy ze stopu Ni_3Al o budowie nanokrystalicznej uzyskanej zgodnie z opracowaną technologią (opis w tekście)

W aspekcie weryfikacji podatności do odkształcenia plastycznego taśm i folii Ni_3Al – materiału potencjalnie uznawanego za kruchy – przeprowadzono pod moim kierunkiem testy odkształcalności przy zginaniu (zgodnie z normą PN-EN ISO 7438). Dodatkowo, jako materiał odniesienia, zastosowano „klasyczne” materiały plastyczne tj. stop aluminium do przeróbki plastycznej AW-5251 i stal węglową zwykłej jakości S235JR. Uzyskane wyniki

wykazały podatność badanych taśm i folii Ni₃Al do odkształcenia plastycznego (temp. pokojowa, atm. powietrza) porównywalną z zastosowanymi materiałami odniesienia (tab.1).

Tab.1. Zestawienie wyników badań podatności taśm i folii Ni₃Al do odkształcenia plastycznego przy zginaniu (wartości średnie na podstawie wyników z pięciu próbek)

Materiał	Przykładowy obraz naroża zgiętej próbki	Uwagi
Stop Ni₃Al (Zr, B) (wielkość ziarna ok. 5μm)		brak oznak pęknięć
Stop Ni₃Al (Zr, B) (wielkość ziarna ok. 40μm)		brak oznak pęknięć
AW-5251 (w stanie wyżarzonym)		brak oznak pęknięć
S235JR (w stanie wyżarzonym)		brak oznak pęknięć

Należy zauważyć, że opracowana w WAT, uznana za innowacyjną, zarówno przez opiniodawców licznych projektów zespołu z okresu 2004-2018 (min. [22, 23, 105-115]) jak i kapituł konkursowych na międzynarodowych wystawach wynalazczości⁵³ technologia wytwarzania i przetwarzania stopów na osnowie faz międzymetalicznych Ni₃Al zapewnia szerokie możliwości kształtowania struktury i właściwości tych trudnoobrabialnych tworzyw na drodze kontrolowanej przeróbki plastycznej i procesów aktywowanych cieplnie (silne odkształcenie plastyczne przez precyzyjnie sterowane walcowanie, w tym w obniżonej temperaturze, opracowane mapy odkształcenia plastycznego i rekrytalizacji). W efekcie uzyskuje się kontrolowane rozdrobnienie ziarna aż do poziomu nanostruktury (rys. 20, 21) oraz szerokie możliwości wyboru stanu struktury, wytrzymałości, podatności plastycznej i sztywności, a więc materiał o istotnie wyższych parametrach wytrzymałościowych

⁵³ m.in.: złoty medal (trzykrotnie) na Międzynarodowej Wystawie Wynalazczości *Innowacje*, Gdańsk 2005, 58 Światowych Targach Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Techniki *Brussels INNOVA 2009*, 111 Międzynarodowych Targach Wynalazczości *CONCOURS LEPINE* 2012, Paryż ; srebrny medal (dwukrotnie) na 54 Światowej Wystawie Wynalazków, Badań Naukowych i Nowoczesnej Techniki *Brussels Eureka-2005*, 65 Międzynarodowych Targach Wynalazczości *iENA* 2013, Norymberga; brązowy medal (jednokrotnie) na światowych targach wynalazczości *International Invention Fair* 2014, Seul.

w odniesieniu do innych aktualnie stosowanych specjalnych stopów inżynierskich (rys. 19). Spośród wielu przeprowadzonych z moim udziałem eksperymentów na uwagę zasługuje walcowanie w temperaturze ciekłego azotu, połączone z krótkotrwałym niskotemperaturowym wygrzewaniem. Obniżenie temperatury odkształcania prowadzi do zahamowania zjawisk dynamicznej anihilacji defektów sieciowych (wakansów, dyslokacji), co z kolei skutkuje kumulacją bardzo wysokiej wartości energii odkształcenia. W konsekwencji, podczas późniejszego krótkotrwałego, względnie niskotemperaturowego wygrzewania, zachodzi proces rekrytalizacji statycznej, który przebiega w warunkach bardzo dużej szybkości zarodkowania i zapewnia rozdrobnienie ziarna do poziomu nanometrycznego, o ekstremalnie wysokich parametrach wytrzymałościowych tj. $R_m \approx 2900$ MPa, $R_e \approx 2600$ MPa (temp. pokojowa, atm. pow.).

Należy odnotować, że osiągnięcie to było na tyle istotne, że zostało zaprezentowane w pierwszym, otwierającym tomie (zatytułowanym: *Nanomaterials Change the World*), wielotomowej publikacji opisującej osiągnięcia polskich naukowców, wydanej z okazji Wystawy Osiągnięć Nauki Polskiej MSE`07 podczas EUROMAT 2007 (ISBN 978-83-61100-04-1), Norymberga 2007 r.

Prace nad dyskutowaną technologią wytwarzania taśm/folii Ni_3Al zaowocowały jej rozwojem od skali laboratoryjnej do pilotażowego wytwarzania ciekich taśm/folii Ni_3Al ze stopniowo rozszerzaną infrastrukturą i oprzyrządowaniem. Wymienić w tym obszarze należy realizowane z moim znaczącym udziałem m.in.: wdrożenie do praktyki laboratoryjnej zestawu walcowniczego typu sexto dedykowanego do obróbki materiałów trudnoodkształcanych (rys. 22a), wprowadzenie do procesu walcowania wzdłużnego dodatkowego naprężenia rozciągającego (tj. naciągu i przeciwnaciągu – rys. 22b) oraz uchwytu do ograniczenia asymetrii blach/taśm/pasów walcowniczych (rys. 22c).



Rys. 22. Stanowisko do realizacji kontrolowanej obróbki plastycznej materiałów metalicznych o ograniczonej podatności do odkształcenia plastycznego: a) walcarka sexto (widok ogólny), b) w czasie walcowania z wykorzystaniem przeciwnaciągu, c) uchwyt do ograniczenia asymetrii blach/taśm/pasów walcowniczych

Uzyskany w efekcie zrealizowanych prac półfabrykat - taśmy/folie Ni_3Al - wykazują ściśle kontrolowane parametry (przewyższające stosowane aktualnie materiały „klasyczne”) z ukierunkowaniem na szeroki zakres aplikacji – począwszy od masywnych **elementów konstrukcyjnych** po **elementy funkcjonalne**.

W obszarze aplikacji taśm i folii Ni_3Al na **elementy konstrukcyjne**, dyskutowana technologia umożliwia kształtowanie parametrów wytrzymałościowych taśm i folii Ni_3Al o wysokiej wytrzymałości dla uzyskania trzech alternatywnych stanów materiałowych, tj.: „**twardy-podatny plastycznie**”, „**twardy**” i „**ekstra twardy**”, wykazujących zróżnicowany poziom parametrów wytrzymałościowych (R_e , R_m , wydłużenie) badanych w statycznej próbie rozciągania (temp. pokojowa, atm. powietrza) (rys.23).

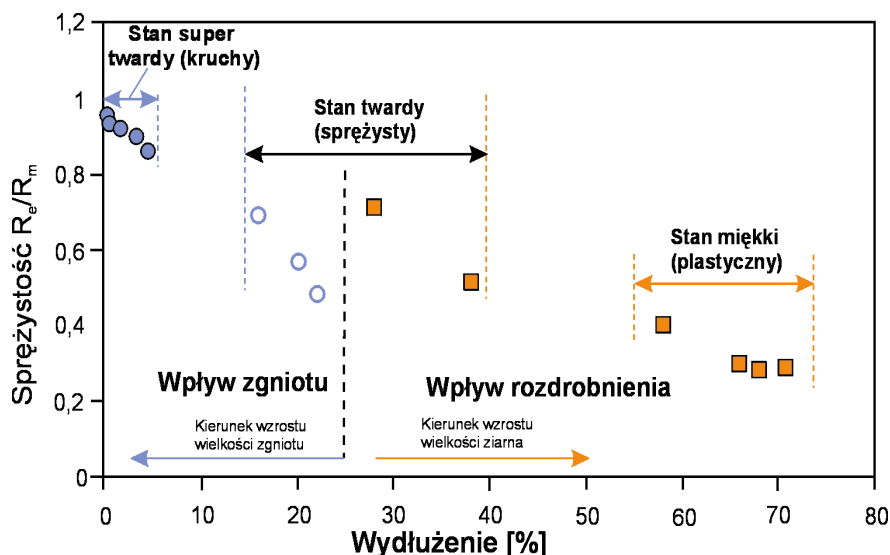
Taśmy/folie w stanie „**twardym – podatny plastycznie**” będącym wynikiem rozdrobnienia mikrostruktury do wielkości ziarna fazy γ' poniżej $5 \mu m$, wykazują granicę plastyczności co najmniej 700 MPa, wytrzymałość na rozciąganie co najmniej 1400 MPa i wydłużenie trwałe nie mniejsze niż 20%.

Stan „**twardy**” taśm/folii jest otrzymany poprzez umocnienie odkształceniowe na drodze walcowania na zimno do gniotu nie większego niż 10%. Stop w tym stanie wykazuje granicę plastyczności co najmniej 850 MPa, wytrzymałość na rozciąganie co najmniej 1500 MPa i wydłużenie trwałe nie mniejsze niż 10%.

Stan „**ekstra twardy**” taśm/folii jest otrzymywany natomiast poprzez:

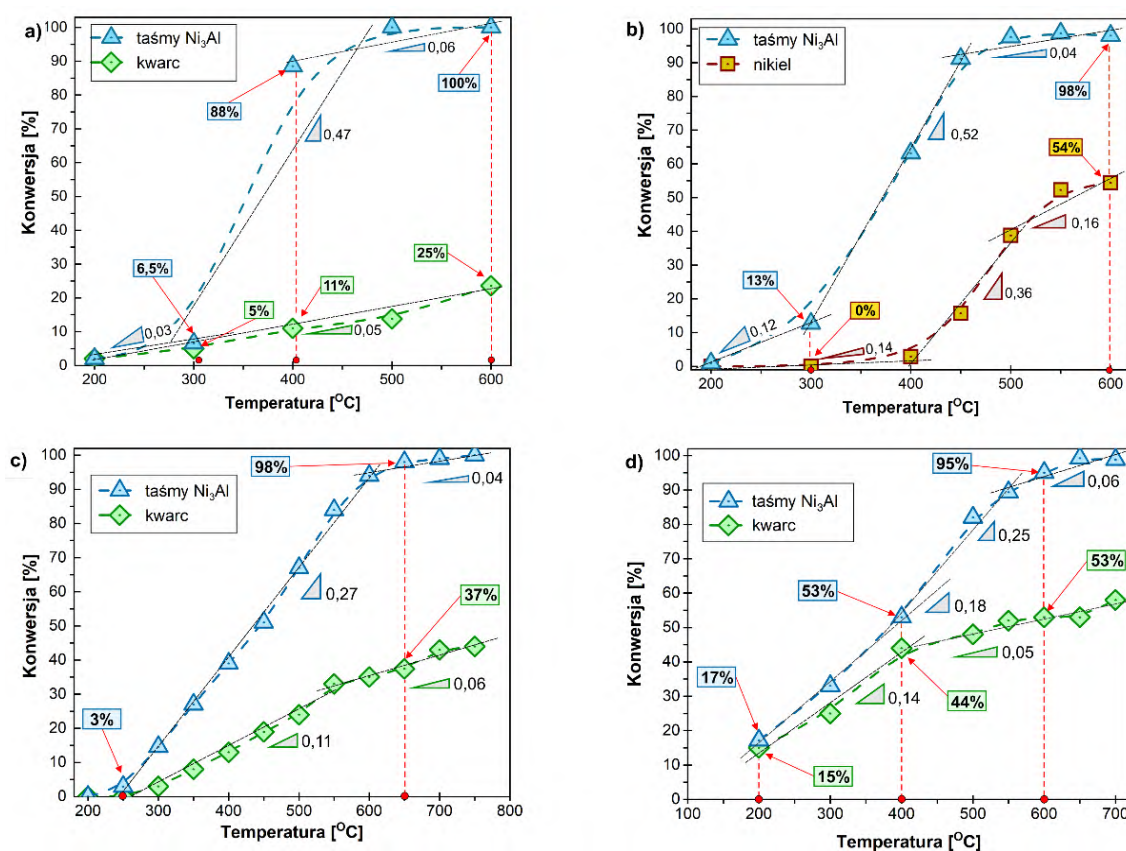
- umocnienie odkształceniowe na drodze walcowania na zimno (bez wygrzewania międzyoperacyjnego), do gniotu całkowitego ponad 10% półfabrykatu w postaci mikrokrystalicznej, plastycznej w temperaturze otoczenia taśmy lub półfabrykatu w stanie po odlewaniu, bądź:
- walcowanie w temperaturze poniżej temperatury pokojowej a następnie wygrzewanie aż do uzyskania struktury nanokrystalicznej.

Taśmy i folie Ni_3Al w stanie „**ekstra twardy**”, wykazują granicę plastyczności co najmniej (stosownie do wariantu wytworzenia): 1450 MPa lub 2500 MPa, wytrzymałość na rozciąganie co najmniej (odpowiednio, jak wyżej): 1700 MPa lub 2800 MPa oraz mieralne wydłużenie trwałe nie mniejsze niż (odpowiednio, jak wyżej): 0,1 % i 3 % (rys.23).



Rys. 23. Możliwości oddziaływania na sprężystość i plastyczność poprzez umocnienie zgniotem lub granicami ziaren taśm i folii ze stopu intermetalicznego Ni_3Al

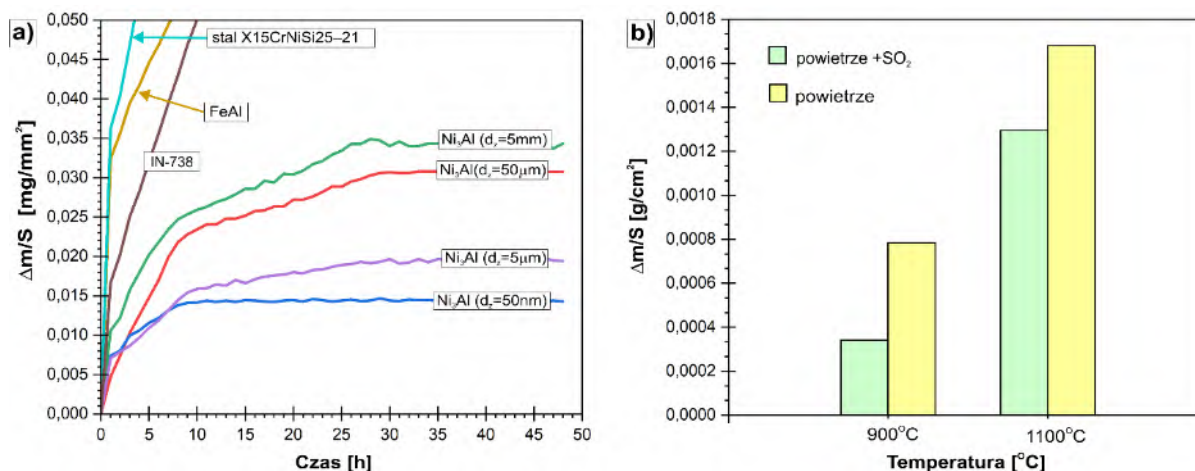
Z kolei taśmy i folie z intermetalicznego stopu Ni_3Al dedykowane na elementy funkcjonalne poddano doświadczalnej weryfikacji obejmującej m.in.: testowanie ich aktywności w procesie termokatalitycznego rozkładu związków chemicznych, w tym toksycznych środków przemysłowych (cykloheksanu, toluenu, ksyleny, heksanu, acetonu), bojowych środków trujących (chloropikryny a także sarinu i iperytu siarkowego oraz ich imitatorów), a także rozkładu węglowodorów i ich pochodnych (m.in. etanol, metanol, heksan, toluen, metan) w aspekcie wytwarzania nanostruktur węglowych/produkcji wodoru – ten obszar badawczy rozwinięty został szerzej w autorskiej monografii naukowej „*Stabilność strukturalna warstwy powierzchniowej cienkich taśm Ni_3Al w przykładowych procesach termokatalitycznej dekompozycji substancji chemicznych*” – stanowiącej moje główne osiągnięcie naukowe.



Rys. 24. Przykładowe wyniki konwersji wybranych związków chemicznych: a) etanolu (argon cz.d.a.), b) metanolu (argon cz.d.a.), c) DMMP (argon techn.), d) cykloheksanu (powietrze) (źródło: Monografia)

Przeprowadzone badania potwierdziły wysoki potencjał aplikacyjny opracowanych z moim udziałem i modyfikowanych, w późniejszym okresie, już pod moim kierownictwem, taśm i folii Ni_3Al . Stwierdzono m.in. zdecydowanie lepszą, względem „klasycznych” odpowiedników (tj. nadstopu IN-738, stali X15CrNiSi25–21) i stopu intermetalicznego FeAl, odporność tych materiałów na oddziaływanie korozji wysokotemperaturowej (atm. powietrza, temp. 900, 1000 i 1100 °C) (rys. 25a). Wykazano również wysoką stabilność strukturalną tych materiałów o strukturze mikro-, nano- i ultra- drobnoziarnistej.

Przeprowadzone prace [116-118] wykazały ponadto istotny wpływ obecności granic ziaren na żaroodporność badanego materiału, które jako drogi ułatwionej dyfuzji przyspieszają konstyтуowanie się zwartej, powierzchniowej warstewki tlenków (Al_2O_3 i NiO). W konsekwencji, najlepszą żaroodporność wykazały taśmy Ni_3Al o budowie nanoziarnowej (o średnim rozmiarze ziarna fazy γ' - Ni_3Al $d_z < 50 \text{ nm}$), najgorszą zaś - materiały grubokrystaliczne ($d_z > 50 \mu\text{m}$) (rys. 24a) [23]. Inne badania, realizowane w powietrzu z udziałem dwutlenku siarki SO_2 (temp. 900 i 1100 °C) wykazały także i w tych warunkach środowiskowych odporność korozyjną tego materiału (rys. 25b).



Rys. 25. Przykładowe wyniki badań odporności na korozję suchą w atmosferze powietrza - a) oraz z dodatkowym udziałem SO_2 - b) (opracowanie graf. autora na podst.: a) [23], b) [176])

Badania stopów Ni_3Al w testach korozji elektrochemicznej potwierdziły z kolei wysoką odporność korozyjną tych materiałów, wykazujących samoistną regenerację uszkodzonej, powierzchniowej warstwy pasywnej (bez inicjacji wżerów). Obliczona szybkość korozji stopu Ni_3Al badanego w pracy [119] w 0,5M roztworze NaOH wyniosła ok. $2,8 \cdot 10^{-3} \cdot \text{mm rok}^{-1}$.

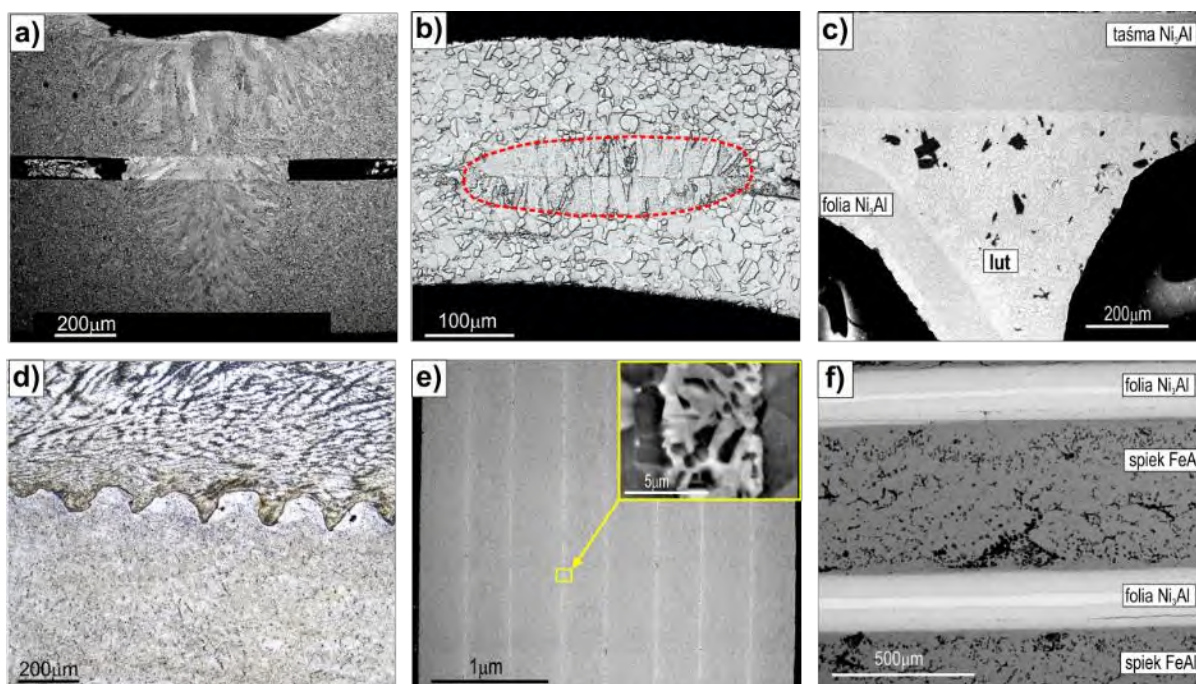
Pod moim kierunkiem zrealizowane zostały także próby technologiczne ukierunkowane na uzyskanie trwałych połączeń z wykorzystaniem spajania termicznego, m.in. metodą TIG, wiązką laserową (rys. 26a), zgrzewanie oporowe (rys. 26b), lutowanie twarde (rys. 26c) [120-122], zgrzewanie wybuchowe [122-124] (rys. 26d,e) a także spajanie z udziałem reakcji SHS (rys. 26f) [125].

Prace w tym obszarze, podjęte pod moim kierunkiem, zaowocowały zgłoszeniem patentowym⁵⁴:

- P. Józwik, Z. Bojar: *Sposób poprawy parametrów wytrzymałościowych złączy ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni_3Al* , P.444165 z 23.03.2023r (mój udział 60%).

Przeprowadzone przeze mnie prace obejmowały udział w: opracowaniu koncepcji poprawy parametrów wytrzymałościowych złączy ze stopów na osnowie fazy Ni_3Al , doświadczalnej jej weryfikacji oraz przygotowaniu dokumentacji patentowej.

⁵⁴ stosowne oświadczenia autorów wskazanego zgłoszenia patentowego zostały zamieszczone w załączniku nr 1



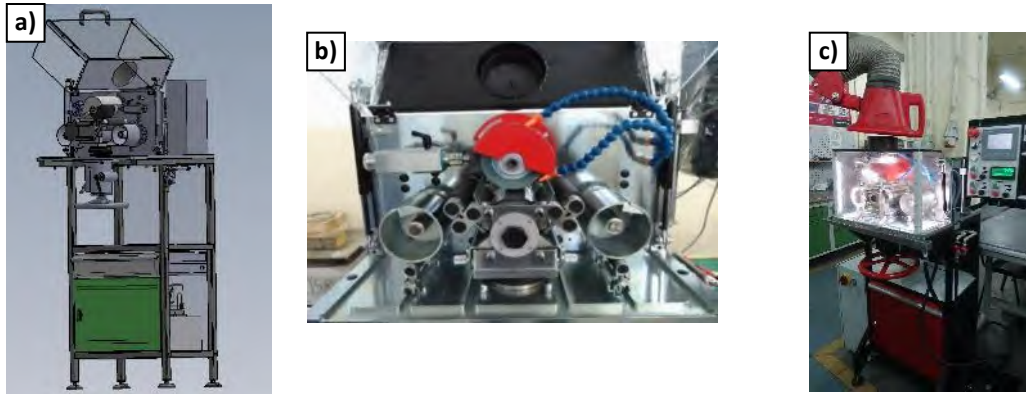
Rys. 26. Przykładowe obrazy złączy taśm i folii Ni_3Al wykonanych za pomocą: a) spawania CO_2 , b) zgrzewania oporowego c) lutowania twardego, d,e) zgrzewania wybuchowego, f) zgrzewania z udziałem reakcji SHS (wyniki badań uzyskane z udziałem autora, źródło: Monografia)

Zamkniętym etapem rozwoju technologii przetwarzania taśm/folii Ni_3Al realizowanego pod moim kierunkiem jest opracowanie kompletnej⁵⁵ technologii wytwarzania struktur przestrzennych (typu „plaster miodu”) z taśm/folii metalicznych (w tym ze stopów Ni_3Al). Należy podkreślić, że implementacja tej technologii do praktyki laboratoryjnej dotyczyła nie tylko metod, technik czy operacji ale także, ze względu na brak wymaganych urządzeń na rynku - zaprojektowania i wykonania nowych rozwiązań stanowiących w każdym z prezentowanych poniżej przypadków autorskie osiągnięcie konstrukcyjne znacznie wzbogacające bazę naukowo-technologiczną zespołu Materiałów Konstrukcyjnych, którym aktualnie kieruję. W skład tej bazy wchodzi:

a) szlifierka do usuwania powierzchniowej warstwy pasywnej z taśm/folii Ni_3Al (rys. 27)

Powstawanie w czasie procesu wytwarzania taśm Ni_3Al powierzchniowej warstwy pasywnej (inertnej w procesie termokatalizy) wymusiło konieczność jej usuwania. Ze względu na brak dostępności na rynku urządzeń rozwiązujących ten problem zespół pod moim kierunkiem zaprojektował i nadzorował wykonanie szlifierki. Ze względu na małą grubość taśm/folii (tj. $<100\mu m$), wysoką ich odporność na ścieranie, jak również możliwe odstępstwa od prostoliniowego zarysu zastosowano m.in.: regulowaną płynnie prędkość obrotową tarczy, narzędzia robocze w dwóch wariantach (tarcza listkowa lub tarcza nasypowa), obrotowy stolik roboczy, możliwość pracy na sucho (obudowa i otwór do podłączenia instalacji wyciągowej) i mokro (chłodzenie w obiegu zamkniętym) itp.

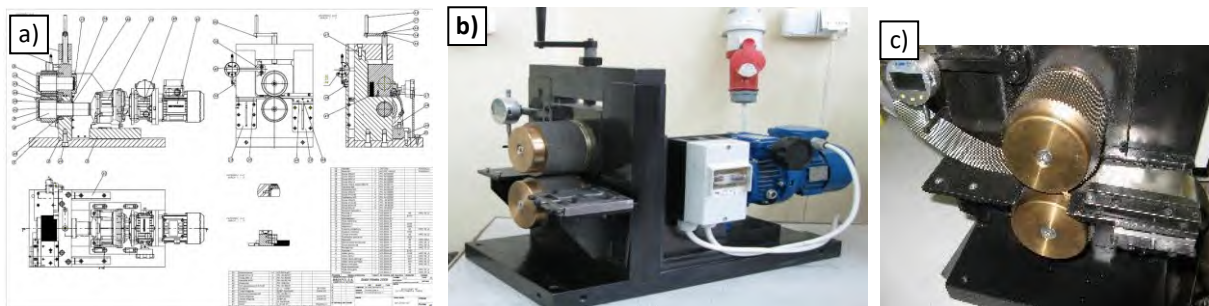
⁵⁵ tj. obejmującej proces od materiału w formie wlewka do finalnej postaci struktury o wysokorozwiniętej powierzchni typu „plaster miodu”



Rys.27. Autorska szlifierka do usuwania z powierzchni metalicznych taśm/folii warstwy pasywnej: a) model, b) widok ogólny oraz c) w czasie szlifowania cienkich taśm Ni_3Al

b) urządzenie do kształtowania plastycznego metalicznych taśm/folii do postaci sinusoidalnie zmiennego zarysu (rys. 28)

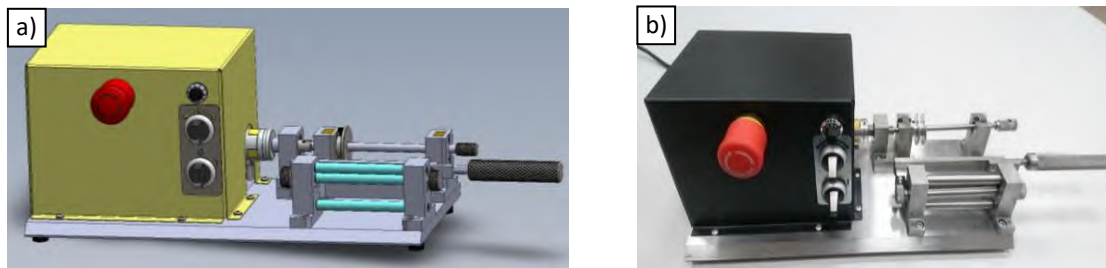
Zaprojektowane pod moim kierunkiem urządzenie do kształtowania plastycznego za pomocą przekładni zębatej umożliwia realizację względnie szybkiego procesu wytwarzania półfabrykatów do produkcji struktur typu „plaster miodu”. Dodatkowo wykonano również kilka zestawów narzędzi kształtujących - kół zębatych z uwzględnieniem różnej wysokości zęba, zarysu oraz korekcji kół zębatych uwzględniającej zakładaną grubość taśm/folii.



Rys. 28. Autorskie urządzenie do kształtowania plastycznego metalicznych taśm/folii do postaci sinusoidalnie zmiennego zarysu: a) rysunek złożeniowy, b) widok ogólny, c) w czasie realizacji procesu kształtowania cienkich taśm Ni_3Al

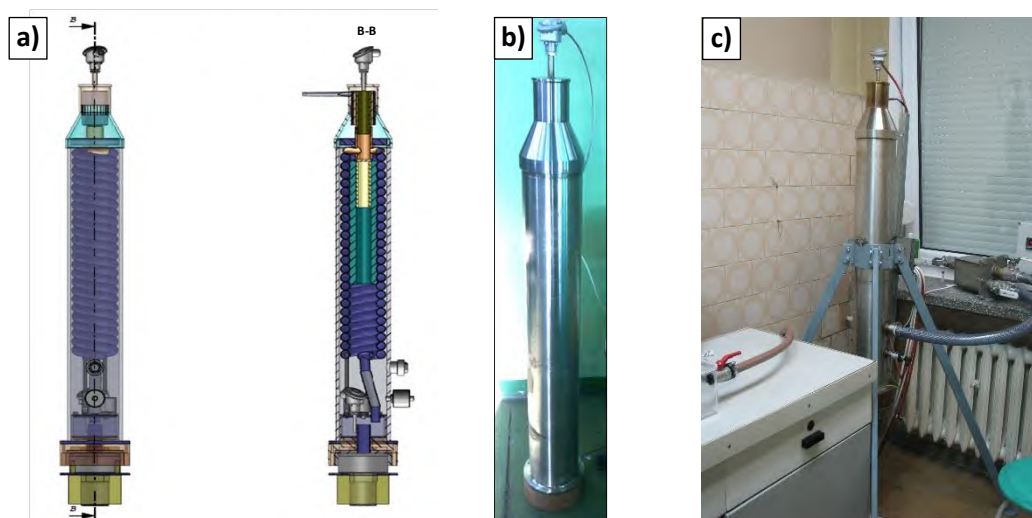
c) urządzenie do formowania struktur typu „plaster miodu” (rys.29)

Formowanie struktur typu „plaster miodu” wymusza zastosowanie nawijania układu przekładkowego – taśma profilowana/taśma płaska na trzpień o określonej średnicy – zgodnej z docelową lokalizacją wykonanego wkładu. Wykonane urządzenie wyposażone jest w układ ustalający położenie nawijanych pasów (profilowanego i płaskiego) a zastosowany silnik elektryczny zapewnia uzyskanie wysokiego naciągu tych pasów, regulację kierunku nawijania i prędkości obrotowej z „aktywnym” położeniem zerowym.



Rys. 29. Autorskie urządzenie do formowania wkładów aktywnych katalitycznie z taśm/folii ze stopów Ni_3Al : a) model, b) widok ogólny

Wkłady aktywne wykonane z cienkich taśm/folii Ni_3Al z użyciem wymienionych urządzeń (rys. 27-29) poddawano testom aktywności katalitycznej dezaktywacji chemicznych i biologicznych czynników toksycznych (w aspekcie oczyszczania powietrza) oraz dekompozycji węglowodorów i ich pochodnych (w aspekcie „produkcji” wodoru/wytwarzania nanostruktur węglowych). Wykonany pod moim kierunkiem, w ramach kierowanego przeze mnie projektu (PBR O R00 004905), demonstrator *układu oczyszczania powietrza z biologicznych i chemicznych substancji toksycznych* (rys. 30) został nagrodzony I nagrodą w Konkursie Ministra Obrony Narodowej na najlepszą pracę naukową i badawczą z obszaru obronności (pod patronatem Prezydenta RP, 2013 r.).



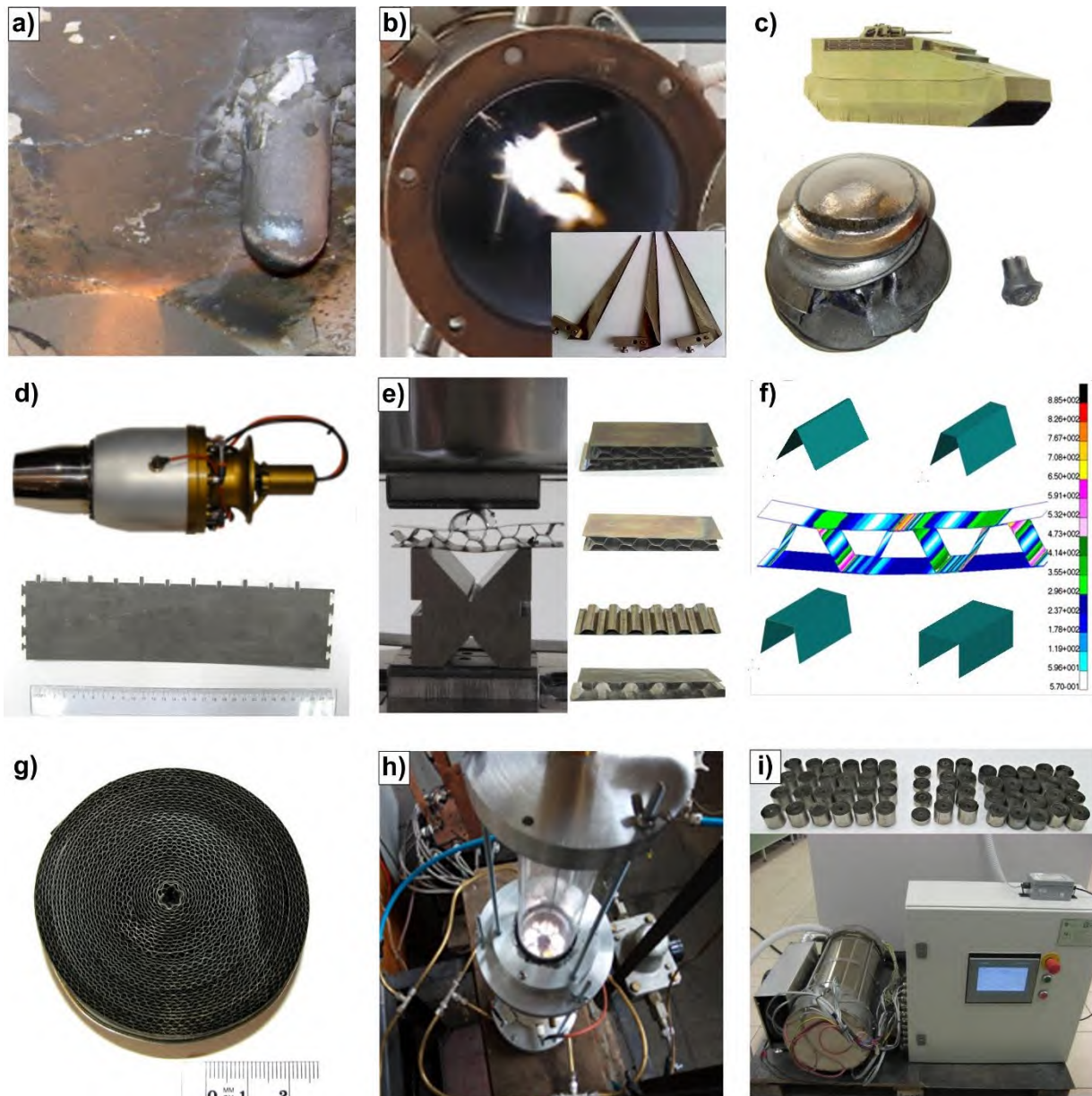
Rys. 30. Demonstrator technologii w postaci termoaktywnego elementu (z cienkich taśm ze stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni_3Al) układu oczyszczania powietrza z biologicznych i chemicznych substancji toksycznych: a) model, b) widok ogólny, c) w czasie testów dezaktywacji czynników biologicznych - *endospor Bacillus atrophaeus* (imitatora węgla)

Uwzględniając wspomniane właściwości fizyko-chemiczne stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni_3Al , przewiduje się, że materiał ten w postaci cienkich taśm (folii) może znaleźć w najbliższym czasie zastosowania na elementy małych układów o charakterze urządzeń mechatronicznych klasy MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems), MECS (Microtechnology-based Energy and Chemical Systems) czy NEMS (Nanoelectromechanical System) (np. wymienniki ciepła, mikroreaktory, katalizatory, mikroświatniki itd.), silników samolotów odrzutowych i samochodowych, katalizatorów samochodowych, układów

o wysokiej sztywności właściwej, a także układów do usuwania chemicznych i biologicznych czynników toksycznych i dekompozycji węglowodorów w aspekcie „produkcji” wodoru [22, 112, 126-135].

W tym aspekcie przeprowadzono wiele testów (także na obiektach pełnoskalowych) pozwalających na weryfikację potencjału aplikacyjnego opracowanych materiałów na osnowie fazy Ni_3Al . Wśród nich należy wymienić m.in.:

- a. osłonę termopary w kotłach energetycznym (rys. 30a),
- b. elektrody wyładowania plazmowego w reaktorze do dopalania popiołów popirolitycznych (rys. 30b),
- c. elementy osłon balistycznych (rys. 30c),
- d. płaszcze komory spalania miniaturowych silników turbinowych (rys. 30d),
- e. elementy o wysokiej sztywności i wytrzymałości właściwej (rys. 30e,f),
- f. aktywne katalityczne elementy typu „plaster miodu” poddawane testom w:
 - wielkolaboratoryjnym reaktorze plazmowo-katalitycznym (rys. 30g,h),
 - termokatalitycznym układzie oczyszczania powietrza z substancji toksycznych (rys. 30g).



Rys. 30. Przykładowe próby aplikacji stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni_3Al : a) osłona termopary kotła energetycznego (Rafako S.A.), b) elektrody wyładowania plazmowego reaktora do dopalania popiołów popiolitycznych (Instytut Tele-i Radiotechniczny), c) elementy osłon balistycznych, d) płaszcz komory spalania (Jetpol), e, f) struktury typu „plaster miodu” o wysokiej sztywności i wytrzymałości właściwej, g) wkład katalityczny wielkolaboratoryjnego reaktora plazmowo-katalitycznego – h) (Wydział Chemiczny PW [111]), i) układ oczyszczania powietrza z substancji toksycznych z wkładami katalitycznymi wykonanymi z folii Ni_3Al [112] (Maskpol S.A.) (wyniki prac uzyskane z udziałem autora)

Zrealizowane, z moim znaczącym udziałem, prace w obszarze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni_3Al zyskały szereg nagród i wyróżnień (indywidualnych bądź zespołowych) zarówno państwowych tj. **Premiera RP** (nagroda za rozprawę doktorską), **Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego** (stypendium dla wybitnych młodych naukowców, nagroda i dyplom uznania za rozwój technologii stopów Ni-Al) i **Ministra Obrony Narodowej** (nagroda I stopnia w konkursie na *Najlepszą pracę naukową i badawczą z obszaru obronności*),

samorządowych - **Marszałka woj. mazowieckiego** (list gratulacyjny - dwukrotnie) jak i uczelnianych – **Rektora-Komendanta WAT** (trzykrotnie).

Propozycje technologiczne i aplikacyjne związane z taśmami i foliami Ni_3Al uzyskały również szereg wyróżnień na krajowych i zagranicznych wystawach wynalazczości, m.in.: złoty medal – trzykrotnie (Międzynarodowa Wystawa Wynalazczości Innowacje, Gdańsk 2005, 58 Światowe Targi Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Technik „Brussels INNOVA 2009, 111 Międzynarodowe Targi Wynalazczości CONCOURS LEPINE 2012, Paryż), srebrny medal – dwukrotnie (54 Światowa Wystawa Wynalazków, Badań Naukowych i Nowoczesnej Techniki „Brussels Eureka-2005”, 65 Międzynarodowe Targi Wynalazczości iENA 2013, Norymberga) oraz brązowy – jednokrotnie (Seul International Invention Fair 2014) oraz nagroda specjalna The Egyptian Inventors Syndicate: for the outstanding performance and display commenced by idea with the title *Ni₃Al-based strips and foils with strictly specified properties adapted to specific functional or structural applications, 2014* (rys. 31).



Rys. 31. Najważniejsze nagrody i wyróżnienia związane z badaniami nad stopami na osnowie fazy międzymetalicznej Ni_3Al uzyskane z moim udziałem

4.3. Bibliografia (do pkt 4 Autoreferatu)

- [1] Y. Xu, M. Kameoka, K. Kishida, M. Demura, A. Tsai i T. Hirano, *Catalytic Properties of Ni₃Al Intermetallics for Methanol Decomposition*, Materials Transactions, 11, 45, s. 3177-3179, 2004.
- [2] E. Ivanov, T. Grigoriewa, G. Golublova, V. Boldyrev, A. B. Fasman i S. D. Mikhailenko, *Raney nickel catalysts from mechanical Ni-Al alloys*, Materials Letters, 7, 1-2, s. 55-56, 1988.
- [3] Y. Xu, S. Kameoka, K. Kishida, M. Demura, A. Tsai i T. Hirano, *Catalytic properties of alkali-leached Ni₃Al for hydrogen production from methanol*, Intermetallics, 13, 2, s. 151-155, 2005.
- [4] D. H. Chun, Y. Xu, M. Demura, K. Kishida, M. H. Oh, T. Hirano i D. M. Wee, *Catalytic properties of Ni₃Al foils for methanol decomposition*, Catalysis Letters, 109, 1-2, s. 71-75, 2006.
- [5] D. H. Chun, Y. Xu, M. Demura, K. Kishida i D. M. Wee, *Spontaneous catalytic activation of Ni₃Al thin foils in methanol decomposition*, Journal of Catalysis, 243, s. 99-107, 2006.
- [6] Y. Ma, Y. Xu, M. Demura, D. H. Chun i G. Xie, *Catalytic activity of atomized Ni₃Al powder for hydrogen generation by methane steam reforming*, Catalysis Letters, 112, 1-2, s. 31-36, 2006.
- [7] T. Hirano, *Catalytic Properties of Ni₃Al Foils for Hydrogen Production*, Materials Research Society Symposium Proceedings, s. 980, 2007.
- [8] Y. Ma, Y. Xu, M. Demura i T. Hirano, *Catalytic stability of Ni₃Al powder for methane steam reforming*, Applied Catalysis B: Environmental, 80, 1-2, s. 15-23, 2008.
- [9] Y. Xu, M. Demura i T. Hirano, *Effect of alkali leaching on the surface structure of Ni₃Al catalyst*, Applied Surface Science, 254, 17, s. 5413-5420, 2008.
- [10] J. H. Jang, Y. Xu, D. H. Chun, M. Demura, M. D. Wee i T. Hirano, *Effects of steam addition on the spontaneous activation in Ni₃Al foil catalysts during methanol decomposition*, Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 307, s. 21-28, 2009.
- [11] J. H. Jang, Y. Xu, M. Demura i T. Hirano, *Catalytic activity improvement of Ni₃Al foils for methanol decomposition by oxidation-reduction pretreatment*, Applied Catalysis A: General, 398, s. 161-167, 2011.
- [12] Y. Xu, J. Yang, M. Demura, T. Hirano, Y. Matsushita, M. Tanaka i Y. Katsuya, *Catalytic performance of NiAl nanoparticles fabricated by arc plasma evaporation for methanol decomposition*, International Journal of Hydrogen Energy, 39, s. 1315-1363, 2014.
- [13] Y. Xu, Y. Ma, J. Sakurai, Y. Teraoka, A. Yoshigoe, M. Demura i T. Hirano, *Effect of water vapor and hydrogen treatments on the surface structure of Ni₃Al foil*, Applied Surface Science, 315, 1, s. 475-480, 2014.
- [14] Y. Xu, Y. Ma, M. Demura i T. Hirano, *Enhanced catalytic activity of Ni₃Al foils towards methane steam reforming by water vapor and hydrogen pretreatments*, International Journal of Hydrogen Energy, 41, 18, s. 7352-7362, 2016.
- [15] L. A. Arkatova, T. S. Kharlamova, L. V. Galaktionova, L. N. Kurina, V. N. Belousova, Y. S. Naiborodenko, N. G. Kasatskii i N. N. Golobokov, *Methane Conversion with Carbon Dioxide on Nickel Aluminides*, Russian Journal of Physical Chemistry, 80, 8, s. 1231-1234, 2006.
- [16] L. A. Arkatova, L. N. Kurina i L. V. Galaktionova, *The Influence of Modifying Admixtures on the Catalytic Properties of the Ni₃Al Intermetallic Compound in the Conversion of Methane with Carbon Dioxide*, Russian Journal of Physical Chemistry A, 83, 4, s. 726-732, 2009.
- [17] L. A. Arkatova i L. N. Kurina, *The Modification of Ni₃Al Intermetallic Compound with Chromium and Tungsten for Carbon Dioxide Reforming of Methane to Synthesis Gas*, Russian Journal of Physical Chemistry A, 84, 1, s. 19-24, 2010.
- [18] L. A. Arkatova, *Intermetallic Compounds as Highly Active Catalysts for Natural Gas Conversion*, Chemistry for Sustainable Development, 9, s. 1-15, 2011.
- [19] L. A. Arkatova, O. Pakhnutov, A. N. Shmakov, Y. S. Naiborodenko i N. G. Kasatsky, *Pt-implanted intermetallides as the catalysts for CH₄-CO₂ reforming*, Catalysis Today, 171, s. 156-167, 2011.
- [20] J. M. Maksimov, A. I. Kiryashkin i L. A. Arkatova, *Conversion of methane on catalysts obtained via self-propagating high-temperature synthesis*, Catalysis in Industry, 5, s. 245-252, 2013.
- [21] L. A. Arkatova, N. G. Kasatsky, Y. M. Maximov, O. V. Pakhnutov i A. N. Shmakov, *Intermetallides as the catalysts for carbon dioxide reforming of methane*, Catalysis Today, 299, s. 303-316, 2018.

- [22] P. Jóźwik - kierownik projektu PBR OR0005706, Aplikacje wojskowe mikro, ultra i nanokrystalicznych stopów Ni₃Al - demonstrator technologii w postaci termoaktywnych elementów układu oczyszczania powietrza z substancji toksycznych, WAT, Warszawa, 2010.
- [23] P. Jóźwik - kierownik projektu PBG 7T07E02714, Mikrokrystaliczne, plastyczne w temperaturze otoczenia taśmy ze stopów Ni₃Al – otrzymywanie, właściwości i próby aplikacji, WAT, Warszawa, 2008.
- [24] Praca pod redakcją P. Jóźwika, Sprawozdanie z projektu badawczego Nr N507 100 31/2403 Mikrokrystaliczne, plastyczne w temperaturze otoczenia taśmy ze stopów Ni₃Al – otrzymywanie, właściwości i próby aplikacji, WAT, Warszawa, 2008.
- [25] P. Jozwik, Z. Bojar i R. Grabowski, *Catalytic Activity of Ni₃Al Foils in Methanol Reforming*, Materials Science Forum, 636-637, s. 895-900, 2010.
- [26] P. Jozwik, P. Winiarek i Z. Bojar, *Catalytic activity of Ni₃Al foils in decomposition of select chemical compounds*, Inżynieria materiałowa, 31, 3, s. 654-657, 2010.
- [27] P. Jozwik, Z. Bojar i R. Grabowski, *Catalytic properties of thin Ni₃Al nano and microcrystalline foils in methanol decomposition*, Annual International Conference on Materials Science, Metal & Manufacturing, doi:10.5176/2251-1857_M369, 2011.
- [28] M. Michalska-Domanska, M. Norek, P. Jozwik, B. Jankiewicz, W. Stepniowski i Z. Bojar, *Catalytic stability and surface analysis of microcrystalline Ni₃Al thin foils in methanol decomposition*, Applied Surface Science, 293, s. 169-176, 2014.
- [29] P. Jozwik, M. Salerno, W. Stępniewski, Z. Bojar i K. Krawczyk, *Decomposition of cyclohexane on Ni₃Al thin foil intermetallic catalyst*, Materials, 7, 10, s. 7039-7047, 2014.
- [30] M. Mlotek, E. Reda, P. Jozwik, K. Krawczyk i Z. Bojar, *Plasma-catalytic decomposition of cyclohexane in gliding discharge reactor*, Applied Catalysis A: General, 505, s. 150-158, 2015.
- [31] P. Jóźwik, R. Grabowski i Z. Bojar, Analysis of catalytic properties of Ni₃Al thin foils om metanol decomposition, E-MRS 2008 Fall Meeting, Warszawa, 2008.
- [32] M. Małek, praca magisterska: Analiza wpływu stanu struktury na aktywność katalityczną taśm ze stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al, pod kierunkiem Z. Bojara, Warszawa: WAT, 2011.
- [33] M. Michalska-Domanska, P. Jozwik, B. Jankiewicz, B. Bartosewicz, D. Siemiaszko, W. Stepniowski, Z. Bojar, Study of cyclic Ni₃Al catalyst pretreatment process for uniform carbon nanotubes formation and improved hydrogen yield in methanol decomposition, Materials Today: Proceedings, S3, s. S171 – S177, 2016.
- [34] P. Ziółkowski, M. Stajnke, P. Jozwik, Z. Bojar, P. J. Ziółkowski i J. Badur, Analysis of species diffusion and methanol decomposition source in thermocatalytic reactor based on the intermetallic phase of Ni₃Al for low Reynolds numbers, Journal of Physics: Conference Series, 1101, 1, p. 012050, 2018.
- [35] A. Małecka, praca inżynierska: Ocena właściwości katalitycznych stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al w aspekcie aplikacji w układach dopalania popiołów energetycznych, pod kierunkiem P. Jóźwika, WAT, Warszawa, 2010.
- [36] J. Nawała, P. Jozwik i S. Popiel, *Thermal and catalytic methods used for destruction of chemical warfare agents*, International Journal of Environmental Science and Technology, 16, s. 3899–3912, 2019.
- [37] J. Kożuchowski, praca inżynierska: Ocena możliwości dekompozycji wybranych toksycznych związków chemicznych z wykorzystaniem cienkich taśm ze stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al, pod kierunkiem P. Jóźwika, WAT, Warszawa, 2010.
- [38] R. T. Baker, M. A. Barber, P. S. Harris, F. S. Feates i R. J. Waite, *Nucleation and Growth of Carbon Deposits from the Nickel Catalyzed Decomposition of Acetylene*, Journal of Catalysis, 26, s. 51-62, 1972.
- [39] R. T. K. Baker, P. S. Harris, R. B. Thomas i R. J. Waite, Formation of Filamentous Carbon from Iron, Cobalt and Chromium Catalyzed Decomposition of Acetylene, Journal of Catalysis, 30, s. 86-95, 1972.
- [40] EnviroNet, [online]: <http://www.environet.eu/tox/etoxcw.htm>. [Data uzyskania dostępu: 13 06 2023].
- [41] T. Kasperek, Stopień zagrożenia dla ludzi powodowany naruszeniem amunicji chemicznej zatopionej w Głębi Bornholmskiej, SENAT RP, [online]: <http://ww2.senat.pl/k6/agenda/seminar/070528/referaty/6.pdf>. [Data uzyskania dostępu: 03 01 2021].

- [42] B. Szymczycha, A. Zaborska, J. Beldowski, K. Kuliński, A. Beszczyńska-Möller, M. Kędra i J. Pempkowiak, Chapter 4 - The Baltic Sea, w *World Seas: an Environmental Evaluation*, London, Academic Press, 2019, s. 85-11.
- [43] Organisation for the Prohibition of Chemical Weapons, Report of the OPCW on the implementation of the convention on the prohibition of the development, production, stockpiling, and use of chemical weapons and on their destruction in the year 2001, Conference of the States Parties, 2002.
- [44] Ł. Zalesiński, *Polska Zbrojna*, 2017. [online]: <http://www.polska-zbrojna.pl/home/articleshow/22774?t=Chemiczny-atak-pod-Bolimowem-zabil-tysiace#>. [Data uzyskania dostępu: 13 06 2023].
- [45] *Tykające bomby na dnię Bałtyku*, Teraz Środowisko, [online]: <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/Baltyk-NIK-8756.html>. [Data uzyskania dostępu: 13 06 2023].
- [46] R. Pita, A. Anadon, A. Romero i K. Kuca, Chapter 7 - *Chemical weapons of mass destruction and terrorism: a threat analysis*, Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents, London, Academic Press, 2020, s. 79-94.
- [47] L. A. McCauley, *Epidemiology of chemical warfare agents*, Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents, London, Academic Press, 2020, s. 67-77.
- [48] J. M. Rodriguez-Llanes, D. Guha-Sapir i B. S. Schlüter, Epidemiological findings of major chemical attacks in the Syrian war are consistent with civilian targeting: a short report, *Conflict and Health*, 2, 16, 2018.
- [49] P. Powroźnik, W. Jakubik i A. Kaźmierczak-Bałata, *Detection of organophosphorus (DMMP) vapour using phthalocyanine-palladium bilayer structures*, *Procedia Engineering*, 120, s. 368-371, 2015.
- [50] T. T. Marrs, R. L. Maynard i F. Sidell, *Chemical Warfare Agents: Toxicology and Treatment*, 2nd Edition, Chichester: John Wiley & Sons, 2007.
- [51] C. Kaunert i S. Léonard, *A Multiple Streams Approach. Politique européenne*, The European Union's Response to the CBRN Terrorist Threat, 65, s. 148-177, 2019.
- [52] X. Lyu, N. Chen, H. Guo, W. Zhang, N. Wang i Y. Wan, *Ambient volatile organic compounds and their effect on ozone production in Wuhan, central China*, *Science of the Total Environment*, 541, s. 200-209, 2016.
- [53] T. Yue, X. Yue, F. Cha, J. Hu, Y. Lai, L. He i R. Zhu, Characteristics of volatile organic compounds (VOCs) from the evaporative emissions of modern passenger cars, *Atmospheric Environment*, s. 62-69, 151 2017.
- [54] S. Youn-Suk, K. Junghwan, C. In-Young i K. Jo-Chun, Decomposition of n-hexane using a dielectric barrier discharge plasma, *Environmental Technology*, doi: 10.1080/09593330.2019.1690586 2019.
- [55] E. Schumann, G. Schnotz, K. P. Trumble i M. Ruhle, *Microstructural observations on the oxidation of gamma prim-Ni3Al at low oxygen partial pressure*, *Acta Metallurgica et Materialia*, 40, 6, s. 1311-1319, 1992.
- [56] Z. Li, Y. He i W. Gao, An Ultralow Oxygen Partial Pressure-Controlling System and Its Application to Oxidation Studies, *Oxidation of Metals*, 54, 1/2, pp. 47-62, 2000.
- [57] Massachusetts Institute of Technology, [online]. Available: https://web.mit.edu/2.813/www/readings/Ellingham_diagrams.pdf. [Data uzyskania dostępu: 29 08 2022].
- [58] Y. Xu, H. Yoshikawa, J. H. Jang, M. Demura, K. Kobayashi, S. Ueda, Y. Yamashita, D. M. Wee i T. Hirano, *Characterization of Surface Structure Evolution in Ni3Al Foil Catalysts by Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy*, *The Journal of Physical Chemistry C*, 114, 13, s. 6047-6053, 2010.
- [59] M. Haerig i S. Hofmann, *Mechanisms of Ni3Al oxidation between 500°C and 700°C*, *Applied Surface Science*, 125, 1, pp. 99-114, 1998.
- [60] G. A. Somorjai i Y. Li, *Introduction to surface chemistry and catalysis*, New York: John Wiley & Sons, 2010.
- [61] H. Mehrer, *Diffusion in Solids*, Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.
- [62] G. R. Love, *Dislocation pipe diffusion*, *Acta Metallurgica*, 12, 6, s. 731-737, 1964.
- [63] M. Legros, G. Dehm, E. Arzt i T. J. Balk, *Observation of Giant Diffusivity Along Dislocation Cores*, *Science*, 319, 5870, s. 1646-1649, 2008.
- [64] L. Baraton, Z. B. He, C. S. Lee, C. S. Cojocaru, M. Chatelet i J.-L. Maurice, *On the mechanisms of precipitation of graphene on nickel thin films*, *EPL Letters Journal Exploring the Frontiers of Physics*, 96, 4, s. 46003-p1- 46003-p6, 2011.
- [65] Y. Nishiyama i Y. Tamai, *Carbon formation on copper-nickel alloys from benzene*, *Journal of Catalysis*, 33, s. 98-107, 1974.

- [66] Y. Nishiyama i Y. Tamai, *Effect of hydrogen on carbon deposition catalyzed by copper-nickel alloys*, *Journal of Catalysis*, 45, 1, s. 1-5, 1976.
- [67] J. A. Horton, J. V. Cathcart i C. T. Liu, *Effect of chromium on early stages of oxidation of Ni₃Al alloys at 600C*, *Oxidation of Metals*, 29, 3/4, s. 347-365, 1988.
- [68] M. Bobeth, W. Pompe, E. Schumann i M. Rühle, *Out-diffusion of the noble component during the initial stage of the oxidation of γ -Ni₃Al*, *Acta Metallurgica et Materialia*, 40, 10, s. 2669-2676, 1992.
- [69] S. H. Kim, M. H. Oh, K. Kishida, T. Hirano i D. M. Wee, *Cyclic oxidation behavior and recrystallization of cold-rolled Ni₃Al foils*, *Materials Letters*, 58, 22-23, pp. 2867-2871, 58 2004.
- [70] A. M. Venezia i C. M. Loxton, *Low pressure oxidation of Ni₃Al alloys at elevated temperatures as studied by X-ray photoelectron spectroscopy and Auger spectroscopy*, *Surface Science*, 194, 1-2, s. 136-148, 1988.
- [71] J. Pelleg, *Diffusion in the Iron Group L1₂ and B₂ Intermetallic Compounds*, Cham: Springer International Publishing, 2017.
- [72] K. Fujiwara i Z. Horita, *Measurement of intrinsic diffusion coefficients of Al and Ni in Ni₃Al using Ni/NiAl diffusion couples*, *Acta Materialia*, 50, 6, s. 1571-1579, 2002.
- [73] C. Cserhádi, A. Paul, A. A. Kodentsov, M. J. van Dal i F. J. van Loo, *Intrinsic diffusion in Ni₃Al system*, *Intermetallics*, 11, 4, s. 291-297, 2003.
- [74] N. Jeong, E. Jwa, C. Kim, K. S. Hwang, S. Park i M. S. Jang, *Characterization and anticorrosion properties of carbon nanotubes directly synthesized on Ni foil using ethanol*, *Applied Surface Science*, 376, 15, s. 199-208, 2016.
- [75] M. J. Schulz, V. Shanov, Z. Yin i M. Cahay, *Nanotube Superfiber Materials*, Second Edition, eBook: Elsevier Science, 2019.
- [76] S. Esconjauregui, C. Whelan i K. Maex, *The reasons why metals catalyze the nucleation and growth of carbon nanotubes and other carbon nanomorphologies*, *Carbon*, 47, 3, s. 659-69, 2009.
- [77] N. A. Jarrah, J. G. Ommen i L. Lefferts, *Mechanistic aspects of the formation of carbon-nanofibers on the surface of Ni foam: A new microstructured catalyst support*, *Journal of Catalysis*, 239, s. 460-469, 2006.
- [78] M. Picher, P. A. Lin, J. L. Gomez-Ballesteros, P. B. Balbuena i R. Sharma, *Nucleation of graphene and its conversion to single-walled carbon nanotubes*, *Nano Letters*, 14, s. 6104-6108, 2014.
- [79] B. C. Bayer, D. A. Bosworth, F. Benjamin, F. B. Michaelis, R. Blume, G. Habler i R. Abar, *In Situ Observations of Phase Transitions in Metastable Nickel (Carbide)/Carbon Nanocomposites*, *The Journal of Physical Chemistry C*, 120, 39, s. 22571-22584, 2016.
- [80] K. A. Shah i B. A. Tali, *Synthesis of carbon nanotubes by catalytic chemical vapour deposition: A review on carbon sources, catalysts and substrates*, *Materials Science in Semiconductor Processing*, 41, s. 67-82, 2016.
- [81] L. S. Lobo i S. A. Carabineiro, *Kinetics and mechanism of catalytic carbon gasification*, *Fuel*, 183, s. 457-469, 2016.
- [82] S. I. Lee i E. Ruckenstein, *Simulation of the behavior of supported metal catalysts in real*, *Journal of Catalysis*, 107, s. 23-81, 1987.
- [83] Y. Leng, L. Xie, F. Liao, J. Zheng i X. Li, *Kinetic and thermodynamics studies on the decompositions of Ni₃C in different atmospheres*, *Thermochimica Acta*, 473, 12, s. 14-18, 2008.
- [84] M. Kumar, *Carbon Nanotube Synthesis and Growth Mechanism*, IntechOpen, doi: 10.5772/19331, 2011. [online]: <https://www.intechopen.com/books/carbon-nanotubes>. [data uzyskania dostępu: 08 10 2022].
- [85] T. Yamada, A. Maigne, M. Yudasaka, K. Mizuno, D. N. Futaba, M. Yumura, S. Iijima i K. Hata, *Revealing the Secret of Water-Assisted Carbon Nanotube Synthesis by Microscopic Observation of the Interaction of Water on the Catalysts*, *Nano Letters*, 8, 12, s. 4288-4292, 2008.
- [86] B. M. Everhart, H. Almkhelfe, X. Li, M. Wales, P. Nikolaev, R. Rao, B. Maruyama i P. B. Amama, *Efficient Growth of Carbon Nanotube Carpets Enabled by In Situ Generation of Water*, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59, 19, s. 9095-9104, 2020.
- [87] L. Cao, S. R. Segal, S. L. Suib, X. Tang i S. Satyapal, *Thermocatalytic Oxidation of Dimethyl Methylphosphonate on Supported Metal Oxides*, *Journal of Catalysis*, 194, s. 61-70, 2000.
- [88] S. Satyapal, S. Suib, L. Cao, T. Obee, X. Tang i R. Hall, *Researchgate*, [online]: https://www.researchgate.net/profile/Steven_Suib/publication/235087431_Thermal_and_Photocataly

- tic_Decomposition_of_Organophosphonates/links/00b4952d0526109a30000000.pdf. [data uzyskania dostępu: 10 01 2021].
- [89] L. Cao, S. L. Suib, X. Tang i S. Satyapal, *Thermocatalytic Decomposition of Dimethyl Methylphosphonate on Activated Carbon*, *Journal of Catalysis*, 197, s. 236-243, 2001.
- [90] M. Monthieux, P. Serp, B. Caussat, E. Flahaut i e. al., *Carbon Nanotubes*, Handbook of Nanotechnology, B. Bhushan, Red., Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2017, s. 193-248.
- [91] L. S. Lobo, *Nucleation and growth of carbon nanotubes and nanofibers: Mechanism and catalytic geometry control*, *Carbon*, 114, s. 411-417, 2017.
- [92] R. T. Baker, *Catalytic growth of carbon filaments*, *Carbon*, 27, 3, s. 315-323, 1989.
- [93] A. Gohier, C. P. Ewels, T. M. Minea i M. A. Djouadi, *Carbon nanotube growth mechanism switches from tip- to base-growth with decreasing catalyst particle size*, *Carbon*, 46, s. 1331-1338, 2008.
- [94] A. Venkataraman, E. V. Amadi i Y. Chen, *Carbon Nanotube Assembly and Integration for Applications*, *Nanoscale Research Letters*, 220, s. 14, 2019, <https://doi.org/10.1186/s11671-019-3046-3>.
- [95] U. P. Ashik, W. M. Wan Daud i J.-I. Hayashi, *A review on methane transformation to hydrogen and nanocarbon: Relevance of catalyst characteristics and experimental parameters on yield*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, s. 743-767, 2017.
- [96] R. Purohit, K. Purohit, S. Rana i V. Patel, *Carbon Nanotubes and Their Growth Methods*, *Procedia Materials Science*, 6, s. 716-728, 2014.
- [97] G. H. Meier i E. S. Pettit, *The oxidation behavior of intermetallic compounds*, *Materials Science and Engineering A*, 153, 1-2, s. 548-560, 1992.
- [98] *Nissan Motor Corporation*, [Online]. Available: https://www.nissan-global.com/EN/INNOVATION/TECHNOLOGY/ARCHIVE/E_BIO_FUEL_CELL/. [Data uzyskania dostępu: 06 03 2023].
- [99] *Pesquisa FAPESP*, [online]: <https://revistapesquisa.fapesp.br/en/electric-vehicles-powered-by-ethanol/> [data uzyskania dostępu: 06 03 2023].
- [100] Y. Lee, *Naval News*, [online]: <https://www.navalnews.com/naval-news/2022/02/south-koreas-add-develops-critical-technology-for-submarine-aip/>. [data uzyskania dostępu: 06 03 2023].
- [101] *Ni₃Al foils group*, NIMS, [online]: <http://www.nims.go.jp/imc/Ni3Alfoil>. [data uzyskania dostępu: 12 01 2006].
- [102] M. Demura, Y. Suga, O. Umezawa, K. Kishida, E. George i T. Hirano, *Fabrication of Ni₃Al thin foil by cold-rolling*, *Intermetallics*, 9, 2, s. 157-167, 2001.
- [103] M. Demura, K. Kishida, Y. Suga, M. Takanashi i T. Hirano, *Fabrication of thin Ni₃Al foils by cold rolling*, *Scripta Materialia*, 47, 4, s. 267-272, 2002.
- [104] H. Borodians'ka, M. Demura, K. Kishida i T. Hirano, *Fabrication of thin foils of binary Ni-Al γ/γ' two-phase alloys by cold rolling*, *Intermetallics*, 10, 3, s. 255-262, 2002.
- [105] P. Jóźwik - kierownik projektu PBG 0 T00C00724, *Wpływ stanu struktury na właściwości mechaniczne i przebieg pęknięcia stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, WAT, Warszawa, 2004.
- [106] W. Przetakiewicz - kierownik projektu PBZ 041/T08/09-01, *Stopy na osnowie faz międzymetalicznych – technologia, właściwości, zastosowanie*, WAT, Warszawa, 2004.
- [107] Z. Bojar - kierownik projektu PBZ-100/T08/2004, *Projektowanie i opracowanie technologii wytwarzania intermetalicznych funkcjonalnych materiałów gradientowych na elementy osłon balistycznych*, WAT Warszawa, 2004.
- [108] Z. Bojar - kierownik projektu PBZ 2/PBZ-100/T08/2004, *Projektowanie i opracowanie technologii wytwarzania intermetalicznych funkcjonalnych materiałów gradientowych na elementy osłon balistycznych*, WAT, Warszawa, 2004.
- [109] Z. Bojar-kierownik projektu PBR Inicjatywa Technologiczna IT1-13798/2008, *Technologia wytwarzania i przetwarzania litych nanomateriałów metalicznych*, WAT, Warszawa, 2011.
- [110] D. Zasada - kierownik projektu PBG ON508004833, *Modelowanie i weryfikacja doświadczalna mechanizmów zużycia stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al o zróżnicowanym stanie warstwy wierzchniej*, WAT, Warszawa, 2010.

- [111] K. Krawczyk - kierownik projektu PBS2/A1/10/2013, *Wielkolaboratoryjny reaktor plazmowo-katalityczny do prowadzenia procesów rozkładu zanieczyszczeń ciekłych i gazowych w warunkach plazmy nierównowagowej wyładowania ślizgowego*, PW, Warszawa, 2017.
- [112] P. Jóźwik - kierownik projektu PBS PBS3/A5/50/2015, *Rozwój innowacyjnej technologii cienkich taśm ze stopów Ni₃Al o wysokiej aktywności termokatalitycznej w zakresie oczyszczania powietrza z substancji szkodliwych lub kontrolowanego rozkładu węglowodorów*, WAT, Warszawa, 2018.
- [113] M. Michalska-Domańska - kierownik projektu PRELUDIUM 4 2012/07/N/ST8/03069, *Wpływ stanu struktury i morfologii warstwy wierzchniej cienkich taśm na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al na mechanizm i efekty reakcji termokatalitycznego rozkładu metanolu i heksanu*, WAT, Warszawa, 2014.
- [114] W. Polkowski - kierownik projektu Preludium 5 2013/09/N/ST8/04366, *Wpływ udziału odkształcenia ścinającego na przebudowę struktury w stopie Ni₃Al w procesie SPD*, WAT, Warszawa, 2015.
- [115] Z. Bojar - kierownik projektu PBR R07 025 02/2007, *Technologia stopów intermetalicznych Fe-Al i Ni-Al dla wybranych zastosowań w energetyce*, WAT, Warszawa, 2007.
- [116] W. Polkowski, praca magisterska pt. *Wpływ temperatury i czasu wygrzewania na żaroodporność i stabilność strukturalną stopów Ni₃Al* pod kierunkiem P. Jóźwika, WAT, Warszawa, 2009.
- [117] M. Bielak, praca magisterska pt.: *Żaroodporność i stabilność strukturalna stopów Ni₃Al* pod kierunkiem P. Jóźwika, WAT, Warszawa, 2020.
- [118] A. Małecka, praca magisterska pt.: *Ocena stabilności cieplnej nano i ultrakrystalicznego stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al* pod kierunkiem P. Jóźwika, WAT, Warszawa, 2011.
- [119] G. D. Sulka i P. Jóźwik, *Electrochemical behavior of Ni₃Al-based intermetallic alloys in NaOH*, *Intermetallics*, 19, 7, s. 974-981, 2011.
- [120] J. Kazimierska, praca magisterska pt.: *Analiza struktury i właściwości złączy spajanych stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, pod kierunkiem P. Jóźwika, WAT, Warszawa, 2010.
- [121] M. Dobrzeński, praca inżynierska pt.: *Profilowanie i łączenie cienkich taśm Ni₃Al w strukturę przestrzenną typu plaster miodu* pod kierunkiem P. Jóźwika, WAT, Warszawa, 2011.
- [122] P. Jóźwik, Z. Bojar i P. Kołodziejczak, *Microjoining of Ni₃Al based intermetallic thin foils*, *Materials Science and Technology*, 26, 4, s. 473-477, 2010.
- [123] A. Daszkiewicz, praca magisterska pt.: *Analiza możliwości łączenia stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al za pomocą zgrzewania wybuchowego*, pod kierunkiem P. Jóźwika, WAT, Warszawa, 2020.
- [124] P. Jozwik, J. Paszula, Z. Bojar i D. Zasada, *Experimental investigation of explosive welding of Ni₃Al - based alloy*, 11th International Conference on Advanced Materials, Rio de Janeiro, 2009.
- [125] T. Durejko, P. Jóźwik i Z. Bojar, *Joining of Ni₃Al microcrystalline foils by SHS reaction*, *Archives of Metallurgy and Materials*, 4, 54, s. 717-723, 2009.
- [126] A. S. Algamili, M. H. Khir, J. O. Dennis, A. Y. Ahmed, S. S. Alabsi, S. S. Hashwan i M. M. Junaid, *A Review of Actuation and Sensing Mechanisms in MEMS-Based Sensor Devices*, *Nanoscale Research Letters*, 16, s. doi.org/10.1186/s11671-021-03481-7, 2021.
- [127] B. K. Paul, *Micro Energy and Chemical Systems (MECS) and Multiscale Fabrication*. In: *Micromanufacturing and Nanotechnology*, Berlin: Springer, 2006.
- [128] V. K. Khanna, *Nanoelectromechanical Systems (NEMS)*. In: *Integrated Nanoelectronics. NanoScience and Technology*, New Delhi: Springer, 2016.
- [129] P. Jozwik, W. Polkowski i Z. Bojar, *Applications of Ni₃Al Based Intermetallic Alloys—Current Stage and Potential Perceptivities*, *Materials*, 8, s. 2537-2568, 2015.
- [130] B. M. Gleeson i D. J. Sordelet, *Pt metal modified γ-Ni+γ'-Ni₃Al alloy compositions for high temperature degradation resistant structural alloys*, Patent US 8821654B2 2014. [online]: <https://patents.google.com/patent/US8821654B2/en>. [data uzyskania dostępu: 06 07 2021].
- [131] *Alloy Catalyst Materials Group*, National Institute for Materials Science, [online]: <https://www.nims.go.jp/imc/en/Welcome.html>. [data uzyskania dostępu: 07 07 2021].
- [132] H. Hasan, *Oregon State University. Development of Microchannel Arrays in Aluminides*, 2006. [online]: <https://ir.library.oregonstate.edu/downloads/qf85nf20k?locale=en>. [data uzyskania dostępu: 07 07 2021].

- [133] *High-performance Metal Honeycomb Catalysts for Hydrogen Production, Frontiers of Materials Research at NIMS 2018-2020*, NIMS, 2018, s. 144.
- [134] E. Kablov, B. Lomberg, V. Buntushkin, E. Golubovskii i S. Muboyadzhyan, *Intermetallic Ni₃Al alloy: Promising material for turbine blades*, *Metal Science and Heat Treatment*, 44, s. 284-287, 2002.
- [135] M. A. Gorbovets, O. A. Bazyleva, M. S. Belyaev i I. A. Khodinev, *Low-Cycle Fatigue of VKNA Type Single-Crystal Intermetallic Alloy Under "Hard" Loading Conditions*, *Metallurgist*, 58, s. 724-728, 2014.
- [136] M. Picher, E. Anglaret, R. Arenal i V. Jourdain, *Processes Controlling the Diameter Distribution of Single-Walled Carbon Nanotubes during Catalytic Chemical Vapor Deposition*, *ASC Nano*, 5, 3, s. 2118-2125, 2011.
- [137] C. Lu i J. Liu, *Controlling the Diameter of Carbon Nanotubes in Chemical Vapor Deposition Method by Carbon Feeding*, *Journal of Physical Chemistry B*, 110, s. 20254-20257, 2006.
- [138] A. Szabó, E. Kecsenovity, Z. Pápa, T. Gyulavári, K. Németh, E. Horvath i K. Hernadi, *Influence of synthesis parameters on CCVD growth of vertically aligned carbon nanotubes over aluminum substrate*, *Scientific Reports*, 7, s. 9557, 2017.
- [139] V. I. Zaikovskii, V. V. Chesnokov i R. A. Buyanov, *The Relationship between the State of Active Species in a Ni/Al₂O₃ Catalyst and the Mechanism of Growth of Filamentous Carbon*, *Kinetics and Catalysis*, 42, 6, s. 813-820, 2001.
- [140] B. Yu, Q. Zhang, L. Hou, S. Wang, M. Song, Y. He, H. Huang i J. Zou, *Temperature-dependent chemical state of the nickel catalyst for the growth of carbon nanofibers*, *Carbon*, 96, s. 904-910, 2016.
- [141] V. V. Chesnokov i R. A. Buyanov, *The formation of carbon filaments upon decomposition of hydrocarbons catalysed by iron subgroup metals and their alloys*, *Russian Chemical Reviews*, 69, s. 623-638, 2000.
- [142] M. Singleton i P. Nash, *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*, 10, 2, New York: Springer US, 1989.
- [143] N. Jeong i J. Lee, *Growth of filamentous carbon by decomposition of ethanol on nickel foam: Influence of synthesis conditions and catalytic nanoparticles on growth yield and mechanism*, *Journal of Catalysis*, 260, 2, s. 217-226, 2008.
- [144] C. Ducati, I. Alexandrou, M. Chhowalla, J. Robertson i G. A. Amaratunga, *The role of the catalytic particle in the growth of carbon nanotubes by plasma enhanced chemical vapor deposition*, *Journal of Applied Physics*, 95, 11, s. 6387-6391, 2004.
- [145] R. Ruhl i M. Cohen, *Metastable Extensions of Carbon Solubility in Nickel and Cobalt*, *Scripta Metallurgica*, 1, s. 73-74, 1967.
- [146] J. Cho i C. H. Choi, *Thermal Decomposition Mechanisms of Methanol, Ethanol, and 1-Propanol on the Si(100)-2 × 1 Surface*, *The Journal of Physical Chemistry C*, 112, 17, s. 6907-6913, 2008.
- [147] S. Maruyama, R. Kojima, Y. Miyauchi, S. Chiashi i M. Kohno, *Low-temperature synthesis of high-purity single-walled carbon nanotubes from alcohol*, *Chemical Physics Letters*, 360, s. 229-234, 2002.
- [148] W. Gao, Z. Li, Z. Wu, S. Li i Y. He, *Oxidation behavior of Ni₃Al and FeAl intermetallics under low oxygen partial pressures*, *Intermetallics*, 10, 3, s. 263-270, 2002.
- [149] Y. Xu, J. Sakurai, Y. Teraoka, A. Yoshigoe, M. Demura i T. Hirano, *Initial oxidation behavior of Ni₃Al (210) surface induced by supersonic oxygen molecular beam at room temperature*, *Applied Surface Science*, 391, s. 18-23, 2017.
- [150] R. Terry i K. Baker, *Synthesis, properties and applications of graphite nanofibers*, International Technology Research Institute, [online]: http://wtec.org/loyola/nano/us_r_n_d/09_03.htm. [data uzyskania dostępu: 22 05 2019].
- [151] S. Satyapal, S. Suib, L. Cao, T. Obee, X. Tang i R. Hall, *Organophosphonates, Thermal and Photocatalytic Decomposition of Organophosphonates*, Final Progress Report, US Army Research Office, 1999.
- [152] A. M. Venezia i C. M. Loxton, *Oxidation of Ni₃Al at Low and High Oxygen*, *Surface and Interface Analysis*, 11, 6-7, s. 287-290, 1988.
- [153] J. V. Cathcart, *The oxidation of nickel-aluminum and iron-aluminum alloys*, *Materials Research Society, Symposium Proceedings*, 39, s. 445-459, 1985.
- [154] P. Perez, J. L. Gonzalez-Carrasco i P. Adeva, *Oxidation Behavior of a Ni₃Al PM Alloy*, *Oxidation of Metals*, 48, nr 1/2, s. 143-170, 1997.

- [155] V. I. Zaikovskii, V. V. Chesnokov i R. A. Buyanov, *The Relationship between the State of Active Species in a Ni/Al₂O₃ Catalyst and the Mechanism of Growth of Filamentous Carbon*, *Kinetics and Catalysis*, 42, 6, s. 813-820, 2001.
- [156] S. G. Addepalli, B. Ekstrom, N. P. Magtoto, J. S. Lin i J. A. Kelber, *STM atomic-scale characterization of the γ -Al₂O₃ film on Ni₃Al(111)*, *Surface Science*, 442, 3, s. 385-399, 1999.
- [157] M. Kang, J. F. DeWilde i A. Bhan, *Kinetics and Mechanism of Alcohol Dehydration on γ -Al₂O₃: Effects of Carbon Chain Length and Substitution*, *ACS Catalysis*, 5, 2, s. 602-612, 2015.
- [158] L. Tartakovskiy i M. Sheintuch, *Fuel reforming in internal combustion engines*, *Progress in Energy and Combustion Science*, 67, s. 88-114, 2018.
- [159] W. Mathis i J. Thornhill, *Hydrogen's Plunging Price Boosts Role as Climate Solution*, [online]: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-08-21/cost-of-hydrogen-from-renewables-to-plummet-next-decade-bnef>. [data uzyskania dostępu: 13 06 2023].
- [160] *Report: State of the art on alternative fuel transport system in the European Union*, oficjalna strona internetowa Unii Europejskiej, 2015. [online]: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/urban/studies/doc/2015-07-alter-fuels-transport-syst-in-eu.pdf>. [data uzyskania dostępu: 13 06 2023].
- [161] G. P. Dinga, *Hydrogen: The ultimate fuel and energy carrier*, *International Journal of Hydrogen Energy*, 14, 11, s. 777-784, 1989.
- [162] N. S. Shamsul, S. K. Kamarudin, N. A. Rahman i N. T. Kofli, *An overview on the production of bio-methanol as potential renewable energy*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, s. 578-588, 2014.
- [163] Danish Technological Institute, *Methanol and hydrogen*, [online]: https://www.dti.dk/_/media/41868_Methanol%20and%20hydrogen%20UK.pdf. [data uzyskania dostępu: 13 06 2023].
- [164] L. Pettersson i R. Westerholm, *State of the art of multi-fuel reformers for fuel cell vehicles: problem identification and research needs*, *International Journal of Hydrogen Energy*, 26, s. 243-264, 2001.
- [165] J. A. Romano, B. J. Lukey i H. Salem, *Chemical Warfare Agents: Chemistry, Pharmacology, Toxicology, and Therapeutics*, Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2008.
- [166] G. Williams i M. Hall, *Modern Biocatalysis. Advances Towards Synthetic Biological Systems*, Croydon: The Royal Society of Chemistry, 2018.
- [167] M. Krauze i I. Nowak, *Broń chemiczna*, Warszawa: Wydawnictwo MON, 1984.
- [168] P. Bu, *A research report on Japanese use of chemical weapons during the Second World War*, *Journal of Modern Chinese History*, 1, 2, s. 155-173, 2010.
- [169] R. Black, *Development, Historical Use and Properties of Chemical Warfare Agents*, *Chemical Warfare Toxicology: vol. 1: Fundamental Aspects*, Cambridge, Royal Society of Chemistry, 2016, s. 1-28.
- [170] H. Dyja, W. M. Sałganik, A. M. Piesin i A. Kawalek, *Asymetryczne walcowanie blach ceinkich*, Częstochowa, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, 2008.
- [171] G. Vourlias, *Application of X-rays Diffraction for Identifying Thin Oxide Surface Layers on Zinc Coatings*, 10, 1005, s. 2-14, 2020.
- [172] Y. Xu, H. Yoshikawa, J. H. Jang, M. Demura, K. Kobayashi, S. Ueda, Y. Yamashita, D. M. Wee i T. Hirano, *Characterization of Surface Structure Evolution in Ni₃Al Foil Catalysts by Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy*, *The Journal of Physical Chemistry C*, s. 6047-6053, 114, 2010.
- [173] Chempur, *Karta charakterystyki substancji chemicznej, Toluen*, [online]: https://chempur.pl/pliki/karty_charakterystyk/toluen.pdf. [data uzyskania dostępu: 13 06 2023].
- [174] Chempur, *Karta charakterystyki substancji chemicznej, Cykloheksan* [online]: https://chempur.pl/pliki/karty_charakterystyk/cykloheksan.pdf. [data uzyskania dostępu: 13 06 2023].
- [175] Chempur, *Karta charakterystyki substancji chemicznej, n-heksan*, [online]: https://chempur.pl/pliki/karty_charakterystyk/heksan.pdf. [data uzyskania dostępu: 13 06 2023].
- [176] M. Dura, *Defence 24*, [online]: <https://defence24.pl/sily-zbrojne/francuski-naped-aip-odslania-swoje-tajemnice>. [data uzyskania dostępu: 06 03 2023].
- [177] I. Pietryka, Z. Żurek, A. Jaroń i P. Jóźwik, *Wysokotemperaturowe utlenianie cienkiej folii Ni₃Al w atmosferze powietrza z udziałem SO₂, Ochrona przed korozją*, 58, 5, s. 190-196, 2015.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Uwzględniając ogromną rolę współpracy naukowo-badawczej w realizacji złożonych zadań badawczych coraz częściej wymagających unikalnych kompetencji, które trudno byłoby zgromadzić w jednym zespole naukowo-badawczym aktywnie współpracuję w ramach staży/konsultacji naukowych/programów współpracy naukowej (także w mniej sformalizowanej formie) z naukowo-badawczymi instytucjami krajowymi (Politechnika Warszawska, WIM, kat. A+, Politechnika Warszawska, WCh, kat. A+) lub zagranicznymi (University of Warwick oraz VSB - Technical University of Ostrava - VSB-TUO) w następujących obszarach:

5.1. Badania depozytu w składzie warstwy powierzchniowej cienkich taśm Ni₃Al powstałej w efekcie termokatalitycznej dekompozycji substancji chemicznych

W czasie trzymiesięcznego stażu naukowego (01.03-31.05.2018 r.) na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej przeprowadziłem, przy współpracy z dr inż. T. Płocińskim, kompleksową charakteryzację warstwy powierzchniowej taśm po procesach termokatalitycznych (tj. WW włącznie z depozytem), głównie – z wykorzystaniem techniki analitycznej STEM/HRTEM. Jednym z obszarów tych badań była analiza wpływu pary wodnej w strumieniu reakcyjnym podczas dekompozycji etanolu na morfologię depozytu węglowego powstałego na powierzchni katalizatora – taśm Ni₃Al. Mierzalnym efektem tej współpracy jest opublikowana w *Materials* publikacja:

- P. Jóźwik, A. Baran, T. Płociński, D. Dziedzic, J. Nawała, M. Liszevska, D. Zasada i Z. Bojar, *Analysis of the morphology and structure of carbon deposit formed on the surface of Ni₃Al foils as a result of thermocatalytic decomposition of ethanol*, *Materials* 14, 20 (2021) 6086, 140 pkt (punktacja zgodnie z wykazem MNiSW z 2021 r.); Impact Factor 3,748.

Należy podkreślić, że współpraca z dr T. Płocińskim trwa nadal.

5.2. Charakteryzacja struktury WW materiałów metalicznych z wykorzystaniem subtelných narzędzi badawczych STM, AFM i XPS

W czasie mojego dwukrotnego pobytu na Uniwersytecie w Warwick, tj. konsultacji naukowej (28.09-04.10.2014 r) oraz miesięcznego stażu naukowy (20.05-22.06.2015 r.) zrealizowałem w grupie badawczej prof. Ch. McConville, przy ścisłej współpracy z dr. A. Krupskim badania w zakresie charakteryzacji struktury WW materiałów metalicznych z wykorzystaniem subtelných narzędzi badawczych (STM, AFM i XPS). Mierzalnym efektem tej współpracy są następujące aktywności:

- publikacja:
 - K. Krupska, M. Moors, P. Jóźwik, T. Kobiela i A. Krupski, *Structure determination of Au on Pt(111) surface: LEED, STM and DFT study*, *Materials* 8, 6, (2015) pp. 2935-2952, lista A, 35 pkt (punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2015 r.); Impact Factor: 2,728 - dotycząca badań

struktury atomowej złota osadzonego na powierzchni Pt (111) (ultra wysoka próżnia, temp. pokojowa)

- wystąpienia na konferencji European Materials Research Society E-MRS 2015 Fall Meeting, Warsaw, Poland – dotyczące charakteryzacji struktury taśm ze stopu Ni₃Al oraz wytworzonych metodą LENS stopów Fe₃Al-SS316L, Ti-6Al-4V, w tym:

jako referujący:

- P. Jóźwik, K. Krupska, W. Stępniewski, Z. Bojar, T. Durejko, A. Krupski, *Surface analysis of thin Ni₃Al based intermetallic foils after methanol decomposition*,
- P. Jóźwik, K. Krupska, W. Polkowski, Z. Bojar, T. Durejko, A. Krupski, *Structure characterization of work hardened Ni₃Al based intermetallic alloy strips after heat treatment*,

jako współautor:

- S. Lipiński, T. Durejko, J. Aniszewska, M. Ziętała, P. Jóźwik, A. Krupski, *Fabrication of porous layer Ti-6Al-4V by continuous laser metal deposition*,
- T. Durejko, K. Krupska, M. Łazińska, P. Jóźwik, A. Krupski, *The fabrication process and microstructure characterization of continuous Fe₃Al-SS316L graded materials obtained by LENS technology*.

5.3. Obróbka plastyczna i cieplno-plastyczna stopów na osnowie faz międzymetalicznych

Brałem udział w polsko-czeskim programie wykonawczym w ramach umowy między Rzeczpospolitą Polską i Republiką Czeską o współpracy w dziedzinie nauki i techniki, 2013-2014. W czasie przyznanego na dwa lata finansowania na współpracę obejmującego stypendia wyjazdowe do VSB - Technical University of Ostrava - VSB-TUO do grupy naukowo-badawczej prof. I. Schindlera realizowałem projekt dotyczący obróbki plastycznej stopów Ni₃Al (strona polska) oraz stopów Fe-Al (strona czeska). Mierzalnym efektem tej współpracy są aktywności:

- publikacje:
 - Schindler, J. Kopeček, P. Kawulok, M. Jabłońska, E. Hadasik, P. Jóźwik, P. Opěla, P. Hanus, W. Polkowski, Z. Bojar, *Kinetics of static recrystallization in the coarse-grained Fe-40at.%Al-Zr-B alloy*, Archives of Civil and Mechanical Engineering 17, 4 (2017) 816-826, lista A, 30 pkt (punktacja, zgodnie z wykazem MNIŚW z 2017 r.); Impact Factor 2,763;
 - P. Jóźwik, W. Polkowski, I. Schindler, T. Mikuszewski, Z. Bojar, *Wpływ parametrów przetwarzania na strukturę i właściwości mechaniczne intermetalicznych taśm Ni₃Al po walcowaniu na zimno i statycznym wygrzewaniu*, Hutnik - Wiadomości Hutnicze 08, 84 (2017) 336-342; lista B, 7 pkt (punktacja, zgodnie z wykazem MNIŚW z 2017 r.); Impact Factor: brak;
 - P. Jóźwik, W. Polkowski, S. Rusz, I. Schindler, T. Mikuszewski, *Walcowanie wysokotemperaturowe taśm ze stopu na osnowie fazy międzymetalicznej*

Ni₃Al, Hutnik - Wiadomości Hutnicze 83, 9 (2016) 401-405, lista B, 7 pkt (punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2016 r.); Impact Factor: brak;

- P. Jóźwik, W. Polkowski, I. Schindler, S. Rusz, P. Kawulok, K. Krawczyk, Z. Bojar, *Przebudowa mikrostruktury taśm ze stopu na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al w efekcie obróbki plastycznej na gorąco*, Hutnik - Wiadomości Hutnicze 82, 8 (2015) 479-481; lista B, 7 pkt (punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2016 r.); Impact Factor: brak;
- P. Jóźwik, W. Polkowski, I. Schindler, S. Rusz, P. Kawulok, K. Krawczyk, Z. Bojar, *Wpływ temperatury i prędkości odkształcenia na mikrostrukturę stopu na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Hutnik - Wiadomości Hutnicze 81, 8 (2014) 549-551, lista B, 7 pkt (punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2016 r.); Impact Factor: brak;
- wystąpienie konferencyjne (jako współautor)
 - I. Schindler, V. Šumšal, J. Kopeček, P. Kawulok, P. Jóźwik, S. Rusz, R. Kawulok, P. Opěla, *Model of static recrystallization in the coarse-grained B2 iron aluminide*, 23rd International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2014 (ISBN 978-808729454-3).

Należy podkreślić, że współpraca z zespołem prof. Schindlera trwa nadal.

5.4. Badania procesów przebudowy struktury zachodzących w efekcie obróbki plastycznej i/lub cieplno-plastycznej

W ramach stażu naukowego (01.03-31.06.2001 r.) na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej (kat. A+) brałem udział, we współpracy z prof. E. Jezierską, w badaniach TEM substruktury stopów Ni₃Al po obróbce plastycznej i wygrzewaniu rekrytalizującym. Mierzalnym efektem tej współpracy jest publikacja:

- P. Jóźwik, E. Jezierska, Z. Bojar, *TEM investigations of Ni₃Al – based intermetallic polycrystals*, Materials Chemistry and Physics 81 (2003) 448-451, lista A, 20 pkt (punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r.); Impact Factor 1,183.

5.5. Badania materiałowe w procesach aktywności katalitycznej (także z udziałem plazmy) katalizatorów metalicznych

Moja współpraca z zespołem naukowo-badawczym prof. K. Krawczyka z Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej (WCh, PW, kat. A+) dotyczyła realizacji badań aktywności katalitycznej taśm Ni₃Al i badań materiałowych różnych katalizatorów metalicznych. Byłem inicjatorem *Porozumienia o współpracy* zawartego pomiędzy Wydziałem Nowych Technologii i Chemii WAT z Wydziałem Chemicznym PW. Wymiernym efektem współpracy są zarówno wspólnie zrealizowane projekty badawcze (NCN, NCBiR) jak i szereg publikacji m.in.:

- B. Ulejczyk B, P. Jóźwik, Ł. Nogał, M. Młotek, K. Krawczyk, *Efficient Conversion of Ethanol to Hydrogen in a Hybrid Plasma-Catalytic Reactor*,

- Energies, 15, 9 (2022) 3050, (ISSN: 1996-1073); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2021 r.): 140 pkt; Impact Factor: 3,252;
- B. Ulejczyk, P. Józwik, M. Młotek, K. Krawczyk, A Promising *Cobalt Catalyst for Hydrogen Production*, Catalysts, 12, 3 (2022) 278, (ISSN: 2073-4344); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2021 r.): 100 pkt; Impact Factor: 4,501;
 - J. Woroszył-Wojno, M. Młotek, M. Perron, P. Józwik, B. Ulejczyk, K. Krawczyk, *Decomposition of tars on a nickel honeycomb catalyst*, Catalysts, 11, 7 (2021) 860, (ISSN: 2073-4344); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2021 r.): 100 pkt; Impact Factor: 4,501;
 - B. Ulejczyk, Ł. Nogal, P. Józwik, M. Młotek, K. Krawczyk, *Plasma-catalytic process of hydrogen production from mixture of methanol and water*, Catalysts, 11, 7 (2021) 864, (ISSN: 2073-4344); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2021 r.): 100 pkt; Impact Factor: 4,501;
 - M. Młotek, E. Reda, P. Józwik, K. Krawczyk, Z. Bojar, *Plasma-catalytic decomposition of cyclohexane in gliding discharge reactor*, Applied Catalysis A: General, 2015, 505, 150-158, (ISSN: 0926-860X); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2015 r. (lista A): 40 pkt; Impact Factor: 4,012;
 - P. Józwik, M. Salerno, W.J. Stępniewski, Z. Bojar, K. Krawczyk, *Decomposition of cyclohexane on Ni₃Al thin foil intermetallic catalyst*, Materials, 2014, 7, 7039-7047, (ISSN: 1996-1944), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2014 r.): lista A, 35 pkt; Impact Factor: 2,651.

Należy podkreślić, że współpraca z zespołem prof. K. Krawczyka trwa nadal.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

6.1. Osiągnięcia dydaktyczne

a. zajęcia dydaktyczne

W ramach realizacji zajęć dydaktycznych ze studentami przeprowadziłem łącznie 5500 godzin wykładów, ćwiczeń i ćwiczeń laboratoryjnych w ramach 36-ciu przedmiotów na studiach I i II stopnia, 6-ciu przedmiotów na studiach doktoranckich i dwóch na kursach specjalistycznych (tab. 2).

W uznaniu mojego dorobku dydaktycznego otrzymałem następujące wyróżnienia:

- Zasłużony Nauczyciel Akademicki WAT, 2016 r.
- Medal Komisji Edukacji Narodowej, 2022 r.

Tab. 2. Zestawienie dotychczas prowadzonych przeze mnie zajęć dydaktycznych

Lp.	Przedmiot	Forma realizacji zajęć
studia I i II stopnia		
1.	Podstawy konstrukcji maszyn. Podstawy konstrukcji maszyn z CAD.	ćw. audytoryjne, ćw. laboratoryjne
2.	Grafika inżynierska.	ćw. audytoryjne
3.	Normalizacja i Kodyfikacja w SZ RP.	wykłady
4.	Normalizacja i Kodyfikacja w NATO.	wykłady
5.	Strukturalne uwarunkowania właściwości metali.	ćw. audytoryjne ćw. laboratoryjne
6.	Konstrukcyjna podatność materiałów inżynierskich.	wykłady, ćw. audytoryjne
7.	Kształtowanie właściwości materiałów.	ćw. audytoryjne
8.	Fizyka odkształcenia plastycznego.	ćw. audytoryjne
9.	Materiałoznawstwo.	ćw. laboratoryjne
10.	Materiały konstrukcyjne w budowie maszyn I.	wykłady, ćw. laboratoryjne
11.	Materiały konstrukcyjne w budowie maszyn II.	wykłady, ćw. laboratoryjne
12.	Materiały konstrukcyjne.	ćw. laboratoryjne
13.	Materiały konstrukcyjne i wielofunkcyjne.	wykłady
14.	Tworzywa konstrukcyjne.	ćw. laboratoryjne
15.	Nowoczesne tworzywa konstrukcyjne.	ćw. laboratoryjne, ćw. laboratoryjne
16.	Nowoczesne materiały i technologie.	wykłady, ćw. laboratoryjne
17.	Inżynieria materiałów budowlanych	ćw. laboratoryjne
18.	Metaloznawstwo połączeń spajanych.	wykłady ćw. audytoryjne ćw. laboratoryjne projekt
19.	Inżynieria połączeń spajanych.	wykłady ćw. laboratoryjne
20.	Ekonomiczne aspekty produkcji i stosowania materiałów.	ćw. audytoryjne
21.	Ekonomiczne i ekologiczne aspekty produkcji i stosowania materiałów.	ćw. audytoryjne
22.	Laboratorium materiałoznawstwa i technologii.	ćw. laboratoryjne
23.	Analiza struktury wspomaganą komputerowo.	wykłady ćw. audytoryjne

24.	Komputerowe wspomaganie inżynierii materiałowej.	ćw. audytoryjne
25.	Komputerowe wspomaganie doboru materiałów. Zasady doboru materiałów inżynierskich.	wykłady ćw. audytoryjne
26.	Mikroskopia świetlna i elektronowa.	wykłady ćw. audytoryjne ćw. laboratoryjne
27.	Fizykostrukturalne metody badań.	wykłady ćw. laboratoryjne
28.	Metody badania struktury materiałów.	wykłady ćw. laboratoryjne
29.	Badania właściwości mechanicznych i badania nieniszczące.	ćw. laboratoryjne
30.	Technologie materiałów konstrukcyjnych.	ćw. audytoryjne
31.	Technologie materiałów konstrukcyjnych i wielofunkcyjnych.	ćw. audytoryjne
32.	Techniki wytwarzania.	ćw. laboratoryjne
33.	Techniki wytwarzania i CAM.	ćw. laboratoryjne ćw. audytoryjne
34.	Mechanizmy niszczenia materiałów.	wykłady ćw. audytoryjne ćw. laboratoryjne
35.	Ekspertyza materiałowa.	wykłady seminarium ćw. laboratoryjne
36.	Seminarium dyplomowe.	seminarium

Studia doktoranckie

1.	Nowoczesne materiały i technologie.	wykłady
2.	Laboratorium materiałów i technologii IV.	ćw. laboratoryjne
3.	Laboratorium materiałów i technologii V.	ćw. laboratoryjne
4.	Współczesne metody charakteryzacji materiałów.	wykłady
5.	Nano i ultrakrystaliczne materiały konstrukcyjne.	wykłady
6.	Komputerowa analiza obrazu w inżynierii materiałowej.	wykłady

Kursy specjalistyczne

1.	Procedury i zasady opracowywania resortowych dokumentów normalizacyjnych, WAT Warszawa	wykłady
2.	Normalizacja i Kodyfikacja w NATO, WAT Warszawa	wykłady

b. opieka nad studentami w ramach koła naukowego studentów

Tab. 3. Zestawienie osiągnięć studentów realizujących pozaprogramową działalność w Kole Naukowym Studentów

Lp.	Imię i nazwisko studenta	Osiągnięcie
1.	W. Polkowski	III miejsce w konkursie o Nagrodę Rektora WAT, listopad 2007 r.
2.	W. Polkowski	I miejsce na XXXVI Seminarium Kół Naukowych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski (sekcja nauk technicznych), Olsztyn, maj 2008 r.
3.	W. Polkowski, P. Jóźwik	I-sze miejsce w sekcji <i>Special constructions and materials</i> , 5 th Student's Scientific Conference, Brno, Czech Republic 2008 r.
4.	W. Polkowski	wyróżnienie w konkursie o Nagrodę Rektora WAT, listopad 2008 r.
5.	W. Polkowski	I miejsce w konkursie Rektora WAT na najlepszą pracę magisterską roku akademickiego 2009, wrzesień 2009 r.
6.	J. Kaźmierska	I miejsce w konkursie na najlepszy wygłoszony referat na XXXIX Międzynarodowym Seminarium Kół Naukowych „Koła Naukowe Szkołą Twórczego Działania”, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, maj 2010 r. Olsztyn.
7.	A. Małecka	II-gie miejsce w konkursie na najlepszy referat na XXXX Międzynarodowym Seminarium Kół Naukowych „Koła Naukowe Szkołą Twórczego Działania”, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, maj 2011 r. Olsztyn.
8.	M. Piszcz	I miejsce w konkursie na najlepszy referat na XLVII Międzynarodowym Seminarium Kół Naukowych, kwiecień 2017 r, Olsztyn.
9.	M. Bielak	nagroda specjalna prof. J. Szali na XIX Międzynarodowej Studenckiej Sesji Naukowej <i>Materiały i technologie XXI wieku</i> maj 2017 r. Katowice.
10.	M. Bielak	III miejsce XLVIII Międzynarodowe Seminarium Kół Naukowych, 26 - 27.04.2018 r, Olsztyn.

b. prace dyplomowe

W czasie pracy naukowo-dydaktycznej kierowałem 9 pracami magisterskimi i 9 inżynierskimi – szczegółowe zestawienie. Wykaz ograniczyłem do prac, które zostały obronione (tab. 4).

Tab. 4. Zestawienie prac dyplomowych dotychczas zrealizowanych i obronionych pod moim kierunkiem

Lp.	Imię i nazwisko dyplomanta	Tytuł pracy dyplomowej	Rok obrony
<i>I stopień</i>			
1.	Aleksandra Małecka	Ocena właściwości katalitycznych stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al w aspekcie aplikacji w układach dopalania popiołów energetycznych.	2010
2.	Jarosław Kożuchowski	Ocena możliwości dekompozycji wybranych toksycznych związków chemicznych z wykorzystaniem cienkich taśm ze stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al.	2010
3.	Damian Dobrzeńcki	Profilowanie i łączenie cienkich taśm Ni ₃ Al w strukturę przestrzenną typu plaster miodu.	2011
4.	Michał Piszcz	Stabilność cieplna stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al o strukturze nano/ultra krystalicznej.	2016
5.	Wojciech Fryc	Aktualne i perspektywiczne możliwości aplikacji wybranych stopów na osnowie faz międzymetalicznych z układów równowagi Ni-Al, Fe-Al.	2016
6.	Mateusz Lasecki	Projekt uchwytu do walcowania wzdłużnego taśm.	2016
7.	Piotr Kozirski	Obróbka plastyczna na gorąco stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al.	2016
8.	Mateusz Bielak	Umocnienie odkształceniowe stopów dwufazowych γ'/γ z układu równowagi Ni-Al.	2019
9.	Magdalena Łucjan	Badania właściwości mechanicznych struktur typu „plaster miodu” wykonanych z cienkich taśm Ni ₃ Al.	2022
<i>II stopień</i>			
1.	Wojciech Polkowski	Wpływ temperatury i czasu na żaroodporność i stabilność strukturalną stopów Ni ₃ Al.	2009
2.	Justyna Kaźmierska	Analiza możliwości łączenia stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al za pomocą wybranych metod spajania.	2010
3.	Michał Gmitrzuk	Analiza wpływu grubości taśm ze stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al na ich stabilność strukturalną i parametry wytrzymałościowe.	2010

4.	Aleksandra Matecka	Ocena właściwości katalitycznych stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al w aspekcie aplikacji w układach dopalania popiołów energetycznych.	2011
5.	Jarosław Kożuchowski	Analiza wpływu parametrów walcowania stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al na uzyskiwane parametry strukturalne.	2012
6.	Michał Piszcz	Wpływ dynamicznego odkształcenia na strukturę i właściwości wytrzymałościowe stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al.	2018
7.	Adam Wiśniewski	Umocnienie odkształceniowe wybranych tworzyw metalicznych.	2019
8.	Mateusz Bielak	Żaroodporność i stabilność strukturalna stopów Ni ₃ Al.	2021
9.	Barbara Daszkiewicz	Analiza możliwości łączenia stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al za pomocą zgrzewania wybuchowego.	2021

6.2. Promotorstwo pomocnicze w przewodach doktorskich

Tab. 5. Zestawienie obronionych rozpraw doktorskich zrealizowanych z moim udziałem, jako promotora pomocniczego

Lp.	Imię i nazwisko doktoranta	Imię i nazwisko promotora	Tytuł rozprawy doktorskiej	Rok obrony
1.	mgr Marta Michalska-Domańska	prof. dr hab. inż. Zbigniew Bojar	Wpływ stanu materiału na aktywność katalityczną stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al.	2014
2.	mgr inż. Wojciech Polkowski	prof. dr hab. inż. Zbigniew Bojar	Asymetryczne walcowanie jako metoda kształtowania struktury i właściwości stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al.	2016

6.3. Osiągnięcia organizacyjne

Tab.6. Zestawienie zrealizowanych przeze mnie przedsięwzięć organizacyjnych

Lp.	Przedsięwzięcie	Rok realizacji
1.	uruchomienie i wdrożenie do praktyki naukowo-badawczej laboratorium transmisyjnej mikroskopii elektronowej (w tym pracowni preparatyki TEM) na Wydziale Mechanicznym WAT (obecnie Wydziale Inżynierii Mechanicznej) – główny wykonawca przedsięwzięcia	2001-2002
2.	członek zespołu projektowego Laboratorium Projektowania Materiałów i Szybkiego Wytwarzania Wyrobów LAPROMAW wdrażającego ideę współbieżnego projektowania materiałów i wytwarzania wyrobów	2009-2011

3.	organizacja Pracowni obróbki plastycznej – główny wykonawca przedsięwzięcia	2011
4.	członek Senatu Wojskowej Akademii Technicznej	2012-2016
5.	członek dydaktycznego zespołu na kierunku <i>Inżynierii materiałowej</i>	2017
6.	kierowanie i udział w Inwestycji Celowej MON (<i>Modernizacja i doposażenie specjalistycznego laboratorium analityki składu chemicznego oraz analizy fazowej we wzorce stałe, ciekłe i gazowe</i>) w ramach <i>Planu modernizacji technicznej SZ RP w latach 2018-2022</i>	2018
7.	członek Rady Wydziału Nowych Technologii i Chemii	2016-2020
8.	członek Komisji Senatu ds. mienia i finansów	2012-2016 2016-2020
9.	pełnomocnik Dziekana WTC ds. ochrony i komercjalizacji dóbr intelektualnych	2018 - 2019
10.	kierownik Zakładu Materiałów Konstrukcyjnych Instytutu Inżynierii Materiałowej WAT	2019 - obecnie
11.	kierowanie i udział w Inwestycji celowej MON (<i>Modernizacja specjalistycznego laboratorium analityki składu chemicznego - zakup spektrometru EDS</i>) w ramach <i>Planu modernizacji technicznej SZ RP w latach 2018-2023</i>	2023
12.	członek Wydziałowej Rady ds. Kształcenia	2023- obecnie
13.	przewodniczący Zespołu ds. opracowania programu studiów na kierunku <i>Inżynieria materiałowa</i>	2023 - obecnie

6.4. Nagrody i wyróżnienia

Tab.7. Zestawienie otrzymanych przeze mnie nagród i wyróżnień

Lp.	Nagrody i wyróżnienie	Rok otrzymania
<i>przed uzyskaniem stopnia doktora</i>		
1.	III miejsce w konkursie na najlepszy referat wygłoszony podczas XVII Seminarium Koła naukowego Mechaników WAT Warszawa.	1998
2.	II miejsce w konkursie na najlepszy referat wygłoszony podczas XVIII Seminarium Koła naukowego Mechaników WAT Warszawa.	1999
3.	III miejsce w Międzyuczelnianej Sesji Studenckich Kół Naukowych Politechnika Śląska, Katowice.	1999
4.	nagroda III-go stopnia w konkursie Rektora Wojskowej Akademii Technicznej na najlepszą pracę dyplomową, Warszawa.	1999
5.	wyróżnienie w konkursie na najlepszy referat Młodego Pracownika Nauki na 21 Międzynarodowym Sympozjum Naukowym Studentów i Młodych Pracowników Nauki, Zielona Góra.	2000
6.	wyróżnienie w konkursie na najlepszy referat Młodego Pracownika Nauki na 23 Międzynarodowym Sympozjum Naukowym Studentów i Młodych Pracowników Nauki, Zielona Góra.	2002

po uzyskaniu stopnia doktora		
1.	nagroda indywidualna Rektora Wojskowej Akademii Technicznej, WAT Warszawa.	2005
2.	nagroda zespołowa Rektora Wojskowej Akademii Technicznej, WAT Warszawa.	2005
3.	srebrny medal na 54 Światowej Wystawie Wynalazków, Badań Naukowych i Nowoczesnej Techniki „Brussels Eureka-2005”.	2005
4.	złoty medal na Międzynarodowej Wystawie Wynalazczości Innowacje 2005, Gdańsk.	2005
5.	nagroda Prezesa Rady Ministrów RP w konkursie na najlepszą rozprawę doktorską.	2005
6.	nagroda Ministra Edukacji i Nauki za rozwój technologii stopów Ni-Al.	2006
7.	dyplom uznania od Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za znaczące osiągnięcia naukowe.	2006
8.	stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla Wybitnych Młodych Naukowców.	2006-2009
9.	złoty medal na 58 Światowych Targach Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Techniki „Brussels INNOVA 2009”.	
10.	Dyplom Komitetu Naukowego FEMS EUROMAT’2009 w konkursie na najlepszy poster „Thermally activated processes in the Ni ₃ Al based cold-worked intermetallic alloy”, Glasgow, Scotland.	2009
11.	złoty medal na 111 targach wynalazczości CONCOURS LEPINE 2012, Paryż, „Méthode d’épuration catalytique et de décontamination de l’air”	2012
12.	nagroda zespołowa Rektora Wojskowej Akademii Technicznej, WAT Warszawa.	2012
13.	dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za projekt „Sposób termokatalitycznego oczyszczania powietrza z niebezpiecznych związków chemicznych, dekontaminacji czynników biologicznych i uniwersalny reaktor do realizacji tych procesów”.	2013
14.	srebrny medal na 65 Międzynarodowych Targach Wynalazczości iENA 2013, Norymberga.	2013
15.	nagroda I stopnia Ministra Obrony Narodowej w Konkursie na najlepszą pracę naukową i badawczą z obszaru obronności posiadającą charakter aplikacyjny – za „Pracę nad właściwościami katalitycznymi taśm Ni ₃ Al ukierunkowaną na aplikacje w układach oczyszczania powietrza” (projekt O R00 004905).	2013
16.	list gratulacyjny od Marszałka woj. mazowieckiego w uznaniu za „Rozwój badań w zakresie technologii wytwarzania i przetwarzania stopów na osnwie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al”.	2013
17.	brązowy medal na Międzynarodowych Targach Wynalazczości International Invention Fair, Seul.	2014
18.	nagroda specjalna The Egyptian Inventors Syndicate: for the outstanding performance and display commenced by idea with the title <i>Ni₃Al-based strips and foils with strictly specified properties adapted to specific functional or structural applications.</i>	2014
19.	zasłużony nauczyciel akademicki WAT, Warszawa.	2016
20.	Medal Komisji Edukacji Narodowej	2022

6.5. Udział w komitetach redakcyjnych i recenzje publikacji naukowych

Pełniłem funkcję edytora gościnnego w specjalnym wydaniu czasopisma Materials "Intermetallics—Current Research and Applications",
https://www.mdpi.com/journal/materials/special_issues/Intermetallics_Applications)

Wykonałem łącznie 58 recenzji publikacji w czasopismach naukowych – szczegółowe zestawienie w tabeli 6.

Tab.8. Lista czasopism naukowych, dla których wykonałem recenzję, z zaznaczoną liczbą recenzji i współczynnikiem wpływu (IF) danego czasopisma.

Lp.	Tytuł czasopisma	Liczba wykonanych recenzji
1.	Applied Surface Science (IF=7,392)	2
2.	International Journal of Mechanical Sciences (IF=6,772)	1
3.	Journal of Alloys and Compounds (IF=6,371)	7
4.	Journal of Materials Research and Technology (IF=6,267)	6
5.	Materials (IF=3,748)	8
6.	Micron (IF=2,381)	1
7.	Coatings (IF=3,236)	1
8.	Applied Sciences (IF=2,838)	2
9.	Metals (IF=2,695)	10
10.	Journal of Mining and Metallurgy (IF=1,311)	3
11.	Archives of Metallurgy and Materials (IF=0,633)	15
12.	Pozostałe (IF<0,5) (Journal of Composites Science, Inżynieria Materiałowa)	2
Łącznie		58

6.6. Realizacja projektów naukowo-badawczych

a. kierowanie projektami naukowo-badawczymi finansowanymi ze źródeł spoza WAT

Tab.9. Zestawienie kierowanych przeze mnie projektów naukowo-badawczych finansowanymi ze źródeł spoza WAT

Lp.	Tytuł i numer projektu	Rok zakończenia
1.	<i>Rozwój innowacyjnej technologii cienkich taśm ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al o wysokiej aktywności termokatalitycznej w zakresie oczyszczania powietrza z substancji szkodliwych lub kontrolowanego rozkładu węglowodorów, PBST 27-246/2015/WAT.</i>	2018
2.	<i>Aplikacje wojskowe mikro, ultra i nanokrystalicznych stopów Ni₃Al - demonstrator technologii w postaci termoaktywnych elementów układu oczyszczania powietrza z substancji toksycznych, 2010r, kierownik projektu, O R00 0049 05 MNiSW.</i>	2010
3.	<i>Mikrokrystaliczne, plastyczne w temperaturze otoczenia taśmy ze stopów Ni₃Al – otrzymywanie, właściwości i próby aplikacji, 7T07E02714, MNiSW.</i>	2008

b. udział w projektach naukowo-badawczych finansowanych ze źródeł spoza WAT

Tab.10. Zestawienie projektów naukowo-badawczych finansowanych ze źródeł spoza WAT, w których brałem udział jako wykonawca

Lp.	Tytuł i numer projektu	Rok zakończenia
1.	<i>Innowacyjna technologia laserowego kształtowania przyrostowego LENS w zastosowaniu do modyfikacji geometrii biofunkcjonalizacji warstwy powierzchniowej bezcementowych implantów stawu biodrowego, PBS3/A5/53/2015.</i>	2018
2.	<i>Wielkolaboratoryjny reaktor plazmowo-katalityczny do prowadzenia procesów rozkładu zanieczyszczeń ciekłych i gazowych w warunkach plazmy nierównowagowej wyładowania ślizgowego, PBS2/A1/10/2013.</i>	2017
3.	<i>Badania mechaniczne odkształcenia i rozdrobnienia ziarna stopów Fe-Al w procesach silnego odkształcenia plastycznego, NCN – SONATA 2012/05/D/ST8/02710.</i>	2016
4.	<i>Wpływ warunków nagrzewania i środowiska procesu na udział fazy tlenkowej w spiekach Fe-Al wytwarzanych z udziałem reakcji SHS, NCN – SONATA 2011/01/D/ST8/07798.</i>	2014

5.	<i>Materiały porowate na osnowie fazy międzymetalicznej FeAl-otrzymywanie i właściwości, O N50800 4334.</i>	2011
6.	<i>Laboratorium projektowania materiałów i szybkiego wytwarzania wyrobów – Lapromaw, POIG.02.01.00-14-071/08/00.</i>	2011
7.	<i>Technologia wytwarzania i przetwarzania litych nanomateriałów metalicznych, KB/137/13798/IT1-B/U/08, NCBiR.</i>	2011
8.	<i>Wielofunkcyjne materiały gradientowe na osnowie faz z układu FeAl spiekane w warunkach cyklicznie zmiennego obciążenia, ON508 004434, MNiSW.</i>	2011
9.	<i>Technologia stopów intermetalicznych Fe-Al i Ni-Al dla wybranych zastosowań w energetyce R07 02502, MNiSW.</i>	2010
10.	<i>Modelowanie i weryfikacja doświadczalna mechanizmów zużycia stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al o zróżnicowanym stanie warstwy wierzchniej, O N508 0048 33, MNiSW.</i>	2010
11.	<i>Projektowanie i opracowanie technologii wytwarzania intermetalicznych funkcjonalnych materiałów gradientowych na elementy osłon balistycznych, PBZ-KBN-100/T08/2003.</i>	2007
12.	<i>Wpływ stanu struktury na właściwości mechaniczne i przebieg pęknięcia stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al, O T00C00724, projekt badawczy(promotorski).</i>	2004
13.	<i>Stopy na osnowie faz międzymetalicznych – technologia, właściwości, zastosowanie, PBZ 041/T08/09-01.</i>	2004
14.	<i>Projektowanie i opracowanie technologii wytwarzania intermetalicznych funkcjonalnych materiałów gradientowych na elementy osłon balistycznych, PBZ-KBN-100/T08/2003.</i>	2004
15.	<i>Rekonstrukcja przebiegu zmęczeniowego pęknięcia w elementach konstrukcyjnych statków latających w warunkach obciążeń eksploatacyjnych, 7 T07B00419</i>	2003
16.	<i>Intermetaliczne materiały na elementy osłon balistycznych, 7 T00A00818.</i>	2003
17.	<i>Trwałości zmęczeniowej spawanych konstrukcji stalowych w zakresie niskocyklowym przy występowaniu przeciążeń z uwzględnieniem działania karbu, 7 T07E02714.</i>	2002

c. udział w projektach międzynarodowych

Tab.11. Zestawienie projektów międzynarodowych, w których brałem udział jako wykonawca

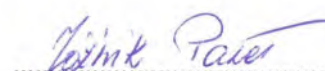
Lp.	Tytuł projektu	Rok zakończenia
1.	Udział w realizacji projektu europejskiego FMMI VŠB-TUO – „Strategický rozvoj doktorských studijních programů”, numer CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002706, członek zespołu.	2018
2.	Polsko-Czeski program wykonawczy w ramach umowy między rządem Rzeczypospolitej Polskiej a rządem Republiki Czeskiej o współpracy w dziedzinie nauki i techniki, 2013-2014, projekt „Analiza wpływu warunków walcowania na odkształcalność i przemiany strukturalne w drobnociastym stopie na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al”, członek zespołu - główny wykonawca.	2014

6.7. Udział w kursach, szkołach i stażach (wybrane)

Tab.12. Zestawienie kursów, szkoleń i staży/konsultacji naukowych, których byłem uczestnikiem (wybrane)

Lp.	Tytuł projektu	Rok zakończenia
Stáže, konsultacje naukowe		
1.	Staż naukowy, Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej (kat. A+), Warszawa.	01.03-31.05.2018r.
2.	Staż naukowy, University of Warwick, Coventry, Wielka Brytania.	19.05-16.06.2015r.
3.	Konsultacje naukowe, Department of Physics, University of Warwick, Coventry, Wielka Brytania.	29.09-03.10.2014r
4.	Konsultacje naukowe, Faculty of Engineering and Information Sciences, University of Wollongong, Australia.	2007 (1 tydzień)
5.	Staż zawodowy, Wojskowe Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji, Warszawa.	01.01-31.03.2004r
6.	Staż naukowy na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej, Warszawa.	01.03-31.06.2001r.
Kursy/szkolenia		
1.	Szkolenia specjalistyczne: EBSD – OIM Analysis, Labsoft.	2023
2.	Szkolenie specjalistyczne: <i>Badania Materiałów w skali nano i mikro</i> , Technolutions-Pik Instruments, Warszawa.	2017
3.	„Kurs specjalistyczny: <i>Zarządzanie projektami zgodnie z metodyką PCM – standard UE 2016</i> , Europoint Kraków.	2016
4.	Certyfikowany kurs „ <i>Advanced Scanning Tunneling Microscopy Training Course</i> ”, Department of Physics, University of Warwick.	2015
5.	Certyfikowany kurs “ <i>Advanced X-ray Photoelectron Spectroscopy Training Course</i> ”, Department of Physics, University of Warwick.	2015
6.	Kurs specjalistyczny „ <i>EDAX EBSD Training Course</i> ”, “ <i>EDAX EBSD Advanced Training Course</i> ”, WAT, Warszawa.	2011
7.	Kurs specjalistyczny <i>EDAX WDS Training Course</i> ”, <i>EDAX WDS Advanced Training Course</i> ”, EDAX, WAT, Warszawa.	2011
8.	Kurs specjalistyczny „ <i>Spektrometry ICP-OES</i> ”, PerkinElmer WAT, Warszawa.	2011
9.	Szkolenie specjalistyczne „ <i>Techniki przestrzennej analizy 3D EBSD w mikroskopii elektronowej</i> ”, Labsoft, Kraków.	2010
10.	Kurs specjalistyczny „ <i>Chromatografia gazowa sprzężona ze spektrometrem mas GCMS</i> ”, WAT Warszawa.	2010
11.	Kurs specjalistyczny „ <i>Chromatografia gazowa</i> ” Cobrabid, SGGW, Warszawa.	2009

12.	Kurs specjalistyczny „Zastosowanie komputerowej analizy obrazu w inżynierii materiałowej” Biuro Techniczno-Szkoleniowe DCOSBIM Ustroń.	2006
13	Kurs specjalistyczny <i>Procedury i zasady opracowywania resortowych dokumentów normalizacyjnych</i> , WAT, Warszawa.	2004


.....
(podpis wnioskodawcy)

**WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH
STANOWIĄCYCH ZNACZNY WKŁAD W ROZWÓJ DYSCYPLINY
INŻYNIERIA MATERIAŁOWA**

ppłk dr inż. Paweł JÓŹWIK

Wydział Nowych Technologii i Chemii
Wojskowa Akademia Techniczna
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2
00-908 Warszawa

Spis treści

I. WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH (o których mowa w art. 219 ust. 1. pkt 2 Ustawy).....	4
1. Monografia naukowa (zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2a Ustawy) – główne osiągnięcie naukowe	4
2. Zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne lub technologiczne (zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2c ustawy).....	4
II. WYKAZ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ.....	4
1. Opublikowane monografie naukowe (nie wymienione w pkt I.1).....	4
2. Opublikowane rozdziały w monografiach naukowych	4
2.1. przed uzyskaniem stopnia doktora	4
2.2. po uzyskaniu stopnia doktora	4
3. Członkostwo w redakcjach naukowych monografii.....	4
4. Opublikowane artykuły w czasopismach naukowych.....	4
4.1. przed uzyskaniem stopnia doktora	4
4.2. po uzyskaniu stopnia doktora	8
5. Osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne, technologiczne (nie wymienione w pkt I.2).....	19
5.1. przed uzyskaniem stopnia doktora	19
5.2. po uzyskaniu stopnia doktora	20
6. Publiczna realizacja dzieł popularyzujących naukę.....	22
6.1. przed uzyskaniem stopnia doktora.....	22
6.2. po uzyskaniu stopnia doktora	22
7. Wystąpienia na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych, z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych	23
7.1. przed uzyskaniem stopnia doktora	23
7.2. Po uzyskaniu stopnia doktora	25
8. Udział w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych, z podaniem pełnionej funkcji	26
8.1. przed uzyskaniem stopnia doktora	26
8.2. po uzyskaniu stopnia doktora	26
9. Uczestnictwo w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji, oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach prac zespołów.....	27
9.1. przed uzyskaniem stopnia doktora	27
9.2. po uzyskaniu stopnia doktora	27
10. Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach	28
10.1. przed uzyskaniem stopnia doktora	28
10.2. po uzyskaniu stopnia doktora	28

11. Staże w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru	29
11.1. przed uzyskaniem stopnia doktora	29
11.2. po uzyskaniu stopnia doktora	29
12. Członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach (np. redaktora naczelnego, przewodniczącego rady naukowej, itp.) ...	29
12.1. przed uzyskaniem stopnia doktora	29
12.2. po uzyskaniu stopnia doktora	29
13. Recenzowane prac naukowych lub artystycznych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych.....	29
13.1. przed uzyskaniem stopnia doktora	29
13.2. po uzyskaniu stopnia doktora	30
14. Uczestnictwo w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych	30
14.1. przed uzyskaniem stopnia doktora	30
14.2. po uzyskaniu stopnia doktora	30
15. Udział w zespołach badawczych, realizujących projekty inne niż określone w pkt. II.9	31
15.1. przed uzyskaniem stopnia doktora	31
15.2. po uzyskaniu stopnia doktora	31
16. Wykaz uczestnictwa w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny.....	31
16.1. przed uzyskaniem stopnia doktora	31
16.2. po uzyskaniu stopnia doktora	31
III. WSPÓŁPRACA Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM.....	32
1. Wykaz dorobku technologicznego	32
2. Współpraca z sektorem gospodarczym	32
3. Wykaz uzyskanych praw własności przemysłowej, w tym uzyskanych patentów krajowych lub międzynarodowych.....	34
4. Wykaz wdrożonych technologii	35
5. Wykaz wykonanych ekspertyz lub innych opracowań wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców	35
6. Wykaz udziału w zespołach eksperckich lub konkursowych	35
IV. DANE NAUKOMETRYCZNE	36
1. Sumaryczny Impact Factor publikacji (w dziedzinach i dyscyplinach, w których parametr ten jest powszechnie używany jako wskaźnik naukometryczny)	36
2. Liczba cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań (na dzień 08.06.2023 r.).....	36
3. Indeks Hirscha (na dzień 29.05.2023 r.).....	36

I. WYKAZ OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH

(o których mowa w art. 219 ust. 1. pkt 2 Ustawy)

1. Monografia naukowa (zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2a Ustawy) – główne osiągnięcie naukowe

Stabilność strukturalna warstwy powierzchniowej cienkich taśm Ni₃Al w przykładowych procesach termokatalitycznej dekompozycji substancji chemicznych, ISBN 978-83-7938-402-0, Warszawa 2023, wydana przez Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej, str. 484, (poz. 594 w Wykazie wydawnictw publikujących recenzowane monografie naukowe. Komunikat Ministra Edukacji i Nauki z dnia 22 lipca 2021 r.).

2. Zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne lub technologiczne (zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2c ustawy)

Opracowanie i rozwój technologii wytwarzania i przetwarzania stopów intermetalicznych na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al

II. WYKAZ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ

1. Opublikowane monografie naukowe (nie wymienione w pkt I.1)

BRAK

2. Opublikowane rozdziały w monografiach naukowych

2.1. przed uzyskaniem stopnia doktora

P. Jóźwik, L. Śnieżek, *Experimental analysis of crack growth in a notched specimen made of Ni₃Al intermetallic alloy*, NATO Science Series, vol.11, *Notch Effects in Fatigue and Fracture*, Kluwer Academic Publishers, 2001 s. 257-269 (ISBN 978-0-7923-6842-7).

2.2. po uzyskaniu stopnia doktora

J. Pietryka, P. Jóźwik, *Stopy na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al i ich zachowanie się w środowisku utleniającym*, rozdział w monografii: *Rozwiązania proekologiczne w zakresie produkcji praca zbiorowa pod redakcją Janusza Mikuły*, Politechnika Krakowska, Kraków 2014, s. 273-287 (ISBN 978-83-7242-780-9).

3. Członkostwo w redakcjach naukowych monografii

BRAK

4. Opublikowane artykuły w czasopismach naukowych¹

4.1. przed uzyskaniem stopnia doktora

a. artykuły w czasopismach naukowych:

- 1) Z. Bojar, P. Jóźwik, Cz. Pakowski, *Abrasive wear of Ni₃Al – based intermetallic alloy*, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 9 (2004) s. 21-27 (ISSN: 1425-1655); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 3 pkt; bez Impact Factor.

¹ wskaźnik *Impact Factor* określony w latach wydania poszczególnych publikacji

- 2) P. Jóźwik, E. Jezierska, Z. Bojar, *TEM investigations of Ni₃Al – based intermetallic polycrystals*, Materials Chemistry and Physics, 81 (2003) s. 448-451 (ISSN: 0254-0584); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista A): 20 pkt, Impact Factor: 1,183.
- 3) P. Jóźwik, D. Zasada, Z. Bojar, *Umocnienie odkształceniowe stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Inżynieria Materiałowa, 4-5 (2003) s. 169-174 (ISSN: 0208-6247); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 4 pkt; bez Impact Factor.
- 4) D. Zasada, Z. Bojar, T. Czujko, P. Jóźwik, *Wpływ składu chemicznego oraz obróbki plastycznej i cieplnej na zużycie ściernie stopów na osnowie fazy Ni₃Al*, Archiwum Odlewnictwa 3, 7 (2003) s. 323-330 (ISSN: 1642-5308); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 6 pkt; bez Impact Factor.
- 5) P. Jóźwik, Z. Bojar, D. Zasada, S. Józwiak, Tomasz Durejko, *Wpływ obróbki cieplnej i plastycznej na strukturę i właściwości mechaniczne stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Biuletyn WAT, 11 (2003) s. 35-47 (ISSN: 1234-5865); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 4 pkt; bez Impact Factor.
- 6) D. Zasada, P. Jóźwik, Z. Bojar, *Wpływ składu chemicznego i struktury na właściwości mechaniczne stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Biuletyn WAT, 51 (2002) s. 31-44 (ISSN: 1234-5865); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 4 pkt, bez Impact Factor.
- 7) Z. Bojar, D. Zasada, P. Jóźwik, *Wpływ składu chemicznego, wariantowej obróbki cieplnej oraz plastycznej i cieplnej na charakter pękania stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Biuletyn WAT, 51 (2002) s. 45-58 (ISSN: 1234-5865); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 4 pkt; bez Impact Factor.
- 8) Z. Bojar, D. Zasada, P. Jóźwik, *The analysis of chemical composition and heat treatment parameters and influence on structural transitions and fracture behaviour of as-cast Ni₃Al phase based intermetallic alloys*, Acta Metallurgica Slovaca, 2 (2002) s. 432-437 (ISSN: 1335-1532); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 3 pkt; bez Impact Factor.
- 9) Z. Bojar, P. Jóźwik, D. Zasada, *Wpływ obróbki cieplnej i cieplno-plastycznej na strukturę i wybrane właściwości mechaniczne stopów na bazie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Inżynieria Materiałowa, 1 (2001) s. 22-26 (ISSN: 0208-6247); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 4 pkt; bez Impact Factor.
- 10) L. Śnieżek, P. Jóźwik, *Badanie rozwoju pęknięć zmęczeniowych stopu intermetallicznego typu Ni₃Al (Cr, Zr, B)*, Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej Mechanika 272, 70 (2001), s. 265-273 (ISSN: 1429-6055); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 2 pkt; bez Impact Factor.
- 11) L. Śnieżek, P. Jóźwik, *Odporność na pękanie stopu intermetallicznego typu Ni₃Al (Cr, Zr, B)*, Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej, Mechanika 73 (2001) s. 461-468 (ISSN: 0239-4979); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 2pkt; bez Impact Factor.

- 12) Z. Bojar, P. Jóźwik, D. Zasada, *Wpływ warunków homogenizacji stopu na bazie fazy międzymetalicznej Ni₃Al na jego podatność do odkształcenia plastycznego*, *Archiwum Odlewnictwa*, 2000, 42, s. 145-154 (ISSN: 1642-5308); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 6 pkt; bez Impact Factor.
- 13) D. Zasada, P. Jóźwik, Z. Bojar, *Wpływ pierwiastków stopowych na efekty procesu homogenizacji i przeróbki cieplno-plastycznej stopów na bazie międzymetalicznej Ni₃Al*, *Archiwum Odlewnictwa*, 42 (2000) s. 135-144 (ISSN: 1642-5308); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 6 pkt; bez Impact Factor.
- 14) P. Jóźwik, L. Śniezek, Z. Bojar, *Rozwój pęknięć zmęczeniowych w stopie intermetalicznym typu Ni₃Al (Cr, Zr, B)*, *Przegląd Mechaniczny*, 19-20 (2000), s. 22-27, (ISSN: 0033-2259); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 4 pkt; bez Impact Factor.
- 15) L. Śniezek, P. Jóźwik, *Zmęczeniowe pękanie elementów ze stopu na bazie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, *Wydawnictwo Uczelniane Zmęczenie i Mechanika Pękania*, ATR, Bydgoszcz, 2000, s. 197-204 (ISBN: 978-83-65603-44-9); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 2 pkt; bez Impact Factor.

b. publikacje pełnotekstowych, recenzowanych artykułów w materiałach konferencji międzynarodowych:

- 1) Z. Bojar, D. Zasada, R. Łyszkowski. S. Jóźwiak, P. Jóźwik, *Microstructure and chosen properties of Ni₃Al based intermetallic*, X Międzynarodowa konferencja *Współpraca 2004*, Tatrzańska Łomnica, s. 353-358 (ISBN: 80-8070-231-4); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 3 pkt.
- 2) D. Zasada, Z. Bojar, P. Jóźwik, *Analysis of surface layer changes during homogenization treatment of Ni₃Al intermetallic alloys*, *Materials Engineering* 10, 3 (2003) Zilina, s. 111-114 (ISSN: 1335-0803); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 3 pkt.
- 3) L. Śniezek, Z. Bojar, P. Jóźwik, *Resistance to Fracture and Fatigue Crack Growth in Ni₃Al Phase Based Intermetallic Alloy*, 14 European Conference Fatigue ECF-14, Kraków, 2002 s. 375-383 (ISBN: 1 901537 35 8); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 3 pkt.
- 4) Z. Bojar, P. Jóźwik, *Analiza umocnienia odkształceniowego stopu na bazie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, *Materiały XIV Międzynarodowej Konferencji DIDMATTECH* (ISBN: 83-7204-221-7) Radom, 2001, s. 73-78; punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 1 pkt.
- 5) P. Jóźwik, *Wpływ obróbki cieplnej na strukturę, właściwości wytrzymałościowe i odporność na pękanie stopu na bazie fazy międzymetalicznej Ni₃Al* 23 Międzynarodowe Sympozjum Studentów i Młodych Pracowników Nauki, Zielona Góra 2002, s. 56-64 (ISBN: 83-85911-46-4); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 1 pkt.
- 6) P. Jóźwik, D. Zasada, *Przemiany strukturalne w stopie na bazie fazy międzymetalicznej Ni₃Al podczas obróbki cieplnej lub cieplno-plastycznej*, *Materiały XXI Międzynarodowego Sympozjum Naukowego Studentów*

i Młodych Pracowników Nauki, Zielona Góra, 2000, s. 15-22, (ISBN: 83-85911-46-4); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r. (lista B): 1 pkt.

c. publikacje pełnotekstowych, recenzowanych artykułów w materiałach konferencji krajowych:

- 1) P. Jóźwik, M. Kowalczyk, *Zużycie ścierne stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, XXXII Szkoła Inżynierii Materiałowej (ISBN: 83-85982-31-0), Kraków – Krynica 2004, s. 263-269.
- 2) P. Jóźwik, T. Durejko, D. Zasada, K. Karczewski, *Wpływ umocnienia odkształceniowego na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al (Zr, B)*, XXXI Szkoła Inżynierii Materiałowej, Kraków – Krynica 2003, s. 27-33.
- 3) T. Durejko, P. Jóźwik, K. Karczewski, *Spieki na osnowie fazy międzymetalicznej FeAl-wytwarzanie i właściwości*, XXXI Szkoła Inżynierii Materiałowej, Kraków – Krynica 2003, 335-343.
- 4) K. Karczewski, S. Jóźwiak, T. Durejko, P. Jóźwik, *Zmiany morfologii wydzielań tlenkowych Al₂O₃ w spiekach intermetalicznych z układu Fe-Al*, XXXI Szkoła Inżynierii Materiałowej, Kraków – Krynica 2003, s. 343-349.

d. streszczenia w materiałach konferencyjnych:

- 1) P. Jóźwik, Z. Bojar, W. Przetakiewicz, *Mechanical properties of microcrystalline Ni₃Al intermetallic alloy*, E-MRS 2004 Fall Meeting, Symposium on Computational Materials Science, Warsaw 2004.
- 2) Z. Bojar, P. Jóźwik, J. Bystrzycki, W. Przetakiewicz, *Microstructural investigation of nanocrystalline Ni₃Al intermetallic alloy*, 7th International Conference on Nanostructured Materials, 2004, Wiesbaden, Niemcy.
- 3) Z. Bojar, J. Bystrzycki, P. Jóźwik, W. Przetakiewicz, *Processing and properties of nanocrystalline intermetallics*, International Conference on Nanometals and Nanotechnologies, Kreta, Grecja 2003.
- 4) P. Jóźwik, Z. Bojar, J. Bystrzycki, W. Przetakiewicz, *Nanostructured Ni₃Al intermetallic alloy processed by severe rolling at liquid nitrogen temperature and annealing*, E-MRS 2003 Fall Meeting, Symposium on Bulk and graded nanometals, Warsaw 2003.
- 5) P. Jóźwik, Z. Bojar, D. Zasada, T. Durejko, *Microstructure and properties of two-phase ($\gamma + \gamma'$) Ni₃Al (Zr, B) intermetallic alloy after heat treatment, thermo-mechanical treatment and plastic working*, Conference Euromat, Lausanne, Szwajcaria 2003, topic T 2, 1080.
- 6) T. Durejko, Z. Bojar, P. Jóźwik, D. Zasada, *Abrasive wear of sinters based on FeAl phase*, Conference Euromat, Lausanne, Szwajcaria 2003, topic T 2, 1207.
- 7) D. Zasada, R. Łyszkowski, P. Jóźwik, *Influence of microstructure on the corrosion behavior of Ni₃Al intermetallic alloys in different environments*, Conference Euromat, Lausanne, Szwajcaria 2003, topic T 2, 1248.
- 8) D. Zasada, T. Czujko, Z. Bojar, S. Jóźwiak, P. Jóźwik, *Ni₃Al intermetallic alloys for ballistic shields*, CATE 2003 Conference, Brno, Czechy 2003.

- 9) P. Jóźwik, *Structure and properties of Ni₃Al – based intermetallics alloys after heat treatment, thermo-mechanical treatment and additional plastic working*, Conference Junior Euromat, Lausanne 2002, topic H, No. 281, 2002.
- 10) P. Jóźwik, E. Jezierska, Zbigniew Bojar: *TEM investigations of Ni₃Al – based intermetallic polycrystals*, XI International Conference on Electron Microscopy of Solids, Krynica, 2002.
- 11) Z. Bojar, P. Jóźwik, D. Zasada: *Wpływ obróbki cieplnej i cieplno-plastycznej na strukturę i wybrane właściwości mechaniczne stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego *Stopy na osnowie faz międzymetalicznych*, PW-WAT, Warszawa, 2000, s. 93-100.

4.2. po uzyskaniu stopnia doktora

a. artykuły w czasopismach naukowych:

- 1) G. Matyszczyk, P. Jóźwik, M. Zybert, A. Yedzikhanau, K. Krawczyk, *Dye-Modified, Sonochemically Obtained Nano-SnS₂ as an Efficient Photocatalyst for Metanil Yellow Removal*, *Materials*, 16, (2023) 5774 (ISSN: 1996-1944); punktacja (zgodnie z obowiązującym wykazem MNiSW z 2023 r.): 140 pkt; Impact Factor: 3,4.
- 2) K. Majchrowicz, A. Sotniczuk, B. Adamczyk-Cieślak, W. Chromiński, P. Jóźwik, Z. Pakieła, H. Garbacz, *The influence of microstructure and texture on the hardening by annealing effect in cold-rolled titanium*, *Journal of Alloys and Compounds*, 948 (2023) 169791 (ISSN: 0925-8388); punktacja (zgodnie z obowiązującym wykazem MNiSW z 2023 r.): 140 pkt; Impact Factor: 6,2.
- 3) G. Matyszczyk, S. Sutula, P. Jóźwik, K. Krawczyk, K. Woźniak, *Study of the Bandgap and Crystal Structure of Cu₄TiSe₄: Theory vs. Experiment*, *Crystals*, 13, 2 (2023) 331 (ISSN: 2073-4352); punktacja (zgodnie z obowiązującym wykazem MNiSW z 2023 r.): 70 pkt; Impact Factor: 2,7.
- 4) B. Ulejczyk B, P. Jóźwik, Ł. Nogal, M. Młotek, K. Krawczyk, *Efficient Conversion of Ethanol to Hydrogen in a Hybrid Plasma-Catalytic Reactor*, *Energies*, 15, 9 (2022) 3050, (ISSN: 1996-1073); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2021 r.): 140 pkt; Impact Factor: 3,252.
- 5) B. Ulejczyk, P. Jóźwik, M. Młotek, K. Krawczyk, *A Promising Cobalt Catalyst for Hydrogen Production*, *Catalysts*, 12, 3 (2022) 278, (ISSN: 2073-4344); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2021 r.): 100 pkt; Impact Factor: 4,501.
- 6) K. Majchrowicz, B. Adamczyk-Cieślak, W. Chromiński, P. Jóźwik, Z. Pakieła, *Comparison of Microstructure, Texture, and Mechanical Properties of TZ61 and AZ61 Mg Alloys Processed by Differential Speed Rolling*, *Materials*, 15, 3 (2022) 785, (ISSN: 1996-1944); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2021 r.): 140 pkt; Impact Factor: 3,748.
- 7) P. Jóźwik, A. Baran, T. Płociński, D. Dzedzic, J. Nawała, M. Liszewska, D. Zasada, Z. Bojar, *Analysis of the morphology and structure of carbon deposit formed on the surface of Ni₃Al foils as a result of thermocatalytic decomposition of ethanol*, *Materials*, 14, 20 (2021) 6086 (ISSN: 1996-1944); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2021 r.): 140 pkt; Impact Factor: 3,748.

- 8) G. Matyszczyk, A. Fidler, K. Krawczyk, P. Jóźwik, J. Nawąta, *Silver sulfide as strong catalyst of crystal growth in the chemical transport method*, Journal of Solid State Chemistry, 302 (2021) 122445, (ISSN: 0022-4596); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2021 r.): 70 pkt; Impact Factor: 3,656.
- 9) G. Matyszczyk, S. Sutula, R. Januszewski, A. Zakrzewska, K. Cieślukowska, M. Gołędowska, P. Jóźwik, K. Woźniak, *Synthesis, characterization, crystal structure prediction, and ab initio study of bandgap of Cu₃VSe₄*, Journal of Solid State Chemistry, 301 (2021) 122336, (ISSN: 0022-4596); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2021 r.): 70 pkt; Impact Factor: 3,656.
- 10) J. Woroszył-Wojno, M. Młotek, M. Perron, P. Jóźwik, B. Ulejczyk, K. Krawczyk, *Decomposition of tars on a nickel honeycomb catalyst*, Catalysts, 11, 7 (2021) 860, (ISSN: 2073-4344); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2021 r.): 100 pkt; Impact Factor: 4,501.
- 11) B. Ulejczyk, Ł. Nogal, P. Jóźwik, M. Młotek, K. Krawczyk, *Plasma-catalytic process of hydrogen production from mixture of methanol and water*, Catalysts, 11, 7 (2021) 864, (ISSN: 2073-4344); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2021 r.): 100 pkt; Impact Factor: 4,501.
- 12) G. Matyszczyk, P. Jóźwik, E. Polesiak, M. Sobieska, K. Krawczyk, C. Jastrzębski, T. Płociński, *Sonochemical preparation of SnS and SnS₂ nano- and micropowders and their characterization*, Ultrasonics Sonochemistry, 75 (2021) 105594, (ISSN: 1350-4177); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2021 r.): 140 pkt; Impact Factor: 9,336.
- 13) K. Majchrowicz, P. Jóźwik, W. Chromiński, B. Adamczyk-Cieślak, Z. Pakieła, *Microstructure, texture and mechanical properties of Mg-6Sn alloy processed by differential speed rolling*, Materials, 14, 1, 83 (2021) 1 – 17, (ISSN: 1996-1944); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2021 r.): 140 pkt; Impact Factor: 3,748.
- 14) A. Maranda, A. Czerwinska, J.M. Paszula, P. Jozwik, *Modification of detonation parameters of emulsion explosives by the addition of an oxidizer-fuel system*, Przemysł Chemiczny, 99, 1 (2020) 40-45, (ISSN: 0033-2496); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2019 r.): 40 pkt; Impact Factor: 0,464.
- 15) P. Jozwik, M Kopec, W. Polkowski, Z. Bojar, *Dynamic deformation tests of Ni₃Al based intermetallic alloy by using the split Hopkinson pressure bar technique*, Journal of Mining and Metallurgy B: Metallurgy, 55, 1 (2019) 129-134, (ISSN: 1450-5339); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2019 r.): 100 pkt; Impact Factor: 1,134.
- 16) A. Maranda, D. Górniewicz, J.M. Paszula, P. Jóźwik, *Modyfikowanie parametrów detonacyjnych indywidualnych materiałów wybuchowych*, Materiały Wysokoenergetyczne, 11, 2 (2019) 89 – 101, (ISSN: 2083-0165); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2019 r.): 20 pkt; bez Impact Factor.
- 17) W.J. Stępniewski, H. Yoo, J. Choi, M. Norek, P. Jóźwik, W.Z. Misiolek, *Fabrication and characterization of oxide nano-needles formed by copper passivation in sodium hydroxide solution*, Thin Solid Films, 671 (2019) 111-119, (ISSN: 0040-6090); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2019 r.): 70 pkt; Impact Factor: 2,030.

- 18) J. Nawata, P. Jóźwik, S. Popiel, *Thermal and catalytic methods used for destruction of chemical warfare agents*, International Journal of Environmental Science and Technology, 16 (2019) 3899–3912 (ISSN: 1735-1472); punktacja (zgodnie z aktualnym wykazem MNiSW z 2019 r.): 70 pkt; Impact Factor: 2,540.
- 19) J. Badur, M. Stajnke, P. Ziółkowski, P. Jóźwik, Z. Bojar, P. Józef Ziółkowski, *Mathematical modeling of hydrogen production performance in thermocatalytic reactor based on the intermetallic phase of Ni₃Al*, Archives of Thermodynamics 40 (2019), 3-26, (ISSN: 1231-0956); punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2019 r.): 40 pkt; Impact Factor: 0,484.
- 20) J. Badur, S. Kornet, M. Stajnke, P. Ziółkowski, P. Jóźwik, Z. Bojar, *Wybrane zagadnienia modelowania Thermal-FSI określające przepływ płynu i wymianę ciepła na przykładzie benchmarkowego eksperymentu wymiennika ciepła z minikanalami*, Energetyka, problemy energetyki i gospodarki paliwowo – energetycznej, 3 (2018) 154-157 (ISSN 0013-7294); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2017 r. (lista B): 4 pkt; bez Impact Factor.
- 21) P. Ziółkowski, M. Stajnke, P. Jóźwik, Z. Bojar, P. Ziółkowski, J. Badur, *Numerical analysis of species diffusion and methanol decomposition in thermocatalytic reactor based on the intermetallic phase of NiAl for low Reynolds numbers*, TASK Quarterly, 22 (2018) 211-224, (ISSN 1428-6394); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2017 r. (lista B): 10 pkt; bez Impact Factor.
- 22) M. Jarosz, R. Socha, P. Jóźwik, G. Sulka, *Amperometric glucose sensor based on the Ni(OH)₂/Al(OH)₄⁻ electrode obtained from a thin Ni₃Al foil*, Applied Surface Science, 408, (2017) 96-102, (ISSN: 0169-4332); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2017 r. (lista A): 35 pkt; Impact Factor: 4,439.
- 23) I. Schindler, J. Kopeček, P. Kawulok, M. Jabłońska, E. Hadasik, P. Jóźwik, P. Opěla, P. Hanus, W. Polkowski, Z. Bojar, *Kinetics of static recrystallization in the coarse-grained Fe–40at.%Al–Zr–B alloy*, Archives of Civil and Mechanical Engineering, , 17, 4 (2017) 816-826, (ISSN: 1644-9665); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2017 r, lista A: 30 pkt; Impact Factor: 2,763.
- 24) W. Polkowski, P. Jóźwik, R. Łyszkowski, Z. Bojar, *Differential Speed Rolling of Ni₃Al- based Intermetallic Alloy – Electron Backscatter Diffraction and X-Ray Diffraction Study on Structure and Texture Evolution*, Advanced Engineering Materials, 19, 3 (2017) 1600618, (ISSN: 1438-1656), punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2017 r, lista A, 30 pkt; Impact Factor: 2,576.
- 25) P. Jóźwik, W. Polkowski, I. Schindler, T. Mikuszewski, Z. Bojar, *Wpływ parametrów przetwarzania na strukturę i właściwości mechaniczne intermetallicznych taśm Ni₃Al po walcowaniu na zimno i statycznym wygrzewaniu*, Hutnik – Wiadomości Hutnicze, 8, 84 (2017), s. 336-342, (ISSN: 1230-3534), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2017 r.): lista B, 7 pkt; bez Impact Factor.
- 26) R. Lewandowski, P. Jóźwik, *Aktualne techniki oczyszczania powietrza z czynników biologicznych*, Hygeia Public Health, 52, 2 (2017) s. 103-110, (ISSN: 1509-1945); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2017 r. (lista B): 8 pkt; bez Impact Factor.

- 27) P. Ziółkowski, J. Badur, P. Jóźwik, Z. Bojar, M. Stajnke, S. Kornet, P. J. Ziółkowski, *Zagadnienia modelowania produkcji wodoru na cele energetyczne w reakcji dekompozycji metanolu w innowacyjnych reaktorach termokatalitycznych ze stopu Ni₃Al*, Energetyka, problemy energetyki i gospodarki paliwowo – energetycznej, 10 (2017), 664-667, (ISSN 0013-7294); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2017 r. (lista B): 4 pkt; bez Impact Factor.
- 28) S. Kornet, P. Ziółkowski, P. Jóźwik, P. Ziółkowski, M. Stajnke, J. Badur, *Thermal-FSI modeling of flow and heat transfer in a heat exchanger based on minichannels*, Journal of Power Technologies, 2017, 97, 5, (ISSN: 2083-4187), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2017 r. (lista B): 12 pkt; bez Impact Factor.
- 29) P. Ziółkowski, M. Stajnke, P. Jóźwik, *Modeling of a mixture flow of helium and methanol in thermocatalytic reactor and chemical reactions on the intermetallic phase of Ni₃Al*, Transactions of the Institute of Fluid-Flow Machinery, 2017, 138, 33-73, (ISSN: 0079-3205); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2017 r. (lista B): 7 pkt; bez Impact Factor.
- 30) W. Polkowski, P. Jóźwik, R. Łyszkowski, *Effect of hot differential speed rolling on microstructure and mechanical properties of Fe₃Al-based intermetallic alloy*, International Journal of Materials Research, 2016, 107, 867-871 (ISSN: 1862-5282); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2017 r. (lista A): 30 pkt; Impact Factor: 0,689.
- 31) P. Jóźwik, W. Polkowski, S. Rusz, I. Schindler, T. Mikuszewski, *Walcowanie wysokotemperaturowe taśm ze stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Hutnik - Wiadomości Hutnicze, 2016, 83, 9, 401-405, (ISSN: 1230-3534); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2017 r. (lista B): 7 pkt; bez Impact Factor.
- 32) M. Salerno, W.J. Stępniewski, G. Cieslak, M. Norek, M. Michalska-Domańska, K. Karczewski, P. Chilimoniuk, W. Polkowski, P. Jóźwik, Z. Bojar, *Advanced image analysis of the surface pattern emerging in Ni₃Al intermetallic alloys on anodization*, Frontiers in Materials, 2016, 3, (ISSN: 2296-8016); bez punktacji (zgodnie z wykazem MNiSW z 2017 r.); Impact Factor: 2,008.
- 33) M. Młotek, E. Reda, P. Jóźwik, K. Krawczyk, Z. Bojar, *Plasma-catalytic decomposition of cyclohexane in gliding discharge reactor*, Applied Catalysis A: General, 2015, 505, 150-158, (ISSN: 0926-860X); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2015 r. (lista A): 40 pkt; Impact Factor: 4,012.
- 34) P. Jóźwik, W. Polkowski, Z. Bojar, *Applications of Ni₃Al based intermetallic alloys-current stage and potential perceptivities*, Materials, 2015, 8, 5, 2537-2568, (ISSN: 1996-1944); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2015 r. (lista A): 35 pkt; Impact Factor: 2,728.
- 35) W. Polkowski, P. Jóźwik, Z. Bojar, *Differential speed rolling of Ni₃Al based intermetallic alloy - Analysis of the deformation process*, Materials Letters, 2015, 139, 46-49, (ISSN 0926-860X); punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2015 r. (lista A): 35 pkt; Impact Factor: 2,437.
- 36) W. Polkowski, P. Jóźwik, Z. Bojar, *Electron Backscatter Diffraction Study on Microstructure, Texture, and Strain Evolution in Armco Iron Severely Deformed by the Differential Speed Rolling Method*, Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science, 46, 5 (2015) s. 2216-

- 2226, (ISSN 1073-5623), punktacja; zgodnie z wykazem MNiSW z 2015 r. (lista A): 35 pkt; Impact Factor: 1,749.
- 37) D. Siemiaszko, B. Kowalska, P. Jóźwik, M. Kwiatkowska, *The effect of oxygen partial pressure on microstructure and properties of Fe40Al alloy sintered under vacuum*, *Materials*, 8, 4 (2015) s. 1513-1525, (ISSN: 1996-1944), punktacja, zgodnie z wykazem MNiSW z 2015 r. (lista A): 35 pkt; Impact Factor: 2,728.
- 38) K. Krupska, M. Moors, P. Jóźwik, T. Kobiela, A. Krupski, *Structure determination of Au on Pt(111) surface: LEED, STM and DFT study*, *Materials*, 2015, 8, 6, 2935-2952, (ISSN: 1996-1944), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2015 r.): lista A, 35 pkt; Impact Factor: 2,728.
- 39) I. Pietryka, Z. Żurek, A. Jaroń, P. Jóźwik, *Wysokotemperaturowe utlenianie cienkiej folii Ni₃Al w atmosferze powietrza z dodatkiem SO₂*, *Ochrona przed Korozją*, 2015, 190-196, (ISSN: 0473-7733), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2015 r.): lista B, 12 pkt; bez Impact Factor.
- 40) P. Jóźwik, W. Polkowski, I. Schindler, S. Rusz, P. Kawulok, K. Krawczyk, Z. Bojar, *Przebudowa mikrostruktury taśm ze stopu na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al w efekcie obróbki plastycznej na gorąco*, *Hutnik - Wiadomości Hutnicze* (ISSN 1230-3534), 2015, 82, 8, 479-481, (ISSN: 1230-3534), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2015 r.): lista B, 7 pkt; bez Impact Factor.
- 41) Z. Bogdanowicz, B. Nasiłowska, P. Jóźwik, D. Zasada, *Structure and Mechanical Properties of 1.4539 Austenitic Steel Joints Made by TIG and Laser-Beam Welding*, *Solid State Phenomena*, 2015, 224, 99-104, (ISSN: 1012-0394), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2014 r.): lista B, 10 pkt.; bez Impact Factor.
- 42) P. Jóźwik, M. Salerno, W.J. Stępniewski, Z. Bojar, K. Krawczyk, *Decomposition of cyclohexane on Ni₃Al thin foil intermetallic catalyst*, *Materials*, 2014, 7, 7039-7047, (ISSN: 1996-1944), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2014 r.): lista A, 35 pkt; Impact Factor: 2,651.
- 43) W. Polkowski, P. Jóźwik, Z. Bojar, *EBSD and X-ray diffraction study on the recrystallization of cold rolled Ni₃Al based intermetallic alloy*, *Journal of Alloys and Compounds* 2014, 614, 226-233, (ISSN: 0925-8388), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2014 r.): lista A, 35 pkt; Impact Factor: 2,999.
- 44) M. Michalska-Domańska, M. Norek, P. Jóźwik, B. Jankiewicz, W.J. Stępniewski, Z. Bojar, *Catalytic stability and surface analysis of microcrystal in Ni₃Al thin foils methanol decomposition*, *Applied Surface Science*, 2014, 293, 169-176, (ISSN: 0169-4332), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2014 r.): lista A, 35 pkt; Impact Factor: 2,711.
- 45) W. Polkowski, P. Jóźwik, K. Karczewski, Z. Bojar, *Evolution of crystallographic texture and strain in a fine-grained Ni₃Al (Zr, B) intermetallic alloy during cold rolling*, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2014, 14, 4, 550-560, (ISSN: 1644-9665), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2014 r.): lista A, 25 pkt; Impact Factor: 1,793.
- 46) B. Nasiłowska, Z. Bogdanowicz, P. Jóźwik, *Microstructure and mechanical behavior of a CO₂ laser and TIG welded 904L steel*, *Metallurgy and Foundry Engineering*, 2014, 40, 2, 69-81, (ISSN: 1230-2325), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2014 r.): lista B, 7 pkt; Impact Factor: 0,10.

- 47) P. Jóźwik, W. Polkowski, I. Schindler, S. Rusz, P. Kawulok, K. Krawczyk, Z. Bojar, *Wpływ temperatury i prędkości odkształcenia na mikrostrukturę stopu na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Hutnik - Wiadomości Hutnicze, 2014, 81, 8, 549-551, (ISSN: 1230-3534), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2014 r.): lista B, 6 pkt; bez Impact Factor.
- 48) W. Polkowski, P. Jóźwik, M. Polański, Z. Bojar, *Microstructure and texture evolution of copper processed by differential speed rolling with various speed asymmetry coefficient*, Materials Science and Engineering A, 2013, 564, 289-297, (ISSN: 0921-5093), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2013 r.): lista A, 35 pkt; Impact Factor: 2,409.
- 49) W. J. Stępniewski, G. Cieślak, M. Norek, K. Karczewski, M. Michalska-Domanska, D. Zasada, W. Polkowski, P. Jóźwik, Z. Bojar, *Nanoporous alumina formed by self-organized two-step anodization of Ni₃Al intermetallic alloy in citric acid*, Applied Surface Science, 2013, 264, 605-610, (ISSN: 0169-4332), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2013 r.): lista A, 30 pkt; Impact Factor: 2,538.
- 50) A. Kułasza, J. Błachnio, D. Zasada, P. Jóźwik, *The assessment of changes in the microstructure of a gas turbine blade with a non-destructive thermographic method*, Journal of KONES (ISSN 1231-4005), 2012, 19, 271-28, (ISSN: 1231-4005), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2012 r.): lista B, 7 pkt; bez Impact Factor.
- 51) G. Sulka, P. Jóźwik, *Electrochemical behavior of Ni₃Al-based intermetallic alloys in NaOH*, Intermetallics, 2011, 19, 974-981, (ISSN: 0966-9795), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2012 r.): lista A, 35 pkt; Impact Factor: 1,649.
- 52) P. Jóźwik, M. Karcz, J. Badur, *Numerical modelling of a microreactor for thermocatalytic decomposition of toxic compounds*, Chemical and Process Engineering, 2011, 32, 3, 215-227, (ISSN 0208-6425), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2012 r.): lista A, 15 pkt; Impact Factor: 0,378.
- 53) P. Jóźwik, Z. Bojar, *Wpływ obróbki cieplnej na zużycie tribologiczne stopu na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al (Cr, Zr, B)*, Biuletyn WAT, 2011, 7, 2, 321-330, (ISSN 0366-4988), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2012 r.): lista B, 5 pkt; bez Impact Factor.
- 54) M. Podrez-Radziszewska, P. Jóźwik, *Influence of heat treatment at resistance to electrochemical corrosion of the strain-hardened strips made of the Ni₃Al phase based alloys*, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2011, 11, 4, 1011-1021, (ISSN 1644-9665), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2012 r.): lista A, 15 pkt; Impact Factor: 1,331.
- 55) P. Jóźwik, Z. Bojar, P. Kołodziejczak, *Microjoining of Ni₃Al-based intermetallic thin foils*, Materials Science and Technology, 2010, 26, 473-477, (ISSN: 0267-0836), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2007-2010 r.): 27 pkt; Impact Factor: 0,709.
- 56) P. Jozwik, Z. Bojar, *Influence of heat treatment on structure and mechanical properties of Ni₃Al – based alloys*, Archives of Metallurgy and Materials, 2010, 55, 237-245, (ISSN 1733-3490), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2007-2010 r.): 20 pkt; Impact Factor: 0,262.

- 57) P. Józwik, Z. Bojar, R. Grabowski, *Catalytic activity of Ni₃Al foils in methanol decomposition*, Materials Science Forum, 2010, 636-637, 895-900, (ISSN 0255-5476), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2007-2010 r.): 13 pkt; Impact Factor: 0,348.
- 58) P. Józwik, Z. Bojar, P. Winiarek, *Catalytic activity of Ni₃Al foils in decomposition of selected chemical compounds*, Inżynieria Materiałowa 2010, 3, 175, 654-657, (ISSN 0208-6247), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2007-2010 r.): 9 pkt; bez Impact Factor.
- 59) P. Józwik, W. Polkowski, Z. Bojar, *Thermal stability of Ni₃Al-based intermetallic alloys structure upon-lasting annealing*, Inżynieria Materiałowa (ISSN 0208-6247), 2010, 3, 175, 646-649, (ISSN 0208-6247), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2007-2010 r.): 9 pkt; bez Impact Factor.
- 60) T. Durejko, P. Józwik, Z. Bojar, *Joining of Ni₃Al microcrystalline foils by SHS reaction*, Archives of Metallurgy and Materials (ISSN 1733-3490), 2009, 4, 54, 1103-1109, (ISSN 1733-3490), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2007-2010 r.): 20 pkt; Impact Factor: 0,262.
- 61) Z. Bojar, V.P. Kazimirov, S.I. Mudry, W.J. Prokhorenko, S.W. Prokhorenko, P. Józwik, *The structure of Ni-enriched Al-Ni molten alloy before solidification* Archives of Foundry Engineering, V. 9 (2/2009), 93-96, (ISSN 1897-3310), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2007-2010 r.): 6 pkt; bez Impact Factor.
- 62) P. Józwik, Z. Bojar, P. Kołodziejczak, D. Zasada, *Spajanie cienkich taśm ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al (Zr,B)*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, 2009, 229, 189-198, (ISSN 0137-2335), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2007-2010 r.): 2 pkt; bez Impact Factor.
- 63) P. Józwik, Z. Bojar, *Analysis of grain size effect on tensile properties of Ni₃Al – based intermetallic strips*, Archives of Metallurgy and Materials, 2007, 52, 321-327, (ISSN 1733-3490), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2007-2010 r.): 20 pkt; Impact Factor: 0,184.
- 64) P. Józwik, Z. Bojar, *Influence of heat treatment on structure and mechanical properties of Ni₃Al (Zr, B) intermetallic alloy*, Inżynieria Materiałowa, 2007, 169-175, (ISSN 0208-6247), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2007-2010 r.): 9 pkt; bez Impact Factor.
- 65) Z. Bojar, P. Józwik, J. Bystrzycki, *Tensile properties and fracture behavior of nanocrystalline Ni₃Al intermetallic foil*, Scripta Materialia, 2006, 55, 399-402, (ISSN: 1359-6462), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2007-2010 r.): 24 pkt; Impact Factor: 2,161.
- 66) P. Józwik, Zbigniew Bojar, Czesław Pakowski, *Badania zużycia tribologicznego stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Biuletyn WAT, 2006, 55, 3, 257-264, (ISSN 1234-5865), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2007-2010 r.): 9 pkt; bez Impact Factor.
- 67) D. Zasada, Z. Bojar, P. Józwik, *Analiza wpływu struktury i składu chemicznego na zużycie erozyjne stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Inżynieria Materiałowa, 2006, 27, 3, 315-318, (ISSN 0208-6247), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2007-2010 r.): 9 pkt; bez Impact Factor.

- 68) P. Jóźwik, Z. Bojar, Wpływ umocnienia zgniotem na strukturę i wybrane właściwości mechaniczne taśm ze stopu na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al, *Inżynieria Materiałowa* (ISSN 0208-6247), 2006, 27, 3, 753-756, (ISSN 0208-6247), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2007-2010 r.): 9 pkt; bez Impact Factor.
- 69) P. Jóźwik, D. Zasada, Z. Bojar, *Wpływ obróbki cieplnej na strukturę i właściwości mechaniczne stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al (Zr, B)*, *Archiwum Odlewnictwa*, 18, 6, 2006, 249-254, (ISSN 1642-5308), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2007-2010 r.): 9 pkt; bez Impact Factor.
- 70) P. Jóźwik, Z. Bojar, J. Bystrzycki, W. Przetakiewicz, *Nanostructured Ni₃Al intermetallic alloy processed by severe rolling at liquid nitrogen temperature and annealing*, *Solid State Phenomena*, 2005, 101-102, 61-65, (ISSN: 1662-9779), punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r.): 15 pkt; Impact Factor: 0,493.
- 71) Z. Bojar, P. Jóźwik, J. Bystrzycki, *Analiza mechanizmu odkształcenia plastycznego w litych nanomateriałach metalowych*, *Inżynieria Materiałowa* (ISSN 0208-6247), 2005, 4, 179-185, punktacja (zgodnie z wykazem MNiSW z 2005 r.): 6 pkt; bez Impact Factor.

b. publikacje pełnotekstowych, recenzowanych artykułów w materiałach konferencyjnych:

- 1) P. Ziółkowski, M. Stajnke, P. Jóźwik, Z. Bojar, P.J. Ziółkowski, J. Badur, *Analysis of species diffusion and methanol decomposition source in thermocatalytic reactor based on the intermetallic phase of Ni₃Al for low Reynolds numbers*, *Journal of Physics: Conference Series*, (ISSN 1742-6596) 1101 (2018) 1, 012050.
- 2) B. Ulejczyk, K. Krawczyk, M. Młotek, Ł. Nogal, P. Jóźwik, Z. Bojar, *Steam reforming of ethanol in spark discharge generated between electrodes made from a Ni₃Al alloy*, *Proceeding – 2017 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM 2017*, 1063-1068, DOI: 10.1109/OPTIM.2017.7975112.
- 3) M. Michalska-Domańska, P. Jóźwik, B.J. Jankiewicz, B. Bartosewicz, D. Siemiaszko, W.J. Stępniewski, Z. Bojar, *Study of Cyclic Ni₃Al Catalyst Pretreatment Process for Uniform Carbon Nanotubes Formation and Improved Hydrogen Yield in Methanol Decomposition*, *Materials Today: Proceedings* (ISSN 2214-7853) 3 (2016) s. 171–177.
- 4) I. Schindler, V. Šumšal, J. Kopeček, P. Kawulok, P. Jóźwik, S. Rusz, R. Kawulok, P. Opěla, *Model of static recrystallization in the coarse-grained B2 iron aluminide*, *23rd International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2014* (ISBN 978-808729454-3).
- 5) W. Polkowski, D. Zasada, P. Jóźwik, *Struktura i umocnienie żelaza Armco odkształconego metodą asymetrycznego walcowania (ASR)*, *XLI Szkoła Inżynierii Materiałowej* (ISBN 978-83-63663-35-3), Kraków - Krynica, 2013, s. 450 -454.
- 6) W. Polkowski, P. Jóźwik, *Wpływ współczynnika asymetrii prędkości walców na zmiany struktury i tekstury miedzi w procesie ASR*, *XL Szkoła Inżynierii Materiałowej* (ISBN 978-83-63663-04-9), Kraków - Krynica, 2012, s. 380-385.

- 7) M. Michalska-Domańska, P. Jóźwik, *Analysis of catalytic properties of Ni₃Al thin foils for the methanol and hexane decomposition*, World Academy of Science, Engineering and Technology Wenecja 2011, s. 1616-1619.
- 8) W. Polkowski, P. Jóźwik, *Wpływ asymetrycznego walcowania na właściwości mechaniczne stopu aluminium AW-5251*, Prace XXXIX Szkoły Inżynierii Materiałowej, (978-83-929445-0-5), 2011, s. 450-453.
- 9) P. Jóźwik, R. Grabowski, Z. Bojar, *Catalytic properties of thin Ni₃Al nano and microcrystalline foils in methanol decomposition*, Conference Proceedings of Annual International Conference on Materials Science, Metal & Manufacturing (M3 2011) (ISSN: 2251-1857); doi:10.5176/2251-1857_M369.
- 10) M. Michalska-Domańska, P. Jóźwik, *Analiza wpływu pary wodnej w reakcji rozkładu metanolu na powierzchni taśm Ni₃Al*, Prace XXXVIII Szkoły Inżynierii Materiałowej, (ISBN 978-83-929445-0-2), 2010, s. 118-122.
- 11) W. Polkowski, P. Jóźwik, *Analiza wpływu składu chemicznego i struktury na żaroodporność stopów na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Prace XXXVIII Szkoły Inżynierii Materiałowej, (ISBN 978-83-929445-0-2), 2010, s. 123-128.
- 12) W. Stępniewski, J. Kozuchowski P. Jóźwik, *Katalityczny rozkład DMMP na powierzchni cienkich taśm Ni₃Al*, Prace XXXVIII Szkoły Inżynierii Materiałowej, (ISBN 978-83-929445-0-2), 2010, s. 507-512.
- 13) M. Michalska-Domańska, P. Jóźwik, *Badania właściwości katalitycznych taśm Ni₃Al w reakcji rozkładu metanolu*, Prace XXXVII Szkoły Inżynierii Materiałowej, (ISBN 978-83-929445-0-8) 2009, s. 176-179.
- 14) W. Polkowski, P. Jóźwik, *Stabilność strukturalna stopu na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al z dodatkiem Cr, B, Cr i Mo*, prace XXXVII Szkoły Inżynierii Materiałowej, (ISBN 978-83-929445-0-8) Krynica 2009, s. 150-154.
- 15) P. Jóźwik, W. Polkowski, *Wpływ temperatury i czasu wygrzewania na żaroodporność i stabilność strukturalną stopów Ni₃Al*, XXXVI Szkoła Inżynierii Materiałowej 2008, s. 76-81.
- 16) P. Jóźwik, Z. Zarański, Z. Bojar, D. Zasada, Z. Komorek, *Wpływ obróbki cieplnej na strukturę i udarność stopów na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Technological Engineering, 2008 (ISSN 1336-5967) s. 40-42.
- 17) T. Durejko, P. Jóźwik, Z. Bojar, *Wpływ technologii wytwarzania na żaroodporność stopów Ni₃Al*, Technological Engineering, 2008 (ISSN 1336-5967).
- 18) D. Zasada, Z. Zarański, P. Jóźwik, *Wpływ struktury i stanu warstwy wierzchniej na zużycie erozyjne odlewniczych stopów na podstawie faz międzymetalicznej Ni₃Al* Technological Engineering, 2008 (ISSN 1336-5967) s. 105-107.
- 19) D. Zasada, Z. Zarański, R. Jasionowski, P. Jóźwik, Z. Bojar, *Zużywanie warstwy wierzchniej intermetali Ni₃Al w wyniku oddziaływania erozyjnego i kawitacyjnego*, Technological Engineering, IV, 1, 2007 (ISSN 1336-5967) s. 88-89.
- 20) J. Bystrzycki, Z. Bojar, W. Przetakiewicz, P. Jóźwik, *High strength nanocrystalline Ni₃Al foil for military vehicle structural applications*, NATO Applied Vehicle Technology (AVT) RTO Scientific Report *Nanomaterials Technology for Military Vehicle Structural Applications* AC/323 (AVT-122) TP/97, 2006, s. 7.1 – 7.10.

- 21) P. Jóźwik, Z. Bojar, Czesław Pakowski, *Zużycie tribologiczne stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al (Zr, B)*, IX Międzynarodowe Sympozjum IPMiT (ISBN 83-89968-28-2), Rynia, 2005, s. 327-332.

c. streszczenia w materiałach konferencyjnych:

- 1) P. Ziółkowski, J. Badur, M. Stajnke, P. Jóźwik, Z. Bojar, *Surface effects in shear stress enhancement due to micro or nanoflows as analogy for increased rate of reaction due to catalytic properties in Ni₃Al*, 41-st Solid Mechanics Conference, SOLMECH 2018, s. 230-231, Poland.
- 2) P. Jóźwik, Z. Bojar, T. Durejko, *Ni₃Al – based Strips and Foils for Structural or Functional Application*, MS&T17 Materials Science & Technology, 2017, Pittsburgh, USA.
- 3) T. Durejko, M. Łazińska, J. Aniszewska, P. Jóźwik, *Manufacturing of Titanium Porous Layers by LENS Method*, MS&T17 Materials Science & Technology, 2017, Pittsburgh, USA.
- 4) P. Jóźwik, Z. Bojar, *Nanostructured Ni₃Al- based intermetallic foils – structure, properties and potential application*, FFSCI- Nanoscience, EMN Croatia Meeting, 2017, Dubrownik, Chorwacja.
- 5) P. Jóźwik, Z. Bojar, *Grain stability in the structure of Nano- and Ultrafine grained Ni₃Al- based foils*, FFSCI- Nanoscience, EMN Croatia Meeting, 2017, Dubrownik, Chorwacja.
- 6) P. Ziółkowski, M. Stajnke, P. Jóźwik, J. Badur, *Modelling of hydrogen production by methanol decomposition in thermocatalytic reactor based on the intermetallic phase of Ni₃Al*, Research & Development in Power Engineering, 2017, Poland.
- 7) P. Jóźwik, D. Zasada, G. Sulka, M. Jarosz, W. Polkowski, Z. Bojar, *SEM analysis of Ni₃Al-based intermetallic foils surface after chemical etching*, XXI Physical Metallurgy and Materials Science Conference, Advanced Materials and Technologies, AMT`2016, Poland (ISBN 978-83-7798-600-4)
- 8) W. Polkowski, P. Jóźwik, T. Mikuszewski, Z. Bojar, *Effect of differential Speer rolling on post deformation annealing behavior of Ni₃Al-based intermetallic alloy*, XXI Physical Metallurgy and Materials Science Conference, Advanced Materials and Technologies, AMT`2016, Poland.
- 9) P. Jóźwik, P. Winiarek, W. Polkowski, W. Stępniewski, Z. Bojar, *Catalytic activity of thin Ni₃Al-based intermetallic foils*, XXI Physical Metallurgy and Materials Science Conference, Advanced Materials and Technologies, AMT`2016, Poland.
- 10) P. Jóźwik, K. Krupska, W. Stępniewski, Z. Bojar, T. Durejko, A. Krupski, *Surface analysis of thin Ni₃Al based intermetallic foils after methanol decomposition*, E-MRS 2015 Fall Meeting, Warsaw, Poland.
- 11) P. Jóźwik, K. Krupska, W. Polkowski, Z. Bojar, T. Durejko, A. Krupski, *Structure characterization of work hardening Ni₃Al based intermetallic alloy strips after heat treatment*, E-MRS 2015 Fall Meeting, Warsaw, Poland.
- 12) S. Lipiński, T. Durejko, J. Aniszewska, M. Ziętała, P. Jóźwik, A. Krupski, *Fabrication of porous layer Ti-6Al-4V by continuous laser metal deposition*, E-MRS 2015 Fall Meeting, Warsaw, Poland.

- 13) T. Durejko, K. Krupska, M. Łazińska, P. Józwik, A. Krupski, *The fabrication process and microstructure characterization of continuous Fe₃Al-SS316L graded materials obtained by LENS technology*, E-MRS 2015 Fall Meeting, Warsaw, Poland.
- 14) M. Michalska-Domańska, P. Józwik, B.J. Jankiewicz, B. Bartosewicz, D. Siemiaszko, W.J. Stępniewski, Z. Bojar, *Study of cyclic Ni₃Al catalyst pretreatment process for obtain uniform carbon nanotubes and improved hydrogen yield in methanol decomposition*, International Conference on Diamond and Carbon Materials, Melia Castilla, Madrid, Spain 2014.
- 15) Z. Bogdanowicz, P. Józwik, B. Nasiłowska, D. Zasada, *Struktura, mikrotwardość i właściwości użytkowe połączeń spawanych ze stali Austenitycznej 1.4539 wykonanych metodą TIG i wiązką lasera*, XXV Sympozjum Zmęczenie i Mechanika Pękania, Bydgoszcz - Fojutowo, 2014, 321-330.
- 16) D. Siemiaszko, P. Józwik, B. Kowalska, *Structure and properties of the Fe₄₀Al intermetallics sintered in vacuum by pressure-assisted induction sintering (PAIS) method*, European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes Euromat`2013, Seville, Spain.
- 17) W. Polkowski, C. Senderowski, P. Józwik, *Analiza składu chemicznego metodą LA-ICP-OES systemu intermetalicznych powłok ochronnych Fe-Al natryskanych detonacyjnie*, XVIII Konferencja Zastosowanie metod AAS ICP-OES i ICP-MS w analizie środowiskowej, Kraków 2013.
- 18) M. Michalska-Domańska, M. Norek, P. Józwik, Z. Bojar, *Wpływ wielkości ziarna na właściwości katalityczne intermetalicznego katalizatora Ni₃Al w reakcji dekompozycji heksanu*, Konferencja Młodych Naukowców Wiedza i Innowacje wiWAT 2013, Warszawa.
- 19) P. Józwik, Z. Bojar, W. Polkowski, C. Senderowski, *Analysis of thermally activated processes in cold rolled and annealed Ni₃Al based intermetallic strips*, 13th Annual Conference YUCOMAT 2011, Herceg Novi, Montenegro.
- 20) P. Józwik, R. Grabowski, M. Domańska, Z. Bojar, *Catalytic properties of thin Ni₃Al foils in methanol decomposition*, Third Polish Forum on Fuel Cells and Hydrogen Technologies, 2011, Warsaw, Poland.
- 21) P. Józwik, A. Małecka, T. Czujko, Z. Bojar, *Thermal stability of thin Ni₃Al nano and ultracrystalline foils as a potential material for hydrogen production*, Third Polish Forum on Fuel Cells and Hydrogen Technologies, 2011, Warsaw, Poland.
- 22) P. Jozwik, Z. Bojar, R. Grabowski, *Catalytic activity of Ni₃Al foils in methanol reforming*, V International Materials Symposium MATERIAIS 2009, Lisbon, Portugal.
- 23) P. Jozwik, Z. Bojar, P. Kołodziejczak, *Microjoining of Ni₃Al-based intermetallic thin foils*, V International Materials Symposium MATERIAIS 2009, Lisbon, Portugal.
- 24) P. Jozwik, Z. Bojar, D. Zasada, J. Paszula, *Experimental investigation of explosive welding of Ni₃Al—based alloy*, 11th International Conference on Advanced Materials 2009, Rio de Janeiro, Brasil.

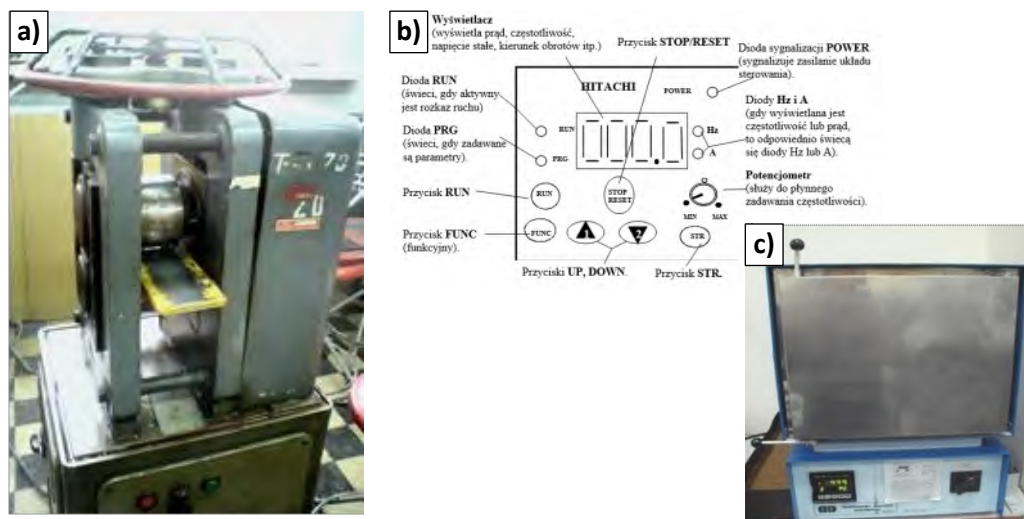
- 25) P. Jóźwik, Z. Zarański, Z. Bojar, *Surface layer of the Ni₃Al intermetallic alloys after electrodischarge machining*, European Congress on Advanced Materials and Processes Euromat 2009, Glasgow, UK.
- 26) P. Jóźwik, Z. Bojar, S. Józwiak, *Thermally activated processes in the Ni₃Al based cold-worked intermetallic alloy*, przygotowanie i prezentacja pracy w European Congress on Advanced Materials and Processes Euromat 2009, Glasgow, UK.
- 27) P. Jóźwik, Z. Bojar, R. Grabowski, *Analysis of catalytic properties of Ni₃Al thin foils on metanol decomposition*, E-MRS 2008 Fall Meeting, Warsaw 2008, 111.
- 28) P. Jóźwik, Z. Bojar, *The dependence of tensile yield strength on grain size in Ni₃Al - based micro and nanocrystalline intermetallic alloy*, Nanotech Northern Europe 2007, 107 Helsinki, Finlandia.
- 29) P. Jóźwik, Z. Bojar, *Influence of homogenizing on the structure and mechanical properties of Ni₃Al (Zr, B) intermetallic alloy*, EUROMAT 2007 European Congress on Advanced Materials and Processes, 2007 Norymberga, Germany B22-1585.
- 30) P. Jóźwik, Z. Bojar, *Influence of heat treatment on the structure and properties of Ni₃Al – based alloys*, The 16th International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering (IFHTSE) Congress, *Thermal Processing and Surface Engineering: Key Activities in the Global Knowledge Economy*, 2007 Brisbane, Australia, 231.
- 31) T. Durejko, P. Jóźwik, *Joining of Ni₃Al Microcrystalline Strips by SHS Reaction*, The 16th International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering (IFHTSE) Congress, *Thermal Processing and Surface Engineering: Key Activities in the Global Knowledge Economy*, 2007 Brisbane, Australia, 232.
- 32) P. Jóźwik, Z. Bojar, *Analiza wpływu wielkości ziarna na parametry wytrzymałościowe taśm ze stopu na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Zintegrowane Studia Podstaw Deformacji Plastycznej Metali PLASTMET, Łańcut, 2006, 39-40.

5. Osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne, technologiczne (nie wymienione w pkt 1.2)

5.1. przed uzyskaniem stopnia doktora

Stanowisko do kontrolowanej obróbki plastycznej i cieplno-plastycznej materiałów metalicznych o ograniczonej podatności do odkształcenia plastycznego.

Udział własny: udział w sformułowaniu koncepcji i wykonaniu *Stanowiska* oraz finalny proces testowania i doboru warunków jego pracy szczególnie w odniesieniu do materiałów trudnoodkształcalnych – zrealizowano w ramach mojej pracy dyplomowej (1999 r).

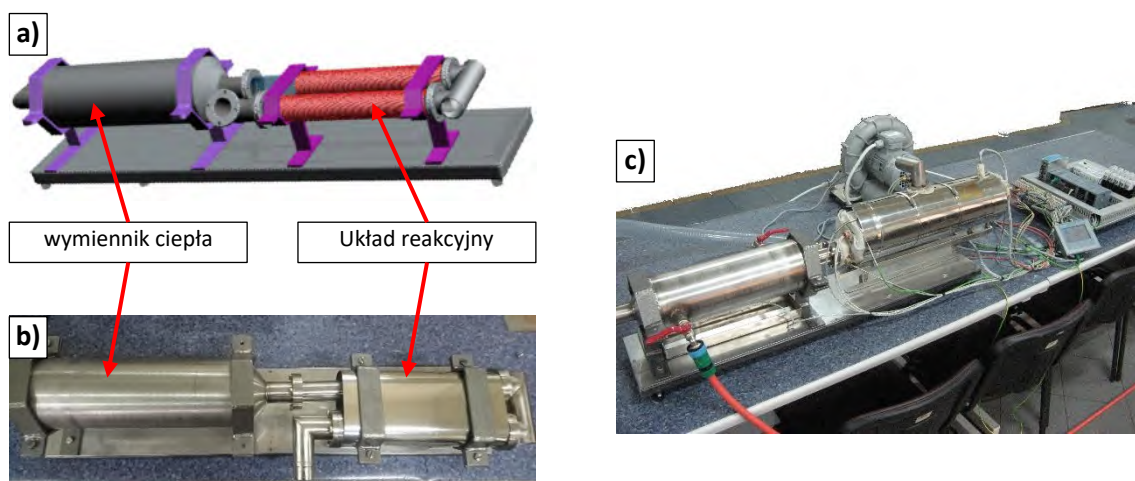


Rys. 1. Stanowisko do kontrolowanej obróbki plastycznej i ciepło-plastycznej materiałów metalicznych o ograniczonej podatności do odkształcenia plastycznego: a) walcarka duo z pulpitem sterowniczym (na bazie falownika – HITACHI L100) – b) oraz piec oporowy -c).

5.2. po uzyskaniu stopnia doktora

- 1) Stanowisko do badań aktywności katalitycznej cienkich taśm ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni_3Al w reakcji dekompozycji węglowodorów i ich pochodnych prowadzonej w aspekcie wytwarzania nanostruktur węglowych.

Udział własny: sformułowanie koncepcji i projekt *Stanowiska* oraz udział w jego wykonaniu i uruchomieniu. Stanowisko umożliwia wytwarzanie różnych typów nanostruktur węglowych – w zależności od zastosowanych warunków dekompozycji węglowodorów lub ich pochodnych (2022 r).



Rys. 2. Stanowisko do badań aktywności katalitycznej cienkich taśm ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni_3Al w reakcji dekompozycji węglowodorów i ich pochodnych w aspekcie wytwarzania nanostruktur węglowych: a) model, b) widok ogólny, c) w czasie prób stanowiskowych

- 4) *Laboratorium Projektowania Materiałów i Szybkiego Wytwarzania Wyrobów LAPROMAW.*

Udział własny: kierownik grupy w zespole projektowym *Laboratorium Projektowania Materiałów i Szybkiego Wytwarzania Wyrobów LAPROMAW* - przedsięwzięcie wyróżnione zespołową nagrodą Rektora WAT za Opracowanie, realizację i wdrożenie koncepcji LAPROMAW – kompleksowego środowiska dla innowacyjnych technologii przyrostowych i badań zaawansowanych materiałów (WAT, Warszawa 2012 r.).

6. Publiczna realizacja dzieł popularyzujących naukę

6.1. przed uzyskaniem stopnia doktora.

BRAK

6.2. po uzyskaniu stopnia doktora

a. publiczna prezentacja wykładu/referatu:

- 1) *Aplikacje wojskowe mikro, ultra i nanokrystalicznych stopów Ni₃Al – demonstrator technologii w postaci termoaktywnych elementów układu oczyszczania powietrza z substancji toksycznych* - na gali wręczenia nagród w Konkursie Ministra Obrony Narodowej na najlepszą pracę naukową i badawczą z obszaru obronności (pod patronatem Prezydenta RP), Warszawa, 15.05.2013 r.
- 2) *Aktualne i perspektywiczne możliwości aplikacyjnych stopów na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al oraz Potencjał laboratorium LAPROMAW* w czasie wizyty pracowników KZMiT WAT w RAFAKO S.A. Racibórz, 11.05.2012 r.
- 3) Prezentacja idei projektu LAPROMAW w czasie konkursu Ministerstwa Rozwoju Regionalnego *Siła promocji - siła projektu*, Warszawa 2012 r.
- 4) *Stopy na bazie fazy międzymetalicznej Ni₃Al: właściwości i zastosowania* (wykład na zaproszenie) – na seminarium Zakładu Metod Jądrowych Fizyki Ciała Stałego Instytutu Energii Atomowej POLATOM (aktualnie: Narodowe Centrum Badań Jądrowych), Otwock – Świerk 16.06.2010 r.
- 5) Prezentacja Projektu laboratorium LAPROMAW na Międzynarodowym Salonie Przemysłu Obronnego, 06-09.09.2010 r. Kielce.
- 6) *Wysokowytrzymałe stopy Ni₃Al o budowie mikro, ultra i nanokrystaliczne* - wystąpienie na posiedzeniu Zespołu Naukowo-Przemysłowego *Nowoczesne Materiały*, WAT Warszawa, 14.12.2009 r.

b. opracowanie publikacji:

- 1) *Nowości WAT: Taśmy i folie z intermetalicznych stopów Ni₃Al*, Katalog Innowacyjnych Rozwiązań dla Bezpieczeństwa i Obronności, Wyd. Fundacja *Promilitaria XXI*, (ISSN 2300-052X) 2018 r.

- 2) *Technologia wytwarzania taśm ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al o kontrolowanych parametrach użytkowych, Badania naukowe i technologie Wojskowej Akademii Technicznej (ISBN 978-83-7938-030-5) WAT Warszawa 2015 r.*
- 3) *Doskonalsze materiały, Polska innowacyjna, Projekty realizowane w ramach Programu Innowacyjna Gospodarka, Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, (ISBN 978-83-7610-270-2) s. 74-75, Warszawa 2011 r.*
- 4) Projekt i wykonanie ulotki reklamowej: *Laboratorium projektowania materiałów i szybkiego Wytwarzania Wyrobów*, Druk WAT, nakład 300 egz. Warszawa, 2011, (18 stron) – na konferencję XIX-th Physical Metallurgy and Materials Science Conference Advanced Materials & Technologies AMT 2010.
- 5) Publikacja specjalna w zbiorze wydanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Polskie Towarzystwo Materiałoznawcze z okazji Wystawy Osiągnięć Nauki Polskiej MSE`07 podczas EUROMAT 2007 (ISBN 978-83-61100-04-1) tom I, Norymberga 2007 r.

7. Wystąpienia na krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych, z wyszczególnieniem przedstawionych wykładów na zaproszenie i wykładów plenarnych

7.1. przed uzyskaniem stopnia doktora

a. wyłoszenie referatu na zaproszenie:

BRAK

b. wyłoszenie referatu na konferencjach krajowych i międzynarodowych:

- 1) *Zużycie ściernie stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, XXXII Szkoła Inżynierii Materiałowej, Kraków – Krynica, 2004 r.
- 2) *Wpływ umocnienia odkształceniowego na mikrostrukturę i właściwości mechaniczne stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al (Zr, B)*, XXXI Szkoła Inżynierii Materiałowej, Kraków – Krynica, 2003 r.
- 3) *Wpływ obróbki cieplnej na strukturę, właściwości wytrzymałościowe i odporność na pękanie stopu na bazie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, 23 Międzynarodowe Sympozjum Studentów i Młodych Pracowników Nauki, Zielona Góra 2002 r.
- 4) *Badanie rozwoju pęknięć zmęczeniowych stopu intermetalicznego typu Ni₃Al (Cr, Zr, B)*, XX Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, Opole 2001 r.
- 5) *Odporność na pękanie stopu intermetalicznego typu Ni₃Al (Cr, Zr, B)*, VIII Krajowej Konferencji Mechaniki Pęknięcia, Kielce-Cedzyna, 2001 r.
- 6) *Analiza umocnienia odkształceniowego stopu na bazie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Materiały XIV Międzynarodowej Konferencji DIDMATTECH 2001, Radom, 2001 r.
- 7) *Wpływ obróbki cieplnej i cieplno-plastycznej na strukturę i wybrane właściwości mechaniczne stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, materiały

Ogólnopolskiego Sympozjum Naukowego *Stopy na podstawie faz międzymetalicznych*, PW-WAT, Warszawa, 2000 r.

- 8) *Wpływ pierwiastków stopowych na efekty procesu homogenizacji i przeróbki cieplno-plastycznej stopów na bazie międzymetalicznej Ni₃Al*, Sympozjum *Krzepnięcie metali i stopów*, Rzeszów, 2000 r.
- 9) *Zmęczeniowe pękanie elementów ze stopu na bazie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, XVIII Sympozjum *Zmęczenie Materiałów i Konstrukcji*, ATR, Bydgoszcz, 2000 r.
- 10) *Przemiany strukturalne w stopie na bazie fazy międzymetalicznej Ni₃Al podczas obróbki cieplnej lub cieplno – plastycznej*, Materiały XXI Międzynarodowego Sympozjum Naukowego Studentów i Młodych Pracowników Nauki, Zielona Góra, 2000 r.
- 11) *Wpływ temperatury wygrzewania na strukturę i mikrotwardość stopu na bazie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Międzyuczelniana Sesja Naukowa, Katowice, 1999 r.
- 12) *Wpływ obróbki cieplnej i cieplno-plastycznej na strukturę i wybrane właściwości mechaniczne stopu na bazie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, XVIII Sympozjum Koła Naukowego Mechaników, WAT, Warszawa, 1999 r.
- 13) *Wpływ czasu i środowiska homogenizacji na strukturę i mikrotwardość stopu na bazie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, XVII Sympozjum Koła Naukowego Mechaników, WAT, Warszawa, 1998 r.

c. prezentacja posteru na konferencjach krajowych i międzynarodowych:

- 1) *Mechanical properties of microcrystalline Ni₃Al intermetallic alloy*, E-MRS 2004 Fall Meeting, Symposium on *Computational Materials Science*, Warsaw 2004 r.
- 2) *Nanostructured Ni₃Al intermetallic alloy processed by severe rolling at liquid nitrogen temperature and annealing*, E-MRS 2003 Fall Meeting, Symposium on *Bulk and graded nanometals*, Warsaw 2003.
- 3) *Microstructure and properties of two-phase (γ' + γ) Ni₃Al (Zr, B) intermetallic alloy after heat treatment, thermo-mechanical treatment and plastic working*, Conference Euromat, Lausanne, Szwajcaria 2003, topic T 2, 1080.
- 4) *TEM investigations of Ni₃Al – based intermetallic polycrystals*, XI International Conference on Electron Microscopy of Solids, Krynica, 2002.
- 5) *Structure and properties of Ni₃Al – based intermetallics alloys after heat treatment, thermo-mechanical treatment and additional plastic working*, Conference Junior Euromat, Lausanne 2002, Szwajcaria 2002, topic H, No. 281, 2002.
- 6) *Resistance to fracture and fatigue crack growth in Ni₃Al phase based intermetallic alloy*, 14 European Conference Fatigue ECF-14, Kraków, 2002.

7.2. Po uzyskaniu stopnia doktora

a. wyłoszenie referatu na zaproszenie:

Nanostructured Ni₃Al- based intermetallic foils – structure, properties and potential applications na międzynarodowej konferencji *Frontier Forum Meeting on Nanoscience FSCI 2017*, Dubrownik, Chorwacja.

b. wyłoszenie referatu na konferencjach międzynarodowych i krajowych:

- 1) *Ni₃Al – based Strips and Foils for Structural or Functional Application*, Materials Science & Technology 2017, MS&T17, Pittsburgh, USA.
- 2) *Wpływ parametrów przetwarzania na strukturę i właściwości mechaniczne intermetalicznych taśm Ni₃Al po walcowaniu na zimno i statycznym wygrzewaniu*, XXIV Międzynarodowa Konferencja Forming 2017, Mikulov, Czechy.
- 3) *Walcowanie wysokotemperaturowe taśm ze stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, XXIII Międzynarodowa Konferencja Forming 2016, Senec, Słowacja.
- 4) *Catalytic properties of thin Ni₃Al nano and microcrystalline foils in methanol decomposition*, Conference Proceedings of Annual International Conference on Materials Science, Metal & Manufacturing M3 2011, Singapore 2011.
- 5) *Wpływ obróbki cieplnej na strukturę i udarność stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Technological Engineering, Demänovská Dolina, 2008, Słowacja
- 6) *Wpływ temperatury i czasu wygrzewania na żaroodporność i stabilność strukturalną stopów Ni₃Al*, XXXVI Szkoła Inżynierii Materiałowej Kraków – Krynica 2008.
- 7) *Influence of heat treatment on structure and mechanical properties of Ni₃Al (Zr, B) intermetallic alloy*, Advanced Materials & Technologies AMT 2007, Jachranka, Poland.
- 8) *Analiza wpływu wielkości ziarna na parametry wytrzymałościowe taśm ze stopu na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Zintegrowane Studia Podstaw Deformacji Plastycznej Metali PLASTMET 2006, Łańcut.

c. prezentacja posteru na konferencjach krajowych i międzynarodowych:

- 1) *Grain stability in the structure of Nano- and Ultrafine grained Ni₃Al- based foils*, FFSCI- Nanoscience, EMN Croatia Meeting, 2017, Dubrownik, Chorwacja.
- 2) *Catalytic activity of thin Ni₃Al-based intermetallic foils*, XXI Physical Metallurgy and Materials Science Conference, Advanced Materials and Technologies, AMT`2016, Rawa Mazowiecka, Poland.
- 3) *Surface analysis of thin Ni₃Al based intermetallic foils after methanol decomposition*, E-MRS 2015 Fall Meeting, Warsaw, Poland.

- 4) *Structure characterization of work hardening Ni₃Al based intermetallic alloy strips after heat treatment*, E-MRS 2015 Fall Meeting, Warsaw, Poland.
- 5) *Catalytic properties of thin Ni₃Al foils in methanol decomposition*, Third Polish Forum on Fuel Cells and Hydrogen Technologies, 2011, Warsaw, Poland.
- 6) *Thermal stability of thin Ni₃Al nano and ultracrystalline foils as a potential material for hydrogen production*, Third Polish Forum on Fuel Cells and Hydrogen Technologies, 2011, Warsaw, Poland.
- 7) *Catalytic activity of Ni₃Al foils in methanol reforming*, V International Materials Symposium MATERIALS 2009, Lisbon, Portugal.
- 8) *Microjoining of Ni₃Al-based intermetallic thin foils*, V International Materials Symposium MATERIALS 2009, Lisbon, Portugal.
- 9) *Experimental investigation of explosive welding of Ni₃Al—based alloy*, 11th International Conference on Advanced Materials 2009, Rio de Janeiro, Brasil.
- 10) *Thermally activated processes in the Ni₃Al based cold-worked intermetallic alloy*, przygotowanie i prezentacja pracy w European Congress on Advanced Materials and Processes Euromat 2009, Glasgow, UK.
- 11) *Surface layer of the Ni₃Al intermetallic alloys after electrodischarge machining*, European Congress on Advanced Materials and Processes Euromat 2009, Glasgow, UK.
- 12) *Influence of heat treatment on the structure and properties of Ni₃Al – based alloys*, The 16th International Federation for Heat Treatment and Surface Engineering (IFHTSE) Congress, *Thermal Processing and Surface Engineering: Key Activities in the Global Knowledge Economy*, 2007 Brisbane, Australia, 231.
- 13) *Influence of homogenizing on the structure and mechanical properties of Ni₃Al (Zr, B) intermetallic alloy*, EUROMAT 2007 European Congress on Advanced Materials and Processes, 2007 Norymberga, Germany B22-1585.
- 14) *The dependence of tensile yield strength on grain size in Ni₃Al - based micro and nanocrystalline intermetallic alloy*, Nanotech Northern Europe, 107 Helsinki, Finlandia 2007 r.
- 15) *Analysis of catalytic properties of Ni₃Al thin foils on methanol decomposition*, E-MRS 2008 Fall Meeting, Warsaw 2008 r.

8. Udział w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji krajowych lub międzynarodowych, z podaniem pełnionej funkcji

8.1. przed uzyskaniem stopnia doktora

Członek komitetu organizacyjnego 14 Europejskiej Konferencji Pęknięcia *ECF-14, Kraków, 2002.*

8.2. po uzyskaniu stopnia doktora

- 1) XIV Ogólnopolska Konferencja Naukowa, *Tytan i jego stopy – 2020*, 13-16.09.2020, Kielce - członek komitetu organizacyjnego.

- 2) XXI Physical Metallurgy and Materials Science Conference, *Advanced Materials and Technologies, AMT 2016*, 5-8.06.2016, Rawa Mazowiecka - członek komitetu organizacyjnego.
- 3) Udział w organizacji Seminarium Naukowego MECHANIKÓW WME, WAT, Warszawa 2006.

9. Uczestnictwo w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, z podziałem na projekty zrealizowane i będące w toku realizacji, oraz z uwzględnieniem informacji o pełnionej funkcji w ramach prac zespołów

9.1. przed uzyskaniem stopnia doktora

a. kierowanie projektami naukowo-badawczymi:

BRAK

b. udział w zespołach realizujących projekty naukowo-badawcze jako wykonawca:

Lp.	Tytuł i numer projektu	Rok zakończenia
1.	Wpływ stanu struktury na właściwości mechaniczne i przebieg pęknięcia stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al, O T00C00724, projekt badawczy (promotorski).	2004
2.	Stopy na osnowie faz międzymetalicznych – technologia, właściwości, zastosowanie, PBZ 041/T08/09-01.	2004
3.	Projektowanie i opracowanie technologii wytwarzania intermetalicznych funkcjonalnych materiałów gradientowych na elementy osłon balistycznych, PBZ-KBN-100/T08/2003.	2004
4.	Rekonstrukcja przebiegu zmęczeniowego pęknięcia w elementach konstrukcyjnych statków latających w warunkach obciążeń eksploatacyjnych, 7 T07B00419	2003
5.	Intermetaliczne materiały na elementy osłon balistycznych, 7 T00A00818.	2003
6.	Trwałość zmęczeniowa spawanych konstrukcji stalowych w zakresie niskocyklowym przy występowaniu przeciążeń z uwzględnieniem działania karbu, 7 T07E02714.	2002

9.2. po uzyskaniu stopnia doktora

a. kierowanie projektami naukowo-badawczymi:

Lp.	Tytuł i numer projektu	Rok zakończenia
1.	Rozwój innowacyjnej technologii cienkich taśm ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni ₃ Al o wysokiej aktywności termokatalitycznej w zakresie oczyszczania powietrza z substancji szkodliwych lub kontrolowanego rozkładu węglowodorów, projekt badań stosowanych, PBST 27-246/2015/WAT, NCBiR.	2018
2.	Aplikacje wojskowe mikro, ultra i nanokrystalicznych stopów Ni ₃ Al - demonstrator technologii w postaci termoaktywnych elementów układu oczyszczania powietrza z substancji toksycznych, 2010 r, projekt rozwojowy, PBR O R00 0049 05 MNiSW.	2010

3.	<i>Mikrokrystaliczne, plastyczne w temperaturze otoczenia taśmy ze stopów Ni₃Al – otrzymanie, właściwości i próby aplikacji, projekt badawczy grant, PBG 7T07E02714, MNiSW.</i>	2008
----	--	------

b. udział w zespołach realizujących projekty naukowo-badawcze jako główny wykonawca:

Lp.	Tytuł i numer projektu	Rok zakończenia
1.	<i>Innowacyjna technologia laserowego kształtowania przyrostowego LENS w zastosowaniu do modyfikacji geometrii biofunkcjonalizacji warstwy powierzchniowej bezcementowych implantów stawu biodrowego, PBS3/A5/53/2015.</i>	2018
2.	<i>Wielkolaboratoryjny reaktor plazmowo-katalityczny do prowadzenia procesów rozkładu zanieczyszczeń ciekłych i gazowych w warunkach plazmy nierównowagowej wyładowania ślizgowego, PBS2/A1/10/2013.</i>	2017
3.	<i>Badania mechaniczne odkształcenia i rozdrobnienia ziarna stopów Fe-Al w procesach silnego odkształcenia plastycznego, NCN – SONATA 2012/05/D/ST8/02710.</i>	2016
4.	<i>Wpływ warunków nagrzewania i środowiska procesu na udział fazy tlenkowej w spiekach Fe-Al wytwarzanych z udziałem reakcji SHS, NCN – SONATA 2011/01/D/ST8/07798.</i>	2014
5.	<i>Reaktor do prowadzenia procesów rozkładu zanieczyszczeń ciekłych w plazmie nierównowagowej wyładowania ślizgowego, NCN - OPUS 2011/01/B/ST8/07257.</i>	2014
6.	<i>Materiały porowate na podstawie fazy międzymetalicznej FeAl-otrzymanie i właściwości, O N50800 4334.</i>	2011
7.	<i>Technologia wytwarzania i przetwarzania litych nanomateriałów metalicznych, KB/137/13798/IT1-B/U/08, NCBiR.</i>	2011
8.	<i>Wielofunkcyjne materiały gradientowe na podstawie faz z układu FeAl spiekane w warunkach cyklicznie zmiennego obciążenia, ON508 004434, MNiSW.</i>	2011
9.	<i>Technologia stopów intermetalicznych Fe-Al i Ni-Al dla wybranych zastosowań w energetyce R07 02502, MNiSW.</i>	2010
10.	<i>Modelowanie i weryfikacja doświadczalna mechanizmów zużycia stopów na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al o zróżnicowanym stanie warstwy wierzchniej, O N508 0048 33, MNiSW.</i>	2010

10. Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych wraz z informacją o pełnionych funkcjach

10.1. przed uzyskaniem stopnia doktora

BRAK

10.2. po uzyskaniu stopnia doktora

- 1) Polskie Towarzystwo Materiałoznawcze, członek od 2008.
- 2) Polskie Stowarzyszenie Wodoru i Ogniw Paliwowych, członek od 2011.

11. Staże w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru

11.1. przed uzyskaniem stopnia doktora.

Lp.	Staże, konsultacje naukowe	Rok zakończenia
1.	Staż zawodowy, Wojskowe Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji, Warszawa.	01.01-31.03.2004 r
2.	Staż naukowy na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej, Warszawa.	01.03-30.06.2001 r.

11.2. po uzyskaniu stopnia doktora

Lp.	Staże, konsultacje naukowe	Rok zakończenia
1.	Staż naukowy, Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej (kat. A+), Warszawa.	01.03-31.05.2018 r.
2.	Staż naukowy, University of Warwick, Department of Physics, Coventry, Wielka Brytania.	19.05-16.06.2015 r.
3.	Konsultacje naukowe, University of Warwick, Department of Physics, Coventry, Wielka Brytania.	29.09-03.10.2014 r
4.	Konsultacje naukowe, Faculty of Engineering and Information Sciences, University of Wollongong, Australia.	2007 (1 tydzień)

12. Członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism wraz z informacją o pełnionych funkcjach (np. redaktora naczelnego, przewodniczącego rady naukowej, itp.)

12.1. przed uzyskaniem stopnia doktora

BRAK

12.2. po uzyskaniu stopnia doktora

Edytor zaproszony (guest editor) specjalnego wydania *Intermetallics—Current Research and Applications* czasopisma Materials, zamknięcie wydania: 15 wrzesień 2021; Impact Factor 3,748 (<https://www.mdpi.com/journal/materials/special-issues/Intermetallics-Applications>)

13. Recenzowane prac naukowych lub artystycznych, w szczególności publikowanych w czasopismach międzynarodowych

13.1. przed uzyskaniem stopnia doktora

BRAK

13.2. po uzyskaniu stopnia doktora

Lp.	Tytuł czasopisma	Liczba wykonanych recenzji
1.	Applied Surface Science (IF=7,392)	2
2.	International Journal of Mechanical Sciences (IF=6,772)	1
3.	Journal of Alloys and Compounds (IF=6,371)	7
4.	Journal of Materials Research and Technology (IF=6,267)	6
5.	Materials (IF=3,748)	8
6.	Micron (IF=2,381)	1
7.	Coatings (IF=3,236)	1
8.	Applied Sciences (IF=2,838)	2
9.	Metals (IF=2,695)	10
10.	Journal of Mining and Metallurgy (IF=1,311)	3
11.	Archives of Metallurgy and Materials (IF=0,633)	15
12.	Pozostałe (IF<0,5) (Journal of Composites Science, Inżynieria Materiałowa)	2
Łącznie		58

14. Uczestnictwo w programach europejskich lub innych programach międzynarodowych

14.1. przed uzyskaniem stopnia doktora

BRAK

14.2. po uzyskaniu stopnia doktora

Lp.	Tytuł projektu	Rok zakończenia
1.	Udział w realizacji projektu europejskiego FMMI VŠB-TUO – <i>Strategický rozvoj doktorských studijních programů</i> , numer CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002706, (Program Operacyjny Badania, Rozwój i Edukacja) <u>członek zespołu</u> .	2018
2.	Polsko-Czeski program wykonawczy w ramach umowy między rządem Rzeczypospolitej Polskiej a rządem Republiki Czeskiej o współpracy w dziedzinie nauki i techniki, 2013-2014, projekt „ <i>Analiza wpływu warunków walcowania na odkształcalność i przemiany strukturalne w drobnoziarnistym stopie na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al</i> ”, <u>członek zespołu</u> .	2014
3.	<i>Laboratorium projektowania materiałów i szybkiego wytwarzania wyrobów – Lapromaw</i> , współfinansowany z funduszy europejskich w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, POIG.02.01.00-14-071/08/00	2011

15. Udział w zespołach badawczych, realizujących projekty inne niż określone w pkt. II.9

15.1. przed uzyskaniem stopnia doktora

BRAK

15.2. po uzyskaniu stopnia doktora

- 1) Kierowanie zespołem realizującym pracę badawczą *Opracowanie konsol nośnych i stabilizujących do mocowania fasad wentylowanych na potrzeby budownictwa*, WAT, Warszawa, 2022.
- 2) Kierowanie zespołem projektowym w ramach Inwestycji celowej MON: *Modernizacja specjalistycznego laboratorium analityki składu chemicznego w ramach Planu modernizacji technicznej SZ RP w latach 2018-2022*, w ramach którego zakupiono: spektrometr EDS EDAX Octane Elect, uchwyt do badań t-EBSD (Quanta 3D FEG) oraz zestawy wzorców stałych, ciekłych i gazowych.

16. Wykaz uczestnictwa w zespołach oceniających wnioski o finansowanie badań, wnioski o przyznanie nagród naukowych, wnioski w innych konkursach mających charakter naukowy lub dydaktyczny

16.1. przed uzyskaniem stopnia doktora

BRAK

16.2. po uzyskaniu stopnia doktora

- 1) Członek Kapituły II konkursu Ministra Obrony Narodowej na *Najlepszą pracę naukową i badawczą z obszaru obronności (pod patronatem Prezydenta RP)*, 2014 r.
- 2) Członek zespołu ekspertów Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oceniających projekty w ramach konkursów:
 - a) InnoTech: 1 szt.,
 - b) Programu Badań Stosowanych: 5 szt.,
 - c) Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój (2014-2020) *Szybka ścieżka* - 3 szt.,
 - d) postępowanie odwoławcze: 1 szt.
- 3) Członek zespołu ekspertów Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oceniających raporty końcowe/okresowe:
 - a) projektów rozwojowych/badań stosowanych: 2 szt.
 - b) ERA-NET-MATERA 2009/2021: 2 szt.
- 4) Członek komisji oceniającej wystąpienia studentów w czasie Seminarium Naukowego Mechaników WME, WAT, Warszawa 2006.

III. WSPÓŁPRACA Z OTOCZENIEM SPOŁECZNYM I GOSPODARCZYM

1. Wykaz dorobku technologicznego

- 1) *Opracowanie nowych konsol nośnych i stabilizujących do mocowania fasad wentylowanych na potrzeby budownictwa, 2022 – na zlecenie firmy TOMAR, wnioski do Urzędu Patentowego RP o nadanie wzorów użytkowych w trakcie procedowania.*
- 2) *Opracowanie kompletnego procesu technologicznego wytwarzania z cienkich taśm i folii metalicznych struktur o wysokorozwiniętej powierzchni typu „plaster miodu” obejmującego wykonanie nowych niezależnych stanowisk do: szlifowania, profilowania plastycznego do sinusoidalnie zmiennego kształtu, formowania do postaci wkładów katalitycznych i finalnego spajania termicznego układów katalitycznych.*
- 3) *Z. Bojar, P. Jóźwik, *Opracowanie technologii wytwarzania mikrokryształicznych, plastycznych w temperaturze pokojowej taśm z jedno i dwufazowych stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al* - patent nr 209444 z 16.06.2005 r.*
- 4) *Z. Bojar, P. Jóźwik, J. Bystrzycki *Opracowanie technologii kształtowania parametrów wytrzymałościowych wysokowytrzymałych taśm ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, patent nr 205660 z 21.07.2005 r.*
- 5) *Opracowanie sposobu wytwarzania nanokryształicznych taśm ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al* - patent nr 215410 z 01.08.2005 r.
- 6) *Z. Bojar, P. Jóźwik *Opracowanie sposobu kształtowania parametrów wytrzymałościowych nanokryształicznych taśm ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al* patent nr 215424 z 02.08.2005 r.*
- 7) *P. Jóźwik, Z. Bojar, *Opracowanie sposobu poprawy parametrów wytrzymałościowych złączy ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, zgłoszenie patentowe nr P.444165 z 23.03.2023 r.*

2. Współpraca z sektorem gospodarczym

Moja współpraca z sektorem gospodarczym dotyczyła i nadal dotyczy głównie obszaru związanego z realizacją projektów badawczo-rozwojowych. Byłem inicjatorem powstania konsorcjów naukowych z przedstawicielami przemysłu:

- 1) Konsorcjum InterKAT w składzie: WAT – IMP PAN (Gdańsk) – WIM Politechnika Warszawska – Przedsiębiorstwo Sprzętu Ochronnego MASKPOL S.A. w celu realizacji projektu: *Rozwój innowacyjnej technologii cienkich taśm ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al o wysokiej aktywności katalitycznej w zakresie oczyszczania powietrza z substancji szkodliwych lub kontrolowanego rozkładu węglowodorów*”, Program badań Stosowanych III – (projekt przyznany i zrealizowany).
- 2) Konsorcjum PLAZKAT w składzie: WCH Politechnika Warszawska – WAT – Galactico związane w celu realizacji projektu *Wielkolaboratoryjny reaktor plazmowo-katalityczny do prowadzenia procesów rozkładu zanieczyszczeń ciekłych i gazowych*

w warunkach plazmy nierównowagowej wyładowania ślizgowego, Program Badań Stosowanych II (projekt przyznany i zrealizowany).

- 3) Konsorcjum w składzie: ITWL – WAT – IMP Politechnika Łódźka – JETPOL w celu realizacji projektu *Nowa generacja gazowych łożysk foliowych do zastosowań wysokotemperaturowych w wysokoobrotowych turbinach z wykorzystaniem taśm ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, Program badań Stosowanych II (bez finansowania).
- 4) Konsorcjum w składzie: WAT – Politechnika Rzeszowska w celu realizacji projektu *Doskonalenie innowacyjnej technologii przetwarzania stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al - doświadczalna weryfikacja możliwości aplikacji na cienkościenne wyroby walcowane lub elementy masywne z przeznaczeniem do eksploatacji w warunkach korozji, erozji i obciążenia mechanicznego w podwyższonej temperaturze*, Program badań Stosowanych I (bez finansowania).
- 5) Konsorcjum INKAT w składzie: WAT – Przedsiębiorstwo Sprzętu Ochronnego MASKPOL S.A., związane w celu realizacji projektu: *Rozwój innowacyjnej technologii cienkich taśm metalicznych o wysokiej aktywności termokatalitycznej w zakresie oczyszczania powietrza, dopalania substancji szkodliwych lub kontrolowanego rozkładu węglowodorów oraz wdrożenie do produkcji kompletnego urządzenia dla najbardziej efektywnej aplikacji po etapie B+R w ramach programu INNOTECH (Ścieżka programowa In-Tech), 2013 (bez finansowania).*

Brałem udział w realizacji projektów ukierunkowanych na komercjalizację taśm i folii z intermetalicznych stopów Ni₃Al o ściśle określonych właściwościach dopasowanych do konkretnych zastosowań funkcjonalnych lub konstrukcyjnych w ramach:

- 1) programu *Inkubator Innowacyjności 4.0 – Wsparcie procesów komercjalizacji wyników B+R*, realizowanym przez Centrum Transferu Technologii Wojskowej Akademii Technicznej (2021-2023), kierownik grantu/współautor technologii,
- 2) programu SPIN-TECH realizowanym przez Centrum Rozwoju Technologii Wojskowej Akademii Technicznej (2014-2015), współautor technologii,
- 3) projekt - Enterprise Europe Network realizowany przez Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego mającego za zadanie wspieranie innowacyjności oraz międzynarodowej współpracy technologicznej www.imbig.org.pl, współautor technologii.

Poszukiwania partnerów przemysłowych i upowszechnianie uzyskanych osiągnięć technologicznych zarówno w obszarze wytwarzania uplastycznionych stopów Ni₃Al, przetwarzania i prób aplikacji zrealizowałem następujące działania (z zaznaczeniem uzyskanych wyróżnień) w obszarze:

- 1) Technologii uplastycznienia stopów intermetalicznych Ni₃Al, prezentacje na:
 - a. 54 Światowej Wystawie Wynalazków, Badań Naukowych i Nowoczesnej Techniki *Brussels Eureka-2005*, **srebrny medal**,

- b. Międzynarodowej Wystawie Wynalazczości *Innowacje 2005*, Gdańsk, **złoty medal**.
- 2) Badań aktywności katalitycznej w reakcji dekompozycji toksycznych związków chemicznych i biologicznych, prezentacje na:
- a. 58 Światowych Targach Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Techniki *Brussels INNOVA 2009*, **złoty medal**,
 - b. 111 targach wynalazczości *CONCOURS LEPINE 2012*, Paryż, **złoty medal**
 - c. XXVI Międzynarodowym Salonie Przemysłu Obronnego Kielce 2018, prezentacja urządzenia termokatalitycznego oczyszczania powietrza z chemicznych i biologicznych substancji toksycznych,
 - d. XVIII Międzynarodowym Salonie Przemysłu Obronnego, 2010 r Kielce, prezentacja Koncepcji *oczyszczania powietrza z chemicznych i biologicznych substancji toksycznych za pomocą intermetalicznego układu termokatalitycznego*.
- 3) Technologii wytwarzania i przetwarzania stopów Ni₃Al w postaci taśm i folii o ściśle określonych właściwościach mechanicznych i użytkowych prezentacje na:
- a. International Invention Fair 2014, Seul, **brązowy medal** oraz **nagroda specjalna** The Egyptian Inventors Syndicate: for the outstanding performance and display commended by idea with the title *Ni₃Al-based strips and foils with strictly specified properties adapted to specific functional or structural applications*,
 - b. 65 Międzynarodowe Targi *Pomysł Wynalazki Nowe Produkty* iENA 2013, Norymberga, **srebrny medal** oraz **dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego**, Warszawa, 06.02.2013.
 - c. Warsaw Industry Week 2016, Centrum Kongresowe PTAK Warsaw Expo, pod patronatem naukowym Wojskowej Akademii Technicznej 2016 r.

3. Wykaz uzyskanych praw własności przemysłowej, w tym uzyskanych patentów krajowych lub międzynarodowych

Uzyskane patenty krajowe

- 1) Z. Bojar, P. Józwik, *Sposób wytwarzania mikrokryształicznych, plastycznych w temperaturze pokojowej taśm z jedno i dwufazowych stopów na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, patent nr 209444 z 16.06.2005 r.
- 2) Z. Bojar, P. Józwik, *Sposób kształtowania parametrów wytrzymałościowych wysokowytrzymałych taśm ze stopów na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al o wysokiej wytrzymałości*, patent nr 205660 z 21.07.2005 r.
- 3) Z. Bojar, P. Józwik, J. Bystrzycki, *Sposób wytwarzania nanokryształicznych taśm ze stopów na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, patent nr 215410 z 01.08.2005.
- 4) Z. Bojar, P. Józwik, *Sposób kształtowania parametrów wytrzymałościowych nanokryształicznych taśm ze stopów na podstawie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, patent nr 215424 z 02.08.2005 r.

Zgłoszenia patentowe

P. Józwik, Z. Bojar, Zgłoszenie patentowe: *Sposób poprawy parametrów wytrzymałościowych złączy ze stopów na osnowie fazy międzymetalicznej Ni₃Al*, P.444165 z 23.03.2023 r.

4. Wykaz wdrożonych technologii

BRAK

5. Wykaz wykonanych ekspertyz lub innych opracowań wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców

- 1) Wykonanie badań metalograficznych uszkodzonych elementów przekładni planetarnej kombajnu chodnikowego, Główny Instytut Górnictwa, 2023, WAT Warszawa (044-143/WAT/2023).
- 2) Wykonanie próbek z prętów dostarczonych przez Zleceniodawcę w ramach realizacji zadania badawczego „Nowe materiały metaliczne na potrzeby technologii wytwarzania przyrostowego (druku 3D)”, UKSW, 2022, WAT Warszawa (044-136/WAT/22).
- 3) Badania konsol montażowych w ramach umowy o Wykonanie Usługi Badawczej z Przedsiębiorstwem Handlowo-Produkcyjnym „Tomar” 2020-2022, WAT Warszawa (01/095/WAT/2020).
- 4) Wykonanie badań struktury i analizy składu chemicznego w mikroobszarach drutów stalowych i aluminiowych, Instytut Górnictwa, 2022, WAT Warszawa (044-126/WAT/2022).
- 5) Wyznaczenie podstawowych właściwości wytrzymałościowych w stanie dostawy i po starzeniu (promieniowanie UV), CEO nanoEMI Sp. z o.o. 2021, WAT Warszawa (044-119/WAT/21).
- 6) Wykonanie obróbki plastycznej stopów magnezu poprzez walcowanie ze zróżnicowaniem prędkości obrotowej walców, Politechnika Warszawska, 2019, WAT Warszawa (044/102/WAT/2019).
- 7) Walcowanie blach ze stopu H282 z wykorzystaniem zestawu walcowniczego z klatką walcowniczą typu sexto dedykowanego do obróbki materiałów trudnoodkształczalnych, Instytut Odlewnictwa, 2018, WAT Warszawa (03-04-095/LBM/2018).
- 8) Ekspertyza dotycząca identyfikacji cząstek stałych z pompy hamulcowej samochodu SUBARU, kan. prawnicza Kaczorowski i s-ka, 2014, Warszawa (056-84/LBM/2014).
- 9) Ekspertyza dotycząca analizy strukturalnej próbek kompozytowych, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, 2014, Warszawa (056-101/LBM/2014).
- 10) Ekspertyza dotycząca badań czystości/zanieczyszczenia wtrąceniami niemetalicznymi, Fabryka lin STOLIN, 2014, WAT Warszawa (056-87/LBM/2014).
- 11) Ekspertyza dotycząca badań pyłów z układów hamulcowych pojazdów samochodowych, Przemysłowy Instytut Motoryzacji, 2013, WAT Warszawa (056-76/LBM/2013).
- 12) Ekspertyza dotycząca badań pyłu z FORMAR-u z instalacji wentylacyjnej, Przemysłowy Instytut Motoryzacji, 2012, WAT, Warszawa (056-58/LBM/2012).

6. Wykaz udziału w zespołach eksperckich lub konkursowych

BRAK

IV. DANE NAUKOMETRYCZNE

1. **Sumaryczny Impact Factor publikacji (w dziedzinach i dyscyplinach, w których parametr ten jest powszechnie używany jako wskaźnik naukometryczny)**

113,96²

2. **Liczba cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań (na dzień 13.09.2023 r.)**

- a. **liczba cytowań:**

- wg. Scopus: **707**
- wg. Google Scholar: **1021**

- b. **liczba cytowań (bez autocytowań):**

- wg. Scopus: **534**

3. **Indeks Hirscha (na dzień 13.09.2023 r.)**

- a. **H – index:**

- wg. Scopus: **14**
- wg. Google Scholar: **16**

- b. **H – index (bez autocytowań):**

- wg. Scopus: **11**

.....

(podpis wnioskodawcy)

² określony w latach wydania poszczególnych publikacji