



Polskie Towarzystwo  
Materiałów Kompozytowych  
Polish Society of  
Composite Materials

# KSIĄŻKA ABSTRAKTÓW BOOK OF ABSTRACTS

## XXVI Sympozjum “KOMPOZYTY – Teoria i praktyka”

XXVI Symposium  
"COMPOSITES - Theory and practice"

5.06 – 7.06  
Brenna 2024



Politechnika Śląska  
Wydział Inżynierii Materiałowej



Komitet  
Inżynierii Materiałowej  
i Metalurgii PAN



Redakcja materiałów konferencyjnych / Editors of conference materials

**Tomasz Maciąg & Anna Janina Dolata**

**© Copyright by PTMK „Polskie Towarzystwo Materiałów  
Kompozytowych”**

**© Copyright by PTMK "Polish Society of Composite Materials"**

**ISBN 978-83-7880-954-8**

*Przygotowano na podstawie tekstów dostarczonych przez Autorów. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za treść zamieszczonych abstraktów.*

*Prepared on the basis of texts provided by the authors. Editors are not responsible for the content of the abstracts posted.*



**ORGANIZATOR KONFERENCJI / CONFERENCE ORGANIZER**

**Polskie Towarzystwo Materiałów Kompozytowych (PTMK)**  
**Polish Society of Composite Materials (PTMK)**

**z udziałem / with the participation of**

**Komitetu Inżynierii Materiałowej i Metalurgii PAN**  
**PAN Materials Engineering and Metallurgy Committee**

**Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej**  
**Faculty of Materials Engineering of the Silesian University of Technology**



Polskie Towarzystwo  
Materiałów Kompozytowych  
Polish Society of  
Composite Materials



PAN Komitet Inżynierii  
Materiałowej i Metalurgii



Wydział Inżynierii Materiałowej  
Politechniki Śląskiej

**KOMITET ORGANIZACYJNY / ORGANIZING COMMITTEE**

**Przewodnicząca / Chairwoman**

**dr hab. inż. Anna Janina Dolata, prof. PŚ**

**Członkowie / Members**

**dr hab. inż. Waldemar Pichór, prof. AGH**

**dr hab. inż. Maciej Dyzia**

**dr inż. Bartłomiej Przybyszewski**

**dr inż. Paweł Kurtyka**

**dr inż. Tomasz Maciąg**

**dr inż. Natalia Ryłko**

**dr inż. Paweł Szymański**

**dr inż. Jakub Wieczorek**

**mgr inż. Aleksander Peryt**

**mgr inż. Krzysztof Stępień**



**KOMITET NAUKOWY / SCIENTIFIC COMMITTEE**

dr hab. inż. Jarosław Bieniaś, prof. PL  
prof. dr hab. inż. Anna Boczkowska, PW  
prof. dr hab. inż. Katarzyna Braszczyńska-Malik, PCz  
dr hab. inż. Anna Janina Dolata, prof. PŚ  
dr hab. inż. Agnieszka Gubernat, prof. AGH  
prof. dr hab. inż. Waldemar Kaszuwara, PW  
dr hab. inż. Marcin Madej, prof. AGH  
prof. dr hab. inż. Krzysztof Naplocha, PWr  
prof. dr hab. inż. Dariusz Oleszak, PW  
dr hab. inż. Dariusz Mariusz Perkowski, prof. PB  
prof. dr hab. inż. Zbigniew Pędzich, AGH  
dr hab. inż. Waldemar Pichór, prof. AGH  
dr hab. inż. Elżbieta Piesowicz, prof. ZUT  
dr hab. inż. Paweł Popielarski, prof. PP  
dr hab. inż. Iwona Sulima, prof. UKEN  
prof. dr hab. Krystyna Wrześniewska-Tosik Ł-ŁIT  
dr hab. inż. Magdalena Ziabka, prof. AGH

**PARTNERZY & SPONSORZY / EVENT PARTNER & SPONSORS**



COBRA EUROPE Sp. z o.o



## HARMONOGRAM KONFERENCJI

### CONFERENCE TIMETABLE

Dzień 1 / Day 1 5.06.2024	
Godzina / Time	Wydarzenie / Event
10:00-14:00	Rejestracja uczestników / Participant registration
13:00-14:30	Obiad / Lunch
14:45-15:00	Otwarcie konferencji / Opening of the conference
15:00-16:00	Sesja 1: Kompozyty metalowe I Session 1: Metal composites I
16:00-16:30	Przerwa / Coffee break
16:30-17:30	Sesja 2: Kompozyty metalowe II Session 2: Metal composites II
19:30	Uroczysta kolacja / Gala dinner

Dzień 2 / Day 2 6.06.2024	
Godzina / Time	Wydarzenie / Event
8:00-10:00	Śniadanie / Breakfast
10:00-11:30	Sesja 3: Kompozyty polimerowe I Session 3: Polymer composites I Sesja 4: Kompozyty ceramiczne I Session 4: Ceramic composites I
11:30-13:00	Przerwa / Coffee break
13:00-14:30	Obiad / Lunch
14:30-16:30	XII Walny Zjazd Członków PTMK / Wybory nowych władz PTMK na kadencję 2024–2027 / XII General Congress of PTMK Members / Election of new PTMK authorities for the 2024–2027 term
16:30-19:30	Sesja posterowa / Poster session
19:30	Biesiada oraz wręczenie dyplomów i nagród za prezentację posteru Banquet and awards ceremony for poster presentation

Dzień 3 / Day 3 7.06.2024	
Godzina / Time	Wydarzenie / Event
8:00-10:00	Śniadanie / Breakfast
10:00-11:15	Sesja 5: Kompozyty polimerowe II Session 3: Polymer composites II Sesja 6: Kompozyty metalowe III / Inne Session 6: Metal composites III / Other
11:15-11:30	Przerwa / Coffee break
11:30-13:00	Sesja 7: Kompozyty polimerowe III Session 7: Polymer composites III
13:00-13:30	Zakończenie konferencji oraz wręczenie dyplomów i nagród za referaty End of the conference and awards ceremony for lectures
13:30-15:00	Obiad / Lunch

**SZCZEGÓŁOWY PROGRAM KONFERENCJI**  
**DETAILED CONFERENCE PROGRAM**



## SPIS TREŚCI / TABLE OF CONTENTS

Autor i tytuł / Author and title	Strona / Page
<b>REFERAT / LECTURE</b>	
<i>Dariusz Oleszak</i>	
<b>STOPY O WYSOKIEJ ENTROPII JAKO OSNOWA W KOMPOZYTACH METALICZNO-CERAMICZNYCH / HIGH ENTROPY ALLOYS AS A MATRIX IN METALLIC-CERAMIC COMPOSITES</b>	<b>20 / 21</b>
<i>Paulina Szwacka, Paweł Szymański</i>	
<b>NASYCENIE KSZTAŁTEK Z WŁÓKNA WĘGLOWEGO STOPEM ALSI11 W WARUNKACH ODLEWANIA PODCIŚNIENIOWEGO / SATURATION OF CARBON FIBER PREFORMS WITH ALSI11 ALLOY UNDER VACUUM CASTINGS CONDITIONS</b>	<b>22 / 23</b>
<i>Ewa Olejnik, Agnieszka Czajka, Paweł Kurtyka, Robert Chulist, Wojciech Maziarz</i>	
<b>WPŁYW ROZMIESZCZENIA CZĄSTEK TiC NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE I ZUŻYCIĘ ŚCIERNE KOMPOZYTÓW ODLEWANYCH NA BAZIE STOPÓW Al / EFFECT OF THE TiC PARTICLE ARRANGEMENT ON MECHANICAL AND WEAR PROPERTIES OF IN-SITU Al-BASED CAST COMPOSITES</b>	<b>24 / 25</b>
<i>Daniel Piróg, Ewa Olejnik, Paweł Kurtyka, Robert Chulist, Katarzyna Biegun</i>	
<b>WPŁYW SKŁADU CHEMICZNEGO STOPÓW Fe-C NA MIKROSTRUKTURĘ ORAZ WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE I ZUŻYCIĘ ŚCIERNE WARSTW KOMPOZYTOWYCH WZMACNIANYCH CZĄSTKAMI WC OTRZYMYWANYCH IN-SITU W ODLEWACH / EFFECT OF THE Fe-C-BASED CAST ALLOY COMPOSITION ON MICROSTRUCTURE, MECHANICAL AND WEAR PROPERTIES OF WC PARTICLES REINFORCED COMPOSITE LAYERS IN-SITU FABRICATED VIA CASTING PROCESS</b>	<b>26 / 27</b>

*Anna Dmitruk, Andres Diaz Lantada, Sara Ferraris, Natalia Raźny,  
Silvia Spriano, Krzysztof Naplocha*

**SKAFOLDY KOMPOZYTOWE DO ZASTOSOWAŃ  
W IMPLANTACH KOSTNYCH O KONTROLOWANEJ SZYBKOŚCI  
DEGRADACJI / COMPOSITE SCAFFOLDS FOR BONE IMPLANT  
APPLICATIONS WITH CONTROLLED DEGRADATION RATE** 28 / 29

---

*Aleksander Peryt, Tomasz Maciąg, Anna Janina Dolata, Maciej Dyzia*

**WŁAŚCIWOŚCI STRUKTUR CERAMICZNYCH WYTWORZONYCH  
METODĄ DRUKU LCD/DLP DO ZASTOSOWAŃ W  
KOMPOZYTACH O OSNOWIE METALOWEJ / PROPERTIES OF  
CERAMIC STRUCTURES MANUFACTURED BY LCD/DLP  
PRINTING FOR APPLICATION IN METAL MATRIX COMPOSITES** 30 / 31

---

*Beata Leszczyńska-Madej, Marcin Madej, Aleksandra Węglowska*

**MIKROSTRUKTURA I WŁASNOŚCI KOMPOZYTÓW NA OSNOWIE  
ALUMINIUM WYTWARZANYCH METODĄ FSP / THE  
MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF ALUMINIUM MATRIX  
COMPOSITES PRODUCED BY FSP METHOD** 32 / 33

---

*Johann Faust, Florian Lehmann, Rafał Stanik, Sirko Geller, Maik Gude*

**ZAUTOMATYZOWANA PRODUKCJA LAMINATÓW  
WARSTWOWYCH ZE ZINTEGROWANYMI CZUJNIKAMI PRZY  
UŻYCIU TECHNOLOGII PRASOWANIA / AUTOMATED  
PRODUCTION OF FIBER COMPOSITE SANDWICH STRUCTURES  
WITH INTEGRATED SENSORS BY MEANS OF WET  
COMPRESSION MOLDING** 34 / 35

---

*Johann Faust, Tom Dziewiencki, Eckart Kunze, Michael Müller-Pabel,  
Oliver Henry Schmidt, Sirko Geller, Maik Gude*

**SZANSE I WYZWANIA ZWIĄZANE Z SIECIOWANIEM  
PROMIENIAMI UV W WYDAJNYCH PROCESACH PRODUKCJI  
KOMPOZYTÓW WŁÓKNISTYCH / CHANCES AND CHALLENGES  
OF UV CURING IN EFFICIENT FIBRE COMPOSITE  
MANUFACTURING PROCESSES** 36 / 37



*Florian Schmidt, Marten Walter, Jonas Richter, Sirko Geller,  
Maik Gude*

**OPTIMALIZACJA PARAMETRÓW PROCESU NAWIJANIA NA  
MOKRO NA POTRZEBY PRODUKCJI ZBIORNIKÓW  
CIŚNIENIOWYCH TYPU IV O WYSOKIEJ GĘSTOŚCI  
GRAWIMETRYCZNEJ / OPTIMISATION OF WET WINDING  
PROCESS PARAMETERS FOR THE PRODUCTION OF TYPE IV  
HYDROGEN PRESSURE VESSELS WITH HIGH GRAVIMETRIC  
STORAGE DENSITY** **38 / 39**

---

*Lars Muschalski, Albert Langkamp, Maik Gude*

**WPŁYW MODYFIKACJI CIĄGLIWOŚCI  
WYSOKOTEMPERATUROWYCH ŻYWIC  
TERMOUTWARDZALNYCH NA WYTRZYMAŁOŚĆ  
KOMPOZYTÓW WZMACNIANYCH WŁÓKNAMI / INFLUENCE OF  
TOUGHNESS MODIFICATION OF HIGH TEMPERATURE  
THERMOSETTING RESINS ON FIBER-REINFORCED COMPOSITES  
STRENGTHS** **40 / 41**

---

*Bartłomiej Przybyszewski, Rafał Kozera, Anna Boczkowska,  
Malwina Liszewska, Katarzyna Ziętkowska, Anna Łabęda,  
Daria Rutkowska, Luis Angurel*

**WPŁYW LASEROWEJ TEKSTURYZACJI NA WŁAŚCIWOŚCI  
HYDRO- I LODOFOWE TRANSPARENTYCH POWŁOK  
POLIMEROWYCH / EFFECT OF LASER TEXTURIZATION ON  
HYDROPHOBIC AND ANTI-ICING PROPERTIES OF  
TRANSPARENT POLYMER COATINGS** **42 / 43**

---

*Dariusz M. Perkowski, Rafał Stanik, Albert Langkamp, Maik Gude*

**MODELOWANIE NAPRĘŻEŃ RESZTKOWYCH I PUSTEK  
POWSTAJĄCYCH PODCZAS POLIMERYZACJI ŻYWICY W  
KOMPOZYTACH WŁÓKNISTYCH / MODELLING RESIDUAL  
STRESSES AND VOIDS ARISING DURING RESIN  
POLYMERISATION IN FIBRE COMPOSITES** **44 / 45**

*Dawid Kozień, Zbigniew Pędzich, David Salamon, Daniel Valasek,  
Peter Tatarko, Michal Hičák, Ondrej Hanzel, Paweł Nieroda,  
Katarzyna Pasiut, Alan Wilmański*

**WYTWARZANIE GĘSTYCH KOMPOZYTÓW NA BAZIE DIBORKU  
TYTANU POPRZEZ SPIEKANIE REAKTYWNE / PRODUCTION OF  
DENSE COMPOSITES BASED ON TITANIUM DIBORIDE BY  
REACTIVE SINTERING** 46 / 47

---

*Paulina Wiecińska, Joanna Tańska, Anna Więclaw-Midor,  
Blanka Sereżyńska, Radosław Żurowski, Paweł Falkowski*

**JAK DOBRAĆ ZWIĄZKI ORGANICZNE WSPOMAGAJĄCE  
FORMOWANIE KOLOIDALNE KOMPOZYTÓW  
O OSNOWIE CERAMICZNEJ? / HOW TO SELECT ORGANIC  
COMPOUNDS SUPPORTING COLLOIDAL PROCESSING OF  
CERAMIC-MATRIX-COMPOSITES?** 48 / 49

---

*Piotr Wieciński, Halina Garbacz, Joanna Kacprzyńska-Golacka,  
Jerzy Smolik, Andrzej Krasieński*

**CERAMICZNE POWŁOKI KOMPOZYTOWE OSADZANE NA  
POLIMEROWYCH MEMBRANACH FILTRACYJNYCH / CERAMIC  
COMPOSITE COATINGS FOR POLYMERIC FILTRATION  
MEMBRANES** 50 / 51

---

*Beata Tryba, Bartłomiej Prowans, Rafał Jan Wróbel, Paulina Szołdra,  
Waldemar Pichór*

**FOTOKATALITYCZNE ELIMINOWANIE NOX PRZY UŻYCIU TIO<sub>2</sub>  
NANIESIONEGO NA PIANKĘ NIKLOWĄ / PHOTOCATALYTIC  
NOX LIMITATION USING TIO<sub>2</sub> SUPPORTED ON NICKEL FOAM** 52 / 53

---

*Mateusz Kozioł*

**PRÓBA OCENY SZCZELNOŚCI POLIMEROBETONÓW  
Z WYKORZYSTANIEM NOWO OPRACOWANEJ METODY /  
AN ATTEMPT TO ASSESS THE TIGHTNESS OF POLYMER  
CONCRETE USING A NEWLY DEVELOPED METHOD** 54 / 55

*Rafał Malinowski, Volodymyr Krasynskyi, Oleksandr Grytsenko,  
Volodymyr Moravskyi, Daniel Kaczor, Magdalena Stepczyńska,  
Krzysztof Moraczewski*

**STRUKTURA I WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE PBS, PCL I PBAT  
MODYFIKOWANYCH LAPONITEM / THE STRUCTURE AND  
MECHANICAL PROPERTIES OF PBS, PCL AND PBAT MODIFIED  
WITH LAPONITE** 56 / 57

---

*Krystyna Wrześniewska-Tosik*

**SYNERGIA NAUKI I NATURY: OPRACOWANIE INTELIGENTNYCH  
ULI Z KOMPOZYTEM TERMOIZOLACYJNYM Z PIÓR DROBIU  
I TECHNOLOGIĄ CYFROWĄ / SYNERGY OF SCIENCE AND  
NATURE: DEVELOPMENT OF SMART HIVES WITH POULTRY  
FEATHER THERMAL INSULATION COMPOSITE AND DIGITAL  
TECHNOLOGIES** 58 / 59

---

*Anna Łabęda, Rafał Kozera, Milena Kurkowska, Anna Czajka,  
Kamil Dydek, Bartłomiej Bereska, Agnieszka Bereska, Bogna Sztorch,  
Robert Przekop*

**WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH  
WZMACNIANYCH RECYKLINGOWANYM WŁÓKNEM  
WĘGLOWYM PO PROCESIE SOLWOLIZY / PROPERTIES OF  
POLYMER COMPOSITES REINFORCED WITH RECYCLED  
CARBON FIBRE AFTER SOLVOLYSIS PROCESS** 60 / 61

---

*Piotr Czarnocki*

**MIARODAJNOŚĆ WYNIKÓW A ROZMIAR PRÓBKI /  
VALIDITY OF RESULTS VS SAMPLE SIZE** 62 / 63

---

*Piotr Podolak, Patryk Jakubczak, Jarosław Bieniaś*

**BADANIA RESZTKOWEJ WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE  
LAMINATÓW METALOWO WŁÓKNISTYCH PODDANYCH  
UDERZENIOM / THE STUDY OF COMPRESSION AFTER IMPACT  
OF FIBRE METAL LAMINATES** 64 / 65

*Piotr Podolak, Patryk Jakubczak, Jarosław Bieniaś*

**WALIDACJA NUMERYCZNA PROCESU PROPAGACJI USZKODZEŃ  
W LAMINATACH METALOWO-WŁÓKNISTYCH NA BAZIE  
TYTANU PODDANYCH UDERZENIU O NISKIEJ PRĘDKOŚCI  
ORAZ ŚCISKANIU OSIOWEMU PO UDERZENIU / NUMERICAL  
VALIDATION OF DAMAGE PROPAGATION PROCESS IN  
TITANIUM-BASED FIBRE METAL LAMINATES SUBJECTED TO  
LOW VELOCITY IMPACT AND COMPRESSION AFTER IMPACT** 66 / 67

---

*Łukasz Bednarski, Małgorzata Garbacka, Rafał Sieńko*

**CZUJNIKI ŚWIATŁOWODOWE W POMIARACH  
I MONITOROWANIU MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH / FIBER  
OPTIC SENSORS FOR MEASURING AND MONITORING  
COMPOSITE MATERIALS** 68 / 69

---

*Katarzyna Ziętkowska, Bartłomiej Przybyszewski, Dominik Grzęda,  
Anna Boczkowska, Malwina Liszewska, Daria Pakuła*

**CHEMICZNA MODYFIKACJA TRANSPARENTNYCH POWŁOK  
SILIKONOWO-EPOKSYDOWYCH ZWIĄZKAMI  
KRZEMOORGANICZNYMI W CELU UZYSKANIA WŁAŚCIWOŚCI  
ANTYOBŁODZENIOWYCH / CHEMICAL MODIFICATION  
OF TRANSPARENT SILICONE-EPOXY COATINGS WITH  
ORGANOSILICON COMPOUNDS FOR ANTI-ICING PROPERTIES** 70 / 71

---

*Michał Barcikowski, Wojciech Błażejewski, Paweł Bury,  
Grzegorz Lesiuk, Marek Lubecki, Zuzanna Pacholec,  
Karolina Paczkowska, Michał Smolnicki, Paweł Stabla,  
Michał Stosiak, Krzysztof Towarnicki, Joanna Warycha*

**NOWATORSKI PROJEKT NISKOCIŚNIENIOWEGO ZBIORNIKA  
KOMPOZYTOWEGO Z OTWOREM REWIZYJNYM –  
PROJEKTOWANIE, WYTWARZANIE I BADANIA / INNOVATIVE  
DESIGN OF A LOW-PRESSURE COMPOSITE TANK WITH AN  
INSPECTION OPENING – DESIGN, MANUFACTURING AND  
TESTING** 72 / 73

*Michał Krzysztoporski, Karolina Paczkowska, Monika Mszyca,  
Zuzanna Pacholec, Wojciech Błażejowski*

**WYZNACZENIE ORAZ WERYFIKACJA WŁASNOŚCI  
WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH KOMPOZYTU  
POLIESTROWO-SZKLANEGO WYTWORZONEGO  
W TECHNOLOGII NAWIJANIA / IDENTIFICATION AND  
VERIFICATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF FILAMENT  
WOUND GFRP** **74 / 75**

---

*Monika Sowa, Krzysztof Pałka*

**WŁAŚCIWOŚCI ŻYWIC DIMETAKRYLANOWYCH DLA  
STOMATOLOGII MODYFIKOWANYCH CIEKŁYM KAUCZUKIEM /  
PROPERTIES OF DIMETHACRYLATE RESINS FOR DENTISTRY  
MODIFIED WITH LIQUID RUBBER** **76 / 77**

---

*Aleksandra Korbut, Sonia Zielińska, Paweł Piszko,  
Małgorzata Gazińska, Marcin Włodarczyk, Aleksandra  
Szwed-Georgiou, Karolina Rudnicka, Przemysław Płociński,  
Agnieszka Sobczak-Kupiec, Paulina Tymowicz-Grzyb,  
Monika Biernat, Konrad Szustakiewicz*

**WIELOFUNKCYJNE MATERIAŁY KOMPOZYTOWE DO  
ZASTOSOWAŃ W INŻYNIERII TKANKOWEJ /  
MULTIFUNCTIONAL COMPOSITE MATERIALS FOR  
APPLICATION IN TISSUE ENGINEERING** **78 / 79**

---

*Simona Furgoł, Natalia Biernat, Damian Kiełkiewicz, Agata Krasuska,  
Ewa Sabura, Katarzyna Gębura*

**WITRYMERY EPOKSYDOWE - PRZEŁOM  
W TECHNOLOGII MATRYC KOMPOZYTOWYCH / EPOXY  
VITRIMERS - A BREAKTHROUGH IN COMPOSITE MATRIX  
TECHNOLOGY** **80 / 81**

---

**POSTER / POSTER**

---

*Paweł Hyjek, Iwona Sulima*

**WYTWARZANIE MATERIAŁÓW KONSTRUKCYJNYCH  
Z WYKORZYSTANIEM ENERGOOSZCZĘDNEJ ZAAWANSOWANEJ  
TECHNOLOGII SPIEKANIA FAST/SPS / PRODUCTION OF  
ENGINEERING MATERIALS USING ENERGY-SAVING ADVANCED  
FAST/SPS SINTERING TECHNOLOGY** 82 / 83

---

*Marek Konieczny*

**WŁAŚCIWOŚCI ORAZ MECHANIZMY UMOCNIEŃ  
KOMPOZYTÓW NA OSNOWIE NIKLU WZMOCNIONYCH  
CZĄSTKAMI STALI SZYBKOTNĄCEJ / PROPERTIES AND  
STRENGTHENING MECHANISMS OF NICKEL MATRIX  
COMPOSITES REINFORCED WITH HIGH SPEED STEEL  
PARTICLES** 84 / 85

---

*Volodymyr Krasynski, Krzysztof Bajer, Rafał Malinowski, Lauren  
Szymańska, Oksana Krasinska, Daniel Kaczor*

**KOMPOZYTY PVC NAPEŁNIANE PRZEMIAŁEM Z ŁOPAT  
WIRNIKÓW WIATRaków / PVC COMPOSITES FILLED WITH  
WIND TURBINE BLADES WASTE** 86 / 87

---

*Bernardeta Dębska, Marina Altoé Caetano,  
Guilherme Jorge Brigolini Silva*

**WPŁYW ZMIENNYCH WARUNKÓW TEMPERATUROWYCH NA  
WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAW ŻYWICZNYCH  
MODYFIKOWANYCH MATERIAŁAMI POCHODZĄCYMI  
Z RECYKLINGU / THE INFLUENCE OF VARIABLE TEMPERATURE  
CONDITIONS ON SELECTED PROPERTIES OF RESIN MORTARS  
MODIFIED WITH RECYCLED MATERIALS** 88 / 89

*Krystyna Wrzeźniewska-Tosik, Tomasz Kowalewski, Tomasz Mik,  
Damian Walisiak, Michalina Pałczyńska, Sebastian Górecki*

**INTELIĞENTNY UL – POPRAWA WARUNKÓW ŻYCIA PSZCZÓŁ  
POPURZEZ WPROWADZENIE EKOLOGICZNEJ IZOLACJI  
TERMICZNEJ I ZDALNE WCZESNE WYKRYWANIE ANOMALII /  
SMART HIVE - IMPROVING BEE LIVING CONDITIONS THROUGH  
ECOLOGICAL THERMAL INSULATION AND REMOTE EARLY  
ANOMALY DETECTION** 90 / 91

---

*Zbigniew Pędzich, Alan Wilmański, Agnieszka Wojteczko,  
Sebastian Komarek, Dariusz Zientara, Dawid Kozień,  
Waldemar Pyda, Piotr Klimczyk*

**KOMPOZYT DWUTLENEK CYRKONU-WĘGLIK WOLFRAMU –  
WPLYW TECHNIKI SPIEKANIA NA SKŁAD FAZOWY I  
MIKROSTRUKTURĘ / ZIRCONIA-TUNGSTEN CARBIDE  
COMPOSITE – THE INFLUENCE OF SINTERING TECHNIQUE ON  
PHASE COMPOSITION AND MICROSTRUCTURE** 92 / 93

---

*Michał Żakowski, Grzegorz Cieślak, Dariusz Oleszak*

**KOMPOZYTY METALICZNO-CERAMICZNE Z OSNOWĄ  
W POSTACI STOPU WYSOKOENTROPOWEGO UMACNIANE  
WĘGLIKIEM WOLFRAMU / HIGH ENTROPY MATRIX  
COMPOSITES REINFORCED WITH TUNGSTEN CARBIDE** 94 / 95

---

*Agnieszka Wojteczko, Alan Wilmański, Sebastian Komarek, Dawid  
Kozień, Waldemar Pyda, Rosa María Peña Capote, Zbigniew Pędzich*

**KOMPOZYTY ATZ ODPORNE NA PĘKANIE PODKRYTYCZNE /  
ATZ COMPOSITES RESISTANT TO SUBCRITICAL CRACK  
PROPAGATION** 96 / 97

---

*Magdalena Ziąbka, Agnieszka Wojteczko, Karolina Klesiewicz,  
Elżbieta Menaszek*

**OCENA SKUTECZNOŚCI ANTYBAKTERYJNEJ I ODPOWIEDZI  
KOMÓRKOWEJ KOMPOZYTÓW NA BAZIE TLENKU CYRKONU /  
EVALUATION OF ANTIBACTERIAL EFFICACY AND CELLULAR  
RESPONSE OF ZIRCONIA-BASED COMPOSITES** 98 / 99

*Joanna Warycha, Janusz Kurowski, Jakub Smoleń, Krzysztof Stępień*

**WPLYW WĘGLA NA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE  
I MECHANICZNE ŻYWICY PDCPD / THE INFLUENCE OF CARBON  
ON THE TRIBOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF  
PDCPD RESIN** 100 / 101

---

*Paweł Kurtyka, Ewa Olejnik, Natalia Ryłko, Katarzyna Biegun*

**ANALIZA ROZKŁADU CZĄSTEK NANO-TiC W KOMPOZYTACH  
IN-SITU NA OSNOWIE Al ORAZ STOPÓW Al-Si / ANALYSIS OF  
THE DISTRIBUTION OF NANO-TiC PARTICLES IN IN-SITU Al  
AND Al-Si ALLOYS-BASED COMPOSITES** 102 / 103

---

*Katarzyna Biegun, Daniel Piróg, Paweł Kurtyka, Robert Chulist,  
Ewa Olejnik*

**WPLYW SKŁADU CHEMICZNEGO STOPU NA REAKCJE SYNTEZY  
WĘGLIKA WOLFRAMU STREFACH KOMPOZYTOWYCH  
OTRZYMANÝCH IN-SITU W ODLEWACH / IMPACT OF  
CHEMICAL COMPOSITIONS OF ALLOY ON TUNGSTEN CARBIDE  
SYNTHESIS REACTION IN COMPOSITE ZONES MANUFACTURED  
IN-SITU IN CASTINGS** 104 / 105

---

*Agnieszka Czajka, Paweł Kurtyka, Ewa Olejnik*

**WPLYW UDZIAŁU CZĄSTEK TiC NA MIKROSTRUKTURĘ  
I WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW IN-SITU NA BAZIE ALUMINIUM  
/ INFLUENCE OF THE TiC PARTICLES CONTENT ON THE  
MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF IN-SITU ALUMINUM-  
BASED COMPOSITES** 106 / 107

---

*Michał Misiak, Paulina Latko-Durałek, Szymon Demski,  
Jakub Kotowski, Kamil Dydek, Paulina Kozera, Paweł Durałek,  
Evgenia Madia, Georgios Tzortzinis, Anna Boczkowska, Maik Gude*

**WYKORZYSTANIE TECHNOLOGII DRUKU 3D DO  
MONITOROWANIA USZKODZEŃ W GFRP / USING 3D PRINTING  
TECHNOLOGY TO MONITOR DAMAGE IN GFRPS** 108 / 109



---

*Rafał Chatys, Stanislav Honus, Łukasz J. Orman*

**TECHNOLOGIA WYTWARZANIA I WŁAŚCIWOŚCI  
KOMPOZYTÓW WARSTWOWYCH STOSOWANYCH DO  
INTENSYFIKACJI WYMIANY CIEPŁA PRZY WRZENIU /** 110 / 111  
**PRODUCTION TECHNOLOGY AND PROPERTIES OF LAYERED  
COMPOSITE COATINGS USED FOR BOILING HEAT TRANSFER  
AUGMENTATION**

---

*Maria Sajdak, Łukasz Zych, Dariusz Zientara, Kamil Kornaus,  
Agnieszka Gubernat*

**KOMPOZYTY Z UKŁADU  $TiB_2 - TiSi_2 - C$  /** 112 / 113  
 **$TiB_2 - TiSi_2 - C$  COMPOSITES**

---

*Agnieszka Gubernat, Kamil Kornaus, Dariusz Zientara, Łukasz Zych,  
Jerzy Lis, Zbigniew Pędzich*

**ODPORNOŚĆ NA UTLENIANIE KOMPOZYTÓW** 114 / 115  
**NA BAZIE BORKÓW  $ZrB_2-HfB_2$  / OXIDATION RESISTANCE OF**  
 **$ZrB_2-HfB_2$  COMPOSITES**

---

*Anna Janina Dolata, Maciej Dyzia*

**ZAAWANSOWANE METALOWO-CERAMICZNE MATERIAŁY**  
**KOMPOZYTOWE OTRZYMYWANE TECHNIKAMI** 116 / 117  
**CEKŁOFAZOWYMI / ADVANCED METAL-CERAMIC COMPOSITE**  
**MATERIALS OBTAINED BY LIQUID-STATE PROCESSING**  
**TECHNIQUES**

---

*Maciej Dyzia, Anna Janina Dolata*

**KOMPOZYTY Z OSNOWĄ ALUMINIOWĄ I CZĄSTKAMI  $SiC$**   
**WYTWARZANE METODĄ MIESZANIA / ALUMINIUM MATRIX** 118 / 119  
**COMPOSITES WITH  $SiC$  PARTICLES FABRICATED BY STIR**  
**CASTING METHOD**

---

*Simona Furgol, Damian Kielkiewicz, Natalia Biernat, Agata Krasuska,  
Ewa Sabura, Katarzyna Gębura, Anna Janina Dolata*

**KOMPOZYTY O OSNOWIE WITRYMERÓW EPOKSYDOWYCH,** 120 / 121  
**MODYFIKOWANE CIECZAMI JONOWYMI / EPOXY VITRIMERS**  
**MATRIX COMPOSITES MODIFIED WITH IONIC LIQUIDS**

*Natalia Biernat, Damian Kiełkiewicz, Simona Furgoł, Małgorzata Greif*

**PREPREGI EPOKSYDOWE O ZWIĘKSZONEJ ZAWARTOŚCI BIO-SUROWCÓW / EPOXY PREPREGS WITH INCREASED CONTENT OF BIO-RAW MATERIALS** 122 / 123

---

*Natalia Biernat, Simona Furgoł, Ewa Sabura, Katarzyna Gębura, Anna Pietruszka*

**WITRYMERY POLIOLEFINOWE JAKO ALTERNATYWA DLA USIECIOWANYCH POLIOLEFIN W PRZEMYSŁE KOMPOZYTOWYM / POLYOLEFIN VITRIMERS AS AN ALTERNATIVE TO CROSS-LINED POLYOLEFINES IN THE COMPOSITE INDUSTRY** 124 / 125

---

*Jakub Wieczorek, Tomasz Maciąg, Krzysztof Błasiak, Dorota Słupska, Andrzej Słupski*

**POTENCJAŁ APLIKACYJNY PRODUKTU UZYSKANEGO W TECHNOLOGII RECYKLINGU ZGARÓW SOLNYCH POWSTAŁYCH W PROCESIE PRODUKCJI STOPÓW ALUMINIUM / APPLICATION POTENTIAL OF THE PRODUCT OBTAINED IN THE TECHNOLOGY OF RECYCLING SALT DROSS GENERATED IN THE PRODUCTION PROCESS OF ALUMINUM ALLOYS** 126 / 127

---

*Robert Cieślak, Paweł Figiel, Anna Biedunkiewicz, Izabela Irska*

**WPŁYW PARAMETRÓW PROCESU WYTWARZANIA NA WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH UMACNIANYCH POPRODUKCYJNYMI PROSZKAMI ŻELIWA / EFFECT OF MANUFACTURING PROCESS PARAMETERS ON PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES REINFORCED WITH POST-PRODUCTION CAST IRON POWDERS** 128 / 129

---

*Marta Beata Krawczyk, Rafał Przybylski, Paweł Figiel, Konrad Kwiatkowski*

**BADANIE WPŁYWU NATURALNYCH NAPEŁNIACZY NA WŁAŚCIWOŚCI PRÓBEK OTRZYMANÝCH W PROCESIE WYTWARZANIA PRZYROSTOWEGO / INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF NATURAL FILLERS ON THE PROPERTIES OF SAMPLES OBTAINED BY ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGY** 130 / 131

---

*Iga Korczyńska, Paweł Lesiak, Elżbieta Piesowicz, Sandra Paszkiewicz,  
Adam Majewski*

**IZOLACJE KABLI SN i WN – STAN OBECNY, WYZWANIA I  
KIERUNKI ROZWOJU / INSULATION OF MV AND HV CABLES –  
CURRENT STATUS, CHALLENGES AND DIRECTIONS FOR  
DEVELOPMENT** 132 / 133

---

*Paulina Szoldra, Maksymilian Frąc, Waldemar Pichór*

**DEGRADACJA NO<sub>x</sub> W FOTOREAKTORZE Z MIKROSFERAMI  
GLINOKRZEMIANOWYMI POKRYTYMI CIENKIMI WARSTWAMI  
TiO<sub>2</sub> / DEGRADATION OF NO<sub>x</sub> IN A PHOTOREACTOR WITH  
ALUMINOSILICATE MICROSPHERES COATED WITH TiO<sub>2</sub> THIN  
FILMS** 134 / 135

---

*Szymon Demski, Michał Misiak, Kamil Dydek, Evgenia Madia,  
Georgios Tzortzinis, Paweł Duralek, Anna Boczkowska, Maik Gude*

**KOMPOZYTY POLIMEROWE NA BAZIE PBT MODYFIKOWANE  
NAPEŁNIACZAMI WĘGLOWYMI O POTENCJALNYM  
ZASTOSOWANIU NA TENSORY / PBT-BASED POLYMER  
COMPOSITES MODIFIED WITH CARBON FILLERS WITH  
POTENTIAL USE OF STRAIN GAUGES** 136 / 137

---

*Paweł Lesiak, Iga Korczyńska, Renata Chylińska, Konrad Walkowiak,  
Elżbieta Piesowicz, Sandra Paszkiewicz*

**PORÓWNANIE WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW STOSOWAWNYCH  
NA EKRANY PÓLPRZEWODZĄCE W KABLACH  
ENERGETYCZNYCH ŚREDNIEGO I WYSOKIEGO NAPIĘCIA /  
COMPARISON OF PROPERTIES OF MATERIALS USED FOR  
SEMICONDUCTING SCREENS IN MEDIUM AND HIGH VOLTAGE  
POWER CABLES** 138 / 139

---

*Iwona Sulima, Michał Stepień, Paweł Hyjek, Remik Kowalik,  
Sonia Boczkał*

**WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE, KOROZYJNE I TRIBOLOGICZNE  
KOMPOZYTÓW NA BAZIE MIEDZI WZMOCNIONYCH  
DWUBORKIEM CYRконU / MECHANICAL, CORROSION AND  
TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF COPPER BASED COMPOSITES  
REINFORCED ZIRCONIUM DIBORIDE** 140 / 141

## STOPY O WYSOKIEJ ENTROPII JAKO OSNOWA W KOMPOZYTACH METALICZNO-CERAMICZNYCH

Dariusz Oleszak

*Wydział Inżynierii Materiałowej, Politechnika Warszawska, Warszawa, Polska  
dariusz.oleszak@pw.edu.pl*

Stopy o wysokiej entropii (stopy wysokoentropowe) są nową grupą materiałów opracowaną na początku XX wieku. Pierwszy opisany stop o równomolowym składzie CoCrFeMnNi wykazywał prostą jednofazową budowę w postaci roztworu stałego, zamiast spodziewanych licznych faz międzymetalicznych. Obecnie, po 20 latach od odkrycia stopów wysokoentropowych, badania pokazały, iż stopy te stanowią nową grupę materiałów inżynierskich, użytecznych także z punktu widzenia osnowy w kompozytach metaliczno-ceramicznych. Stopy te, jak i kompozyty na ich osnowie, mogą być wytwarzane tradycyjnymi metodami metalurgicznymi (topienie), jak i za pomocą metalurgii proszków. W prezentacji przedstawione będą zasady tworzenia stopów o wysokiej entropii, przykłady obecnie badanych stopów, a także wyniki prac własnych dotyczące tych stopów i kompozytów na ich osnowie, wytwarzanych na drodze topienia pierwiastków i metodą mechanicznej syntezy.

**Słowa kluczowe:** kompozyty metaliczno-ceramiczne, stopy wysokoentropowe, mikrostruktura

## HIGH ENTROPY ALLOYS AS A MATRIX IN METALLIC-CERAMIC COMPOSITES

Dariusz Oleszak

*Faculty of Materials Science and Engineering, Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland  
dariusz.oleszak@pw.edu.pl*

High entropy alloys (HEAs) are relatively a new class of materials elaborated at the beginning of XXI century. The first described equimolar CoCrFeMnNi alloy revealed simple structure of single phase solid solution instead of complex phases expected. Nowadays, after 20 years of studies, it is obvious that HEAs are a new group of engineering materials, useful also for metallic-ceramic composites fabrication. HEAs and their composites can be manufactured by traditional metallurgical route (melting) as well as by powder metallurgy. The presentation consists of brief introduction on the rules governing HEAs formation, examples of different HEAs currently explored and studied and the results of own experiments on HEAs and HEAS-based composites manufactured by melting as well as by mechanical alloying.

**Keywords:** metallic-ceramic composites, high entropy alloys, microstructure

# NASYCENIE KSZTAŁTEK Z WŁÓKNA WĘGLOWEGO STOPEM ALSI11 W WARUNKACH ODLEWANIA PODCIŚNIENIOWEGO

Paulina Szwacka<sup>1</sup>, Paweł Szymański<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Instytut Technologii Materiałów,  
ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań, Polska e-mail: paulina.szwacka@put.poznan.pl*

W pracy przedstawiono próbę wytworzenia kompozytu MMC (ang. Metal Matrix Composite) o osnowie ze stopu aluminium i zbrojenia w postaci krótkich sprasowanych włókien węglowych metodą odlewania precyzyjnego w komorze podciśnieniowej. Technologia odlewania kompozytu była poprzedzona badaniami związanymi z wyznaczeniem temperatury i czasu wyżarzania formy ceramicznej. Było to związane z samą specyfiką technologii odlewania metodą wytapianych modeli, w której forma do kształtowania odlewów jest wyżarzana przed zalaniem w temperaturze ponad 700°C. Już przed wyżarzeniem formy ceramicznej znajduje się w niej zbrojenie, które w przypadku włókna węglowego w wyniku utlenienia ulega degradacji w temperaturze powyżej 396°C. Znane są różne metody zabezpieczania włókna m. in. stosowanie pokryć ochronnych, np. Ni, Ti, Cu, które równocześnie poprawiają zwilżalność [1,2]. Innym sposobem jest wyżarzanie form w atmosferze ochronnej [3]. Celem badań było przeprowadzenie procesu wyżarzania formy i jej zalania bez dodatkowego zabezpieczania włókien przed degradacją termiczną. Wykazano, że podczas wyżarzania formy ceramicznej w temperaturze 380°C w czasie 13 godzin końcowa wilgotność wynosiła około 0,3%, co pozwalało na jej bezpieczne wypełnienie ciekłym metalem. Proces nasycania umieszczonej w formie kształtki z włókna węglowego stopem aluminium przeprowadzono w warunkach odlewania w komorze próżniowej z jednoczesnym wytworzeniem nadciśnienia w komorze zalewania. Wytworzone odlewy kompozytowe oceniono pod względem stopnia nasycenia stopem oraz dyslokacji włókien węglowych.

**Słowa kluczowe:** MMC, kompozyt Al/CF, włókno węglowe, odlewanie podciśnieniowe

## Literatura:

1. X. Yang et al.: „Interfacial microstructure evolution and mechanical properties of carbon fiber reinforced Al-matrix composites fabricated by a pressureless infiltration process” *Materials Science and Engineering: A* **891** (2024) 145968
2. A. Suzuki et al.: „Evaluation of reactive wetting kinetics of carbon fibers by molten Al-Ti alloy and its application to the fabrication of Al/carbon fiber composites” *Journal of Alloys and Compounds* **968** (2023) 172168
3. P. Szymański: „Manufacturing of Composite Castings by the Method of Fused Models Reinforced with Carbon Fibers Based on the Aluminum Matrix”, *Archives of Foundry Engineering* **3/2023** ISSN (2299-2944)

# SATURATION OF CARBON FIBER PREFORMS WITH ALSI11 ALLOY UNDER VACUUM CASTINGS CONDITIONS

Paulina Szwacka<sup>1</sup>, Paweł Szymański<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Instytut Technologii Materiałów,  
ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań, Polska e-mail: paulina.szwacka@put.poznan.pl*

The paper presents an attempt to produce an MMC (Metal Matrix Composite) with an aluminum alloy matrix and reinforcement in the form of short compressed carbon fibers by precision casting in a vacuum chamber. Composite casting technology was preceded by research related to determining the temperature and annealing time of the ceramic mold. This was related to the specificity of the casting technology using the lost wax method, in which the mold for shaping the castings is annealed before pouring it with liquid metal at a temperature of over 700°C. Even before the ceramic mold is annealed, it contains reinforcement, which in the case of carbon fiber degrades as a result of oxidation at temperatures above 396°C. Various methods of securing the fiber are known, including: use of protective coatings, e.g. Ni, Ti, Cu, which at the same time improve wettability [1,2]. Another method is to anneal the molds in a protective atmosphere [3]. The aim of the research was to carry out the process of annealing the mold and pouring it without additional protection of the fibers against thermal degradation. It was shown that when annealing the ceramic mold at a temperature of 380°C for 13 hours, the final humidity was approximately 0,3%, which allowed it to be safely filled with liquid metal. The process of saturating the carbon fiber shape placed in the mold with aluminum alloy was carried out under casting conditions in a vacuum chamber with simultaneous creation of overpressure in the pouring chamber. The produced composite castings were assessed in terms of the degree of alloy saturation and carbon fiber dislocation.

**Keywords:** MMC, Al/CF composite, carbon fiber, vacuum castings

## References:

1. X. Yang et al.: „Interfacial microstructure evolution and mechanical properties of carbon fiber reinforced Al-matrix composites fabricated by a pressureless infiltration process” *Materials Science and Engineering: A* **891** (2024) 145968
2. A. Suzuki et al.: „Evaluation of reactive wetting kinetics of carbon fibers by molten Al-Ti alloy and its application to the fabrication of Al/carbon fiber composites” *Journal of Alloys and Compounds* **968** (2023) 172168
3. P. Szymański: „Manufacturing of Composite Castings by the Method of Fused Models Reinforced with Carbon Fibers Based on the Aluminum Matrix”, *Archives of Foundry Engineering* **3/2023** ISSN (2299-2944)

## WPLYW ROZMIESZCZENIA CZĄSTEK TiC NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE I ZUŻYCIE ŚCIERNE KOMPOZYTÓW ODLEWANYCH NA BAZIE STOPÓW Al

Ewa Olejnik<sup>1,3</sup>, Agnieszka Czajka<sup>3</sup>, Paweł Kurtyka<sup>1</sup>, Robert Chulist<sup>2</sup>, Wojciech Maziarz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Innerco sp. z o.o., Władysława Siwka 17, 31-588 Kraków, Polska

<sup>2</sup> Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. Aleksandra Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk,  
Władysława Reymonta 25, 30-059 Kraków, Polska

<sup>3</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa, Władysława Reymonta 25, 30-059  
Kraków, Polska

Głównym celem niniejszej pracy było określenie wpływu składu chemicznego stopu i parametrów procesu na in-situ formowanie się nano- i submikronowych cząstek TiC w osnowie. Badania skupiały się na trzech typach osnowy: stopach Al 1000, Al-7%Si oraz A356. Surowiec użyty do syntezy TiC składał się z mieszaniny proszków Ti i C, opcjonalnie z dodatkiem proszku Al jako moderatora. Mieszanę proszków sprasowano w celu uzyskania reaktywnej „zielonej” wypraski, którą następnie wprowadzano do pieca w trakcie procesu odlewania.

Otrzymane odlewy kompozytowe Al-TiC badano za pomocą mikroskopii skaningowej (SEM), analizy spektroskopii dyspersyjnej energii (EDS), transmisyjnej mikroskopii elektronowej (TEM) oraz dyfrakcji wstecznie rozproszonych elektronów (EBSD). Stwierdzono, że w zależności od stopu rozkład cząstek różnił się, co skutkowało odmiennymi właściwościami mechanicznymi. Największy wzrost wytrzymałości na rozciąganie zaobserwowano dla stopów Al 1000 i Al-7%Si z 10% obj. cząstek TiC, wykazując poprawę odpowiednio o 117% i 71% w porównaniu do ich odpowiedników bez cząstek TiC. Jednakże stop A356 z taką samą zawartością cząstek TiC wykazał jedynie 12% wzrost wytrzymałości na rozciąganie w porównaniu do jego odpowiednika bez TiC. Możliwym powodem różnych efektów cząstek TiC na właściwości mechaniczne jest ich rozkład, który wpływa na mechanizmy wzmocnienia.

**Słowa kluczowe:** in-situ nanokompozyty, kompozyty na osnowie aluminium, SHS, cząstki nano-TiC

Financial support of the National Science Centre, Poland, (project no. 2021/43/B/ST8/03271) is greatly acknowledged



# EFFECT OF THE TiC PARTICLE ARRANGEMENT ON MECHANICAL AND WEAR PROPERTIES OF IN-SITU Al-BASED CAST COMPOSITES

Ewa Olejnik<sup>1,3</sup>, Agnieszka Czajka<sup>3</sup>, Paweł Kurtyka<sup>1</sup>, Robert Chulist<sup>2</sup>, Wojciech Maziarz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Innerco sp. z o.o., 17 Władysława Siwka St., 31-588 Krakow, Poland*

<sup>2</sup> *Polish Academy of Sciences, Institute of Metallurgy and Materials Science, 25 Reymonta St., 30-059 Krakow, Poland*

<sup>3</sup> *AGH University of Krakow, Faculty of Foundry Engineering, 23 Reymonta St., 30-059 Krakow, Poland*

The main goal of this work was to determine the influence of the alloy's chemical composition and process parameters on the in-situ formation of nano and sub-micron TiC particle distribution in the matrix. The study focused on three types of matrices: Al 1000, Al-7%Si, and A356 alloys. The raw material used for TiC synthesis comprised a mixture of Ti and C powders, optionally with the addition of Al moderator powder. This powder mixture was subsequently compacted to obtain the reactive green compact and introduced to a furnace during the casting process.

The obtained cast Al-TiC composites were examined using scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS) analysis, transmission electron microscopy (TEM), and electron backscatter diffraction (EBSD). It was found that, depending on the alloy, the particle distribution varied, resulting in different mechanical properties. The greatest increase in tensile strength was observed for Al 1000 and Al-7%Si alloys with 10 vol. % TiC particles, showing improvements of 117% and 71%, respectively, compared to their counterparts without TiC particles. However, the A356 alloy with the same TiC particle content resulted in only a 12% increase in tensile strength compared to its non-TiC counterpart. A possible reason for the different effects of TiC particles on the mechanical properties is their distribution, which influences the strengthening mechanisms.

**Keywords:** in-situ nanocomposites, aluminium matrix composites, SHS, nano-TiC particles

Financial support of the National Science Centre, Poland, (project no. 2021/43/B/ST8/03271) is greatly acknowledged

# WPŁYW SKŁADU CHEMICZNEGO STOPÓW FE-C NA MIKROSTRUKTURĘ ORAZ WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE I ZUŻYCIE ŚCIERNE WARSTW KOMPOZYTOWYCH WZMACNIANYCH CZĄSTKAMI WC OTRZYMYWANYCH IN-SITU W ODLEWACH

Daniel Piróg<sup>1</sup>, Ewa Olejnik<sup>1,3</sup>, Paweł Kurtyka<sup>1</sup>, Robert Chulist<sup>2</sup>, Katarzyna Biegun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Innerco sp. z o.o., Władysława Siwka 17, 31-588 Kraków, Polska

<sup>2</sup> Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. Aleksandra Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk,  
Władysława Reymonta 25, 30-059 Kraków, Polska

<sup>3</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa, Władysława Reymonta 23, 30-059  
Kraków, Polska

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu składu chemicznego stopu na warstwy kompozytowe otrzymane drogą samorozwijającej się syntezy wysokotemperaturowej (SHS) poprzez wykorzystanie reaktywnej ciekłej powłoki odlewniczej (RCPO). Opracowane przez Innerco RCPO służy do syntezy warstwy węglików wolframu w odlewach. Eksperymenty wykonano dla trzech stopów bazowych: żeliwo szare, wysokochromowe żeliwo białe oraz nisko-stopowe staliwo. Wykonane badania: Mikroskopia świetlna (LM), mikroskopia skaningowa (SEM), dyfrakcja rentgenowska (XRD) ujawniły znaczący wpływ składu chemicznego stopu na reakcję syntezy węglika wolframu. W zależności od użytego stopu otrzymano warstwy węglików WC lub mieszaniny węglików tj. WC, W<sub>2</sub>C oraz M<sub>3</sub>C. Co znacząco wpływa na właściwości warstwy. Grubości otrzymanych warstw wahają się od 1000 mikronów do 3500. Udział powierzchniowy węglików w warstwie wytworzonej w poszczególnych stopach waha się od 25% do 75%. W celu oceny właściwości otrzymanych warstw kompozytowych dla poszczególnych stopów wykonano badania mechaniczne oraz trybologiczne. Wzrost twardości HV warstwy węglikowej w poszczególnych wariantach w porównaniu z materiałem bazowym wynosił około 100%. Odporność na zużycie ścierne warstw kompozytowych w poszczególnych stopach wyznaczona metodą Ball-on-Disc (BoD) była od 2 do 9 razy większa niż odporność materiału bazowego.

**Słowa kluczowe:** kompozyty in situ, warstwy kompozytowe, SHS, WC, odporność na ścieranie, twardość HV

# EFFECT OF THE FE-C-BASED CAST ALLOY COMPOSITION ON MICROSTRUCTURE, MECHANICAL AND WEAR PROPERTIES OF WC PARTICLES REINFORCED COMPOSITE LAYERS IN-SITU FABRICATED VIA CASTING PROCESS

Daniel Piróg<sup>1</sup>, Ewa Olejnik<sup>1,3</sup>, Paweł Kurtyka<sup>1</sup>, Robert Chulist<sup>2</sup>, Katarzyna Biegun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Innerco sp. z o.o., 17 Władysława Siwka St., 31-588 Krakow, Poland

<sup>2</sup> Polish Academy of Sciences, Institute of Metallurgy and Materials Science, 25 Reymonta St., 30-059 Krakow, Poland

<sup>3</sup> AGH University of Krakow, Faculty of Foundry Engineering, 23 Reymonta St., 30-059 Krakow, Poland

The aim of this work was to determine the influence of alloy chemical composition on composite layers produced through the Self-propagating High-temperature Synthesis (SHS) reaction using reactive liquid casting protective overlays (RCPO). Developed by Innerco, the RCPO synthesizes tungsten carbide layers during the casting process. The study was conducted on three selected alloys: gray cast iron, chromium cast iron, and low-alloyed steel. Light Microscopy (LM), Scanning Electron Microscopy (SEM), and X-ray diffraction (XRD) investigations revealed a significant impact of alloy composition on the synthesis reaction of tungsten carbide. Depending on the alloy composition, layers contain WC, a mixture of WC,  $M_2C$  phases and  $M_3C$  eutectic. Different phase configurations directly affected the properties of the produced composite layers. Composite layer thickness ranged from 1000 microns to 3500 microns. The content of the reinforcing particles in the layers ranged from 25% to 75%. The influence of the alloy composition on the quality of the synthesized layers was also assessed through mechanical and tribological tests. Changes in HV hardness for the individual layers compared to the base material were observed at levels of 100%. Wear resistance tests conducted with the Ball-on-Disk (BoD) method showed an increase from 2x to 9x of wear resistance in composite layers compared to base alloys.

**Keywords:** in situ composites, composites layers, SHS, WC, wear resistance, hardness HV

## SKAFOLDY KOMPOZYTOWE DO ZASTOSOWAŃ W IMPLANTACH KOSTNYCH O KONTROLOWANEJ SZYBKOŚCI DEGRADACJI

Anna Dmitruk<sup>1</sup>, Andres Diaz Lantada<sup>2</sup>, Sara Ferraris<sup>3</sup>, Natalia Rażny<sup>1</sup>, Silvia Spriano<sup>3</sup>,  
Krzysztof Naplocha<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Katedra Inżynierii Elementów Lekkich, Odlewnictwa i Automatyki, Wydział Mechaniczny,  
Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska, anna.dmitruk@pwr.edu.pl*

<sup>2</sup> *Mechanical Engineering Department, Universidad Politécnica de Madrid, Madryt, Hiszpania*

<sup>3</sup> *Department of Applied Science and Technology, Politecnico di Torino, Turyn, Włochy*

W pracy badano materiały kompozytowe złożone z odlewanych struktur ze stopu AZ91 pokrytych powłokami antykorozyjnymi. Odlewy o skomplikowanym kształcie, na bazie Mg wytworzono dzięki połączeniu druku 3D w technologii DLP (ang. digital light processing) i metody odlewania precyzyjnego. Dla porównania omówiono także inne techniki odpowiednie do wykonywania podobnych odlewów komórkowych lub kompozytowych. Przeprowadzono optymalizację topologiczną zaproponowanych geometrii, uwzględniając wyniki symulacji numerycznych i eksperymentalnych testów wytrzymałościowych w próbie ściskania, w celu zapewnienia zbliżonych właściwości mechanicznych do wartości rzeczywistych charakteryzujących kości ludzkie. Aby w kontrolowany sposób obniżyć szybkość degradacji implantów na bazie Mg podczas procesów regeneracji kości, wybrano dwa rodzaje powłok ochronnych, które nałożono na wytworzone odlewy: PEO (ang. plasma electrolytic oxidation) lub TPH (ang. tea extract polyphenols). Wpływ zastosowanych powłok na odlewy ze stopów Mg określono podczas badań zanurzeniowych w PBS (ang. phosphate buffered saline). Do oceny mikrostruktury i składu chemicznego próbek wykorzystano metody skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) i spektroskopii dyspersji energii (EDS). Ponadto, można także rozważyć możliwość zastosowania zaawansowanych podwójnych powłok z wewnętrzną warstwą PEO i zewnętrzną, uszczelniającą z TPH.

**Słowa kluczowe:** implanty kostne, skafoldy, struktury komórkowe, odlewanie precyzyjne, wytwarzanie przyrostowe, stopy magnezu

**Podziękowania:** Niniejsze prace zostały zrealizowane w programie otwartej innowacji "Magnesium biodegradable structures for bone implants" projektu UE INKplant (H2020 GA nr 953134) i we współpracy w ramach European Virtual Institute on Knowledge-based Multifunctional Materials AISBL (KMM-VIN).

# COMPOSITE SCAFFOLDS FOR BONE IMPLANT APPLICATIONS WITH CONTROLLED DEGRADATION RATE

Anna Dmitruk<sup>1</sup>, Andres Diaz Lantada<sup>2</sup>, Sara Ferraris<sup>3</sup>, Natalia Raźny<sup>1</sup>, Silvia Spriano<sup>3</sup>,  
Krzysztof Naplocha<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Department of Lightweight Elements Engineering, Foundry and Automation, Faculty of Mechanical Engineering, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland,  
anna.dmitruk@pwr.edu.pl*

<sup>2</sup> *Mechanical Engineering Department, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain*

<sup>3</sup> *Department of Applied Science and Technology, Politecnico di Torino, Turin, Italy*

In this work composite structures composed of AZ91 constructs covered with anticorrosive coatings were investigated. Mg-based complex cast parts were obtained via combination of DLP (digital light processing) 3D printing and investment casting methods. Other techniques suitable for creation of such cellular or composite castings were also discussed for the purpose of comparison. Topological optimization of the proposed geometries was conducted, taking into account results of numerical simulations and experimental compression tests, in order to ensure similar mechanical properties as for the selected real human bones. To control and postpone the degradation rate of Mg-based implants during bone-regeneration processes, two coating types were chosen to be deposited on cast specimens, namely layers of: PEO (plasma electrolytic oxidation) or TPH (tea extract polyphenols). Influence of the utilized coatings on Mg alloy structures, was assessed during PBS (phosphate buffered saline) immersion tests. Samples microstructures and chemical compositions were evaluated with the use of SEM (scanning electron microscopy) and EDS (energy dispersive spectroscopy) analyses. Moreover, possibility of application of advanced double coatings with inner layer of PEO and outer, sealing one of TPH can be also considered.

**Keywords:** bone implants, scaffolds, cellular structures, investment casting, additive manufacturing, magnesium alloys

**Acknowledgements:** This work has been developed in the frame of the INKplant (H2020 GA n° 953134) EU project's open-innovation cooperation "Magnesium biodegradable structures for bone implants" and under the auspices of the European Virtual Institute on Knowledge-based Multifunctional Materials AISBL (KMM-VIN).

## WŁAŚCIWOŚCI STRUKTUR CERAMICZNYCH WYTWORZONYCH METODĄ DRUKU LCD/DLP DO ZASTOSOWAŃ W KOMPOZYTACH O OSNOWIE METALOWEJ

Aleksander Peryt<sup>1</sup>, Tomasz Maciąg<sup>1</sup>, Anna Janina Dolata<sup>1</sup>, Maciej Dyzia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej,  
e-mail: aleksander.peryt@polsl.pl*

Addytywne technologie wytwarzania, do których zalicza się druk 3D, są obecnie intensywnie rozwijane. Za najstarszą znaną technologię druku uchodzi stereolitografia (SLA). Wraz z rozwojem tej metody zastąpiono źródło światła w postaci lasera poprzez projektor lub ekran LCD. W efekcie obecnie korzystamy najczęściej z tzw. cyfrowej projekcji światła (DLP z ang. Digital Light Processing). We wszystkich wymienionych metodach używa się źródła światła o określonej długości fali do selektywnego utwardzania powierzchni cieczy, zawierającej głównie monomer zdolny do fotopolimeryzacji. W ostatnich 5 latach pojawiły się realizacje z wykorzystaniem do druku DLP zawieszin w postaci żywicy i cząstek ceramicznych. Modele takie poddane odpowiedniej obróbce mogą stanowić alternatywę dla elementów ceramicznych wykonywanych metodami tradycyjnymi. Największym atutem wydaje się możliwość uzyskiwania skomplikowanej geometrii o niewielkich rozmiarach.

W ramach badań postanowiono sprawdzić możliwości wytwarzania preform ceramicznych na drodze druku 3D w technologii LCD przy użyciu żywic zawierających nano-cząstki ceramiczne. Struktury ceramiczne mogłyby znaleźć zastosowanie w kompozytach o osnowie metalowej jako zbrojenie o zaprojektowanej i kontrolowanej geometrii. W tym celu wybrano cztery geometrie i wydrukowano próbki przy zastosowaniu komercyjnych żywic z cząstkami ceramicznymi (Porcelite® i Vitrolite®). Próbki poddano obróbce piecowej w celu usunięcia polimeru i spieczenia ceramiki. Zrealizowano analizy składu chemicznego oraz fazowego uzyskanych szkieletów ceramicznych. Wyznaczono gęstość oraz określono wartość skurczu towarzyszącego spiekaniu próbek. Finalnie zrealizowano badania wytrzymałościowe w postaci testu odporności na ściskanie. Zrealizowano również wstępne próby wypełnienia struktur przy użyciu metalu.

**Słowa kluczowe:** Druk 3D, ceramiczne struktury porowate, kompozyty metalowo-ceramiczne, infiltracja niskociśnieniowa

# PROPERTIES OF CERAMIC STRUCTURES MANUFACTURED BY LCD/DLP PRINTING FOR APPLICATION IN METAL MATRIX COMPOSITES

Aleksander Peryt<sup>1</sup>, Tomasz Maciąg<sup>1</sup>, Anna Janina Dolata<sup>1</sup>, Maciej Dyzia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Silesian University of Technology, Faculty of Materials Science and Engineering,  
e-mail: [aleksander.peryt@polsl.pl](mailto:aleksander.peryt@polsl.pl)*

Additive technologies, which include 3D printing, are currently being intensively developed. The oldest known printing technology is stereolithography (SLA). With the development of this method, the light source in the form of a laser was replaced by a projector or LCD screen. As a result, we most often use the so-called digital light projection (DLP from Digital Light Processing). All mentioned methods use a light source with a specific wavelength to selectively harden the surface of a liquid containing mainly photopolymerizable monomer. In the last 5 years, there have been projects using suspensions in the form of resin and ceramic particles for DLP printing. Such models, subjected to appropriate processing, can be an alternative to ceramic elements made using traditional methods. The biggest advantage seems to be the possibility of obtaining complex geometry with small dimensions.

As part of the research, it was decided to check the possibilities of producing ceramic preforms by 3D printing in LCD technology using resins containing ceramic nano-particles. Ceramic structures could be used in metal matrix composites as reinforcement with designed and controlled geometry. For this purpose, four geometries were selected and samples were printed using commercial resins with ceramic particles (Porcelite® and Vitrolite®). The samples were furnace processed to remove the polymer and sinter the ceramic. Analyses of the chemical and phase composition of the obtained ceramic skeletons were carried out. The density and shrinkage accompanying sintering of the samples were determined. Finally, strength tests were carried out in the form of a compression resistance test. Initial attempts were also made to fill the structures with metal.

**Keywords:** 3D printing, ceramic porous structures, metal-ceramic composites, low-pressure infiltration

## MIKROSTRUKTURA I WŁASNOŚCI KOMPOZYTÓW NA OSNOWIE ALUMINIUM WYTWARZANYCH METODĄ FSP

Beata Leszczyńska-Madej<sup>1</sup>, Marcin Madej<sup>2</sup>, Aleksandra Węglowska<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Wydział Metali Nieżelaznych, Akademia Górniczo-Hutnicza im St. Staszica w Krakowie, Polska

<sup>2</sup> Wydział Inżynierii Metali i Informatyki Przemysłowej, Akademia Górniczo-Hutnicza im St. Staszica w Krakowie, Polska, e-mail: mmadej@agh.edu.pl

<sup>3</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz – Górnośląski Instytut Technologiczny, Gliwice, Polska

W niniejszym opracowaniu przedstawiono zastosowanie przyjaznej dla środowiska metody Friction Stir Processing (FSP) do wytwarzania kompozytów powierzchniowych wykorzystujących osnowę aluminiową 1050-H14 i stop aluminium gatunku 6060 w stanie T4 umacniane cząstkami węgla krzemu (SiC). Przeprowadzono analizę mikrostruktury z wykorzystaniem mikroskopii świetlnej i skaningowej mikroskopii elektronowej, co w połączeniu z kompleksową oceną własności takich jak: twardość, wytrzymałość na ściskanie i odporność na zużycie pozwala ustalić wpływ zastosowanej metody na użyteczność badanych kompozytów. Wyniki wykazały, że zwiększona liczba przejść FSP przyczynia się do homogenizacji mikrostruktury, prowadząc do zmiany morfologii i częściowej fragmentacji cząstek SiC. W konsekwencji zjawisko to skutkuje poprawą właściwości mechanicznych, szczególnie godną uwagi w przypadku kompozytów o osnowie stopu AA6060-T4, oraz zwiększoną odpornością na zużycie. Zarówno kompozyty AA1050-SiC, jak i AA6060-SiC wykazują znaczny wzrost wytrzymałości na ściskanie w porównaniu do ich nieumocnionych osnów. Na szczególną uwagę zasługuje znaczny wzrost wytrzymałości na ściskanie zaobserwowany w kompozycie AA6060-SiCp, zwiększający się z 249 MPa do 331 MPa (przy  $\epsilon=0,1$ ) i z 398 MPa do 715 MPa (przy  $\epsilon=0,2$ ) wraz ze zwiększeniem liczby przejść FSP.

**Słowa kluczowe:** Obróbka tarciova z mieszaniem, kompozyty powierzchniowe Al-SiC, analiza mikrostruktury, odporność na zużycie



# THE MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF ALUMINIUM MATRIX COMPOSITES PRODUCED BY FSP METHOD

Beata Leszczyńska-Madej<sup>1</sup>, Marcin Madej<sup>2</sup>, Aleksandra Węglowska<sup>3</sup>

<sup>1</sup>AGH University of Krakow, Faculty of Non-Ferrous Metals, 30 Mickiewicza Ave, 30-059 Krakow, Poland,

<sup>2</sup>AGH University of Krakow, Faculty of Metals Engineering and Industrial Computer Science, 30 Mickiewicza Ave, 30-059 Krakow, Poland, e-mail: [mmadej@agh.edu.pl](mailto:mmadej@agh.edu.pl)

<sup>3</sup>Łukasiewicz-Upper Silesian Institute of Technology, The Welding Centre, Bł. Czesława Str. 16-18, Gliwice, 44-100, Poland, e-mail: [aleksandra.weglowska@git.lukasiewicz.gov.pl](mailto:aleksandra.weglowska@git.lukasiewicz.gov.pl)

In this study, the environmentally friendly Friction Stir Processing (FSP) method was utilized to fabricate surface composites employing technical aluminum matrix 1050-H14 and aluminum alloy 6060-T4 reinforced with silicon carbide (SiC) particles. Microstructure analysis, employing light and scanning electron microscopy, in conjunction with comprehensive evaluations of hardness, compressive strength, and tribological properties, was conducted to elucidate significant findings. The results reveal that an augmented number of FSP passes contributes to the homogenization of microstructure, leading to the alteration of SiC particle morphology and fragmentation. Consequently, this phenomenon results in improved mechanical properties, particularly noteworthy in the case of AA6060-T4 alloy matrix composites, and enhanced wear resistance. Both AA1050-SiC and AA6060-SiC composites demonstrate notable increases in compressive strength compared to their unreinforced matrices. Particularly noteworthy is the substantial enhancement in compressive strength observed in the AA6060-SiCp composite, escalating from 249 MPa to 331 MPa (at  $\epsilon=0.1$ ) and from 398 MPa to 715 MPa (at  $\epsilon=0.2$ ) with an increase in the number of FSP passes.

**Keywords:** Friction Stir Processing, Al-SiC Surface Composites, Microstructure Analysis, Wear Resistance, Mechanical Properties

# ZAUTOMATYZOWANA PRODUKCJA LAMINATÓW WARSTWOWYCH ZE ZINTEGROWANYMI CZUJNIKAMI PRZY UŻYCIU TECHNOLOGII PRASOWANIA

Johann Faust<sup>1</sup>, Florian Lehmann<sup>1</sup>, Rafal Stanik<sup>1</sup>, Sirko Geller<sup>1</sup>, Maik Gude<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TUD Dresden University of Technology, Institute of Lightweight Engineering and Polymer  
Technology, Holbeinstr. 3, 01307 Dresden, Germany  
E-mail: johann.faust@tu-dresden.de

Ze względu na ryzyko pożarów akumulatorów, rosnące i powszechne wykorzystanie pojazdów elektrycznych prowadzi do zwiększonych wymagań w zakresie ochrony konstrukcji akumulatorów. Ponieważ są one często instalowane w obszarze podłogi nadwozia samochodu, który jest narażony na zwiększone ryzyko uderzenia podczas jazdy, istnieje potrzeba funkcjonalizacji komponentów ochronnych za pomocą systemu monitorowania stanu konstrukcji (SHM). Struktury warstwowe, składające się ze zintegrowanych z czujnikami warstw wierzchnich z kompozytów włóknistych i rdzeni piankowych, są w stanie holistycznie spełnić wymagania ochrony przed uderzeniami i oceny uszkodzeń w połączeniu z niską wagą konstrukcji.

W tym celu opracowano komponenty ochrony podwozia z zintegrowanymi, funkcjonalnymi elementami i odpowiednim procesem produkcyjnym wykorzystującym technologię prasowania na mokro. W tym celu e-preformy wyposażone w czujniki do oceny uszkodzeń zostały zintegrowane z warstwami osłonowymi wykonanymi z kompozytów wzmocnionych włóknem szklanym. Zaprojektowano i prototypowo wdrożono zautomatyzowany łańcuch procesowy składający się z załadunku półproduktów, nakładania żywicy, obsługi robota i procesu prasowania w celu wydajnej produkcji struktur warstwowych. W oparciu o systematyczne i szeroko zakrojone badania parametrów zoptymalizowano jakość komponentów i czasy przepustowości. Testy udarności zostały przeprowadzone przy użyciu wahadłowego stanowiska testowego, a funkcjonalność wykrywania uderzeń została zweryfikowana przy użyciu czujników zintegrowanych ze strukturą.

**Słowa kluczowe:** Lekka konstrukcja, Prasowanie na mokro, Integracja z czujnikami

Projekt ten (nr projektu 03LB2001I) był wspierany przez Federalne Ministerstwo Gospodarki i Klimatu (BMWK) na podstawie decyzji niemieckiego Bundestagu.

# AUTOMATED PRODUCTION OF FIBER COMPOSITE SANDWICH STRUCTURES WITH INTEGRATED SENSORS BY MEANS OF WET COMPRESSION MOLDING

Johann Faust<sup>1</sup>, Florian Lehmann<sup>1</sup>, Rafal Stanik<sup>1</sup>, Sirko Geller<sup>1</sup>, Maik Gude<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *TUD Dresden University of Technology, Institute of Lightweight Engineering and Polymer Technology, Holbeinstr. 3, 01307 Dresden, Germany  
E-mail: johann.faust@tu-dresden.de*

Due to the risk of battery fires, the growing and widespread use of electric vehicles is leading to increased requirements for the protection of battery structures. As these are often installed in the floor area of the car body, which is exposed to an increased risk of impact during driving, there is a need to functionalise protective components using a structural health monitoring (SHM) system. Sandwich structures, consisting of sensor-integrated fibre composite cover layers and foam cores, are able to holistically meet the requirements of impact protection and damage assessment combined with a high degree of lightweight construction.

To this end an underbody protection components with functional integration and a corresponding production process using wet moulding technology were developed. For this purpose, e-preforms equipped with sensors for damage assessment were integrated into the cover layers made of glass fibre reinforced composites. An automated process chain consisting of semi-finished product loading, resin application, robot handling and the pressing process was designed and prototypically implemented for the efficient production of the sandwich structures. Based on systematic and extensive parameter studies component quality and throughput times were optimised. Impact tests were carried out using a pendulum test bench and the functionality of the impact detection was validated using the structure-integrated sensors.

**Keywords:** Lightweight design, Wet compression moulding, Sensor integration

This project (project no. 03LB2001I) was supported by the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK) on the basis of a decision by the German Bundestag.

## SZANSE I WYZWANIA ZWIĄZANE Z SIECIOWANIEM PROMIENIAMI UV W WYDAJNYCH PROCESACH PRODUKCJI KOMPOZYTÓW WŁÓKNISTYCH

Johann Faust<sup>1</sup>, Tom Dziewiencki<sup>1</sup>, Eckart Kunze<sup>1</sup>, Michael Müller-Pabel<sup>1</sup>, Oliver Henry Schmidt<sup>1</sup>, Sirko Geller<sup>1</sup>, Maik Gude<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TUD Dresden University of Technology, Institute of Lightweight Engineering and Polymer Technology, Holbeinstr. 3, 01307 Dresden, Germany  
E-mail: johann.faust@tu-dresden.de

Zapotrzebowanie na struktury charakteryzujące się dostosowaną do naprężeń geometrią o wysokim stopniu złożoności, które mogą być wytwarzane w stosunkowo krótkim czasie i w prostych procesach technologicznych, jest widoczne w wielu gałęziach przemysłu, w których stosowane są wysokowydajne komponenty. Metoda produkcji polegająca na sieciowaniu UV kompozytów z tworzyw sztucznych wzmocnianych włóknami (FRP) pozwala teoretycznie spełnić powyższe wymagania w połączeniu z wysokimi właściwościami w odniesieniu do masy. Wspomagane promieniowaniem UV sieciowanie termoutwardzalnych tworzyw sztucznych jest możliwe dzięki dodaniu fotoinicjatora, który jest dostrojony do żądanej długości fali w widmie ultrafioletowym (100 - 380 nm). Eliminuje to potrzebę mieszania żywicy z utwardzaczem i umożliwia sieciowanie polimeru w ciągu kilku sekund po naświetleniu materiału.

Opracowano fenomenologię i wstępne podejścia modelowe w celu opisanie stacjonarnej propagacji fali w medium kompozytu włóknistego i związanej z tym kinetyki utwardzania. Zostało to uzupełnione o identyfikację odpowiedniej technologii pomiarowej, aby móc wiarygodnie scharakteryzować wpływ zmian parametrów. Równolegle, sieciowanie UV zostało prototypowo wdrożone dla procesów pultruzji i druku 3D, a badania produkcyjne zostały przeprowadzone w celu określenia zależności proces-struktura-właściwości.

**Słowa kluczowe:** Lekka konstrukcja, Promieniami UV, Pultruzja, Drukowanie 3D

# CHANCES AND CHALLENGES OF UV CURING IN EFFICIENT FIBRE COMPOSITE MANUFACTURING PROCESSES

Johann Faust<sup>1</sup>, Tom Dziewiencki<sup>1</sup>, Eckart Kunze<sup>1</sup>, Michael Müller-Pabel<sup>1</sup>, Oliver Henry Schmidt<sup>1</sup>, Sirko Geller<sup>1</sup>, Maik Gude<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *TUD Dresden University of Technology, Institute of Lightweight Engineering and Polymer Technology, Holbeinstr. 3, 01307 Dresden, Germany  
E-mail: johann.faust@tu-dresden.de*

The need for structures with load-path-compatible geometry of high complexity, which can be produced in a short time and under simple process conditions, is evident in many industries for high-performance components. The production principle of UV curing of fibre-reinforced plastic composites (FRP) is theoretically capable of meeting the aforementioned requirements in combination with the highest degrees of lightweight construction. UV-assisted curing of thermosetting plastics is made possible by the addition of a photoinitiator that is tuned to the desired wavelength in the ultraviolet spectrum (100 - 380 nm). This eliminates the need to mix the resin with a hardener component and enables polymer crosslinking in a few seconds when the material is irradiated.

Phenomenology and initial model approaches were developed to describe the stationary wave propagation in the fibre composite medium and the associated curing kinetics. This was supplemented by the identification of suitable measurement technology in order to be able to reliably characterise the effects of parameter variations. In parallel, UV curing was prototypically implemented for the pultrusion and 3D printing processes and manufacturing studies were carried out to determine the process-structure-property relationships.

**Keywords:** Lightweight design, UV curing, Pultrusion, 3D printing

# OPTYMALIZACJA PARAMETRÓW PROCESU NAWIJANIA NA MOKRO NA POTRZEBY PRODUKCJI ZBIORNIKÓW CIŚNIENIOWYCH TYPU IV O WYSOKIEJ GĘSTOŚCI GRAWIMETRYCZNEJ

Florian Schmidt<sup>1</sup>, Marten Walter<sup>1</sup>, Jonas Richter<sup>1</sup>, Sirko Geller<sup>1</sup>, Maik Gude<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *TUD Dresden University of Technology, Institute of Lightweight Engineering and Polymer  
Technology, Holbeinstr. 3, 01307 Dresden, Germany  
E-mail: florian.schmidt@tu-dresden.de*

Nawijanie włókien na mokro jest dobrze znanym procesem produkcji polimerów zbrojony włóknami, a zwłaszcza do produkcji zbiorników ciśnieniowych. Jednak ze względu na dużą liczbę wolnych parametrów procesu oraz ich interakcji, trudno jest uzyskać optymalną jakość komponentów.

Z tego powodu w niniejszym artykule przedstawiono sekwencję optymalizacji ustawień poszczególnych parametrów procesu, z uwzględnieniem priorytetu interakcji. Szczegółowo przedstawiono metody stosowane do optymalizacji poszczególnych parametrów procesu i przeprowadzono odpowiednie testy produkcyjne z przykładowym materiałem. W trakcie oceny jakości komponentów osiągniętej poprzez zmianę parametrów procesu za pomocą testów pierścieniowych NOL i analizy mikrografów próbek testowych, zdefiniowano odpowiednie optymalne ustawienia parametrów dla systemu materiałowego i udokumentowano możliwą do osiągnięcia jakość komponentów.

**Słowa kluczowe:** Zbiorniki ciśnieniowe wodoru typu IV, nawijanie włókien na mokro, obróbka termoutwardzalna, optymalizacja parametrów procesu

# OPTIMISATION OF WET WINDING PROCESS PARAMETERS FOR THE PRODUCTION OF TYPE IV HYDROGEN PRESSURE VESSELS WITH HIGH GRAVIMETRIC STORAGE DENSITY

Florian Schmidt<sup>1</sup>, Marten Walter<sup>1</sup>, Jonas Richter<sup>1</sup>, Sirko Geller<sup>1</sup>, Maik Gude<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *TUD Dresden University of Technology, Institute of Lightweight Engineering and Polymer  
Technology, Holbeinstr. 3, 01307 Dresden, Germany  
E-mail: [florian.schmidt@tu-dresden.de](mailto:florian.schmidt@tu-dresden.de)*

Wet filament winding is a well-established process to manufacture fibre reinforced polymers (FRP) pressurised vessels. However, due to the large number of process parameters and their interaction, it is difficult to achieve the best component properties from the material system used.

For this reason, this article presents an optimisation sequence for setting the individual process parameters, taking into account and prioritising the interactions that occur in each case. The methods used to optimise the individual process parameters are presented in detail and corresponding production tests are carried out with an exemplary material system. In the course of evaluating the component quality achieved by varying the process parameters using NOL ring tests and analysing micrographs of test specimens, the corresponding optimum process settings for the material system were defined and the achievable component quality was documented.

**Keywords:** Type IV hydrogen pressure vessels, wet filament winding, thermoset processing, process parameter optimisation

Funding was provided by the German Federal Ministry for Economics and Climate Action (BMWK) on the basis of decisions by the German Bundestag within the joint research projects "SWaT" (grant number 20M2112F).

# WPŁYW MODYFIKACJI CIĄGLIWOŚCI WYSOKOTEMPERATUROWYCH ŻYWIC TERMOUTWARDZALNYCH NA WYTRZYMAŁOŚĆ KOMPOZYTÓW WZMACNIANYCH WŁÓKNAMI

Lars Muschalski<sup>1†</sup>, Albert Langkamp<sup>1</sup>, Maik Gude<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TU Dresden, Institute of Lightweight Engineering and Polymer Technology, Germany

<sup>†</sup> [Lars.muschalski@tu-dresden.de](mailto:Lars.muschalski@tu-dresden.de)

Żywice termoutwardzalne są szeroko stosowane, ale zazwyczaj cierpią z powodu kruchości. Można to częściowo zniwelować poprzez utwardzenie żywicy, tj. poprzez dodanie do żywicy termoplastycznego lub gumowego utwardzacza [1], co zostało dobrze zbadane [2]. Żywice wysokotemperaturowe mają wpływ nie tylko na kruchość, ale także są częściowo utwardzane w wysokiej temperaturze >200°C, co indukuje dodatkowe naprężenia szczątkowe. Niniejsza praca koncentruje się na wpływie hartowania żywicy na wynikowe wytrzymałości kompozytów z uwzględnieniem naprężeń szczątkowych. Dokonano systematycznego przeglądu literatury w celu podkreślenia aktualnego stanu wiedzy w zakresie badanego związku między właściwościami kompozytów a hartowaniem tworzyw termoutwardzalnych. Przeanalizowano stosowane metody i przedstawiono nowe podejścia.

**Słowa kluczowe:** termoutwardzalne, hartowanie, wysoka temperatura, naprężenia szczątkowe

## Literatura:

- [1] C. Uhlig *et al.*, 'Blends of tri-block copolymers and addition curing resins: Influence of block copolymer-resin compatibility on toughness and matrix properties on toughenability', *React. Funct. Polym.*, vol. 142, pp. 159–182, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2019.06.012.
- [2] S. Sprenger, 'The effects of SiO<sub>2</sub> nanoparticles in toughened epoxy resins and fiber-reinforced composites made thereof', Universität Bayreuth, 2015.



# INFLUENCE OF TOUGHNESS MODIFICATION OF HIGH TEMPERATURE THERMOSETTING RESINS ON FIBER-REINFORCED COMPOSITES STRENGTHS

Lars Muschalski<sup>1†</sup>, Albert Langkamp<sup>1</sup>, Maik Gude<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TU Dresden, Institute of Lightweight Engineering and Polymer Technology, Germany

† [Lars.muschalski@tu-dresden.de](mailto:Lars.muschalski@tu-dresden.de)

Thermosetting resins are widely used but typically suffer from brittleness. This can partly be equalized by toughening the resin, i.e. via adding a thermoplastic or rubber toughener to the resin [1] which has been well investigated [2]. High temperature resins are not only affected by the brittleness but also are partly cured with high temperature >200°C which induces additional residual stress. This work focusses on the effect of resin toughening on the resulting composite strengths under consideration on the residual stress. A systematic literature review is performed to highlight the state of the art in investigated relationship between composite properties and toughening of thermosets. The used methods are studied and new approaches outlined.

**Keywords:** thermoset, toughening, high-temperature, residual stress

## References:

- [1] C. Uhlig *et al.*, 'Blends of tri-block copolymers and addition curing resins: Influence of block copolymer-resin compatibility on toughness and matrix properties on toughenability', *React. Funct. Polym.*, vol. 142, pp. 159–182, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2019.06.012.
- [2] S. Sprenger, 'The effects of SiO<sub>2</sub> nanoparticles in toughened epoxy resins and fiber-reinforced composites made thereof', Universität Bayreuth, 2015.

## WPŁYW LASEROWEJ TEKSTURYZACJI NA WŁAŚCIWOŚCI HYDRO- I LODOFOBOWE TRANSPARENTYCH POWŁOK POLIMEROWYCH

Bartłomiej Przybyszewski<sup>1</sup>, Rafał Kozera<sup>2</sup>, Anna Boczkowska<sup>1</sup>, Malwina Liszewska<sup>3</sup>,  
Katarzyna Ziętkowska<sup>1</sup>, Anna Łabęda<sup>1</sup>, Daria Rutkowska<sup>1</sup>, Luis Angurel<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej, Wołoska 141, 02-507 Warszawa, Polska,  
[bartlomiej.przybyszewski@pw.edu.pl](mailto:bartlomiej.przybyszewski@pw.edu.pl)

<sup>2</sup> Fundacja Partnerstwa Technologicznego, Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7A, 02-366 Warszawa, Polska

<sup>3</sup> Instytut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna, Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, Polska

<sup>4</sup> Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón, INMA (CSIC-Universidad de Zaragoza), C/María de Luna 3, Zaragoza, 50018, Spain

Celem niniejszej pracy była poprawa właściwości antyoblodzeniowych transparentnych powłok polimerowych. W badaniach wykorzystano technologię laserowego teksturowania powierzchni chemicznie modyfikowanych powłok silikonowo-epoksydowych stosowanych do ochrony podłoży szklanych. Zastosowano dwa różne źródła lasera oraz wstępną modyfikację objętościową składu chemicznego przy użyciu związków krzemooorganicznych i/lub nanododatków mineralnych. W badaniu zbadano jak mikrostruktura, chropowatość i skład chemiczny powierzchni materiałów wpływają na ich właściwości hydrofobowe i antyoblodzeniowe. Wytworzone materiały scharakteryzowano za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) i profilometrii świetlnej. Ich właściwości funkcjonalne zostały potwierdzone poprzez testy zwilżalności, badania adhezji lodu oraz testy czasu opóźnienia zamarzania wody. Trwałość wytworzonych powierzchni została przetestowana w ramach różnych badań środowiskowych, w tym testów odporności na promieniowanie UV i cyklicznego zamrażania/rozmrężania.

**Słowa kluczowe:** powłoki lodofobowe, powłoki hydrofobowe, transparentne powłoki, teksturyzacja powierzchni, laserowa teksturyzacja

# EFFECT OF LASER TEXTURIZATION ON HYDROPHOBIC AND ANTI-ICING PROPERTIES OF TRANSPARENT POLYMER COATINGS

Bartłomiej Przybyszewski<sup>1</sup>, Rafał Kozera<sup>2</sup>, Anna Boczkowska<sup>1</sup>, Malwina Liszewska<sup>3</sup>,  
Katarzyna Ziętkowska<sup>1</sup>, Anna Łabęda<sup>1</sup>, Daria Rutkowska<sup>1</sup>, Luis Angurel<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Warsaw University of Technology, Faculty of Materials Science and Engineering, 141 Woloska Str. 02-507 Warsaw, Poland, bartlomiej.przybyszewski@pw.edu.pl*

<sup>2</sup> *Technology Partners Foundation, Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7A str, 02366 Warsaw, Poland*

<sup>3</sup> *Institute of Optoelectronics, Military University of Technology, Kaliskiego 2 Str., Warsaw, 00-908, Poland*

<sup>4</sup> *Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón, INMA (CSIC-Universidad de Zaragoza), C/ María de Luna 3, Zaragoza, 50018, Spain*

The aim of this work was to reduce ice build-up on transparent coatings by achieving icephobic properties. The research utilized laser surface texturing technology for chemically modified polymer-based coatings used to protect glass surfaces. Two different laser sources were employed, along with a preliminary volumetric modification of the chemical composition using proprietary organosilicon compounds and/or nanoadditives. The study examined how the microstructure, roughness, and chemical composition of the material surfaces affected their hydrophobic and anti-icing properties. The manufactured materials were characterized using scanning electron microscopy (SEM) and profilometry. Their functional properties were validated through wettability tests, ice adhesion strength measurements, and freezing delay time tests. A key focus was developing efficient and durable coatings with improved hydrophobic and anti-icing properties to reduce water and ice adhesion. The durability of these surfaces was tested through various environmental assessments, including UV-resistance tests and frosting/defrosting cycles.

**Keywords:** anti-icing coatings, hydrophobic coatings, transparent coatings, surface texturization, laser patterning

# MODELOWANIE NAPRĘŻEŃ RESZTKOWYCH I PUSTEK POWSTAJĄCYCH PODCZAS POLIMERYZACJI ŻYWICY W KOMPOZYTACH WŁÓKNISTYCH

Dariusz M. Perkowski<sup>1</sup>, Rafał Stanik<sup>2</sup>, Albert Langkamp<sup>2</sup>, Maik Gude<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Mechanics and Applied Computer Science, Białystok University of Technology, Poland,* <sup>2</sup>*Technische Universität Dresden, Institute of Lightweight Engineering and Polymer Technology (ILK), Holbeinstr. 3, 01309 Dresden, Germany;*

*e-mail: d.perkowski@pb.edu.pl, rafal.stanik@tu-dresden.de, albert.langkamp@tu-dresden.de, maik.gude@tu-dresden.de*

Podczas procesu produkcyjnego materiałów kompozytowych mogą wystąpić problemy, takie jak naprężenia wewnętrzne i tworzenie się pustych przestrzeni podczas polimeryzacji żywicy, co może pogorszyć wydajność struktur kompozytowych. W artykule przedstawiono wieloskalową strategię obliczeniową do numerycznego przewidywania naprężeń szczątkowych i powstawania pustek w laminatach kompozytowych i ogólnych strukturach kompozytowych przy użyciu metody elementarnej, która łączy eksperymentalnie mierzalne właściwości włókien i składników matrycy.

Model został opracowany w programie ANSYS w celu oszacowania efektywnego naprężenia szczątkowego i zawartości pustek w kompozycie od skali mikro (skala RVE) przez skalę mezo (skala laminy) do skali makro (laminat). Jako dane wejściowe wykorzystano mikrostrukturę oraz znane właściwości włókien i matrycy.

W artykule zbadano wpływ temperatury i stopnia utwardzenia żywicy na naprężenia szczątkowe analizowanego kompozytu i problem powstawania pustek. Na koniec przeanalizowano również wpływ zagęszczania na eliminację pustek w kompozycie. Analiza naprężeń szczątkowych i pustek w makroskali może być z powodzeniem przeprowadzona przy użyciu opracowanego modelu wieloskalowego.

**Słowa kluczowe:** naprężenia szczątkowe, kompozyty, MES, FSI

## Podziękowania

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego WZ/WM-IIM/4/2023 finansowanego przez Politechnikę Białostocką.

# MODELLING RESIDUAL STRESSES AND VOIDS ARISING DURING RESIN POLYMERISATION IN FIBRE COMPOSITES

Dariusz M. Perkowski<sup>1</sup>, Rafał Stanik<sup>2</sup>, Albert Langkamp<sup>2</sup>, Maik Gude<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Mechanics and Applied Computer Science, Bialystok University of Technology, Poland,* <sup>2</sup>*Technische Universität Dresden, Institute of Lightweight Engineering and Polymer Technology (ILK), Holbeinstr. 3, 01309 Dresden, Germany;*

*e-mail: d.perkowski@pb.edu.pl, rafal.stanik@tu-dresden.de, albert.langkamp@tu-dresden.de, maik.gude@tu-dresden.de*

During the manufacturing process, problems such as internal stresses and void formation can occur during resin polymerisation, which can degrade the performance of composite structures. This paper presents a multi-scale computational strategy for numerically predicting the residual stresses and void formation in composite laminates and general composite structures using the finite element method, which combines experimentally measurable properties of fibre and matrix components.

A model has been developed in ANSYS to estimate the effective residual stress and void content of the composite from the micro (RVE scale) to the meso (lamina scale) to the macro (laminate) scale. The microstructure and known fibre and matrix properties are used as inputs.

In the paper investigated was the effect of temperature and resin degree of cure on the analysed composite's residual stress and void formation problem. Finally, the effect of compaction on eliminating voids in the composite was also analysed. The macroscale analysis of residual stresses and voids can be successfully performed using the developed multiscale model.

**Key words:** residual stresses, composites, FEM, FSI

## Acknowledgements

This work has been accomplished under the research project WZ/WM-IIM/4/2023 financed by the Bialystok University of Technology.

## WYTWARZANIE GĘSTYCH KOMPOZYTÓW NA BAZIE DIBORKU TYTANU POPRZECZ SPIEKANIE REAKTYWNE

Dawid Koziński<sup>1</sup>, Zbigniew Pędzich<sup>1</sup>, David Salamon<sup>2</sup>, Daniel Valasek<sup>2</sup>, Peter Tatarko<sup>3</sup>, Michal Hičák<sup>3</sup>, Ondrej Hanzel<sup>3</sup>, Paweł Nieroda<sup>1</sup>, Katarzyna Pasiut<sup>1</sup>, Alan Wilmański<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Kraków, Polska  
kozien@agh.edu.pl

<sup>2</sup> Brno University of Technology, Central European Institute of Technology, Brno, Czechia.

<sup>3</sup> Department of Ceramics, Institute of Inorganic Chemistry, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia.

Kompozyty na bazie węgla boru ( $B_4C$ ) cieszą się dużym zainteresowaniem ze względu na swoje wyjątkowe właściwości fizykochemiczne. W badaniu wykorzystano węgiel boru, węgiel i związki międzymetaliczne z układu Ti-Si do wytworzenia kompozytu zawierającego ponad 99%  $TiB_2$ ,  $TiC$  i  $SiC$ . Do zagęszczania zastosowano trzy różne metody: spiekanie bezciśnieniowe (PS), prasowanie na gorąco (HP) i spiekanie plazmowe z iskrą (SPS). Temperatury konsolidacji były różne w zależności od użytej metody: dla spiekania swobodnego 1650-1750°C; odpowiednio dla HP 1500-1550°C i SPS 1400-1450°C. Rodzaj stosowanych mechanizmów reakcji chemicznych wpływających międzymetalicznie, ale odkryto, że zastosowanie faz międzymetalicznych, takich jak  $TiSi$ ,  $TiSi_2$  i  $Ti_5Si_3$  w połączeniu z odpowiednimi proporcjami molowymi  $B_4C$  i  $C$  prowadzi do gęstego materiału kompozytowego o bardzo prostym składzie fazowym. Proces ten doprowadził do wyeliminowania wolnego węgla zwykle pochodzącego z surowców komercyjnych. Ostatecznie uzyskany wysokotemperaturowy, ogniotrwały kompozyt  $TiB_2$ - $TiC$ - $SiC$  wykazywał wysoką wytrzymałość mechaniczną i odporność na pękanie. Reakcja chemiczna zachodząca podczas spiekania była bardzo efektywna, 99% faz początkowych uległo rozkładowi i pozwoliło na utworzenie nowych faz  $TiB_2$ ,  $SiC$  i  $TiC$ , które były dobrze zagęszczone w stosunkowo niskich temperaturach.

**Podziękowania:** Prace sfinansowano przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, LIDER XIII; grant numer 0024/L-13/2022.

**Słowa kluczowe:** diborek tytanu, spiekanie reaktywne, węgiel boru, intermetaliki, UHTCs.

## PRODUCTION OF DENSE COMPOSITES BASED ON TITANIUM DIBORIDE BY REACTIVE SINTERING

Dawid Kozięń<sup>1</sup>, Zbigniew Pędzich<sup>1</sup>, David Salamon<sup>2</sup>, Daniel Valasek<sup>2</sup>, Peter Tatarko<sup>3</sup>, Michal Hičák<sup>3</sup>, Ondrej Hanzel<sup>3</sup>, Paweł Nieroda<sup>1</sup>, Katarzyna Pasiut<sup>1</sup>, Alan Wilmański<sup>1</sup>

<sup>1</sup> AGH University of Krakow, Faculty of Ceramics and Material Science, Krakow, Polska  
kozien@agh.edu.pl

<sup>2</sup> Brno University of Technology, Central European Institute of Technology, Brno, Czechia.

<sup>3</sup> Department of Ceramics, Institute of Inorganic Chemistry, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia.

Composites made with boron carbide ( $B_4C$ ) have garnered significant interest due to their remarkable physical and chemical properties. This study utilized boron carbide, carbon, and intermetallic compounds from the Ti-Si system to produce a composite containing more than 99% of  $TiB_2$ , TiC, and SiC. For densification, three different methods were employed: pressureless sintering (PS), hot-pressing (HP), and spark plasma sintering (SPS). Various consolidation temperatures were used: PS (1650-1750°C), HP (1500-1550°C), and SPS (1400-1450°C). The choice of intermetallic compound affected the mechanisms of chemical reactions, but it was discovered that using intermetallic phases such as TiSi,  $TiSi_2$ , and  $Ti_5Si_3$  in combination with appropriate molar proportions of  $B_4C$  and C led to a dense composite material with a simple phase composition. This process resulted in the elimination of free carbon typically present in commercial raw materials. The resulting high-temperature refractory  $TiB_2$ -TiC-SiC composite exhibited superior mechanical strength and fracture toughness. The chemical reaction that occurred during sintering was highly effective, decomposing 99% of the initial phases to form new  $TiB_2$ , SiC, and TiC phases, which were well-densified at relatively low temperatures.

**Acknowledgement:** This research was supported by a grant from the National Center for Research and Development, LIDER XIII; Grant No. 0024/L-13/2022.

**Keywords:** Intermetallics, UHTCs, SPS, Hp-HT, pressureless sintering

# JAK DOBRAĆ ZWIĄZKI ORGANICZNE WSPOMAGAJĄCE FORMOWANIE KOLOIDALNE KOMPOZYTÓW O OSNOWIE CERAMICZNEJ?

Paulina Wiecińska<sup>1</sup>, Joanna Tańska<sup>1</sup>, Anna Więclaw-Midor<sup>1</sup>, Blanka Seredyńska<sup>1</sup>,  
Radosław Żurowski<sup>1</sup>, Paweł Falkowski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Chemiczny, Warszawa, Polska  
e-mail: paulina.wiecinska@pw.edu.pl

Koloidalne metody formowania materiałów ceramicznych i kompozytowych (tzw. colloidal processing) pozwalają otrzymywać wyroby o złożonej geometrii bez konieczności stosowania kosztownej aparatury ciśnieniowej i przy zminimalizowanej obróbce mechanicznej. Układy koloidalne będą stabilne i o odpowiednich właściwościach reologicznych wówczas, gdy zastosuje się właściwe dodatki organiczne, takie jak: deflokulanty (związki upłynniające), spoiwa, monomery, (foto)inicjatory polimeryzacji, plastyfikatory, środki powierzchniowo czynne, środki protwórcze itp. Ponadto, cząstki fazy stałej, tworzące po procesie spiekania materiał kompozytowy, muszą być dobrze zdyspergowane w medium ciekłym, a stosowane związki organiczne powinny charakteryzować się (o ile to możliwe) niską toksycznością. W referacie zostaną przedstawione możliwości wykorzystania różnych dodatków organicznych w formowaniu materiałów kompozytowych, m.in. związki na bazie sacharydów, rozpuszczalne w wodzie monomery oraz prekursorzy fazy wzmacniającej w kompozytach o osnowie ceramicznej. Omówione zostaną także następujące zagadnienia: wielofunkcyjność wybranych związków, rozkład termiczny dodatków podczas procesu spiekania oraz otrzymywanie kompozytów o jednorodnej mikrostrukturze.

*Praca finansowana przez Politechnikę Warszawską, Wydział Chemiczny.*

**Słowa kluczowe:** układy koloidalne, spoiwa, prekursorzy, analiza termiczna

## Literatura:

1. J. Tanska and et. al, J. Eur. Ceram. Soc. 44 (2024) 341-352.
2. R. Moreno, J. Eur. Ceram. Soc. 40 (2020) 559-587.
3. E. Pietrzak and et. al, J. Eur. Ceram. Soc. 39 (2019) 3421-3432.



## HOW TO SELECT ORGANIC COMPOUNDS SUPPORTING COLLOIDAL PROCESSING OF CERAMIC-MATRIX-COMPOSITES?

Paulina Wiecińska<sup>1</sup>, Joanna Tańska<sup>1</sup>, Anna Więclaw-Midor<sup>1</sup>, Blanka Seredyńska<sup>1</sup>,  
Radosław Żurowski<sup>1</sup>, Paweł Falkowski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Warsaw University of Technology, Faculty of Chemistry, Warsaw, Poland*  
*e-mail: paulina.wiecinska@pw.edu.pl*

Colloidal methods of shaping ceramic and composite materials (so-called colloidal processing) allow to obtain elements of complex geometry without the need to use expensive pressure equipment and with minimized mechanical post-processing. Colloidal systems will be stable and have appropriate rheological properties when well-suited organic additives are used, such as: deflocculants (dispersing agents), binders, monomers, (photo)initiators of polymerization, plasticizers, surfactants, pore-forming agents, etc. Moreover, solid phase particles, which form a composite material after the sintering process, must be well dispersed in the liquid medium, and the organic compounds used should be characterized by (if possible) low toxicity. The paper will present the possibilities of using various organic additives in shaping of composite materials, including: saccharide-based compounds, water-soluble monomers and precursors of the reinforcing phase in ceramic-matrix-composites. The following issues will also be discussed: multifunctionality of selected compounds, thermal decomposition of additives during the sintering process and fabrication of composites of uniform microstructure.

*This work has been financially supported by Warsaw University of Technology, Faculty of Chemistry.*

**Keywords:** colloidal processing, binders, precursors, thermal analysis

### References:

1. J. Tanska and et. al, J. Eur. Ceram. Soc. 44 (2024) 341-352.
2. R. Moreno, J. Eur. Ceram. Soc. 40 (2020) 559-587.
3. E. Pietrzak and et. al, J. Eur. Ceram. Soc. 39 (2019) 3421-3432.

## CERAMICZNE POWŁOKI KOMPOZYTOWE OSADZANE NA POLIMEROWYCH MEMBRANACH FILTRACYJNYCH

Piotr Wieciński<sup>1</sup>, Halina Garbacz<sup>2</sup>, Joanna Kacprzynska-Golacka<sup>3</sup>, Jerzy Smolik<sup>3</sup>, Andrzej Krasieński<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Chemiczny, Warszawa, Polska, piotr.wiecinski@pw.edu.pl

<sup>2</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej, Warszawa, Polska

<sup>3</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz-Institut Technologii Eksploatacji, Radom, Polska

<sup>4</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Warszawa, Polska

Technologie filtracyjne są szczególnie istotne na rozwoju naszej cywilizacji, zmniejszają zanieczyszczenie powietrza, a także zwiększają dostęp do wody pitnej. W przypadku zastosowań w przemyśle spożywczym czynnikiem istotnie wpływającym na żywotność membran jest wzrost bakterii i mikroorganizmów. Jednym ze sposobów ograniczenia tych niekorzystnych zjawisk jest osadzanie powłok biobójczych, przy czym powłoki te nie powinny wpływać na parametry filtracyjne membran. W trakcie prac nanoszono różne typy nanokrystalicznych powłok ceramicznych (CuO, AgO, ZnO oraz Cu+ZnO, Ag+ZnO, Ag+AgO, AgO+CuO) przy użyciu dwóch technik rozpylania magnetronowej magnetronowego: DC (*ang. Direct Current*) oraz HPI (*ang. High Power Impuls*). Przeanalizowano wpływ parametrów osadzania na grubość powłoki, jej morfologię, mikrostrukturę i skład chemiczny. Przeanalizowano efektywność osadzania materiału na powierzchni membrany, granicę powłoki z podłożem oraz właściwości antybakteryjne. Badania wykazały, że otrzymane powłoki charakteryzowały się jednorodną, nanokrystaliczną budową, lecz różniły się typem mikrostruktury i morfologią. Powłoki CuO wykazywały kolumnową lub igłową mikrostrukturą, podczas gdy nano-ziarna w powłokach AgO mają bardziej równoosiowe kształty. W powłokach wieloskładnikowych (AgO+CuO) zmiany mocy katody (Cu, Ag) powodują różnice w mikrostrukturze powłoki. Zastosowanie dwóch źródeł prowadzi do powstania struktury kompozytowej (osnowa i drobne cząstki) powłoki. Przeprowadzone badania wykazały, że zastosowanie techniki HPIMS pozwala na osadzanie powłok o bardziej jednorodnej i mniej porowatej mikrostrukturze, mniejszym uziarnieniu w porównaniu z techniką DC MS. Powłoki wykazują dobre właściwości antybakteryjne.

**Słowa kluczowe:** membrany filtracyjne, powłoki kompozytowe, właściwości antybakteryjne

**Podziękowania:** Praca była finansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, w ramach konkursu TECHMATSTRATEG-III/0005/2019-00

## CERAMIC COMPOSITE COATINGS FOR POLYMERIC FILTRATION MEMBRANES

Piotr Wieceński<sup>1</sup>, Halina Garbacz<sup>2</sup>, Joanna Kacprzynska-Golacka<sup>3</sup>, Jerzy Smolik<sup>3</sup>, Andrzej Krasiński<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Warsaw University of Technology, Faculty of Chemistry, Warsaw, Poland,  
piotr.wiecinski@pw.edu.pl*

<sup>2</sup> *Warsaw University of Technology, Faculty of Materials Science and Engineering, Warsaw,  
Poland*

<sup>3</sup> *Lukasiewicz Research Network – Institute for Sustainable Technologies, Radom, Poland*

<sup>4</sup> *Warsaw University of Technology, Faculty of Chemical and Process Engineering, Warsaw, Poland*

Filtration technologies are of the highest interest to human civilisation since they decrease air pollution and can expand access to drinking water. In the case of application in the food industry, bacteria and microorganisms' growth are the additional factors that influence the lifetime of membranes. Appropriate materials can be deposited on the membrane surface to limit these phenomena. However, such coatings shouldn't affect the filtration parameters of the membranes. During the work, different types of nanocrystalline ceramics coatings (CuO, AgO, ZnO and Cu+ZnO, Ag+ZnO, Ag+AgO, AgO+CuO) were deposited using two magnetron sputtering techniques: DC MS (Direct Current) and HPIMS (High Power Impulse). The influence of deposition parameters on coating thickness, surface morphology, microstructure and chemical composition was analysed. The distribution of the deposited material on the membrane surface, the interface between the coating and substrate, and antibacterial properties were analysed. The investigation evidenced that the obtained coatings were characterised by homogeneous, nanocrystalline structures, but they had different microstructures and morphology. For example, CuO coatings exhibit columnar or needle-like structures, while nano-grains in AgO coatings have more equalized shapes. Moreover, in multicomponent coatings (AgO+CuO), changes in the cathode (copper or silver) power result in differences in coating microstructure. The use of two sources leads additionally to the composite structure (matrix and fine particles) of the coating. The performed investigation also revealed that the application of the HPIMS technique allows the deposit of coatings of more homogeneous and less porous microstructure with smaller grain size compared to the DC MS technique. Coatings exhibits good antibacterial properties.

**Keywords:** Filtration membranes, composite coatings, antibacterial properties

**Acknowledgement:** The research was financially supported by the Polish National Centre for Research and Development, grant no. TECHMATSTRATEG-III/0005/2019-00

## FOTOKATALITYCZNE ELIMINOWANIE NO<sub>x</sub> PRZY UŻYCIU TiO<sub>2</sub> NANIESIONEGO NA PIANKĘ NIKLOWĄ

Beata Tryba<sup>1</sup>, Bartłomiej Prowans<sup>1</sup>, Rafał Jan Wróbel<sup>1</sup>, Paulina Szołdra<sup>2</sup>, Waldemar Pichór<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Pułaskiego 10, 70-322 Szczecin, Polska, e-mail: bartlomiej.prowans@zut.edu.pl

<sup>2</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, e-mail: pichor@agh.edu.pl

Przeprowadzono badania fotokatalitycznego usuwania NO z powietrza (o stężeniu 1 ppm) na TiO<sub>2</sub> naniesionym na porowatą piankę niklową. Badania prowadzone były w reaktorze kwarcowym, z laminarnym przepływem gazu (1 dm<sup>3</sup>/min), który był analizowany na wylocie metodą chemiluminescencji. Wilgotność względna gazu wynosiła 50%, a natężenie UV=10 W/m<sup>2</sup>. TiO<sub>2</sub> naniesiony na piankę niklową był wygrzewany w różnych temperaturach, od 400 do 600°C. Wzrost temperatury wygrzewania spowodował lepszą adhezję TiO<sub>2</sub> do podłoża, ale zmniejszyła się porowatość powierzchni próbki oraz w 600°C nastąpiło częściowe spiecenie TiO<sub>2</sub> z NiO, co doprowadziło do powstania struktury NiTiO<sub>3</sub>. Efekt ten był także obserwowany przez innych badaczy [1]. Pianka Ni z TiO<sub>2</sub> wygrzana w 600°C wykazała mniejszą aktywność fotokatalityczną utleniania NO do NO<sub>2</sub>, ale produkty utleniania (NO<sub>2</sub>) adsorbowały się na jej powierzchni bez wyraźnej desorpcji do atmosfery. Natomiast niska temperatura wygrzewania pianki Ni z TiO<sub>2</sub>, tj. 400°C przyczyniła się do mniejszej adhezji TiO<sub>2</sub> do powierzchni pianki. Niemniej jednak TiO<sub>2</sub> wygrzany w 400°C wykazał się większą aktywnością fotokatalityczną niż ten w 600°C, ale w tym przypadku zauważalna była duża konwersja NO do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na powierzchni TiO<sub>2</sub>, co w rezultacie spowodowało wzrost emisji NO<sub>2</sub> do atmosfery i mniejszą eliminację NO<sub>x</sub>. Zastosowanie porowatej struktury pianki Ni jako podłoża do TiO<sub>2</sub> pozwoliło otrzymać lepszą aktywność fotoakatalityczną utleniania NO niż w przypadku użycia płytki szklanej [2].

**Słowa kluczowe:** Usuwanie NO<sub>x</sub>; TiO<sub>2</sub>/pianka Ni; Fotokatalityczne utlenianie NO

### Literatura:

[1] Zeng, Q.; Chen, J.; Wan, Y.; Ni, J.; Ni, C.; Chen, H. Immobilizing TiO<sub>2</sub> on nickel foam for an enhanced photocatalysis in NO abatement under visible light. *J. Mater. Sci.* 2022, 57, 15722–15736.

[2] Szołdra, P.; Frać, M.; Lach, R.; Zych, Ł.; Radecka, M.; Trenczek-Zajać, A.; Pichór, W. Effect of brookite on the photocatalytic properties of mixed-phase TiO<sub>2</sub> obtained at a higher temperature. *Mater. Sci. Eng. B* 2023, 287, 116104.

## PHOTOCATALYTIC NO<sub>x</sub> LIMITATION USING TiO<sub>2</sub> SUPPORTED ON NICKEL FOAM

Beata Tryba<sup>1</sup>, Bartłomiej Prowans<sup>1</sup>, Rafał Jan Wróbel<sup>1</sup>, Paulina Szołdra<sup>2</sup>, Waldemar Pichór<sup>2</sup>

<sup>1</sup> West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Pułaskiego 10, 70-322 Szczecin, Poland;  
e-mail: bartlomiej.prowans@zut.edu.pl

<sup>2</sup> AGH University of Krakow, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland  
e-mail: pichor@agh.edu.pl

Photocatalytic removal of NO from air (1 ppm) was studied on TiO<sub>2</sub> supported on the nickel foam. Experiments were carried out in a quartz reactor with a laminar flow of gas (1 dm<sup>3</sup>/min), analyzed by a chemiluminescence method. The relative humidity of gas was 50%, and intensity of UV=10 W/m<sup>2</sup>. TiO<sub>2</sub> loaded on the Ni foam was heated at various temperatures, from 400 do 600°C. Increase of heat-treatment temperature caused better adhesion of TiO<sub>2</sub> to the support, but surface porosity of sample decreased and at 600°C TiO<sub>2</sub> was partly sintered with NiO, what resulted in formation of NiTiO<sub>3</sub>. This phenomenon was observed by the other researchers too [1]. The Ni foam with TiO<sub>2</sub> heated at 600°C revealed lower activity towards oxidation of NO do NO<sub>2</sub>, but the oxidation products (NO<sub>2</sub>) were adsorbed on its surface without observed desorption to the atmosphere. However, low temperature of heating the Ni foam with TiO<sub>2</sub>, such as 400°C caused lower adhesion of TiO<sub>2</sub> to the Ni foam surface. Nevertheless, TiO<sub>2</sub> heated at 400°C showed higher photocatalytic activity than that one treated at 600°C, but in this case high conversion of NO do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> on TiO<sub>2</sub> surface was noted, what resulted in increasing of NO<sub>2</sub> emission to the atmosphere and lower abatement of NO<sub>x</sub>. Application of Ni foam with porous structure as a support to TiO<sub>2</sub> allowed to obtain its better activity towards photocatalytic oxidation of NO than it was in case of glass plate [2].

**Keywords:** NO<sub>x</sub> removal; TiO<sub>2</sub>/nickel foam; photocatalytic oxidation of NO

### References:

- [1] Zeng, Q.; Chen, J.; Wan, Y.; Ni, J.; Ni, C.; Chen, H. Immobilizing TiO<sub>2</sub> on nickel foam for an enhanced photocatalysis in NO abatement under visible light. *J. Mater. Sci.* 2022, 57, 15722–15736.
- [2] Szołdra, P.; Frać, M.; Lach, R.; Zych, Ł.; Radecka, M.; Trenczek-Zajać, A.; Pichór, W. Effect of brookite on the photocatalytic properties of mixed-phase TiO<sub>2</sub> obtained at a higher temperature. *Mater. Sci. Eng. B* 2023, 287, 116104.

## PRÓBA OCENY SZCZELNOŚCI POLIMEROBETONÓW Z WYKORZYSTANIEM NOWO OPRACOWANEJ METODY

Mateusz Koziół

*Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej  
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice  
e-mail: Mateusz.kozioł@polsl.pl*

Referat dotyczy oryginalnych prób szczelności polimerobetonów, polegających na długotrwałym zanurzeniu próbek w wodzie i ocenie wypłukiwania z nich wstępnie wprowadzonego wskaźnika. Jako że prezentowane badania mają charakter pionierski, przyjęto do nich możliwie reprezentatywny skład próbek oraz reprezentatywne wskaźniki. Próbkę wykonano z polimerobetonu na bazie żywicy poliestrowej oraz żwiru i piasku kwarcowego. Zawartość osnowy wynosiła 17 - 18%obj, co jest technicznie uzasadnioną i najpowszechniej przyjmowaną zawartością. Jako wskaźniki wykorzystano alternatywnie kwas cytrynowy, wodorotlenek sodu oraz sól kuchenną – każda z substancji była wprowadzana do polimerobetonu w trakcie mieszania masy, w formie proszku. Zawartość substancji wskaźnikowych we wszystkich przypadkach wynosiła alternatywnie 0,65% wag i 3,25%wag. Każdą z wytworzonych próbek zanurzono indywidualnie w wodzie destylowanej na okres 30 dni i oszacowano ilość wskaźnika wypłukaną z próbek (rozpuszczoną w wodzie). Wyniki okazały się niezbyt korzystne dla badanych polimerobetonów. Sól kuchenna oraz kwas cytrynowy zostały wypłukane w wymiarze 10%, a wodorotlenek sodu w wymiarze 7% początkowej zawartości. Stężenie wskaźników w polimerobetonach, w analizowanym zakresie, nie wykazało istotnego wpływu na wyniki. Należy kontynuować badania o charakterze podstawowym, z uwzględnieniem różnych wypełnień, różnych osnów, a przede wszystkim różnych zawartości osnów. Wiedza dotycząca szczelności polimerobetonów ma fundamentalne znaczenie dla ich przewidywanej stosowalności, szczególnie dla enkapsulacji odpadów. Opracowana innowacyjna metoda badań jest bardzo obiecująca i może stanowić fundament badań podstawowych oraz stosowanych nad szczelnością polimerobetonów i innych podobnych materiałów.

**Słowa kluczowe:** polimerobeton, szczelność, rozpuszczalność

## AN ATTEMPT TO ASSESS THE TIGHTNESS OF POLYMER CONCRETE USING A NEWLY DEVELOPED METHOD

Mateusz Koziol

*Silesian University of Technology, Faculty of Materials Engineering  
ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, Poland  
e-mail: Mateusz.koziol@polsl.pl*

The paper concerns original tightness tests of polymer concrete, consisting of long-term immersion of samples in water and assessment of the washing out of the initially introduced indicator. As the presented research is pioneering in nature, the most representative sample composition and representative indicators were used. The samples were made of polymer concrete based on polyester resin, gravel and quartz sand. The matrix content was 17 - 18% by volume, which is technically justified and the most commonly accepted content. Alternatively, citric acid, sodium hydroxide and table salt were used as indicators - each substance was introduced into the polymer concrete while mixing the mass, in the form of powder. The content of indicator substances in all cases was alternatively 0.65% by weight and 3.25% by weight. Each of the produced samples was individually immersed in distilled water for a period of 30 days and the amount of indicator washed out from the samples (dissolved in water) was estimated. The results turned out to be not very favorable for the tested polymer concretes. Table salt and citric acid were washed out to 10%, and sodium hydroxide to 7% of the initial content. The concentration of indicators in polymer concrete, in the analyzed range, did not show a significant impact on the results. Basic research should be continued, taking into account different fillers, different matrices and, above all, different matrix contents. Knowledge regarding the tightness of polymer concretes is of fundamental importance for their expected applicability, especially for waste encapsulation. The innovative research method developed is very promising and can constitute the foundation for basic and applied research on the tightness of polymer concrete and other similar materials.

**Keywords:** polymer concrete, tightness, solubility

## STRUKTURA I WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE PBS, PCL I PBAT MODYFIKOWANYCH LAPONITEM

Rafał Malinowski<sup>1</sup>, Volodymyr Krasynski<sup>1,2</sup>, Oleksandr Grytsenko<sup>2</sup>, Volodymyr Moravskiy<sup>2</sup>,  
Daniel Kaczor<sup>1</sup>, Magdalena Stepczyńska<sup>3</sup>, Krzysztof Moraczewski<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, Toruń,  
Polska; malinowskirafal@gmail.com*

<sup>2</sup>*Politechnika Lwowska, Lwów, Ukraina*

<sup>3</sup>*Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz, Polska*

W pracy przedstawiono wpływ syntetycznej odmiany hektorytu, tj. Laponitu (LAP), na strukturę i właściwości mechaniczne poli(kwasu bursztynowego) (PBS), poli( $\epsilon$ -kaprolaktonu) (PCL) i poli(adypinianu-*co*-tereftalanu butylenu) (PBAT). Kompozyty polimerowe zawierające odpowiednio 1, 3, 5 i 7% mas. LAP zostały wytworzone z wykorzystaniem wyciarki dwuślimakowej współbieżnej. Zbadano właściwości mechaniczne podczas testów statycznego rozciągania i statycznego zginania trzypunktowego, a także podczas testów udarności metodą Charpy'ego. Określono również zmiany w adhezji na granicy faz oraz zmiany w strukturze geometrycznej powierzchni przełomów badanych próbek. Stwierdzono, że badane kompozyty charakteryzowały się podobną strukturą. Adhezja na granicy faz polimer-napełniacz była bardzo dobra w kompozytach wytworzonych na bazie PBAT lub PCL, a w kompozytach na bazie PBS była nieco gorsza. Właściwości mechaniczne badanych kompozytów zmieniały się na ogół w podobny sposób. Poza wynikami badań zginania trzypunktowego, wszystkie polimery wykazywały pogorszone właściwości mechaniczne po dodaniu LAP. Biorąc jednakże pod uwagę wyniki testów istotności, należy mieć na uwadze to, że niektóre wyniki badań nie różniły się istotnie od siebie.

**Słowa kluczowe:** polimery biodegradowalne, Laponit, kompozyt, właściwości mechaniczne, wyciarki

*Projekt współfinansowany przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej (BPN/BUA/2021/1/00049/U/00001). The project is also co-funded by the Ministry of Education and Science of Ukraine according to the agreement No. M/78 dated 23.08.2023.*



## THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF PBS, PCL AND PBAT MODIFIED WITH LAPONITE

Rafał Malinowski<sup>1</sup>, Volodymyr Krasynski<sup>1,2</sup>, Oleksandr Grytsenko<sup>2</sup>, Volodymyr Moravskyi<sup>2</sup>,  
Daniel Kaczor<sup>1</sup>, Magdalena Stepczyńska<sup>3</sup>, Krzysztof Moraczewski<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Łukasiewicz Research Network - Institute for Engineering of Polymer Materials and Dyes, Toruń,  
Poland; malinowskirafal@gmail.com*

<sup>2</sup>*Lviv Polytechnic National University, Department of Chemical Technology of Plastics Processing,  
Lviv, Ukraine*

<sup>3</sup>*Kazimierz Wielki University, Faculty of Materials Engineering, Bydgoszcz, Poland*

An investigation into the effect of a synthetic variety of hectorite, i.e., Laponite (LAP), on changes in the structure and mechanical properties of poly(butylene succinate) (PBS), poly( $\epsilon$ -caprolactone) (PCL) and poly(butylene adipate-*co*-terephthalate) (PBAT) was the aim of the present paper. Polymer composites containing 1, 3, 5, and 7 wt% of LAP were prepared using a co-rotating twin screw extruder. Mechanical properties (under static tension, static three-point bending and impact tests) were investigated. In addition, changes in adhesion at the phase boundary and the surface geometrical structure of sample fractures were examined. It was found that the composites studied were characterized by a similar structure. Adhesion at the polymer-filler interface was very good for PBAT and PCL-based composites and slightly worse for PBS-based composites. The mechanical properties of the polymers investigated generally changed similarly. With the exception of three-point bending tests, all polymers exhibited deterioration in mechanical properties after the addition of LAP. However, considering the results of the significance tests, it is important to note that some results did not differ significantly from one another.

**Keywords:** biodegradable polymers, Laponite, composite, mechanical properties, extrusion

*The project is co-financed by the Polish National Agency for Academic Exchange (No. BPN/BUA/2021/1/00049/U/00001). The project is also co-funded by the Ministry of Education and Science of Ukraine according to the agreement No. M/78 dated 23.08.2023.*

## SYNERGIA NAUKI I NATURY: OPRACOWANIE INTELIGENTNYCH ULI Z KOMPOZYTEM TERMOIZOLACYJNYM Z PIÓR DROBIU I TECHNOLOGIĄ CYFROWĄ

Krystyna Wrześniewska-Tosik<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz- Łódzki Instytut Technologiczny, ul. Marii Skłodowskiej-Curie 19/27  
90-570 Łódź, Polska

Email: [krystyna.wrzesniewska-tosik@lit.lukasiewicz.gov.pl](mailto:krystyna.wrzesniewska-tosik@lit.lukasiewicz.gov.pl)

Inteligentny Ul wykorzystuje system Smart Hive z ekologicznymi osłonami termicznymi wykonanymi z wełny owczej i odpadowych piór drobiowych. Wykazano, że ten zaawansowany system dostarcza kluczowych danych na temat zdrowia pszczół, pomagając pszczelarzom i naukowcom. Wykazano możliwość zastosowania piór jako surowca do przetworzenia na funkcjonalny produkt końcowy przeznaczony do termoizolacji uli. Pióra drobiowe są produktem ubocznym przemysłu drobiarskiego. Unikalne właściwości pierza tj.: hydrofobowość, izolacyjność termiczna i akustyczna w połączeniu z ich niskim kosztem i dostępnością otwierają drogę do wartościowych i ekologicznych produktów. Takie właściwości piór skłoniły autorów do wykorzystania ich do wytworzenia włókninowego kompozytu. Innowacyjny materiał kompozytowy wyróżnia się składem surowcowym, w którym wypełnienie z pierza umieszczone jest pomiędzy warstwami folii termotopliwej. Kompozyt włóknisty charakteryzuje niską przewodnością cieplną, jest wodoodporny, jest odporny na uszkodzenia mechaniczne. Integracja Internetu pszczół (IoB) z rolnictwem XXI wieku oferuje korzyści transformacyjne, szczególnie w przypadku inteligentnych osłon uli, zwiększa przeżywalność rodziny pszczół i optymalizuje produkcję miodu. Osłony te utrzymują optymalną temperaturę w ulu, umożliwiając wcześniejsze zbieranie pożywienia i zmniejszenie spożycia pokarmu zimą, co prowadzi do silniejszych rodzin i zysków ekonomicznych. Ogólnie rzecz biorąc, projekt Inteligentne Ule stanowi znaczący krok naprzód w zrównoważonym rolnictwie i pszczelarstwie, łącząc innowacje technologiczne z praktycznymi potrzebami rolnictwa.

**Słowa kluczowe:** System Smart Hive, pióra drobiowe, ekologiczna izolacja termiczna

# SYNERGY OF SCIENCE AND NATURE: DEVELOPMENT OF SMART HIVES WITH POULTRY FEATHER THERMAL INSULATION COMPOSITE AND DIGITAL TECHNOLOGIES

Krystyna Wrześniewska-Tosik<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Lukasiewicz - Lodz Institute of Technology, Ul. Marii Skłodowskiej-Curie 19/27 90-570 Łódź, Poland*

*Email:krystyna.wrzesniewska-tosik@lit.lukasiewicz.gov.pl*

The Smart Hive uses the Smart Hive system with eco-friendly heat shields made from sheep wool and waste poultry feathers. This advanced system has been shown to provide key data on bee health, helping beekeepers and scientists. The possibility of using feathers as a raw material for processing into a functional final product intended for thermal insulation of hives has been demonstrated. Poultry feathers are a by-product of the poultry industry. The unique properties of feathers, i.e. hydrophobicity, thermal and acoustic insulation, combined with their low cost and availability open the way to valuable and ecological products. Such properties of feathers prompted the authors to use them to produce a nonwoven composite. The innovative composite material is distinguished by its raw material composition, in which the feather filling is placed between layers of hot-melt foil. The fiber composite is characterized by low thermal conductivity, is waterproof and is resistant to mechanical damage. Integrating the Internet of Bees (IoB) into 21st century agriculture offers transformative benefits, especially for smart hive covers, increasing bee colony survival and optimizing honey production. These covers maintain optimal temperatures in the hive, allowing for earlier food collection and reduced food consumption in winter, leading to stronger colonies and economic gains. Overall, the Smart Hives project represents a significant step forward in sustainable agriculture and beekeeping, combining technological innovations with the practical needs of agriculture.

**Keywords:** Smart Hive system, feathers, eco-friendly thermal insulation

## WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH WZMACNIANYCH RECYKLINGOWANYM WŁÓKNEM WĘGLOWYM PO PROCESIE SOLWOLIZY

Anna Łabęda<sup>1</sup>, Rafał Kozera<sup>1,2</sup>, Milena Kurkowska<sup>1</sup>, Anna Czajka<sup>1</sup>, Kamil Dydek<sup>1</sup>, Bartłomiej Bereska<sup>2</sup>, Agnieszka Bereska<sup>2</sup>, Bogna Sztorch<sup>3</sup>, Robert Przekop<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Materiałowej, Politechnika Warszawska, ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa, [anna.labeda.dokt@pw.edu.pl](mailto:anna.labeda.dokt@pw.edu.pl)

<sup>2</sup> Noma Resins Sp. z o. o., ul. Sowińskiego 5, 44-121 Gliwice

<sup>3</sup> Centrum Zaawansowanych Technologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 10, 61-614 Poznań

Recykling kompozytów polimerowych stanowi znaczny problem w dzisiejszych czasach. W dużej mierze składa się je na wysypiskach śmieci, dlatego poszukuje się rozwiązań umożliwiających ograniczenie tej sytuacji. W przypadku termoutwardzalnych kompozytów polimerowych wzmocnianych włóknami szklanymi stosuje się w głównej mierze mielenie, a dla wzmocnianych włóknami węglowymi przede wszystkim pirolizę. W szczególności ten drugi sposób nie jest pozbawiony wad. W trakcie procesu pirolizy wydzielają się szkodliwe związki do atmosfery, dlatego coraz większą popularność zdobywa proces chemicznego rozpuszczania osnowy tzw. solwoliza. Jednakże, ze względu na to, że odzyskane w ten sposób włókna węglowe są słabo zwilżalne, jedną z możliwości jest stosowanie związków krzemoorganicznych. Właściwie dobrane, powodują poprawę zarówno kompatybilności osnowy ze wzmocnieniem, a także właściwości mechanicznych nowo wytworzonych kompozytów.

Tematem niniejszej pracy było wytworzenie i analiza właściwości kompozytów polimerowych wzmocnianych recyklingowanymi ciętymi włóknami węglowymi po procesie solwolizy. Za pomocą badań wytrzymałości na zginanie określono właściwości mechaniczne, wykonano również dynamiczną analizę mechaniczną (DMA). Jakość wytworzonych próbek oceniano na podstawie zdjęć ze skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM).

Praca została zrealizowana w ramach projektu sfinansowanego przez Unię Europejską pt. „Multi-level Circular Process Chain for Carbon and Glass Fibre Composites- MC4”.

**Słowa kluczowe:** CFRPs, recyklingowane włókna węglowe, solwoliza, właściwości mechaniczne

## PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES REINFORCED WITH RECYCLED CARBON FIBRE AFTER SOLVOLYSIS PROCESS

Anna Łabęda<sup>1</sup>, Rafał Kozera<sup>1,2</sup>, Milena Kurkowska<sup>1</sup> Anna Czajka<sup>1</sup>, Kamil Dydek<sup>1</sup>, Bartłomiej Bereska<sup>2</sup>, Agnieszka Bereska<sup>2</sup>, Bogna Sztorch<sup>3</sup>, Robert Przekop<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Faculty of Materials Science and Engineering, Warsaw University of Technology, 141 Wołoska, 02-507 Warsaw, [anna.labeda.dokt@pw.edu.pl](mailto:anna.labeda.dokt@pw.edu.pl)*

<sup>2</sup> *Noma Resins Sp. z o. o., 5 Sowińskiego, 44-121 Gliwice*

<sup>3</sup> *Centre for Advanced Technologies, Adam Mickiewicz University in Poznań, 10 Uniwersytetu Poznańskiego, 61-614 Poznań*

Recycling of polymer composites is a significant problem these days. They are largely landfilled and solutions are being sought to reduce this situation. In the case of glass fibre-reinforced thermoset polymer composites, grinding is mainly used, and for carbon fibre-reinforced composites, pyrolysis is mainly used. The latter method in particular is not without disadvantages. Pyrolysis releases harmful compounds into the atmosphere, so the process of chemical dissolution of the matrix, known as solvolysis, is gaining in popularity. However, as the carbon fibres recovered in this way are poorly wettable, one option is to use organosilicon compounds. Properly selected, they result in an improvement in both the compatibility of the matrix with the reinforcement and the mechanical properties of the newly produced composites.

The subject of this study was to produce and analyse the properties of polymer composites reinforced with recycled chopped carbon fibres after solvolysis. Mechanical properties were determined using flexural strength tests, and dynamic mechanical analysis (DMA) was also performed. The quality of the fabricated samples was assessed using scanning electron microscope (SEM) images.

This work was carried out as part of the European Union-funded project "Multi-level Circular Process Chain for Carbon and Glass Fibre Composites- MC4".

**Keywords:** CFRPs, recycled carbon fibres, solvolysis, mechanical properties

# MIARODAJNOŚĆ WYNIKÓW A ROZMIAR PRÓBKII

Piotr Czarnocki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *ITLiMS PW Warszawa, Polska, piotr.czarnocki@pw.edu.pl.*

Wytrzymałość materiałów jest zwykle określana poprzez przeprowadzanie standardowych testów na małych próbkach. Następnie na podstawie tych wyników obliczana jest wytrzymałość rzeczywistych, dużych części. Niestety w wielu przypadkach wyniki testów nie są jednoznaczne, wskazując na istnienie zależności między rozmiarami próbek a otrzymywanymi wynikami, precyzyjniej, wytrzymałość istotnie spada wraz ze wzrostem rozmiaru próbki. Zjawisko to można by przypisać wzrostowi liczby defektów wraz ze wzrostem wymiarów konstrukcji, zgodnie z rozkładem Weibulla. Jednakże w przypadku kompozytów polimerowych twierdzenie to jest kwestionowane przez niektórych badaczy, przypisujących taki efekt koncentracji naprężeń na końcach odcinka pomiarowego próbki, wzrastającej wraz z jej rozmiarem. Zagadnienie to ma istotne znaczenie praktyczne i było przedmiotem prezentowanych badań.

**Słowa kluczowe:** wytrzymałość, kompozyty jednokierunkowe, testy

## **Literatura:**

1. W. Weibull: "A Statistical Distribution Function of Wide Applicability", *Journal of Applied Mechanics* (1951):293-297.
2. J. Lee, C. Soutis: "A study on the compressive strength of thick carbon fibre–epoxy laminates", *Composites Science and Technology* (2007);67:2015–2026
3. F. Lahuerta F, et al. "Thickness scaled compression tests in unidirectional glass fibre reinforced composites in static and fatigue loading" , *Composites Science and Technology* (2016); 123:115-124.

## VALIDITY OF RESULTS VS SAMPLE SIZE

Piotr Czarnocki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *ITLiMS PW Warszawa, Polska, piotr.czarnocki@pw.edu.pl.*

The strength of materials is usually determined by performing standard tests on small specimens. The strength of the actual large parts is then calculated based on these results. Unfortunately, in many cases, the test results are ambiguous, indicating the existence of a relationship between the specimen sizes and the obtained results; more precisely, the strength decreased significantly with the increase in specimen size. This phenomenon could be attributed to the increase in defects with increasing structure dimensions and could be modeled with the Weibull distribution. However, in the case of polymer composites, this claim is questioned by some researchers, who attribute this effect to stress concentrations at the ends of the sample GL increasing with the specimen size. This issue is of significant practical importance and was the subject of the presented research.

**Keywords:** strength, UD composites, testing

### **References:**

1. W. Weibull: "A Statistical Distribution Function of Wide Applicability", *Journal of Applied Mechanics* (1951):293-297.
2. J. Lee, C. Soutis: "A study on the compressive strength of thick carbon fibre–epoxy laminates", *Composites Science and Technology* (2007);67:2015–2026
3. F. Lahuerta F, et al. "Thickness scaled compression tests in unidirectional glass fibre reinforced composites in static and fatigue loading" , *Composites Science and Technology* (2016); 123:115-124.

# BADANIA RESZTKOWEJ WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE LAMINATÓW METALOWO WŁÓKNISTYCH PODDANYCH UDERZENIOM

Piotr Podolak<sup>1</sup>, Patryk Jakubczak<sup>1</sup>, Jarosław Bienias<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Materiałowej  
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska,  
autor korespondencyjny: Patryk Jakubczak, e-mail: p.jakubczak@pollub.pl

Od lat 70. prowadzone są badania nad tolerancją kompozytów polimerowo-włóknistych (FRP) na uszkodzenia wynikające z uderzeń o niskiej prędkości (LVI). Badania wykazały, że FRP po takich uderzeniach mogą tracić znaczną część wytrzymałości, szczególnie w testach ściskania osiowego po uderzeniu (CAI), gdzie obserwowano delaminacje sprzyjające wyboczeniu włókien w skali mikroskopowej i w konsekwencji utratę nośności laminatu. Laminaty metalowo-włókniste (FML), jako struktury wykazujące się wyższą niż dla FRP odpornością na uderzenia dzięki obecności warstw metalowych są rozważane jako materiał odpowiedni na konstrukcje cienkościenne. Niemniej jednak, stan wiedzy o tolerancji uszkodzeń FML jest ograniczony. W ciągu ostatnich 30 lat udokumentowano jedynie kilkanaście prac badawczych, które zdecydowanie nie opisują mechanizmów propagacji uszkodzeń FML podczas badań CAI w sposób wystarczający. Dodatkowo, porównanie wyników ze sobą jest utrudnione przez brak ujednoliconych metod badawczych w tym zakresie.

Badania zespołu miały na celu: 1) opracowanie metody badawczej odtwarzającej wiarygodnie mechanizm propagacji uszkodzeń w FML narażonych na LVI i CAI, 2) wykonanie eksperymentów na różnych typach FML i FRP, w celu określenia zależności między wytrzymałością resztkową, rodzajem materiału i energią uderzenia, 3) stworzenie szczegółowego opisu propagacji uszkodzeń w FML po uderzeniach, na podstawie wyników eksperymentalnych i zweryfikowanego modelu numerycznego. Wyniki wykazały wyższą wytrzymałość resztkową FML w porównaniu do FRP i spadek tej wytrzymałości wraz z wzrostem energii uderzenia. Uszkodzenia intensyfikowały się w miarę degradacji sztywności laminatów, rozwijając delaminacje i pęknięcia warstw kompozytowych skierowane poprzecznie do osi ściskania. Metalowe warstwy, chociaż nie przenosiły bezpośrednio obciążeń, chroniły FML przed utratą spójności całej struktury. Na podstawie badań stwierdzono, że stosowanie metali o wyższej granicy plastyczności, osnowy o podwyższonych właściwościach wytrzymałościowych oraz technik wytwarzania zapewniających wysoką wytrzymałość połączenia zarówno pomiędzy warstwami metalowymi i kompozytowymi jak i sąsiadującymi warstwami kompozytowymi powinno zapewnić podwyższenie tolerancji FML na uszkodzenia.

**Słowa kluczowe:** laminaty metalowo-włókniste (FML); ściskanie po uderzeniu (CAI); tolerancja uszkodzeń



# THE STUDY OF COMPRESSION AFTER IMPACT OF FIBRE METAL LAMINATES

Piotr Podolak<sup>1</sup>, Patryk Jakubczak<sup>1</sup>, Jarosław Bieniaś<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Lublin University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Materials Engineering,  
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Poland  
corresponding author: Patryk Jakubczak, e-mail: p.jakubczak@pollub.pl*

Since the 1970s, research has been conducted on the damage tolerance of fiber-reinforced polymers (FRP) to low-velocity impacts (LVI). Studies have shown that FRP can lose a significant portion of their strength after such impacts, especially in axial compression after impact (CAI) tests, where delaminations were observed that favor fiber buckling on a microscopic scale, resulting the loss of stability and load-bearing capacity of the laminate. Fiber-metal laminates (FML), as structures that exhibit higher impact resistance than FRP due to the presence of metal layers, are considered as a material suitable for thin-walled structures. However, knowledge of the damage tolerance of FML is limited. Over the last 30 years, only a dozen or so research studies have been documented, which clearly do not sufficiently describe the mechanisms of FML damage propagation during CAI tests. Additionally, comparing results is difficult due to the lack of standardized research methods in this area.

The team's research aimed to: 1) develop a research method for accurately reproducing the damage propagation mechanism in FML subjected to LVI and CAI, 2) conduct experiments on various types of FML and FRP to determine the relationship between residual strength, material type, and impact energy, 3) create a detailed description of the damage propagation in FML after impacts, based on experimental results and a validated numerical model. The results showed higher residual strength of FML compared to FRP, and a decrease in this strength with increasing impact energy. Damage intensified with the degradation of the laminates' stiffness, developing delaminations and cracks in composite layers oriented transversely to the axis of compression. Although metal layers did not directly transfer loads, they protected FML from losing structural cohesion. The research concluded that the use of metals with higher yield strength, matrices with enhanced strength properties, and manufacturing techniques ensuring high bond strength both between metal and composite layers and between neighboring composite layers should enhance the damage tolerance of FML further.

**Keywords:** fibre metal laminates (FML); compression after impact (CAI); damage tolerance

# WALIDACJA NUMERYCZNA PROCESU PROPAGACJI USZKODZEŃ W LAMINATACH METALOWO- WŁÓKNISTYCH NA BAZIE TYTANU PODDANYCH UDERZENIU O NISKIEJ PRĘDKOŚCI ORAZ ŚCISKANIU OSIOWEMU PO UDERZENIU

Piotr Podolak<sup>1</sup>, Patryk Jakubczak<sup>1</sup>, Jarosław Bienias<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Materiałowej  
ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska,  
autor korespondencyjny: Piotr Podolak, e-mail: p.podolak@pollub.pl

Wrażliwość kompozytów polimerowo-włóknistych (FRP) na oddziaływania typu LVI powoduje znaczący spadek ich właściwości mechanicznych (nawet o 60% wartości początkowej). Dlatego rozważa się zastosowanie alternatywnych materiałów jak laminaty metalowo-włókniste (FML). Te laminaty, poprzez naprzemienne ułożenie warstw metalu i kompozytu, lepiej absorbują energię uderzenia, przez co zniszczenia są znacząco mniejsze niż w FRP. Badania prowadzone przez zespół wykazały, że w FML stopień redukcji właściwości mechanicznych jest niższy niż dla FRP i ujawniły, w którym etapie procesu ściskania po uderzeniu (CAI) najbardziej intensywnie dochodzi do rozwoju uszkodzeń, lecz możliwości dalszej oceny jakościowej oraz ilościowej występujących zniszczeń w czasie rzeczywistym metodami eksperymentalnymi były ograniczone.

Celem badań było opracowanie modelu numerycznego metodą elementów skończonych (FEM), skupionego na monitorowaniu mechanizmów uszkodzeń oraz ich zmian objętości czy powierzchni w laminatach FRP i FML poddanych LVI i CAI. Wysoka spójność symulacji z wynikami eksperymentu, w połączeniu ze stanem wiedzy o fraktografii FRP i FML oraz charakterystyki procesu CAI, pozwoliły stworzyć opis propagacji zniszczeń w FML poddanych uderzeniu. W strefie zniszczenia indukowanej przez uderzenie dochodziło do dalszej propagacji uszkodzeń, a większość obszaru delaminacji dotyczyła powierzchni rozdziału między metalem a kompozytem, będących z dala od powierzchni przyjęcia uderzenia. Największa objętość warstw kompozytowych została uszkodzona w wyniku rozciągania osnowy podczas wyboczenia, lecz do utraty nośności przyczyniły się głównie zniszczenia włókien oraz otaczającej ich osnowy w wyniku ściskania, które przebiegały po linii łączącej krawędzie laminatu z punktem uderzenia. Dodatkowo zauważono, że rodzaj użytego włókna wpływa na odpowiedź FML. W przypadku laminatów tytanowo-szklanych wykazano, że przy większych energiach uderzenia, propagacja uszkodzeń nie przebiega w miejscu uderzenia, ale przy krawędziach laminatu, co jest spowodowane utratą stateczności i postępującym wyboczeniem, które przy wysokiej sztywności laminatów tytanowo-węglowych pojawiało się później.

**Słowa kluczowe:** laminaty metalowo-włókniste (FML); ściskanie po uderzeniu (CAI); analiza zniszczenia; metoda elementów skończonych (FEM); tolerancja uszkodzeń

# NUMERICAL VALIDATION OF DAMAGE PROPAGATION PROCESS IN TITANIUM-BASED FIBRE METAL LAMINATES SUBJECTED TO LOW VELOCITY IMPACT AND COMPRESSION AFTER IMPACT

Piotr Podolak<sup>1</sup>, Patryk Jakubczak<sup>1</sup>, Jarosław Bieniaś<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Lublin University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Materials Engineering,*

*ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Poland*

*corresponding author: Piotr Podolak, e-mail: p.podolak@pollub.pl*

The sensitivity of fiber-reinforced polymer composites (FRP) to low-velocity impact (LVI) causes a significant reduction in their mechanical properties (by as much as 60% of the original value). Therefore, the use of alternative materials such as fiber-metal laminates (FML) is considered. These laminates, by alternating layers of metal and composite, better absorb impact energy, resulting in significantly less damage compared to FRP. Research conducted by the team showed that in FML, the degree of mechanical property reduction is lower than in FRP and revealed the stage of the compression after impact (CAI) process where damage develops most intensely, although further qualitative and quantitative assessment of damage in real time using experimental methods was limited.

The aim of the research was to develop a numerical model using the finite element method (FEM), focused on monitoring damage mechanisms and their changes in volume or area in FRP and FML laminates subjected to LVI and CAI. The high consistency of the simulations with experimental results, combined with the so far established knowledge on FRP and FML fractography, and the characteristics of the CAI process, allowed for a description of damage propagation in FML subjected to LVI and CAI. In the damage zone induced by the impact, further damage propagation occurred, and most of the delamination area involved the separation surfaces between metal and composite, away from the impact surface. The greatest volume of composite layers was damaged due to matrix tension during buckling, but the main contributors to the loss of load-carrying capacity were fiber damage and the surrounding matrix due to compression, which occurred along a line connecting the edges of the laminate to the point of impact. Additionally, it was noted that the type of fiber used affects the FML response. In the case of titanium-glass fibre laminates, it was demonstrated that at higher impact energies, damage propagation does not occur at the point of impact but at the edges of the laminate. This was caused by stability loss and progressive buckling, which in high-stiffness titanium-carbon fibre laminates appeared later.

**Keywords:** fibre metal laminates (FML); compression after impact (CAI); damage analysis; finite element method (FEM); damage tolerance

# CZUJNIKI ŚWIATŁOWODOWE W POMIARACH I MONITOROWANIU MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH

Łukasz Bednarski<sup>1,2</sup>, Małgorzata Garbacka<sup>1</sup>, Rafał Sieńko<sup>3,1</sup>

<sup>1</sup> SHM System Sp. z o.o. Sp. kom., Kraków, Polska,

<sup>2</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Polska,

<sup>3</sup> Politechnika Krakowska, Polska

Ze względu na szybki rozwój nowoczesnej inżynierii, zdecydowanie wzrasta potrzeba stosowania nowatorskich materiałów, które jednocześnie łączą wytrzymałość z lekkością. Idealnymi kandydatami do tej roli okazały się materiały kompozytowe, które z powodzeniem są coraz częściej stosowane w wielu gałęziach inżynierii. Wraz z postępującym upowszechnieniem wykorzystywania materiałów kompozytowych, naturalnym staje się zapotrzebowanie na monitorowanie ich stanu, w celu zachowania bezpieczeństwa konstrukcji z nich powstałych.

Pośród wszystkich technik pomiarowych, technika światłowodowa bezsprzecznie spełnia wymogi stawiane systemom monitorowania materiałów kompozytowych, będąc często jedyną technologią, która może być w tym celu stosowana. Jako czujniki światłowodowe wykorzystuje się zarówno czujniki punktowe (siatki Bragga, ang. Fibre Bragg Grating – FBG) oraz czujniki ciągłe geometrycznie (ang. Distributed Fibre Optic Sensing – DFOS), przy czym rozwiązania te można stosować łącznie, tworząc hybrydowy system monitorowania. Do podstawowych zalet światłowodowych systemów monitorowania należą m.in. niezwykle wysoka czułość, bardzo dobry stosunek osiąganego zakresu pomiarowego do rozdzielczości, pomijalna masa oraz znikomy przekrój elementu pomiarowego. Co więcej, ze względu na odporność na czynniki środowiskowe, czujniki światłowodowe mogą być bezpiecznie stosowane w warunkach ekstremalnych. Dodatkowo, możliwość umieszczania czujników wewnątrz konstrukcji kompozytowych, jeszcze na etapie ich wytwarzania, bez wpływu na ich pracę i bez zmiany ich macierzystych właściwości, bardzo dobrze wpisuje się w konwencję tworzenia materiałów inteligentnych.

**Słowa kluczowe:** monitorowanie stanu bezpieczeństwa konstrukcji, czujniki światłowodowe, DFOS, FBG

# FIBER OPTIC SENSORS FOR MEASURING AND MONITORING COMPOSITE MATERIALS

Łukasz Bednarski<sup>1,2</sup>, Małgorzata Garbacka<sup>1</sup>, Rafał Sieńko<sup>3,1</sup>

<sup>1</sup> *SHM System Sp. z o.o. Sp. kom., Kraków, Polska,*

<sup>2</sup> *Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Polska,*

<sup>3</sup> *Politechnika Krakowska, Polska*

Due to the rapid development of modern engineering, the need for innovative materials that combine strength with lightness at the same time is definitely increasing. Composite materials, which are increasingly used in many branches of engineering, turned out to be ideal candidates for this role. With the progressive popularization of the use of composite materials, it is becoming natural to need to monitor their condition in order to maintain the safety of structures made of them.

Among all measurement techniques, fiber optic technology unquestionably meets the requirements for monitoring systems for composite materials, and is often the only technology that can be used for this purpose. Both Fibre Bragg Grating (FBG) and Distributed Fibre Optic Sensing (DFOS) sensors are used as fibre optic sensors, and can be used together to form a hybrid monitoring system. The main advantages of fiber optic monitoring systems include, among others, extremely high sensitivity, a very good ratio of the achieved measurement range to resolution, negligible weight and a negligible cross-section of the measuring element. Furthermore, due to their environmental resistance, fiber optic sensors can be safely used in extreme conditions. In addition, the ability to place sensors inside composite structures, still at the stage of their production, without affecting their operation and without changing their initial properties, fits very well into the convention of creating smart materials.

**Keywords:** Structural Health Monitoring, fibre optic sensors, DFOS, FBG

## CHEMICZNA MODYFIKACJA TRANSPARENTNYCH POWŁOK SILIKONOWO-EPOKSYDOWYCH ZWIĄZKAMI KRZEMOORGANICZNYMI W CELU UZYSKANIA WŁAŚCIWOŚCI ANTYOBLODZENIOWYCH

Katarzyna Ziętkowska<sup>1</sup>, Bartłomiej Przybyszewski<sup>1</sup>, Dominik Grzęda<sup>1</sup>, Anna Boczkowska<sup>1</sup>,  
Malwina Liszewska<sup>2</sup>, Daria Pakuła<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Materiałowej, Politechnika Warszawska, ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa,  
Polska, katarzyna.zietkowska.dokt@pw.edu.pl

<sup>2</sup> Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki, ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa,  
Polska

<sup>3</sup> Centrum Zaawansowanych Technologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul.  
Uniwersytetu Poznańskiego 10, 61-614 Poznań, Polska

W ostatnim czasie, w związku z dążeniem do jak najwyższej redukcji emisji dwutlenku węgla, technologia fotowoltaiczna stała się jedną z najważniejszych metod wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. Jednym z nierozwiązanych problemów w tej dziedzinie przemysłu negatywnie wpływającym na wydajność modułów jest akumulacja lodu i śniegu. Obecnie stosowane metody odladzające są nieefektywne oraz zanieczyszczają środowisko. Obiecującym rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie powierzchni o właściwościach antyoblodzeniowych. W pracy opracowano transparentne powłoki epoksydowo-silikonowe modyfikowane dwu- i trójfunkcyjnymi oktasferokrzemianami. Użyte do modyfikacji związki krzemooorganiczne poprzez obecność reaktywnych oraz niskopolarnych grup funkcyjnych zapewniają kompatybilność z osnową polimerową oraz mogą ukierunkowywać właściwości powierzchniowe. W pracy scharakteryzowano właściwości lodofobowe powłok poprzez wyznaczenie sił adhezji lodu (IA) oraz czasów opóźnienia zamarzania kropel wody (FDT). Jedną z modyfikowanych powierzchni odnotowała 43% redukcję wartości IA oraz 70-krotny wzrost wartości FDT, co udowodniło jej wysoki potencjał antyoblodzeniowy. W pracy przedstawiono również analizę właściwości hydrofobowych i chropowatości powierzchni oraz korelacje między właściwościami powierzchniowymi. Ponadto wykazano, że przeprowadzone modyfikacje chemiczne nie pogorszyły właściwości optycznych powłok, co jest kluczowym warunkiem dla zastosowań na moduły fotowoltaiczne.

**Słowa kluczowe:** transparentne powłoki, lodofobowość, oktasferokrzemiany

# CHEMICAL MODIFICATION OF TRANSPARENT SILICONE-EPOXY COATINGS WITH ORGANOSILICON COMPOUNDS FOR ANTI-ICING PROPERTIES

Katarzyna Ziętkowska<sup>1</sup>, Bartłomiej Przybyszewski<sup>1</sup>, Dominik Grzęda<sup>1</sup>, Anna Boczkowska<sup>1</sup>,  
Malwina Liszewska<sup>2</sup>, Daria Pakuła<sup>5</sup>

<sup>1</sup> *Warsaw University of Technology, Faculty of Materials Science and Engineering, Wołoska 141, 02-507 Warsaw, Poland, katarzyna.zietkowska.dokt@pw.edu.pl*

<sup>2</sup> *Military University of Technology, Institute of Optoelectronics, Kaliskiego 2, 00-908 Warsaw, Poland*

<sup>5</sup> *Center for Advanced Technologies, Adam Mickiewicz University in Poznań, Uniwersytetu Poznańskiego 10, 61-614 Poznań, Poland*

In recent years, with the drive to reduce carbon emissions, photovoltaic technology has become one of the most important methods of generating electricity using renewable sources. One of the unsolved problems in this area of the industry negatively affecting photovoltaic panels performance is the accumulation of ice and snow. Current de-icing methods are inefficient and polluting the environment. A promising solution to this problem is using surfaces with anti-icing properties. In this work, transparent epoxy-silicone coatings modified with bi- and tri-functional octaspherosilicates were developed. The organosilicon compounds used for modification through the presence of reactive and low-polar functional groups provide compatibility with the polymer matrix and can direct the surface properties. In this work, the icephobic properties of the coatings were characterized by ice adhesion strengths (IA) and water freezing delay times of water droplets (FDT). One of the modified surfaces achieved a 43% reduction in IA values and a 70 times increase in FDT values, proving its high anti-icing potential. The work also presents an analysis of hydrophobic properties, surface roughness and correlations between surface properties. In addition, it was shown that the chemical modifications carried out did not deteriorate the optical properties of the coatings, which is a key parameter for photovoltaic applications.

**Keywords:** transparent coatings, icephobicity, octaspherosilicates

# NOWATORSKI PROJEKT NISKOCIŚNIENIOWEGO ZBIORNIKA KOMPOZYTOWEGO Z OTWOREM REWIZYJNYM – PROJEKTOWANIE, WYTWARZANIE I BADANIA

Michał Barcikowski<sup>1</sup>, Wojciech Błażejowski<sup>1</sup>, Paweł Bury<sup>1</sup>, Grzegorz Lesiuk<sup>1</sup>, Marek Lubecki<sup>1</sup>,  
Zuzanna Pacholec<sup>1</sup>, Karolina Paczkowska<sup>1</sup>, Michał Smolnicki<sup>1</sup>, Paweł Stabla<sup>1</sup>, Michał  
Stosiak<sup>1</sup>, Krzysztof Towarnicki<sup>1</sup>, Joanna Warycha<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Wrocław, Polska. [michal.barcikowski@pwr.edu.pl](mailto:michal.barcikowski@pwr.edu.pl)

W pracy przedstawiono nowatorską konstrukcję niskociśnieniowych zbiorników kompozytowych z otworem rewizyjnym. Zbiorniki mają niesymetryczne dennice. Na jednej dennicy otwarcie w nawoju jest znacznie większe niż na drugiej i stanowi mniej więcej połowę średnicy cylindrycznej sekcji zbiornika. Projekt ten wymaga nowego podejścia do wytwarzania takich konstrukcji. W tym badaniu przeprowadzono analizę dwuetapową. W pierwszej kolejności wyprodukowano małogabarytowe zbiorniki ciśnieniowe (S) i zatwierdzono projekt wzmocnienia dennicy. Następnie powstał ostateczny projekt zbiornika (M) o pojemności około 700 litrów. Zbiorniki zostały wykonane z żywicy epoksydowej Huntsman Araldite LY 1564 SP / Aradur 3486 i włókna szklanego Vetrotex w technologii nawijania na polipropylenowym linerze. Zwężka kołnierzowa i wzmocnienie dennicy dolnej wykonane zostały technologią laminowania kontaktowego z tkanin szklanych UD i QX.

Zbiorniki początkowo obliczono na ciśnienie rozrywające wynoszące 21 barów. Projekt zbiornika poddano analizie naprężeniowej metodą elementów skończonych. Podczas testów ciśnienia rozrywającego mierzono odkształcenia za pomocą światłowodów (FBG) i tensometrów. Dodatkowo do przewidywania rodzajów i lokalizacji uszkodzeń wykorzystano emisję akustyczną. Na koniec przeprowadzono ocenę mikroskopową poszczególnych części zbiorników. Zaproponowany nowatorski projekt wzmocnienia kopuły wokół otworu rewizyjnego spełnił wymagania wytrzymałościowe i sztywności. Z sukcesem przetestowano także integrację czujników światłowodowych.

**Słowa kluczowe:** kompozytowe zbiorniki ciśnieniowe, emisja akustyczna, czujniki światłowodowe



## INNOVATIVE DESIGN OF A LOW-PRESSURE COMPOSITE TANK WITH AN INSPECTION OPENING – DESIGN, MANUFACTURING AND TESTING

Michał Barcikowski<sup>1</sup>, Wojciech Błażejowski<sup>1</sup>, Paweł Bury<sup>1</sup>, Grzegorz Lesiuk<sup>1</sup>, Marek Lubecki<sup>1</sup>, Zuzanna Pacholec<sup>1</sup>, Karolina Paczkowska<sup>1</sup>, Michał Smolnicki<sup>1</sup>, Paweł Stabla<sup>1</sup>, Michał Stosiak<sup>1</sup>, Krzysztof Towarnicki<sup>1</sup>, Joanna Warycha<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, Wrocław, Polska. [michal.barcikowski@pwr.edu.pl](mailto:michal.barcikowski@pwr.edu.pl)*

The paper presents an innovative design of low-pressure composite tanks with an inspection opening. The tanks have asymmetrical domes. On one dome, the opening in the overwrap is much larger than on the other and is approximately half the diameter of the cylindrical section of the tank. This project requires a new approach to producing such structures. A two-step analysis was performed in this study. First, small-size pressure vessels (S) were manufactured and the dome reinforcement design was approved. Then, the final design of the tank (M) with a capacity of approximately 700 liters was created. The tanks were made of Huntsman Araldite LY 1564 SP / Aradur 3486 epoxy resin and Vetrotex glass fiber using filament winding technology on a polypropylene liner. The flange reducer and the reinforcement of the lower head are made by hand lay-up technology from UD and QX glass fabrics.

The tanks were initially designed for a burst pressure of 21 bar. The tank design was subjected to stress analysis using the finite element method. During burst pressure tests, strains were measured using optical fiber sensors (FBG) and strain gauges. Additionally, acoustic emission was used to predict the types and locations of damage. Finally, a microscopic assessment of individual parts of the tanks was performed. The proposed innovative design of strengthening the dome around the inspection opening met the strength and stiffness requirements. The integration of fiber optic sensors was also successfully tested.

**Keywords:** composite pressure vessels, acoustic emission, fiber optic sensors

# WYZNACZENIE ORAZ WERYFIKACJA WŁASNOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH KOMPOZYTU POLIESTROWO-SZKLANEGO WYTWORZONEGO W TECHNOLOGII NAWIJANIA

Michał Krzysztoporski<sup>1</sup>, Karolina Paczkowska<sup>1</sup>, Monika Mszyca<sup>1</sup>, Zuzanna Pacholec<sup>1</sup>,  
Wojciech Błażejowski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Politechnika Wroclawska, Wroclaw, Polska.*  
*michal.krzysztoporski@pwr.edu.pl*

Wykorzystanie materiałów kompozytowych w dzisiejszym świecie stale rośnie. Jedną z technik, którą wykorzystuje się do produkcji wyrobów kompozytowych, jest nawijanie włókna. Służy ona najczęściej do wykonywania elementów osiowosymetrycznych, np.: zbiorników, czy rur, ale m.in. również do kształtek tj. kolanka, czy trójniki. To sprawia, że jest ona szczególnie atrakcyjna tam, gdzie zachodzi potrzeba magazynowania lub przesyłania gazów pod dużym ciśnieniem. Ze względu na duże konsekwencje potencjalnej awarii, wysokie koszty materiałów oraz utylizacji odpadów często przeprowadzane są analizy MES. Szczególnym wyzwaniem jest określenie własności wytrzymałościowych badanego materiału. W pracy przedstawiono procedurę wykonywania płyt metodą nawijania, w celu uzyskania płaskich próbek do badań wytrzymałościowych. Następnie opisano badania, które posłużyły do określenia parametrów wytrzymałościowych, niezbędnych do przeprowadzenia symulacji. Jako że struktura kompozytu nawijanego na płaski rdzeń różni się od tej uzyskanej za pomocą nawinięcia na rdzeń osiowosymetryczny, niezbędna jest również procedura weryfikacji uzyskanych parametrów. W tym celu wykonano symulację MES rozciągania pierścieni wg. normy ASTM D2290, a następnie porównano otrzymane wyniki z danymi eksperymentalnymi. Wysoka korelacja wyników analizy MES z eksperymentem pokazuje, że zastosowana w pracy metoda wykorzystująca płaskie nawijane płyty może być z powodzeniem wykorzystywana do określania własności wytrzymałościowych nawijanego kompozytu na potrzeby analiz MES.

**Słowa kluczowe:** nawijanie włókna, metoda elementów skończonych, symulacje

## Literatura:

1. ASTM D 2290: Standard Test Method for Apparent Hoop Tensile Strength of Plastic or Reinforced Plastic Pipe

## IDENTIFICATION AND VERIFICATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF FILAMENT WOUND GFRP

Michał Krzysztoporski<sup>1</sup>, Karolina Paczkowska<sup>1</sup>, Monika Mszyca<sup>1</sup>, Zuzanna Pacholec<sup>1</sup>,  
Wojciech Błażejowski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland.*  
*michal.krzysztoporski@pwr.edu.pl*

The use of composite materials in the world today is continuously growing. One of the techniques used for the production of composite products is filament winding. It is most commonly used for manufacturing axisymmetric elements such as pressure vessels or pipes, but also for shapes like elbows or tees. This makes it particularly attractive where there is a need to store or transmit gases under high pressure. Due to the significant consequences of potential failures, high material costs, and waste disposal, finite element analysis (FEA) is often performed. One of the challenges is to determine the mechanical properties of the tested material. The paper presents a procedure for making plates using the winding method to obtain flat samples for strength testing. Then, the tests used to determine the strength parameters necessary for the simulation are described. Since the structure of the composite wound on a flat core differs from that obtained by winding on an axisymmetric core, a procedure to verify the parameters obtained is also necessary. For this purpose, a finite element simulation of the tensile test of a ring sample was performed according to ASTM D2290, and then the obtained results were compared with the experimental data. The high correlation between the FEA results and the experiment demonstrates that the method using flat wound plates, as used in the paper, can successfully determine the strength properties of wound composites for FEA analysis purposes.

**Keywords:** filament winding, finite elements method, simulation

### References:

1. ASTM D 2290: Standard Test Method for Apparent Hoop Tensile Strength of Plastic or Reinforced Plastic Pipe

# WŁAŚCIWOŚCI ŻYWIC DIMETAKRYLANOWYCH DLA STOMATOLOGII MODYFIKOWANYCH CIEKŁYM KAUCZUKIEM

Monika Sowa<sup>1</sup>, Krzysztof Pałka,

<sup>1</sup>*Wydział Mechaniczny, Politechnika Lubelska, Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin,  
email: d577@pollub.edu.pl*

Stomatologiczne materiały kompozytowe w środowisku jamy ustnej są narażone na sorpcję wody, poprzez ciągły kontakt ze środowiskiem jamy ustnej. Proces ten może mieć w dłuższym okresie czasu szkodliwy wpływ na sieć polimerową, a tym samym powodować pogorszenie właściwości materiału. Celem niniejszej pracy jest ocena wpływu modyfikacji mieszaniny żywic dimetakrylanowych ciekłym kauczukiem na sorpcję wody oraz kąt zwilżania. Mieszanina żywic zawierała BisGMA (20% wag.) BisEMA (30% wag.) UDMA (30% wag.) oraz TEGDMA (20% wag.). Jako modyfikator zastosowano ciekły kauczuk Hypro 2000X168LC VTB w ilości 5%, 10%, 15% i 20% wagowych w stosunku do żywicy. Badania sorpcji wody przeprowadzono zgodnie z normą ISO 4049. Mieszalność i morfologię kauczuku oceniono metodą mikroskopową. Wyniki badań wykazały, że modyfikacja ciekłym kauczukiem istotnie ogranicza sorpcję wody oraz przyczynia się do zwiększenia hydrofobowości powierzchni co jest istotne z punktu widzenia klinicznego. W badanym zakresie stężeń kauczuku nie stwierdzono jego rozpuszczalności w żywicy, a dla 5% zawartości uzyskano najbardziej jednorodny rozkład domen. Przy większej ilości ciekłego kauczuku obserwowano tworzenie większej ilości domen oraz ich wielkości, zarówno przed jak i po polimeryzacji.

**Słowa kluczowe:** żywice dimetakrylanowe, ciekły kauczuk, mieszalność, zwilżalność, sorpcja wody

## Literatura:

1. Atai M., Nekoomanesh M., Hashemi S. A., Amani S., Physical and mechanical properties of an experimental dental composite based on a new monomer. *Dent. Mater.* 2004, 20, 663-668
2. Yiu C.K.Y., King N.M., Carrilho M.R.O., Sauro S., Rueggeberg F. A., Prati C., Carvalho R. M., Pashley D.H., Tay F., Effect of resin hydrophilicity and temperature on water sorption of dental adhesive resin. *Biomaterials* 2006, 27, 1695-1703.
3. Pałka K., Wpływ modyfikacji ciekłym kauczukiem na właściwości światłoutwardzalnych kompozytów stomatologicznych. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2020.

## PROPERTIES OF DIMETHACRYLATE RESINS FOR DENTISTRY MODIFIED WITH LIQUID RUBBER

Monika Sowa<sup>1</sup>, Krzysztof Pałka,

<sup>1</sup>Faculty of Mechanical Engineering, Lublin University of Technology, Nadbystrzycka 36, 20-618, Poland  
email: d577@pollub.edu.pl

Dental composite Dental composite materials in the oral environment are exposed to water sorption, through continuous contact with the oral environment. This process can have a detrimental effect on the polymer network in the long term and thus cause deterioration of the material properties. The aim of this study is to evaluate the effect of modifying a mixture of dimethacrylate resins with liquid rubber on water sorption and wetting angle. The resin blend contained BisGMA (20 wt%) BisEMA (30 wt%), UDMA (30 wt%) and TEGDMA (20 wt%). Hypro 2000X168LC VTB liquid rubber was used as a modifier in amounts of 5%, 10%, 15% and 20% by weight of the resin. Water sorption tests were carried out in accordance with ISO 4049. The miscibility and morphology of the rubber were assessed by microscopy. The results showed that modification with liquid rubber significantly reduces water sorption and contributes to an increase in surface hydrophobicity, which is clinically relevant. In the range of rubber concentrations tested, no solubility was found in the resin, and for 5% content the most homogeneous domain distribution was obtained. At higher amounts of liquid rubber, the formation of more domains and their size was observed, both before and after polymerisation.

**Keywords:** dimethacrylate resins, liquid rubber, miscibility, wettability, water sorption

### References:

1. Atai M., Nekoomanesh M., Hashemi S. A., Amani S., Physical and mechanical properties of an experimental dental composite based on a new monomer. *Dent. Mater.* 2004, 20, 663–668
2. Yiu C.K.Y., King N.M., Carrilho M.R.O., Sauro S., Rueggeberg F. A., Prati C., Carvalho R. M., Pashley D.H., Tay F., Effect of resin hydrophilicity and temperature on water sorption of dental adhesive resin. *Biomaterials* 2006, 27, 1695-1703.
3. Pałka K., Wpływ modyfikacji ciekłym kauczukiem na właściwości światłoutwardzalnych kompozytów stomatologicznych. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2020.

## WIELOFUNKCYJNE MATERIAŁY KOMPOZYTOWE DO ZASTOSOWAŃ W INŻYNIERII TKANKOWEJ

Aleksandra Korbut<sup>1</sup>, Sonia Zielińska<sup>1</sup>, Paweł Piszko<sup>1</sup>, Małgorzata Gazińska<sup>1</sup>, Marcin Włodarczyk<sup>2</sup>, Aleksandra Szwed-Georgiou<sup>2</sup>, Karolina Rudnicka<sup>2</sup>, Przemysław Płociński<sup>2</sup>, Agnieszka Sobczak-Kupiec<sup>3</sup>, Paulina Tymowicz-Grzyb<sup>4</sup>, Monika Biernat<sup>4</sup>, Konrad Szustakiewicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Wrocławska, Wydział Chemiczny, Katedra Inżynierii i Technologii Polimerów, Wrocław, Polska, [aleksandra.korbut@pwr.edu.pl](mailto:aleksandra.korbut@pwr.edu.pl)

<sup>2</sup> Uniwersytet Łódzki, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Instytut Mikrobiologii, Biotechnologii i Immunologii, Katedra Immunologii i Biologii Infekcyjnej, Łódź, Polska.

<sup>3</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki, Katedra Inżynierii Materiałowej, Kraków, Polska.

<sup>4</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Warszawa, Polska.

Przedmiotem prowadzonych badań było opracowanie nowych, polimerowo-ceramicznych biomateriałów kompozytowych przeznaczonych do zastosowań w medycynie regeneracyjnej. W niniejszej pracy otrzymano rusztowania komórkowe (skafoldy) polimerowe i kompozytowe na bazie poli(sebacynianu glicerolu) oraz polilaktydu. Zakres prac obejmował syntezę prepolimeru pPGS, badania nad sieciowaniem oraz wytwarzanie skafoldów porowatych (techniką termicznie indukowanej separacji faz z wymywaniem soli (TIPS-SL)) i włóknistych (techniką elektroprzędzenia). W pracy przeanalizowano wpływ warunków sieciowania na morfologię formowanych materiałów, przeprowadzono analizę FTIR, zbadano właściwości termiczne (DSC, TGA) oraz określono zwilżalność i nasiąkliwość. Porównano właściwości czystych matryc polimerowych oraz kompozytów. Ocenie poddano również cytozgodność otrzymanych materiałów w teście redukcji MTT względem fibroblastów mysich L929 oraz osteoblastów ludzkich hFob 1.19.

**Słowa kluczowe:** skafoldy porowate i włókniste, poliestry gliceryny i kwasów dikarboksylogowych

### Literatura:

1. S. Behtaj, F. Karamali, E. Masaeli, Y.G. Anissimov, M. Rybachuk: Electrospun PGS/PCL, PLLA/PCL, PLGA/PCL and pure PCL scaffolds for retinal progenitor cell cultivation, *Biochem. Eng. J.* **166** (2021) 107846

*Praca realizowana w ramach projektu „Wielofunkcyjne kompozyty aktywne biologicznie do zastosowań w medycynie regeneracyjnej układu kostnego” który jest realizowany w ramach programu TEAM-NET Fundacji na rzecz Nauki Polskiej współfinansowanego ze środków UE pochodzących z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój. POIR.04.04.00-00-16D7/18-01*

## MULTIFUNCTIONAL COMPOSITE MATERIALS FOR APPLICATION IN TISSUE ENGINEERING

Aleksandra Korbut<sup>1</sup>, Sonia Zielińska<sup>1</sup>, Paweł Piszko<sup>1</sup>, Małgorzata Gazińska<sup>1</sup>, Marcin Włodarczyk<sup>2</sup>, Aleksandra Szwed-Georgiou<sup>2</sup>, Karolina Rudnicka<sup>2</sup>, Przemysław Płociński<sup>2</sup>, Agnieszka Sobczak-Kupiec<sup>3</sup>, Paulina Tymowicz-Grzyb<sup>4</sup>, Monika Biernat<sup>4</sup>, Konrad Szustakiewicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wrocław University of Science and Technology (WUST), Faculty of Chemistry, Department of Polymer Engineering and Technology, Wrocław, Poland, [aleksandra.korbut@pwr.edu.pl](mailto:aleksandra.korbut@pwr.edu.pl)

<sup>2</sup> University of Łódź, Faculty of Biology and Environmental Protection, Department of Immunology and Infectious Biology, Łódź, Poland.

<sup>3</sup> Cracow University of Technology, Faculty of Materials Engineering and Physics, Department of Materials

<sup>4</sup> Łukasiewicz Research Network Institute of Ceramics and Building Materials, Biomaterials Research Group, Ceramic and Concrete Division, Warsaw, Poland.

The aim of the research was the development of new polymer-ceramic composite biomaterials for applications in regenerative medicine. In this work, polymer and composite scaffolds based on poly(glycerol sebacate) and polylactide were obtained. The scope of work included the synthesis of the pPGS prepolymer, cross-linking studies and the fabrication of porous scaffolds (using the thermally induced phase separation with salt leaching technique (TIPS-SL)) and fibrous scaffolds (using the electrospinning technique). The study analyzed the effect of cross-linking conditions on the morphology of the formed materials, FTIR analysis was performed, thermal properties were examined (DSC, TGA) and wettability and water absorption were determined. Properties of pure polymer matrices and composites were compared. The cytocompatibility of the obtained materials in the MTT reduction assay against L929 mouse fibroblasts and hFob 1.19 human osteoblasts was also evaluated.

**Keywords:** porous and fibrous scaffolds, polyesters of glycerol and dicarboxylic acids

### References:

1. S. Behtaj, F. Karamali, E. Masaeli, Y.G. Anissimov, M. Rybachuk: Electrospun PGS/PCL, PLLA/PCL, PLGA/PCL and pure PCL scaffolds for retinal progenitor cell cultivation, *Biochem. Eng. J.* **166** (2021) 107846

*This research was funded by the Foundation for Polish Science through the European Union under the European Regional Development Fund, within the TEAM-NET program entitled "Multifunctional biologically active composite for application in bone regenerative medicine." (POIR.04.04.00-00-16D7/18-00).*

## WITRYMERY EPOKSYDOWE - PRZEŁOM W TECHNOLOGII MATRYC KOMPOZYTOWYCH

Simona Furgol<sup>1</sup>, Natalia Biernat<sup>1</sup>, Damian Kiełkiewicz<sup>1</sup>, Agata Krasuska<sup>1</sup>, Ewa Sabura<sup>1</sup>,  
Katarzyna Gębura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Ciepłej Syntezy Organicznej "Blachownia",  
Kędzierzyn-Koźle, Polska.

e-mail: [simona.furgol@icso.lukasiewicz.gov.pl](mailto:simona.furgol@icso.lukasiewicz.gov.pl)

Rosnące zapotrzebowanie na materiały o niższej uciążliwości dla środowiska prowadzi do poszukiwania alternatyw dla tradycyjnych polimerów termoutwardzalnych. Witrymery to nowa klasa materiałów charakteryzujących się posiadaniem w swej strukturze dynamicznych wiązań kowalencyjnych, umożliwiających przetwarzanie i recykling produktów wytworzonych z ich udziałem. Łącząc bardzo dobre parametry mechaniczne usieciowanych tworzyw termoutwardzalnych z możliwościami recyklingu zarezerwowanymi dotychczas dla termoplastów, witrymery wpisują się w zasady gospodarki obiegu zamkniętego, oferując obiecującą alternatywę dla konwencjonalnych termoutwardzalnych tworzyw sztucznych. Opracowane kompozycje żywic epoksydowych i epoksydowanych olejów roślinnych, utwardzanych za pomocą kwasów i bezwodników organicznych w obecności katalizatorów transestryfikacji, wykazują obiecujące właściwości mechaniczne i wysoką stabilność termiczną. Prowadzone próby recyklingu pokazują możliwość wielokrotnego przetworzenia, bez znaczącego pogorszenia ich właściwości. Badania te zagłębiają się w chemię i technologię witrymerów, torując drogę do bardziej ekologicznej przyszłości, w której zrównoważony rozwój i możliwość recyklingu na nowo definiują innowacje materiałowe.

**Słowa kluczowe:** witrymer, żywica epoksydowa, kompozyt, recykling

### Literatura:

1. Dai, C.; Shi, Y.; Li, Z.; Hu, T.; Wang, X.; Ding, Y.; Yan, L.; Liang, Y.; Cao, Y.; Wang, P. The Design, Synthesis, and Characterization of Epoxy Vitrimers with Enhanced Glass Transition Temperatures. *Polymers* **2023**, *15*, 4346. <https://doi.org/10.3390/polym1522434>

Niniejszy projekt otrzymał dofinansowanie z programu Horyzont Europa, temat HORIZON-CL4-2021-RESILIENCE-01-11, w ramach umowy o dotację nr 101058371, projekt ESTELLA „DESIGN of bio-based Thermoset polymer with rEcyCLing capabiLity by dynAmic bonds for bio-composite manufacturing.”



## EPOXY VITRIMERS - A BREAKTHROUGH IN COMPOSITE MATRIX TECHNOLOGY

Simona Furgol<sup>1</sup>, Natalia Biernat<sup>1</sup>, Damian Kiełkiewicz<sup>1</sup>, Agata Krasuska<sup>1</sup>, Ewa Sabura<sup>1</sup>,  
Katarzyna Gębura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Lukasiewicz Research Network-The Institute of Heavy Organic Synthesis "Blachownia",  
Kędzierzyn-Koźle, Poland.*

*e-mail: [simona.furgol@icso.lukasiewicz.gov.pl](mailto:simona.furgol@icso.lukasiewicz.gov.pl)*

The growing demand for materials with lower environmental impact is leading to a search for alternatives to traditional thermosetting polymers. Vitrimers are a new class of materials characterised by the possession of dynamic covalent bonds in their structure, allowing products made with them to be processed and recycled. By combining the very good mechanical properties of cross-linked thermosetting plastics with the recycling possibilities previously reserved for thermoplastics, vitrification fits into the principles of a closed loop economy, offering a promising alternative to conventional thermosetting plastics. The developed compositions of epoxy resins and epoxidized vegetable oils, cured with acids and organic anhydrides in the presence of transesterification catalysts, show promising mechanical properties and high thermal stability. Recycling trials carried out show the possibility of multiple processing, without significant deterioration of their properties. This research delves into the chemistry and technology of vitrification, paving the way to a greener future where sustainability and recyclability redefine material innovation.

**Keywords:** vitrimer, epoxy resin, composite, recycling

### References:

1. Dai, C.; Shi, Y.; Li, Z.; Hu, T.; Wang, X.; Ding, Y.; Yan, L.; Liang, Y.; Cao, Y.; Wang, P. The Design, Synthesis, and Characterization of Epoxy Vitrimers with Enhanced Glass Transition Temperatures. *Polymers* **2023**, *15*, 4346. <https://doi.org/10.3390/polym1522434>

This project has received funding from the Horizon Europe programme, topic HORIZON-CL4-2021-RESILIENCE-01-11, under grant agreement number 101058371, project ESTELLA "DESIGN of bio-based Thermoset polymer with rEcyCLing capabLiTy by dynAmic bonds for bio-composite manufacturing"

# WYTWARZANIE MATERIAŁÓW KONSTRUKCYJNYCH Z WYKORZYSTANIEM ENERGOOSZCZĘDNEJ ZAAWANSOWANEJ TECHNOLOGII SPIEKANIA FAST/SPS

Paweł Hyjek, Iwona Sulima

*Institut Nauk Technicznych, Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie,  
ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków, Polska.  
pawel.hyjek@uken.krakow.pl*

Na podstawie wykonanych badań na wybranych materiałach konstrukcyjnych zaprezentowano zalety i możliwości wytwórcze technologii spiekania FAST/SPS (Field Assisted Sintering Technique/Spark Plasma Sintering). Materiały o osnowie niklowo-aluminiowej i tytanowo-aluminiowej wytwarzano w warunkach próżni stosując urządzenie laboratoryjne LSP100 (prod. dr Fritsch) wykorzystujące prąd stały impulsowy (DC). W celu oceny jakości wytworzonych materiałów i kompozytów wyznaczano ich parametry takie jak gęstość, porowatość, moduł Younga, twardość. Prowadzono badania trybologiczne (ball-on-disc) wraz z wyznaczaniem przy użyciu mikroskopu konfokalnego wielkości (objętości) ubytku materiału w warunkach tarcia. Prowadzono obserwacje mikrostrukturalne nowo wytworzonych materiałów konstrukcyjnych. Zaprezentowano zalety spiekania FAST/SPS wpływające na jej energooszczędność jak i na jakość otrzymanych tą technologią popularnych materiałów konstrukcyjnych w porównaniu do innych klasycznych metod wytwórczych.

**Słowa kluczowe:** wytwarzanie materiałów konstrukcyjnych, spiekanie FAST/SPS, TiAl, NiAl

Badania wykonano na aparaturze zakupionej z dotacji celowej przyznanej przez Ministerstwo Edukacji i Nauki na finansowanie inwestycji związanych z działalnością naukową na zakup aparatury naukowo-badawczej pt. „Innowacyjna platforma badawczo-naukowa dla nowej klasy nanokompozytów” (7216/IA/SP/2021).

## PRODUCTION OF ENGINEERING MATERIALS USING ENERGY-SAVING ADVANCED FAST/SPS SINTERING TECHNOLOGY

Paweł Hyjek, Iwona Sulima

*Institute of Technology, University of the National Education Commission, Krakow  
Podchorążych 2 St., 30-084 Krakow, Poland;  
pawel.hyjek@uken.krakow.pl*

Based on the tests performed on selected construction materials, the advantages and production possibilities of the FAST/SPS (Field Assisted Sintering Technique/Spark Plasma Sintering) sintering technology were presented. Nickel-aluminum and titanium-aluminum matrix materials were produced in vacuum conditions using the LSP100 laboratory device (produced by Dr. Fritsch) using pulsed direct current (DC). In order to assess the quality of the manufactured materials and composites, their parameters such as density, porosity, Young's modulus and hardness were determined. Tribological tests (ball-on-disc) were carried out, along with determining the size (volume) of material loss under friction conditions using a confocal microscope. Microstructural observations of newly produced engineering materials were carried out. The advantages of FAST/SPS sintering affecting its energy efficiency and the quality of popular engineering materials produced with this technology compared to other classic manufacturing methods were presented.

**Keywords:** production of engineering materials, sintering FAST/SPS, TiAl, NiAl

The purchase of scientific and research equipment was performed under the project "Innovative research and scientific platform for a new class of nanocomposites", financed by the Ministry of Education and Science, contract number 7216/IA/SP/2021.

## WŁAŚCIWOŚCI ORAZ MECHANIZMY UMOCNIENIA KOMPOZYTÓW NA OSNOWIE NIKLU WZMOCNIONYCH CZĄSTKAMI STALI SZYBKOTNĄCEJ

Marek Konieczny<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Metaloznawstwa i  
Technologii Materiałowych, Al. 1000-Jecia P.P. 7, 25-314 Kielce, Polska  
E-mail: mkon@tu.kielce.pl*

Stosując metalurgię proszków wytworzono kompozyty z osnową niklową wzmocnione cząstkami stali szybkoctnącej T15. Prowadzono systematyczne badania wpływu temperatury spiekania i zawartości cząstek stali T15 na mikrostrukturę i właściwości kompozytów. Wyniki wykazały, że wielkość ziaren niklu w kompozytach została skutecznie rozdrobniona przez dodatek cząstek stali T15 w porównaniu do czystego spiekane go niklu. Zaobserwowano także, że cząstki stali T15 po spiekaniu we wszystkich stosowanych temperaturach (850, 900 lub 950°C) połączyły się dyfuzyjnie z osnową niklową. Pomiędzy cząstkami stali a osnową niklową występowały dwa obszary: roztwór stały pierwiastków stopowych w niklu oraz związek międzymetaliczny  $FeNi_3$ , których grubość powoli zwiększała się wraz ze wzrostem temperatury spiekania. Ponadto wraz ze wzrostem temperatury spiekania stopniowo zwiększała się gęstość względna i twardość kompozytów. Po spiekaniu w temperaturze 950°C kompozyt Ni+20%wag. T15 osiągnął maksymalną twardość wynoszącą 135 HB, czyli o około 52% wyższą niż czysty spiekany nikiel. Wprowadzenie coraz większej ilości cząstek stali T15 w połączeniu ze spiekaniem spowodowało wzrost granicy plastyczności spiekanych kompozytów. Wraz ze wzrostem temperatury spiekania z 850 do 950°C wytrzymałość kompozytów na ściskanie początkowo rosła, a następnie spadła. Kompozyt zawierający 20% wag. cząstek stali T15 spiekany w temperaturze 900°C uzyskał najwyższą wytrzymałość na ściskanie wynoszącą 445 MPa, czyli o około 50% wyższą niż czysty spiekany nikiel. Dodatkowo przeanalizowano wpływ mechanizmów wzmacniających, takich jak przenoszenie obciążenia, rozdrobnienie ziaren i niedopasowanie rozszerzalności cieplnej faz, na właściwości mechaniczne kompozytów Ni+T15.

**Słowa kluczowe:** kompozyty o osnowie metalowej, nikiel, stal szybkoctnąca T15, właściwości mechaniczne, mechanizmy umocnienia

# PROPERTIES AND STRENGTHENING MECHANISMS OF NICKEL MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH HIGH SPEED STEEL PARTICLES

Marek Konieczny<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Kielce University of Technology, Faculty of Mechatronics and Mechanical Engineering, Department of Metal Science and Materials Technologies, 1000-lecia PP Ave. 7, 25-314 Kielce, Poland  
E-mail: mkon@tu.kielce.pl*

Nickel matrix composites reinforced with T15 high-speed steel (HSS) particles were prepared using powder metallurgy. A systematic investigation was conducted into the effects on the microstructure and properties of the composites of the sintering temperature and T15 HSS particle content. The results indicated that the grain size of nickel in composites was effectively refined by the addition of T15 HSS particles in comparison to pure sintered nickel. It was also observed that the T15 HSS particles, after sintering at all used temperatures (850, 900 or 950 °C), were diffusion-bonded to the nickel matrix. There were two distinct layers between the reinforced particles and the nickel matrix: the solid solution of elements in nickel and the FeNi<sub>3</sub> intermetallic compound, whose thickness slowly increased with the increase in sintering temperature. Also, as the sintering temperature increased, the relative density and hardness of the composites gradually increased. When sintered at 950 °C, the Ni+20 wt.%T15 composite achieved a maximum hardness of 135 HB, which was about 52% higher than that of pure sintered nickel. The introduction of an increasing amount of T15 HSS particles combined with sintering resulted in an increase in the yield strength of the sintered composites. As the sintering temperature increased from 850 to 950 °C, the compressive strength of the composites initially increased and then decreased. The composite containing 20 wt.%T15 HSS particles sintered at 900 °C achieved the highest compressive strength of 445 MPa, which was about 50% higher than that of pure sintered nickel. Additionally, the primary contributions of strengthening mechanisms such as load transfer, grain refinement and thermal expansion mismatch to the mechanical properties of Ni+T15 HSS composites were analysed.

**Keywords:** metal matrix composites, nickel, T15 high-speed steel, mechanical properties, strengthening mechanisms

## KOMPOZYTY PVC NAPEŁNIANE PRZEMIAŁEM Z ŁOPAT WIRNIKÓW WIATRAKÓW

Volodymyr Krasinskyi, Krzysztof Bajer, Rafał Malinowski, Lauren Szymańska, Oksana Krasinska, Daniel Kaczor

*Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, Toruń, Polska*

Energia wiatrowa jest czystym, odnawialnym, niewyczerpalnym i wydajnym źródłem energii. Wraz z szybkim rozwojem energetyki wiatrowej rośnie zapotrzebowanie na łopaty turbin wiatrowych. Szacuje się, że na każdy 1 kW nowej energii potrzeba 10 kg materiału na łopaty, których okres użytkowania wynosi obecnie 20-25 lat. Po tym okresie łopaty będą wycofywane z eksploatacji i w ciągu kilku lat może znaleźć się na rynku ponad 40 tys. ton zużytych łopat. Obecnie łopaty turbin wiatrowych są wykonane głównie z termoutwardzalnych materiałów kompozytowych z osnową żywiczną wzmocnioną włóknem szklanym (GF), włóknem węglowym (CF) lub hybrydą GF/CF. Kompozyty te są jednak trudne do recyklingu, nie można ich ponownie stopić ani ponownie uformować. Obecne metody ich utylizacji to składowanie na wolnym powietrzu, na składowiskach lub spalanie. Metody te jednak uniemożliwiają racjonalne ponowne wykorzystanie zasobów i powodują zanieczyszczenie środowiska. Dla ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju najlepszym sposobem radzenia sobie ze zużytymi śmigłami jest ich recykling i ponowne użycie, dzięki czemu energia wiatrowa może stać się prawdziwą „czystą energią”.

Celem realizowanego projektu jest ustalenie możliwości bezpośredniego wykorzystania rozdrobnionego odpadu łopat wiatraków jako napełniacza do wtórnego PCW oraz zbadanie podstawowych właściwości otrzymanych kompozytów. Obecnie ustalono, że maksymalna ilość przemiału z łopat, jaką można dodać do plastyfikowanego PVC, wynosi 70-75% wag. Określono parametry wytrzymałościowe kompozytów przed jak i po modyfikacji.

**Słowa kluczowe:** odpady łopat turbin wiatrowych, recykling, polichlorek winylu, modyfikacja, włókno szklane.

**Podziękowania:** Praca wykonana w ramach projektu „Płyty budowlane z udziałem surowców wtórnych REC-WIND”, który dofinansowany ze środków budżetu MNISW w ramach dotacji celowej prezesa Centrum Łukasiewicz nr umowy dotacyjnej 1/Ł-IMP/IB/CL/2023.

## PVC COMPOSITES FILLED WITH WIND TURBINE BLADES WASTE

Volodymyr Krasinskyi, Krzysztof Bajer, Rafał Malinowski, Lauren Szymańska, Oksana Krasinska, Daniel Kaczor

*Lukasiewicz Research Network – Institute for Engineering of Polymer Materials and Dyes, Toruń, Poland*

Wind energy is a clean, renewable, inexhaustible, and efficient energy source. With the rapid development of wind energy, the demand for wind turbine blades is growing. It is estimated that for every 1 kW of new energy, 10 kg of material is needed for blades, whose useful life is currently 20-25 years. After this period, the shovels will be withdrawn from use, and within a few years, more than 40,000 tons of used blades may be on the market. Currently, wind turbine blades are made mainly of thermosetting composite materials with a resin matrix reinforced with glass fiber (GF), carbon fiber (CF), or a GF/CF hybrid. However, these composites are difficult to recycle and cannot be re-melted or re-molded. Current methods of their disposal include outdoor storage, landfills, or incineration. However, these methods prevent the rational reuse of resources and cause environmental pollution. For environmental protection and sustainability, the best way is to recycle and reuse blades, making wind energy a real "clean energy".

The project aims to determine the possibility of using shredded windmill blade waste as a filler for secondary PVC and examine the obtained composites' basic properties. It has been established that the maximum amount of blade grinding that can be added to plasticized PVC is 70-75% by weight. The strength parameters of the composites before and after modification were determined.

**Keywords:** wind turbine blades waste, recycling, polyvinyl chloride, modification, fiber glass.

**Acknowledgements:** Work was carried out as part of the project "Building panels with the use of secondary raw materials REC-WIND", co-financed from the budget of the Ministry of Science and Higher Education (Poland) under the targeted subsidy of the Łukasiewicz Center president, grant agreement no. 1/Ł-IMPID/CL/2023.

## WPŁYW ZMIENNYCH WARUNKÓW TEMPERATUROWYCH NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAW ŻYWICZNYCH MODYFIKOWANYCH MATERIAŁAMI POCHODZĄCYMI Z RECYKLINGU

Bernardeta Dębska<sup>1</sup>, Marina Altoé Caetano<sup>2</sup>, Guilherme Jorge Brigolini Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska,  
35-084 Rzeszów, Poznańska 2, Polska, bdebska@prz.edu.pl

<sup>2</sup> Uniwersytet Federalny Ouro Preto, Wydział Inżynierii Lądowej, Kampus Morro do Cruzeiro, CEP:  
35.400.000, Ouro Preto – Minas Gerais – Brazylia

Kompozyty polimerowe posiadają szereg cennych właściwości, które sprawiają, że znajdują szczególne miejsce w obszarze inżynierii lądowej. W odpowiedzi na aktualne trendy związane z budownictwem zrównoważonym oraz gospodarką niskoemisyjną, poszukuje się skutecznych sposobów modyfikacji tych kompozytów przez materiały pochodzące z recyklingu. Takie podejście z kolei sprawia, że materiały te wymagają systematycznego monitorowania ich trwałości, szczególnie w kontekście zmiennych temperatur użytkowania. W artykule opisano wyniki badań betonopodobnych kompozytów epoksydowych modyfikowanych materiałami odpadowymi zarówno w obrębie matrycy żywicznej – przez glikolizat otrzymany na bazie glikolu propylenowego i poli(tereftalanu etylenu) pochodzącego z odpadowych butelek po napojach, jak i kruszywa – aglomerat polietylenu z odpadowych woreczków oraz granulatu odpadowej gumy z opon samochodowych. Próbkę zapraw poddano ekspozycji w komorze klimatycznej na cykliczne (50 i 100 cykli) zmiany temperatury w zakresie od +20°C do +100°C oraz od -10°C do +10°C. Następnie przeprowadzono badania wytrzymałościowe, zmiany masy oraz przyczepności do podłoża betonowego. Wyniki badań potwierdzają korzystny wpływ modyfikacji, szczególnie gdy odbyła się ona w osnowie żywicznej. Dodatkowo cykle temperaturowe powodowały dotwardzenie próbek, a tym samym wzrost cech wytrzymałościowych. Bardziej niekorzystne dla materiału było oddziaływanie ujemnych temperatur, po 100 cyklach w większości przypadków odnotowano nieznaczne obniżenie parametrów mechanicznych, jednocześnie przyczepność pozostała na bardzo dobrym poziomie, dwukrotnie przekraczającym wymagany dla systemów naprawczych.

**Słowa kluczowe:** kompozyty polimerowe, zaprawy epoksydowe, parametry wytrzymałościowe, wytrzymałość na odrywanie, degradacja termiczna



## THE INFLUENCE OF VARIABLE TEMPERATURE CONDITIONS ON SELECTED PROPERTIES OF RESIN MORTARS MODIFIED WITH RECYCLED MATERIALS

Bernardeta Dębska<sup>1</sup>, Marina Altoé Caetano<sup>2</sup>, Guilherme Jorge Brigolini Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, Rzeszow University of  
Technology,*

*35-084 Rzeszow, Poznańska 2, Poland, bdebska@prz.edu.pl*

<sup>2</sup> *Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Engenharia Civil, Campus Morro do Cruzeiro,  
CEP: 35.400.000, Ouro Preto - Minas Gerais - Brasil*

Polymer composites have a number of valuable properties that make them find a special place in the field of civil engineering. In response to current trends related to sustainable construction and low-emission economy, effective ways of modifying these composites with recycled materials are being sought. This approach, in turn, makes these materials require systematic monitoring of their durability, especially in the context of variable operating temperatures. The article describes the results of testing of concrete-like epoxy composites modified with waste materials, both within the resin matrix – by glycolysate obtained on the basis of propylene glycol and poly(ethylene terephthalate) derived from waste beverage bottles, and aggregates - polyethylene agglomerate from waste bags and waste rubber granules from car tires. After seven days of maturation in laboratory conditions, the mortar samples were exposed in a climatic chamber to cyclic (50 and 100 cycles) temperature changes ranging from +20°C to +100°C and from -10°C to +10°C. Then, strength tests, changes in mass and adhesion to the cement concrete were carried out. The test results confirm the beneficial effect of modification, especially when it took place in a resin matrix. Positive temperature cycles resulted in post-hardening of the samples and thus an increase in strength characteristics. The impact of negative temperatures was more unfavorable for the material; after 100 cycles, in most cases, a slight decrease in mechanical parameters was noted, while the adhesion remained at a very good level, twice as high as that required for repair systems.

**Keywords:** polymer composites, epoxy mortars, strength parameters, pull-off strength, thermal degradation

## INTELIĞENTNY UL – POPRAWA WARUNKÓW ŻYCIA PSZCZÓŁ POPRZEZ WPROWADZENIE EKOLOGICZNEJ IZOLACJI TERMICZNEJ I ZDALNE WCZESNE WYKRYWANIE ANOMALII

Krystyna Wrześniewska-Tosik<sup>1(\*)</sup>, Tomasz Kowalewski<sup>1</sup>, Tomasz Mik<sup>1</sup>, Damian Walisiak<sup>2</sup>,  
Michalina Pałczyńska<sup>1</sup>, Sebastian Górecki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz- Łódzki Instytut Technologiczny, ul. Marii Skłodowskiej-Curie 19/27  
90-570 Łódź, Polska

<sup>2</sup> Intelligent Hives Sp. z o.o. pl. Kościuszki 6a, 99-200 Poddębice, Polska

(\*) Email: krystyna.wrzesniewska-tosik@lit.lukasiewicz.gov.pl

Smart Hive wykorzystuje system Inteligentnych Uli z ekologicznymi osłonami termicznymi wykonanymi z owczej wełny i odpadów z piór drobiowych, co poprawia zdrowie i długowieczność rodziny pszczoł. Ten zaawansowany system dostarcza kluczowych danych na temat stanu uli, pomagając pszczelarzom i naukowcom. Optymalizuje produkcję miodu, wzmacnia rodziny i jest przyjazny dla użytkownika. Stanowi trwały postęp w praktykach pszczelarskich. Projekt Intelligent Hives integruje system Internetu pszczoł (IoB) ze sprzętem elektronicznym, oprogramowaniem pośredniczącym i modułem prezentacyjnym do monitorowania kolonii pszczoł w czasie rzeczywistym. Jego cechą wyróżniającą jest ekologiczna osłona termoizolacyjna, wykonana z włókniny będącej mieszanką wełny owczej i odpadów z piór kurzych, zwiększająca trwałość ula i zdrowie pszczoł. Testowane w trudnych warunkach osłony te wykazały znaczną poprawę przeżywalności i aktywności pszczoł. System, łatwy do wdrożenia i wspierany przez sztuczną inteligencję do analizy danych, oznacza trwały postęp w pszczelarstwie, optymalizację warunków w ulach i zarządzanie zdrowiem pszczoł.

**Słowa kluczowe:** System Smart Hive, pióra drobiowe, ekologiczna izolacja termiczna

## SMART HIVE - IMPROVING BEE LIVING CONDITIONS THROUGH ECOLOGICAL THERMAL INSULATION AND REMOTE EARLY ANOMALY DETECTION

Krystyna Wrześniewska-Tosik<sup>1(\*)</sup>, Tomasz Kowalewski<sup>1</sup>, Tomasz Mik<sup>1</sup>, Damian Walisiak<sup>2</sup>,  
Michalina Pałczyńska<sup>1</sup>, Sebastian Górecki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Lukasiewicz - Lodz Institute of Technology, Ul. Marii Skłodowskiej-Curie 19/27 90-570 Łódź, Poland*

<sup>2</sup> *Intelligent Hives Sp. z o.o. pl. Kościuszki 6a, 99-200 Poddębice, Poland*

<sup>(\*)</sup> *Email: krystyna.wrzesniewska-tosik@lit.lukasiewicz.gov.pl*

Smart Hive employs the Intelligent Hives system with eco-friendly thermal covers made from sheep's wool and poultry feather waste, enhancing bee colony health and longevity. This advanced system provides critical data on hive conditions, aiding beekeepers and scientists. It optimizes honey production, strengthens colonies, and is user-friendly. It represents a sustainable leap in beekeeping practices. The Intelligent Hives project integrates the Internet of Bees (IoB) system with electronic hardware, middleware, and a presentation module for real-time bee colony monitoring. Its standout feature is an ecological thermal insulation cover, made from a nonwoven blend of sheep's wool and chicken feather waste, enhancing hive durability and bee health. Tested in harsh conditions, these covers proved to significantly improve bee survival and activity. The system, easily implemented and AI-supported for data analysis, marks a sustainable advancement in beekeeping, optimizing hive conditions and bee health management.

**Keywords:** Smart Hive system, feathers, eco-friendly thermal insulation

## KOMPOZYT DWUTLENEK CYRKONU-WĘGLIK WOLFRAMU – WPŁYW TECHNIKI SPIEKANIA NA SKŁAD FAZOWY I MIKROSTRUKTURĘ

Zbigniew Pędzich<sup>1</sup>, Alan Wilmański<sup>1</sup>, Agnieszka Wojteczko<sup>1</sup>, Sebastian Komarek<sup>1</sup>, Dariusz Zientara<sup>1</sup>, Dawid Kozielnik<sup>1</sup>, Waldemar Pyda<sup>1</sup>, Piotr Klimczyk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Kraków, Polska  
*pedzich@agh.edu.pl*

<sup>2</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz, Krakowski Instytut Technologiczny, Kraków, Polska

Kompozyt ziarnisty w układzie ZrO<sub>2</sub>-WC, zawierający istotne ilości dodatku węglkowego, został opracowany już 30 lat temu z wykorzystaniem techniki pracowania na gorąco (HP), która pozwalała na uniknięcie potencjalnych reakcji chemicznych zachodzących w tym układzie powyżej 1400 °C [1, 2]. Opracowano technologie gęstych spieków zawierających nawet do 50 % obj. węgla [3]. Materiał został skomercjalizowany i wykorzystywany obecnie jest do wytwarzania elementów maszyn, które w toku produkcji poddawane są obróbce elektroerozyjnej. Rozwój nowoczesnych technik spiekania, sugeruje weryfikację starej technologii pod kątem zastosowania nowych metod konsolidacji kompozytu. W pracy przedstawiony jest wpływ zastosowania spiekania technikami spiekania impulsowo-plazmowego (SPS – Spark Plasma Sintering) i HPHT (High Pressure – High Temperature) na mikrostrukturę i skład fazowy kompozytów zawierających 20 i 50 % obj. węgla wolframu. Przedstawione są wnioski dla potencjalnej modyfikacji technologii spiekane go kompozytu ZrO<sub>2</sub>-WC.

**Podziękowania:** Prace sfinansowano w ramach subwencji nr umowy AGH 16.16.160.557. Obserwacje mikroskopowe wykonano dzięki projektowi IDUB AGH nr umowy 1449.

**Słowa kluczowe:** kompozyt ziarnisty, dwutlenek cyrkonu, węgiel wolframu, mikrostruktura

### Literatura:

1. K. Haberko, Z. Pędzich, J. Dutkiewicz, M. Faryna, A. Kowal, „Microstructure of the particulate composites in the (Y)TZP-WC system”, w „Ceramic Microstructure: Control at the atomic level”, Ed. A. P. Tomsia, A. Gleaser, Plenum Press, 1998, New York, 741-748.
2. Z. Pędzich, K. Haberko, J. Piekarczyk, M. Faryna, L. Lityńska: „Zirconia matrix-tungsten carbide particulate composites manufactured by hot-pressing technique”, *Materials Letters* **36** (1998) 70–75.
3. G. Anné, S. Put, K. Vanmeensel, D. T. Jiang, J. Vleugels, O. Van der Biest, „Hard and tough ZrO<sub>2</sub>-WC composites from nanosized powders”, *Journal of the European Ceramic Society* **25** [1] (2005) 55-63.

## ZIRCONIA-TUNGSTEN CARBIDE COMPOSITE – THE INFLUENCE OF SINTERING TECHNIQUE ON PHASE COMPOSITION AND MICROSTRUCTURE

Zbigniew Pędzich<sup>1</sup>, Alan Wilmański<sup>1</sup>, Agnieszka Wojteczko<sup>1</sup>, Sebastian Komarek<sup>1</sup>, Dariusz Zientara<sup>1</sup>, Dawid Kozielnik<sup>1</sup>, Waldemar Pyda<sup>1</sup>, Piotr Klimczyk<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AGH University of Krakow, Faculty of Ceramics and Material Science, Krakow, Polska  
*pedzich@agh.edu.pl*

<sup>2</sup> Lukaszewicz Research Network, Krakow Institut of Technology, Krakow, Polska

The particulate composite in the ZrO<sub>2</sub>-WC system, containing significant amounts of carbide additive, was developed 30 years ago using the hot-pressing (HP) technique, which allowed to avoid potential chemical reactions occurring in this system above 1400 °C [1, 2]. Technologies for dense sinters containing even up to 50% of carbide by volume have been developed [3]. The material has been commercialized and is currently used to produce machine elements, which are subjected to electrical discharge machining during production. The development of modern sintering techniques suggests verification of old technology in terms of the use of new methods of composite consolidation. The paper presents the influence of the use of sintering techniques like Spark Plasma Sintering (SPS) and High Pressure - High Temperature (HPHT) on the microstructure and phase composition of composites containing 20 and 50% vol. tungsten carbide. Conclusions for a potential modification of the sintered ZrO<sub>2</sub>-WC composite technology are presented.

**Acknowledgement:** The work was carried out under the subsidy from the Polish State Ministry of Education and Science to the AGH University of Krakow (grant no. 16.16.160.557). Microscopic investigations were financed by the Excellence Initiative - Research University Programme (grant no. 1449).

**Keywords:** particulate composites, zirconia, tungsten carbide, microstructure

### References:

1. K. Haberko, Z. Pędzich, J. Dutkiewicz, M. Faryna, A. Kowal, „Microstructure of the particulate composites in the (Y)TZP-WC system”, w „Ceramic Microstructure: Control at the atomic level”, Ed. A. P. Tomsia, A. Gleaser, Plenum Press, 1998, New York, 741-748.
2. Z. Pędzich, K. Haberko, J. Piekarczyk, M. Faryna, L. Lityńska: „Zirconia matrix-tungsten carbide particulate composites manufactured by hot-pressing technique”, *Materials Letters* **36** (1998) 70–75.
3. G. Anné, S. Put, K. Vanmeensel, D. T. Jiang, J. Vleugels, O. Van der Biest, „Hard and tough ZrO<sub>2</sub>-WC composites from nanosized powders”, *Journal of the European Ceramic Society* **25** [1] (2005) 55-63.

## KOMPOZYTY METALICZNO-CERAMICZNE Z OSNOWĄ W POSTACI STOPU WYSOKOENTROPOWEGO UMACNIANE WĘGLIKIEM WOLFRAMU

Michał Żakowski, Grzegorz Cieślak, Dariusz Oleszak

*Wydział Inżynierii Materiałowej, Politechnika Warszawska, Warszawa, Polska  
michal.zakowski2.stud@pw.edu.pl*

W pracy wytworzono kompozyty metaliczno-ceramiczne, w których osnowę stanowił równomolowy wysokoentropowy stop AlCoCuFeNi, a fazą umacniającą był węgiel wolframu WC (5 i 10% obj.). Zastosowano metody topienie indukcyjnego i łukowego oraz autorską metodę wprowadzenia cząstek fazy ceramicznej do ciekłego stopu metalicznego. Metaliczna osnowa kompozytu wykazywała dwufazową strukturę złożoną z roztworów stałych o sieciach RPC i RSC. Badania mikroskopowe ujawniły dendrytyczną mikrostrukturę osnowy, w której cząstki WC były rozmieszczone nierównomiernie. Analiza wykazała również, że w osnowie występuje silna segregacja składu chemicznego, przestrzenie międzydendrytyczne są wzbogacone w miedź, a dendryty – w aluminium, nikiel i żelazo. Ponadto w mikrostrukturze badanych kompozytów, obok cząstek WC, zidentyfikowano dwa rodzaje wydzieleni o zróżnicowanej morfologii, zawierające w swym składzie oprócz wolframu i węgla także pierwiastki stopu wysokoentropowego. Dodatek fazy ceramicznej skutkowało wzrostem twardości kompozytów.

**Słowa kluczowe:** kompozyty metaliczno-ceramiczne, stopy wysokoentropowe, mikrostruktura, węgiel wolframu

## HIGH ENTROPY MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH TUNGSTEN CARBIDE

Michał Żakowski, Grzegorz Cieślak, Dariusz Oleszak

*Faculty of Materials Science and Engineering, Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland  
michal.zakowski2.stud@pw.edu.pl*

In the present study, metallic-ceramic composites were fabricated, with an equimolar high-entropy AlCoCuFeNi alloy as a matrix, and the reinforcing phase was tungsten carbide WC (5 and 10% by volume). Induction melting and arc melting techniques were used for composites preparation, as well as the author's method of introducing ceramic particles into the liquid metallic alloy was applied. The metallic matrix of the composite exhibited a two-phase structure consisting with FCC and BCC solid solutions. Microscopic investigations revealed a dendritic microstructure of the matrix, in which the WC particles were distributed non-homogeneously, regardless of the melting method. A strong segregation of chemical composition in the matrix was observed, with interdendritic regions enriched in copper and dendrites enriched in aluminium, nickel and iron. Additionally, besides WC particles, two types of precipitations, with various morphology, were observed in the matrix. The addition of tungsten carbide particles resulted in the increase of the composites hardness.

**Keywords:** metallic-ceramic composites, high entropy alloys, microstructure, tungsten carbide

## KOMPOZYTY ATZ ODPORNE NA PĘKANIE PODKRYTYCZNE

Agnieszka Wojteczko<sup>1</sup>, Alan Wilmański<sup>1</sup>, Sebastian Komarek<sup>1</sup>, Dawid Koziński<sup>1</sup>, Waldemar Pyda<sup>1</sup>, Rosa María Peña Capote<sup>1,2</sup>, Zbigniew Pędzich<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Kraków, Polska  
agdudek@agh.edu.pl

<sup>2</sup> Technology University of Havana, Havana, Cuba

Kompozyty ziarniste typu ATZ (Alumina Toughened Zirconia) są materiałami, w których wykorzystywane jest zjawisko istnienia resztkowych naprężeń cieplnych powstających w trakcie chłodzenia od temperatury spiekania do warunków normalnych. Ponieważ w ziarnach dwutlenku cyrkonu naprężenia mają charakter rozciągający, podnoszą one podatność na transformację fazy tetragonalnej w jednoskośną, co jest wykorzystywane do umocnienia materiału, to znaczy do podniesienia jego odporności na pękanie. W pracy zaprezentowane są wyniki badań nad kompozytami, które zostały wytworzone specjalną technologią wykorzystującą spiekanie mieszaniny proszków  $ZrO_2$  o różnej zawartości tlenu stabilizującego  $Y_2O_3$  [1]. Materiały te dzięki znacznemu ograniczeniu wielkości ziarna wykazują doskonałe parametry mechaniczne, wytrzymałość i odporność na kruche pękanie. Ponadto stwierdzono, że istniejący w nich rozkład naprężeń ogranicza w znacznym stopniu tendencję do pękania podkrytycznego, które jest istotną wadą ceramiki tlenkowej [2]. W pracy przedstawione są obliczone diagramy SPT (Strength-Probability-Time) szacujące warunki stosowania badanych materiałów oraz średnie prędkości propagacji pęknięć w kompozytach zawierających różne ilości rozproszonej fazy korundowej. Stwierdzono, że dla niektórych kompozytów ATZ zjawisko pękania podkrytycznego zostało zahamowane.

**Podziękowania:** Prace sfinansowano w ramach subwencji nr umowy AGH 16.16.160.557 oraz UNESCO/Poland Co-Sponsored Fellowships Programme in Engineering cykl 2023A (AGH University of Krakow/UNESCO AGH Chair rok akademicki 2023/2024). Obserwacje mikroskopowe wykonano dzięki projektowi IDUB AGH nr umowy 1449.

**Słowa kluczowe:** kompozyt ziarnisty, dwutlenek cyrkonu, tlenek glinu, odporność na pękanie, pękanie podkrytyczne

### Literatura:

1. Wojteczko, R. Lach, K. Wojteczko, Z. Pędzich, „Investigation of subcritical crack growth phenomenon and estimation of life time of alumina and alumina-zirconia composites with different phase arrangement”, *Ceramics International* **42** [8] (2016) 9438-9442, doi:10.1016/j.ceramint.2016.02.178.
2. M. Grabowy, A. Wojteczko, S. Komarek, A. Wilk, Z. Pędzich, „ATZ composites with enhanced mechanical reliability and lifetime”, *Journal of the European Ceramic Society*, **44** (2024) doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2023.12.030.



## ATZ COMPOSITES RESISTANT TO SUBCRITICAL CRACK PROPAGATION

Agnieszka Wojteczko<sup>1</sup>, Alan Wilmański<sup>1</sup>, Sebastian Komarek<sup>1</sup>, Dawid Koziński<sup>1</sup>, Waldemar Pyda<sup>1</sup>, Rosa María Peña Capote<sup>1,2</sup>, Zbigniew Pędzich<sup>1</sup>

<sup>1</sup> AGH University of Krakow, Faculty of Ceramics and Material Science, Krakow, Polska  
agdudek@agh.edu.pl

<sup>2</sup> Technology, University of Havana, Havana, Cuba

The ATZ (Alumina Toughened Zirconia) particulate composites are materials that use the phenomenon of residual thermal stresses arising during cooling from the sintering temperature to normal conditions. Since the stresses in zirconium dioxide grains are tensile, they increase the susceptibility to the transformation of the tetragonal phase into the monoclinic one, which is used to strengthen the material, i.e. to increase its resistance to cracking. The paper presents the results of research on composites that were manufactured using a special technology using sintering of a mixture of ZrO<sub>2</sub> powders with various contents of the stabilizing oxide Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [1]. These materials, thanks to a significant reduction in grain size, demonstrate excellent mechanical parameters, strength and resistance to brittle fracture. Moreover, it was found that the stress distribution in them significantly reduces the tendency to subcritical cracking, which is a serious of oxide ceramics [2]. The paper presents calculated SPT (Strength-Probability-Time) diagrams estimating the conditions of use of the tested materials and the average crack propagation speeds in composites containing various amounts of the dispersed corundum phase. It was found that for some ATZ composites the phenomenon of subcritical cracking was inhibited.

**Acknowledgement:** The work was carried out under the subsidy from the Polish State Ministry of Education and Science to the AGH University of Krakow (grant no. 16.16.160.557) and the project UNESCO/Poland Co-Sponsored Fellowships Programme in Engineering cycle 2023A (AGH University of Krakow/UNESCO AGH Chair academic year 2023/2024). Microscopic investigations were financed by the Excellence Initiative - Research University Programme (grant no. 1449).

**Keywords:** particulate composites, zirconia, alumina, fracture toughness, subcritical crack propagation

### References:

1. A. Wojteczko, R. Lach, K. Wojteczko, Z. Pędzich, „Investigation of subcritical crack growth phenomenon and estimation of life time of alumina and alumina-zirconia composites with different phase arrangement”, *Ceramics International* **42** [8] (2016) 9438-9442, doi:10.1016/j.ceramint.2016.02.178.
2. M. Grabowy, A. Wojteczko, S. Komarek, A. Wilk, Z. Pędzich, "ATZ composites with enhanced mechanical reliability and lifetime", *Journal of the European Ceramic Society* **44** (2024) doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2023.12.030.

# OCENA SKUTECZNOŚCI ANTYBAKTERYJNEJ I ODPOWIEDZI KOMÓRKOWEJ KOMPOZYTÓW NA BAZIE TLENKU CYRKONU

Magdalena Ziąbka<sup>1</sup>, Agnieszka Wojteczko<sup>1</sup>, Karolina Klesiewicz<sup>2</sup>, Elżbieta Menaszek<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Katedra Ceramiki i Materiałów Ogniotrwałych, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

<sup>2</sup> Uniwersytet Jagielloński – Collegium Medicum, Wydział Farmaceutyczny, Zakład Mikrobiologii Farmaceutycznej, 30-688 Kraków, Polska

<sup>3</sup> Uniwersytet Jagielloński – Collegium Medicum, Wydział Farmaceutyczny, Zakład Cytobiologii, 30-688 Kraków, Polska

W prezentowanej pracy wykorzystano metodę hydrotermalną do uzyskania drobnoziarnistego proszku tetragonalnego dwutlenku cyrkonu [1]. Następnie proszek został użyty do utworzenia materiałów kompozytowych o różnych udziałach dodatków bioaktywnych w postaci hydroksyapatytu (HAp), heksagonalnego azotku boru (hBN), bioszklą (BG) oraz bioszklą zawierającego miedź (BGCu). Głównym celem było zbadanie, w jaki sposób wprowadzenie bioaktywnych dodatków wpłynęło na właściwości biologiczne tych materiałów. Materiały zbadano pod kątem zdolności do eliminacji bakterii – zarówno Gram-dodatnich, jak i Gram-ujemnych. Oceniono ich wpływ na cytotoksyczność, żywotność i proliferację komórek fibroblastycznych i osteoblastycznych w bezpośrednim kontakcie z próbkami.

Aby ocenić toksyczność i proliferację, wykorzystano test Toxilight. Dodatkowo, zmierzono poziom reaktywnych form tlenu (ROS). Po hodowli komórek i bakterii przeprowadzono dalsze analizy, korzystając z elektronowej mikroskopii skaningowej (SEM) i mikroskopii optycznej. Na podstawie wyników potwierdzono, że kompozyty modyfikowane HAp i hBN wykazują niewielką cytotoksyczność. Ponadto, te same kompozyty wykazały znaczące właściwości antybakteryjne wobec różnych bakterii Gram-dodatnich oraz pewnych szczepów bakterii Gram-ujemnych.

**Słowa kluczowe:** kompozyty z dwutlenku cyrkonu, bioaktywność, antybakteryjność, żywotność, proliferacja.

## Literatura:

1. S. Komarek, A. Wojteczko, Z. Pędzich, K. Haberko, P. Kwaśniewski, M. Ziąbka: "Strength stability over loading time of zirconia-hydroxyapatite composites", Mater. Today Commun. **37** (2023) 106963.

**Podziękowania:** Praca powstała przy wsparciu projektów "Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza" dla Akademii Górniczo-Hutniczej im. St. Staszica w Krakowie, projekt nr 1449 i 4073 (PI - M. Ziąbka).

## EVALUATION OF ANTIBACTERIAL EFFICACY AND CELLULAR RESPONSE OF ZIRCONIA-BASED COMPOSITES

Magdalena Ziąbka<sup>1</sup>, Agnieszka Wojteczko<sup>1</sup>, Karolina Klesiewicz<sup>2</sup>, Elżbieta Menaszek<sup>3</sup>

<sup>1</sup> AGH - University of Krakow, Faculty of Materials Science and Ceramics, Department of Ceramics and Refractory Materials, Av. A. Mickiewicza 30, 30-059 Krakow, Poland

<sup>2</sup> Jagiellonian University Medical College, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Microbiology, 30-688 Krakow, Poland

<sup>3</sup> Jagiellonian University Medical College, Faculty of Pharmacy, Department of Cytobiology, 30-688 Krakow, Poland

In this research, we used the hydrothermal technique to obtain fine tetragonal zirconia powder [1]. The powder was subsequently used to create composite materials with different content of bioactive hydroxyapatite (HAp), hexagonal boron nitride (hBN), bioglass (BG) and bioglass containing copper (BGCu). Our main aim was to investigate how incorporating of bioactive additives affected the biological properties of these materials. Specifically, we examined their ability to eliminate bacteria—both Gram-positive and Gram-negative—and their impact on toxicity, viability, and proliferation of fibroblastic and osteoblastic cells during direct contact with samples.

To assess the cytotoxicity and proliferation, Toxilight test was performed. Additionally, we quantified the levels of Reactive Oxygen Species (ROS). Following cell and bacterial culturing, analyses using scanning electron microscopy (SEM) and optical microscopy were performed. Our results revealed that composites modified with HAp and hBN showed slight cytotoxicity. Moreover, these composites demonstrated significant antibacterial properties against various Gram-positive bacteria and certain Gram-negative bacteria.

**Keywords:** zirconia matrix composites, bioactivity, antibacterial activity, viability, proliferation.

### References:

1. S. Komarek, A. Wojteczko, Z. Pędzich, K. Haberko, P. Kwaśniewski, M. Ziąbka: " Strength stability over loading time of zirconia-hydroxyapatite composites", Mater. Today Commun. **37** (2023) 106963.

**Acknowledgements:** This work was supported by the program "Excellence Initiative – Research University" for the AGH University of Krakow, grants ID 1449 and 4073 (PI - M. Ziąbka).

## WPLYW WĘGLA NA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE I MECHANICZNE ŻYWICY PDCPD

Joanna Warycha<sup>1</sup>, Janusz Kurowski<sup>2</sup>, Jakub Smoleń<sup>3</sup>, Krzysztof Stępień<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, ul. Smoluchowskiego 25, 50-370 Wrocław, Polska, [joanna.warycja@pwr.edu.pl](mailto:joanna.warycja@pwr.edu.pl)

<sup>2</sup> IM KOMPOZYTY, ul Topolowa 8, Stanowice, 55-200 Oława, Polska.

<sup>3</sup> Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, Polska.

Samosmarujące materiały kompozytowe na bazie polimerów to rodzaj materiału, który sam w sobie może zapewnić ciągłe smarowanie, bez konieczności stosowania dodatkowych smarów podczas tarcia. Materiały te charakteryzują się dobrymi właściwościami fizyko-chemicznymi, niską wagą, samosmarnością i odpornością na korozję. Dodatki w postaci nieorganicznych cząstek, ze względu na dużą wytrzymałość mechaniczną mogą znacznie poprawić właściwości przeciwcierne i przeciwzuzyciowe polimerów. Praca przedstawia wyniki badań tribologicznych oraz mechanicznych (rozciąganie i ściskanie) kompozytów na bazie żywicy PDCPD wzmocniony węglem w postaci: nanorurek i włókien węglowych, grafitu płatkowego i pylistego. Wyniki badań mechanicznych na rozciąganie wskazują na wzrost wytrzymałości do około 50MPa dla żywicy z dodatkiem włókien węglowych oraz grafitu, a na ściskanie na wzrost wytrzymałości dla żywicy z dodatkiem włókien węglowych. Najlepsze wyniki odnotowano dla żywicy PDCPD z dodatkiem 5% włókna węglowego – ok. 90 MPa. Dla nanorurek węglowych zaobserwowano dwukrotne obniżenie właściwości mechanicznych zarówno na ściskanie jak i rozciąganie. Badania tribologiczne natomiast wskazują na obniżenie współczynnika tarcia dla wszystkich dodatków, ale największe - trzykrotne - dla żywicy modyfikowanej grafitem.

Prezentowane kompozyty, a szczególnie te z dodatkiem grafitu mogą z łatwością być zastosowane w łożyskach samosmarnych i zastąpić istniejące łożyska metalowe lub te wymagające smarów płynnych.

**Słowa kluczowe:** łożyska samosmarne, żywica PDCPD, grafit płatkowy/pylisty, nanorurki węglowe, włókna węglowe

## THE INFLUENCE OF CARBON ON THE TRIBOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PDCPD RESIN

Joanna Warycha<sup>1</sup>, Janusz Kurowski<sup>2</sup>, Jakub Smoleń<sup>3</sup>, Krzysztof Stępień<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering, ul. Smoluchowskiego 25, 50-370 Wrocław, Poland, Joanna.warycja@pwr.edu.pl*

<sup>2</sup> *IM KOMPOZYTY, ul. Topolowa 8, Stanowice, 55-200 Oława, Poland*

<sup>3</sup> *Silesian University of Technology, Faculty of Materials Engineering, ul. Krasińskiego, 40-019 Katowice, Poland*

Self-lubricating polymer-based composite materials are a type of material that can provide continuous lubrication on its own, without the need for additional lubricants during friction. These materials are characterized by good physical and chemical properties, low weight, self-lubricity and corrosion resistance. Additives in the form of inorganic particles, due to their high mechanical strength, can significantly improve the anti-friction and anti-wear performances of polymers. The work presents the results of tribological and mechanical (tension and compression) tests of composites based on PDCPD resin reinforced with carbon in the form of: carbon nanotubes and fibers, flaked and dusty graphite. The results of mechanical tensile tests indicate an increase in strength to approximately 50 MPa for the resin with the addition of carbon fibers and graphite, and compressive tests indicate an increase in strength for the resin with the addition of carbon fibers. The best results were recorded for PDCPD resin with the addition of 5% carbon fiber - approx. 90 MPa. For carbon nanotubes, a twofold reduction in mechanical properties was observed, both in compression and tension. Tribological tests indicate a reduction in the friction coefficient for all additives, but the largest - threefold - for the graphite-modified resin.

The presented composites, especially those with the addition of graphite, can be easily used in self-lubricating bearings and replace existing metal bearings or those requiring liquid lubricants.

**Keywords:** self-lubricating bearings, PDCPD resin, flake/dusty graphite, carbon nanotubes, carbon fibers

## ANALIZA ROZKŁADU CZĄSTEK NANO-TiC W KOMPOZYTACH IN-SITU NA OSNOWIE Al ORAZ STOPÓW Al-Si

Paweł Kurtyka<sup>1</sup>, Ewa Olejnik<sup>1,2</sup>, Natalia Ryłko<sup>3</sup>, Katarzyna Biegun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Innerco sp. z o.o., Władysława Siwka 17, 31-588, Kraków, Polska

<sup>2</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa, Rejmonta 23, 30-059, Kraków, Polska

<sup>3</sup> Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Warszawska 24, 31-155 Kraków, Polska

Głównym celem niniejszej pracy jest opracowanie metody wieloskalowej analizy materiałów kompozytowych na bazie stopów Al i Al-Si o złożonych strukturach, ze szczególnym uwzględnieniem rozkładu wzmocnienia. Badanymi materiałami były kompozyty wzmocnione nanocząstkami TiC. Kompozyty wytworzono metodą odlewania połączoną z in-situ formowaniem cząstek TiC, poprzez samopropagującą wysokotemperaturową reakcję (ShS) w stopach A1000+Si, Ak9 i A356. Zawartość reagenta Ti+C dla wszystkich matryc wynosiła 10% wagowych. Obserwacje za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) oraz analiza spektroskopii dyspersji energii (EDS) potwierdziły powstawanie cząstek TiC o średniej wielkości 150 nm, stanowiąc podstawę do dalszych prac nad metodyką oceny rozkładu cząstek. Opracowana metodyka to wieloskalowa procedura łącząca analizę obrazu, analizę Fouriera, statystykę oraz analityczną teorię komórki reprezentatywnej (aRVE). Wszystkie niezbędne dane wejściowe dotyczące struktury materiałów wprowadzono z rzeczywistych danych eksperymentalnych uzyskanych z wytworzonych kompozytów. Opracowana metodyka poszerza zakres możliwych zastosowań teorii aRVE o następujące zagadnienia: porównania materiałów kompozytowych o identycznych składach uzyskanych różnymi procesami technologicznymi; ocena stabilności technologii w kontekście uzyskania materiału o równomiernym rozkładzie fazy wzmacniającej; wyznaczenie minimalnego obszaru reprezentatywnego dla materiału; oraz dla badań mikroskopowych, szczegółowa analiza wpływu zmian parametrów procesu na strukturę kompozytu, itp. Na podstawie wyników analiz z wykorzystaniem opracowanej metodyki stwierdzono, że kompozyty na bazie stopu A1000 z dodatkiem Si charakteryzują się optymalnym rozkładem cząstek TiC. Pozostałe kompozyty wykazywały różny stopień aglomeracji cząstek wzmacniających.

**Słowa kluczowe:** in-situ nanokompozyty, kompozyty na osnowie stopów aluminium, SHS, cząstki nano-TiC, aRVE, wieloskalowa analiza, analiza Fouriera, analiza obrazu

Project No. POLTUR5/2/ALU-Wheel/2021 co-financed by the National Center for Research and Development as part of the Polish-Turkish bilateral competition conducted in cooperation with the National Center for Research and Development (NCBR) and the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK).

## ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF NANO-TiC PARTICLES IN IN-SITU Al AND Al-Si ALLOYS-BASED COMPOSITES

Paweł Kurtyka<sup>1</sup>, Ewa Olejnik<sup>1,2</sup>, Natalia Ryłko<sup>3</sup>, Katarzyna Biegun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Innerco sp. z o.o., 17 Władysława Siwka St., 31-588, Krakow, Poland

<sup>2</sup> AGH University of Krakow, Faculty of Foundry Engineering, 23 Reymonta St., 30-059 Krakow, Poland

<sup>3</sup> Cracow University of Technology, 24 Warszawska St., 31-155 Krakow, Poland

The main goal of this work is to develop a method for the multiscale analysis of Al and Al-Si alloy-based composite materials with complex structures, particularly focusing on the distribution of reinforcement. The materials studied were composites reinforced with nano-sized TiC particles. The composites were manufactured using a casting method combined with the in-situ formation of TiC particles through a self-propagating high-temperature reaction in A1000+Si addition, Ak9, and A356 alloys. The Ti+C reactant content for all matrix was 10 wt%. (SEM) observations and (EDS) analysis confirmed the formation of TiC particles with an average size of 150 nm, providing the basis for further work on the methodology of particle distribution assessment. The developed methodology is a multiscale procedure that combines image analysis, Fourier analysis, statistics and analytical Representative Volume Element (aRVE) methods. All necessary input concerning the structure of materials was introduced from real experimental data obtained from the manufactured composites. The developed methodology expands the scope of possible applications of aRVE theory to the following issues: comparisons of composite materials with identical compositions obtained through different technological processes; assessment of the stability of the technology in the context of obtaining a material with a uniform distribution of the reinforcing phase; and, for microscopic examination, detailed analysis of the impact of changes in process parameters on the structure of the composite, etc. Based on the results of the analyses using the developed methodology, it was found that composites based on the A1000 alloy with the addition of Si have the optimal distribution of TiC particles. The remaining composites exhibited varying degrees of reinforcement particle agglomeration.

**Keywords:** in-situ nanocomposites, AMCs, SHS, nano-TiC particles, aRVE, multiscale analysis, Fourier analysis, image analysis

Project No. POLTUR5/2/ALU-Wheel/2021 co-financed by the National Center for Research and Development as part of the Polish-Turkish bilateral competition conducted in cooperation with the National Center for Research and Development (NCBR) and the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK).

## WPŁYW SKŁADU CHEMICZNEGO STOPU NA REAKCJE SYNTEZY WĘGLIKA WOLFRAMU STREFACH KOMPOZYTOWYCH OTRZYMANYCH IN-SITU W ODLEWACH

Katarzyna Biegun<sup>1</sup>, Daniel Piróg<sup>1</sup>, Paweł Kurtyka<sup>1</sup>, Robert Chulist<sup>2</sup>, Ewa Olejnik<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup> Innerco sp. z o.o., Władysława Siwka 17, 31-588 Kraków, Polska

<sup>2</sup> Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. Aleksandra Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk,  
Władysława Reymonta 25, 30-059 Kraków, Polska

<sup>3</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa, Władysława Reymonta 23, 30-059  
Kraków, Polska

Głównym celem pracy było określenie wpływu składu chemicznego stopu na strefy kompozytowe wytworzone w reakcji samopropagującej się syntezy wysokotemperaturowej (SHS). W badaniach skoncentrowano się na trzech rodzajach osnów: żeliwie wysokochromowym, żeliwie szarym i staliwie. Materiałem użytym do syntezy WC były wypraski o składzie W + C. Otrzymane strefy kompozytowe zbadano za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) oraz analizy spektroskopii dyspersyjnej energii (EDS). Stwierdzono, że w zależności od stopu skład fazowy wzmocnionej powierzchni był różny, zawierał różne proporcje WC i  $Fe_3W_3C$ . Dodatkowo w żeliwie chromowym zaobserwowano obecność węglików chromu ( $Cr_7C_3$ ). Efekty formowania stref kompozytowych bogatych w węgiel wolframu oceniano poprzez badania mechaniczne (twardość HV30) oraz trybologiczne, wykorzystując metodę Ball-on-Disc (BoD) oraz metodę Millera. Największy wzrost właściwości mechanicznych zaobserwowano w strefach kompozytowych w żeliwie szarym, gdzie twardość wzrosła o ponad 200%. Natomiast najlepszą poprawę odporności na zużycie zaobserwowano dla staliwa, gdzie współczynnik zużycia ściernego dla strefy kompozytowej wyniósł 0,5 w porównaniu do 16,8 dla materiału osnowy.

**Słowa kluczowe:** kompozyty in situ, strefy kompozytowe, SHS, WC, odporność na ścieranie, twardość HV



# IMPACT OF CHEMICAL COMPOSITIONS OF ALLOY ON TUNGSTEN CARBIDE SYNTHESIS REACTION IN COMPOSITE ZONES MANUFACTURED IN-SITU IN CASTINGS

Katarzyna Biegun<sup>1</sup>, Daniel Piróg<sup>1</sup>, Paweł Kurtyka<sup>1</sup>, Robert Chulist<sup>2</sup>, Ewa Olejnik<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Innerco sp. z o.o., 17 Władysława Siwka St., Krakow, Poland

<sup>2</sup> Polish Academy of Sciences, Institute of Metallurgy and Materials Science, 25 Reymonta St., 30-059  
Krakow, Poland

<sup>3</sup> AGH University of Krakow, Faculty of Foundry Engineering, 23 Reymonta St., 30-059 Krakow,  
Poland

The main goal of this work was to determine the influence of alloy chemical composition on composite zones produced through the Self-propagating High-temperature Synthesis (SHS) reaction. The study focused on three types of matrices: high chromium cast iron, grey cast iron, and cast steel. The material used for WC synthesis comprised compacts with a W + C composition. The obtained composite zones were examined using Scanning Electron Microscopy (SEM) imaging and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) analysis. It was found that, depending on the alloy, the phase composition of the reinforced area varied, containing different proportions of WC and Fe<sub>5</sub>W<sub>3</sub>C. Additionally, in chromium cast iron, the presence of chromium carbides (Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>) was observed. The effects of forming tungsten carbide-rich composite zones were evaluated through mechanical (hardness HV30) and tribological tests, using Ball-on-Disc (BoD) and the Miller method. The highest increase in mechanical properties was observed in the composite zones of grey cast iron, where the hardness increased by over 200%. In contrast, the best improvement in wear resistance was observed for cast steel, where the specific wear rate for the composite zone was 0.5 compared to 16.8 for the matrix material.

**Keywords:** in situ composites, composites zones, SHS, WC, wear resistance, hardness HV

## WPŁYW UDZIAŁU CZĄSTEK TiC NA MIKROSTRUKTURĘ I WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW IN-SITU NA BAZIE ALUMINIUM

Agnieszka Czajka<sup>1</sup>, Paweł Kurtyka<sup>2</sup>, Ewa Olejnik<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa, Rejmonta 23, 30-059, Kraków, Polska

<sup>2</sup> Innerco sp. z o.o., Władysława Siwka 17, 31-588, Kraków, Polska

Głównym celem pracy było zbadanie mikrostruktury, właściwości mechanicznych i właściwości trybologicznych stopu aluminium serii A1000 wzmocnionej nanocząstkami TiC. Kompozyty zostały odlane metodą in situ wraz z cząstkami TiC z wykorzystaniem samorozwijającej się syntezy wysokotemperaturowej (SHS). Odlano kompozyty o zawartości reagentów Ti i C do 25% wagowych. Obserwacje mikroskopii świetlnej (LM), skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) i dyfrakcji rentgenowskiej (XRD) potwierdziły powstawanie cząstek TiC o średniej wielkości 100-200 nm. Określono właściwości mechaniczne wytworzonych kompozytów, wykazując maksymalny wzrost wytrzymałości na rozciąganie (UTS) do około 140 MPa, któremu towarzyszył spadek wydłużenia do około 4%. Dodatkowo, dla kompozytu o najwyższej zawartości reagentów, ponad czterokrotny wzrost twardości HV1 do około 96 HV, wraz ze wzrostem odporności na zużycie ścierne o ponad 50%

**Słowa kluczowe:** in-situ nanokompozyty, kompozyty na osnowie aluminium, SHS, cząstki nano-TiC

Financial support of the National Science Centre, Poland, (project no. 2021/43/B/ST8/03271) is greatly acknowledged

# INFLUENCE OF THE TiC PARTICLES CONTENT ON THE MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF IN-SITU ALUMINUM-BASED COMPOSITES

Agnieszka Czajka<sup>1</sup>, Paweł Kurtyka<sup>2</sup>, Ewa Olejnik<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>AGH University of Krakow, Faculty of Foundry Engineering, 23 Reymonta St., 30-059 Krakow, Poland

<sup>2</sup> Innerco sp. z o.o., 17 Władysława Siwka St., 31-588, Krakow, Poland

The main goal of this work is to investigate the microstructure, mechanical properties, and tribological properties of an A1000 series aluminum alloy matrix reinforced by nanometer-sized TiC particles. The composites were successfully manufactured using a casting method combined with the in-situ formation of TiC particles through a self-propagating high-temperature reaction (SHS). Composites with Ti and C reactant content up to 25 wt% were produced. Light Microscopy (LM), Scanning Electron Microscopy (SEM), and X-Ray Diffraction (XRD) observations confirmed the formation of TiC particles with an average size of 100-200 nm. The mechanical properties of the produced composites were determined, showing a maximum increase in Ultimate Tensile Strength (UTS) to approximately 140 MPa, accompanied by a decrease in elongation to about 4%. Additionally, for the composite with the highest reactant content, a more than four times increase in HV1 hardness to approximately 96 HV was achieved, along with an increase in wear resistance of over 50%.

**Keywords:** in-situ nanocomposites, aluminium matrix composites, SHS, nano-TiC particles

Financial support of the National Science Centre, Poland, (project no. 2021/43/B/ST8/03271) is greatly acknowledged

## WYKORZYSTANIE TECHNOLOGII DRUKU 3D DO MONITOROWANIA USZKODZEŃ W GFRP

Michał Misiak<sup>1</sup>, Paulina Latko-Durałek<sup>1</sup>, Szymon Demski<sup>1</sup>, Jakub Kotowski<sup>2</sup>, Kamil Dydek<sup>1,3</sup>, Paulina Kozera<sup>1</sup>, Paweł Durałek<sup>4</sup>, Evgenia Madia<sup>5</sup>, Georgios Tzortzinis<sup>5</sup>, Anna Boczkowska<sup>1</sup>, Maik Gude<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej, Wołoska 141, 02-507 Warszawa

<sup>2</sup>Air Force Institute of Technology (Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych), Księcia Bolesława 6, 01-494 Warszawa

<sup>3</sup>Centrum Zaawansowanych Technologii, Uniwersytet Adama Mickiewicza, Uniwersytetu Poznańskiego 10, 61-614 Poznań

<sup>4</sup>Fundacja Partnerstwa Technologicznego (TECHNOLOGY PARTNERS), Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7A, 02-366 Warszawa

<sup>5</sup>Institute of Lightweight Engineering and Polymer Technology, Technische Universität Dresden, Holbeinstraße 3, 01307 Dresden, Germany

Kompozyty polimerowe wzmocnione włóknem szklanym (GFRP) są szeroko stosowane w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym i infrastrukturalnym ze względu na ich wysoki stosunek wytrzymałości do masy, doskonałą izolację termiczną i elektryczną oraz odporność na korozję. Pomimo tych zalet, GFRP są podatne na uszkodzenia eksploatacyjne, takie jak obciążenia zmęczeniowe i erozja środowiskowa. W związku z tym monitorowanie stanu tych materiałów jest kluczowe dla zapewnienia ich niezawodności i bezpieczeństwa.

Istnieje wiele metod monitorowania uszkodzeń w GFRP, takich jak monitorowanie stanu konstrukcji (SHM) z wykorzystaniem czujników z siatką Bragga, rozproszonych systemów czujników światłowodowych oraz nieniszczące badania i oceny (NDT/NDE), które obejmują inspekcję wizualną, emisję akustyczną, badania ultradźwiękowe, metody optyczne, rentgenowskie, elektromagnetyczne oraz termografię w podczerwieni (IRT). Każda z tych metod ma swoje specyficzne zastosowania, zalety i ograniczenia.

W niniejszej pracy zastosowano termografię w podczerwieni (IRT) do monitorowania uszkodzeń w strukturach GFRP. Wykorzystano technologię druku 3D do wytworzenia siatek o dwóch różnych gęstościach wypełnienia z elektroprzewodzącego filamentu na bazie kopoliamidowego kleju termoplastycznego, zawierającego 10% wielościennych nanorurek węglowych. Siatki te zostały ułożone pomiędzy 2, a 3 warstwę laminatu szklanego wytworzonego metodą worka próżniowego. Badania IRT przeprowadzono zarówno przed, jak i po zadaniu obciążenia dynamicznego, aby ocenić możliwość monitorowania uszkodzeń za pomocą wytworzonych siatek przewodzących. Wyniki pokazały, że technologia druku 3D skutecznie monitoruje stan struktur GFRP, co może prowadzić do lepszej diagnostyki i wydłużenia żywotności tych materiałów w różnych zastosowaniach przemysłowych.

Badania przeprowadzono w ramach projektu „Strengthening Mazovian Multifunctional Composite Ecosystem through a Holistic Approach and a Strategic Alliance with European Leaders” (akronim: COMP-ECO). Nr 101079250 HORIZON-WINDERA-2021-ACCES-03

**Słowa kluczowe:** GFRP, druk 3D, termografia w podczerwieni, monitorowanie uszkodzeń

## USING 3D PRINTING TECHNOLOGY TO MONITOR DAMAGE IN GFRPS

Michał Misiak<sup>1</sup>, Paulina Latko-Durałek<sup>1</sup>, Szymon Demski<sup>1</sup>, Jakub Kotowski<sup>2</sup>, Kamil Dydek<sup>1,3</sup>, Paulina Kozera<sup>1</sup>, Paweł Durałek<sup>4</sup>, Evgenia Madia<sup>5</sup>, Georgios Tzortzinis<sup>5</sup>, Anna Boczkowska<sup>1</sup>, Maik Gude<sup>5</sup>

*Faculty of Materials Science and Engineering, Warsaw University of Technology, Woloska 141, 02-507 Warsaw, Poland*

<sup>2</sup> *Air Force Institute of Technology, Księcia Bolesława 6, 01-494 Warsaw, Poland*

<sup>3</sup> *Centre for Advanced Technologies, Adam Mickiewicz University in Poznań, 10 Uniwersytetu Poznańskiego St., 61-614, Poznań, Poland*

<sup>4</sup> *TECHNOLOGY PARTNERS FOUNDATION, Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7A, 02-366 Warsaw, Poland*

<sup>5</sup> *Institute of Lightweight Engineering and Polymer Technology, Technische Universität Dresden, Holbeinstraße 3, 01307 Dresden, Germany*

Glass fibre-reinforced polymer composites (GFRPs) are widely used in the aerospace, automotive, and infrastructure industries due to their high strength-to-weight ratio, excellent thermal and electrical insulation, and corrosion resistance. Despite these advantages, GFRPs are susceptible to operational damage, such as fatigue loading and environmental erosion. Consequently, monitoring the condition of these materials is crucial to ensure their reliability and safety.

There are many methods for monitoring damage in GFRPs, such as structural health monitoring (SHM) using Bragg grating sensors, distributed fibre-optic sensor systems, and non-destructive testing and evaluation (NDT/NDE), which include visual inspection, acoustic emission, ultrasonic testing, optical methods, X-ray, electromagnetic methods, and infrared thermography (IRT). Each of these methods has its specific applications, advantages, and limitations.

This study used infrared thermography (IRT) to monitor damage in GFRP structures. 3D printing technology was utilized to fabricate meshes of two different fill densities from an electrically conductive filament based on a copolyamide hot melt adhesive containing 10% multi-walled carbon nanotubes. These meshes were placed between the 2nd and 3rd layers of GFRP fabricated using the vacuum bag method. IRT tests were carried out before and after impact to evaluate the possibility of monitoring damage with the fabricated conductive meshes. The results showed that 3D printing technology effectively monitors the condition of GFRP structures, which could lead to better diagnostics and extend the life of these materials in various industrial applications.

The research was conducted as part of the project "Strengthening Mazovian Multifunctional Composite Ecosystem through a Holistic Approach and a Strategic Alliance with European Leaders" (acronym: COMP-ECO)—no. 101079250 HORIZON-WINDERA-2021-ACCES-03.

**Keywords:** GFRP, 3D printing, infrared thermography, damage monitoring

# TECHNOLOGIA WYTWARZANIA I WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW WARSTWOWYCH STOSOWANYCH DO INTENSYFIKACJI WYMIANY CIEPŁA PRZY WRZENIU

Rafał Chatys<sup>1</sup>, Stanislav Honus<sup>2</sup>, Łukasz J. Orman<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, al. Tysiąclecia P.P.7, 25-314 Kielce, Polska; chatys@tu.kielce.pl

<sup>2</sup> VSB – Uniwersytet Techniczny w Ostrawie, Wydział Mechaniczny, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Czechy

<sup>3</sup> Politechnika Świętokrzyska, Wydział Inżynierii Środowiska, Geodezji i Energetyki Odnawialnej, al. Tysiąclecia P.P.7, 25-314 Kielce, Polska

Wymagania dotyczące odprowadzania znacznych gęstości strumienia ciepła z różnego typu urządzeń w celu ich chłodzenia wymusiły rozwój technologii intensyfikujących wymianę ciepła. Wysoce wydajne wymienniki ciepła pracujące przy wrzeniu są w stanie odprowadzać duże gęstości strumienia ciepła przy niewielkich różnicach temperatur między powierzchnią grzejną a wrzącą cieczą. Struktur intensyfikujących wrzenie jest wiele [1], jednak zastosowanie do ich budowy kompozytów warstwowych nie zostało jeszcze dogłębnie zbadane. Mimo wcześniejszych prac autorów (np. [2]), zagadnienie od strony technologicznej wymaga starannej analizy. W niniejszej pracy przedstawiona zostanie technologia produkcji i właściwości kompozytów warstwowych w kontekście ich zastosowania do wytworzenia wysoce wydajnych wymienników ciepła. Ponadto w artykule przedyskutowane zostaną wyniki badań wymiany ciepła przy wrzeniu wody destylowanej i etanolu pod ciśnieniem atmosferycznym na powierzchniach miedzianych, pokrytych kompozytową warstwą metalową intensyfikującą wrzenie. Warstwa ta składa się z siatek metalowych, wykonanych z różnych materiałów. Dodatkowo przedyskutowane zostanie zagadnienie modelowania wrzenia na tego typu powierzchniach, co również nie zostało do tej pory poddane gruntownej analizie ani przez autorów ani przez innych badaczy.

**Słowa kluczowe:** kompozyty warstwowe, intensyfikacja wrzenia, technologia wytwarzania

## Literatura:

1. Pastuszko, R., Kaniowski, R., Dadas, N., Bedla-Pawlusek, M. (2021). Pool boiling enhancement and a method of bubble diameter determination on surfaces with deep minichannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 179, 121713
2. Chatys, R., Orzechowski, T. (2004). Surface extension in layered structures with the use of metal meshes for heat-transfer enhancement”, *Mechanics of Composite Materials*, 40, 2, 159-168

# PRODUCTION TECHNOLOGY AND PROPERTIES OF LAYERED COMPOSITE COATINGS USED FOR BOILING HEAT TRANSFER AUGMENTATION

Rafał Chatys<sup>1</sup>, Stanislav Honus<sup>2</sup>, Łukasz J. Orman<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Kielce University of Technology, Faculty of Mechatronics and Mechanical Engineering, al. Tysiaclecia P.P.7, 25-314 Kielce, Poland; chatys@tu.kielce.pl*

<sup>2</sup> *VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, 17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava-Poruba, Czech Republic*

<sup>3</sup> *Kielce University of Technology, Faculty of Environmental Engineering, Geodesy and Renewable Energy,, al. Tysiaclecia P.P.7, 25-314 Kielce, Poland*

The requirements of various technological devices (including machinery parts) to release significant heat fluxes from them for cooling purposes have led to the development of technologies for heat transfer augmentation. Highly efficient and effective heat exchangers operating under boiling may release large heat fluxes at small temperature differences between the heater surface and the boiling agent. There are many such structures available on the market and tested [1], but the application of layered composites for their creation has not been completely investigated. In spite of some recent papers of the authors (e.g. [2]) focusing on this problem, this issue requires more thorough analysis from the technological point of view. The present paper presents the production technology and properties of the layered metallic composites in view of their use for the creation of highly efficient phase – change heat exchangers. Moreover, this paper also discusses the experimental results of boiling heat transfer of distilled water and ethanol under atmospheric pressure on copper surfaces covered with a metal composite layer, which augments heat transfer via boiling. This layer is made of various sintered metallic meshes. As an addition, the problem of modeling of heat transfer on such structures will be discussed, which is also an issue that has not been thoroughly analysed by the authors or other researchers.

**Keywords:** layered composites, boiling augmentation, production technology

## References:

1. Pastuszko, R., Kaniowski, R., Dadas, N., Bedla-Pawlusek, M. (2021). Pool boiling enhancement and a method of bubble diameter determination on surfaces with deep minichannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 179, 121713
2. Chatys, R., Orzechowski, T. (2004). Surface extension in layered structures with the use of metal meshes for heat-transfer enhancement”, *Mechanics of Composite Materials*, 40, 2, 159-168

## KOMPOZYTY Z UKŁADU $TiB_2$ – $TiSi_2$ - C

Maria Sajdak, Łukasz Zych, Dariusz Zientara, Kamil Kornaus, Agnieszka Gubernat

*Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Wydział inżynierii Materiałowej i Ceramiki,  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska; msajdak@agh.edu.pl*

Dwuborek tytanu  $TiB_2$  o strukturze typu  $AlB_2$  jest jednym z materiałów zaliczanych do ceramiki wysokotemperaturowej. Z względu na silne kowalencyjne wiązanie występujące w strukturze  $TiB_2$ , dwuborek tytanu posiada szereg unikatowych właściwości ale jest też materiałem trudnospiekalnym. Otrzymanie gęstych polikryształów wymaga zastosowania chemicznej i fizycznej aktywacji spiekania.

Niniejsza praca zawiera badania nad spiekaniem  $TiB_2$  z dodatkami węgla i  $TiSi_2$ . Pierwszym krokiem było przeprowadzenie badań spiekalności  $TiB_2$  z dodatkiem  $TiSi_2$  w dylatometrycznym wysokotemperaturowym. Na podstawie tych badań ustalono, że możliwe jest otrzymanie gęstych kompozytów  $TiB_2$ - $TiSi_2$ . Kolejnym krokiem było prasowanie na gorąco kompozytów na bazie  $TiB_2$  z różną ilością dodatku węgla (0-4%) i  $TiSi_2$  (2.5, 5.0, 10%). Najwyższą gęstość i jednorodną mikrostrukturę wykazuje polikryształ  $TiB_2$  z 2% dodatkiem węgla. Gęste kompozyty  $TiB_2$ - $TiSi_2$  z 5% dodatkiem  $TiSi_2$  otrzymano już w temperaturze 1600°C, czyli o 500°C niższej niż w przypadku czystego  $TiB_2$ . Na tej podstawie wykonano kompozyty ze stałym 2% dodatkiem węgla i różnym dodatkiem  $TiSi_2$  w ilości 2.5, 5.0 i 10%  $TiSi_2$ . Kompozyty  $TiB_2$ - $TiSi_2$ -C spiekano w temperaturze: 1600, 1700 i 1800°C. Najwyższe gęstości, bliskie 100%, otrzymano w przypadku kompozytu z 5% dodatkiem  $TiSi_2$  i 2% dodatkiem węgla, w temperaturze 1800°C. Uzyskane spieki poddano badaniom składu fazowego (XRD), chemicznego (EDS) i analizie mikrostruktury (SEM) oraz pomiarom modułu Younga. Badania te dały podstawy do sugerowania roli dodatków  $TiSi_2$  i C podczas spiekania  $TiB_2$ .

**Słowa kluczowe:**  $TiB_2$ ,  $TiSi_2$ , spiekanie, gęstość pozorna, skład fazowy, skład chemiczny, mikrostruktura

### Literatura:

1. B.R. Golla, A. Mukhopadhyay, B. Basu, S.K. Thimmappa, *Review on ultra-high temperature boride ceramics*, Prog. Mater. Sci. 111 (2020) 100651. doi:10.1016/j.pmatsci.2020.100651
2. G.B. Raju and B. Basu, *Densification, Sintering reactions, and properties of titanium diboride with titanium disilicide as a sintering aid*, J. Am. Ceram. Soc. 90 (2007) 3415–3423. doi: 10.1111/j.1551-2916.2007.01911.x



## TiB<sub>2</sub> - MoSi<sub>2</sub> - C COMPOSITES

Maria Sajdak, Łukasz Zych, Dariusz Zientara, Kamil Kornaus, Agnieszka Gubernat

*AGH University of Krakow, Faculty of Materials Science and Ceramics,  
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Krakow, Poland; msajdak@agh.edu.pl*

TiB<sub>2</sub> - titanium diboride with AlB<sub>2</sub> type structure is one of the materials classified as high-temperature ceramics. Due to the strong covalent bond present in its structure, titanium diboride has a number of unique properties, but it is also a poorly sinterable material. Obtaining of its dense polycrystals requires the use of chemical and physical sintering activation.

This paper contains studies on the sintering of TiB<sub>2</sub> with carbon and TiSi<sub>2</sub> additives. As a first step, sinterability studies of TiB<sub>2</sub> with TiSi<sub>2</sub> additives were carried out in a high temperature dilatometer. These tests indicated that it was possible to obtain dense TiB<sub>2</sub>-TiSi<sub>2</sub> composites. The next step was the hot pressing of TiB<sub>2</sub> based composites with different amounts of carbon addition (0-4 wt.%) and TiSi<sub>2</sub> (2.5, 5.0, 10 wt.%). The highest density and the most homogeneous microstructure were achieved by TiB<sub>2</sub> polycrystals containing 2wt.% carbon. Dense TiB<sub>2</sub>-TiSi<sub>2</sub> composites with 5wt.% TiSi<sub>2</sub> addition were obtained at 1600°C, which is 500°C lower than for the pure TiB<sub>2</sub>. On this basis, the composites with a fixed 2 wt.% carbon addition and various TiSi<sub>2</sub> additions of 2.5, 5.0 and 10 wt.% were prepared. The TiB<sub>2</sub>-TiSi<sub>2</sub>-C composites were sintered at 1600, 1700 and 1800°C. The highest densities, close to 100%, were obtained for the composite with 5 wt.% TiSi<sub>2</sub> and 2 wt.% carbon addition, sintered at 1800°C. The sinters were subjected to phase composition (XRD), chemical composition (EDS) and microstructure (SEM) analysis, as well as Young's modulus measurements. The studies provided the basis for suggesting the role of TiSi<sub>2</sub> and C additives in the sintering of TiB<sub>2</sub>.

**Keywords:** TiB<sub>2</sub>, dilatometric analysis of sintering, apparent density, microstructure

### References:

1. B.R. Golla, A. Mukhopadhyay, B. Basu, S.K. Thimmappa, Review on ultra-high temperature boride ceramics, Prog. Mater. Sci. 111 (2020) 100651. doi:10.1016/j.pmatsci.2020.100651
2. G.B. Raju and B. Basu, Densification, Sintering reactions, and properties of titanium diboride with titanium disilicide as a sintering aid, J. Am. Ceram. Soc. 90 (2007) 3415-3423. doi: 10.1111/j.1551-2916.2007.01911.x

## ODPORNOŚĆ NA UTLENIANIE KOMPOZYTÓW NA BAZIE BORKÓW $ZrB_2$ - $HfB_2$

Agnieszka Gubernat, Kamil Kornaus, Dariusz Zientara, Łukasz Zych,

Jerzy Lis, Zbigniew Pędzich

*Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Materiałowej  
i Ceramiki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska  
gubernat@agh.edu.pl*

Kompozyty na bazie borków typu  $AlB_2$  znajdują zastosowanie w wysokich temperaturach. Kompozytom stawiane są wymagania pod względem właściwości mechanicznych, cieplnych jak również chemicznych. Istotny wpływ na właściwości kompozytów borkowych mają stosowane aktywatory spiekania: węgliki, azotki i krzemki. w prezentowanej pracy określono wpływ aktywatorów spiekania na odporność na utlenianie kompozytów  $ZrB_2$ - $HfB_2$ .

Dzięki połączeniu chemicznej i fizycznej aktywacji spiekania wytworzono kompozyty o składzie 40% obj.  $ZrB_2$ - 40% obj.  $HfB_2$ - 20% obj. MX (gdzie MX:  $SiC$ ,  $B_4C$ ,  $WC$ ,  $MoSi_2$  i  $CrSi_2$ ). Kompozyty otrzymano za pomocą spiekania pod ciśnieniem HP, które prowadzono w temperaturze dostosowanej do składu wyjściowego z zakresu 1400 - 2100°C. Na próbkach przeprowadzono badania odporności na utlenianie w zakresie temperatury 800-1400°C. Zgodnie z przesłankami literaturowymi stwierdzono, że dodatkami istotnie zwiększającymi odporność na utlenianie są:  $SiC$ ,  $MoSi_2$  i  $CrSi_2$ . Utworzona zostaje wówczas szczelna warstwa  $Si-O-B$  chroniąca wewnątrz próbki przed dostępem tlenu. Te kompozyty utleniają się pasywnie. Najmniej odpornym na działanie tlenu (utleniającym się aktywnie) jest kompozyt  $ZrB_2$ - $HfB_2$ - $B_4C$ , w tym przypadku powyżej temperatury 1100°C lotny tlenek boru powstający w wyniku utleniania borków i węgla boru prowadzi do powstania porowatości, przez którą tlen dyfunduje do wnętrza próbki. Również kompozyty bez dodatków i z dodatkiem  $WC$  od 1100°C ulegają degradacji pod wpływem tlenu. W przypadku kompozytu referencyjnego (bez dodatków) przyczyną aktywnego utleniania jest powstawanie gazowego  $B_2O_3$ , natomiast w przypadku kompozytu z dodatkiem  $WC$  sprzyja temu wysoka lotność tlenków wolframu i tlenku boru.

*Praca finansowana w ramach projektu IDUB AGH o numerze 501.D4.II.696.7996 (ID projektu:1577)*

**Słowa kluczowe:** UHTC, borki typu  $AlB_2$ , HP, odporność na utlenianie

### Literatura:

1. S.K. Thimmappa, B.R. Golla, B. Prasad, *Oxidation Behavior of Silicon-Based Ceramics Reinforced Diboride UHTC: a Review*, Silicon (2022) 12049–12074. doi:10.1007/s12633-022-01945-8
2. R. Golla, A. Mukhopadhyay, B. Basu, S.K. Thimmappa, *Review on ultra-high temperature boride ceramics*, Prog. Mater. Sci. 111 (2020) 100651. doi:10.1016/j.pmatsci.2020.100651

## OXIDATION RESISTANCE OF ZrB<sub>2</sub>-HfB<sub>2</sub> COMPOSITES

Agnieszka Gubernat, Kamil Kornaus, Dariusz Zientara, Łukasz Zych,  
Jerzy Lis, Zbigniew Pędzich

*AGH University of Krakow, Faculty of Materials Science and Ceramics,  
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Krakow, Poland; gubernat@agh.edu.pl.*

AlB<sub>2</sub> boride-based composites are used in high-temperature applications. For composites, there are requirements for their mechanical, thermal as well as chemical properties. The properties of boride composites are significantly affected by sintering activators used i.e.; carbides, nitrides and silicides. In the present study, the influence of the sintering activators on oxidation resistance of ZrB<sub>2</sub>-HfB<sub>2</sub> composites was determined.

Through a combination of chemical and physical sintering activation, composites of 40% vol. ZrB<sub>2</sub>- 40% vol. HfB<sub>2</sub>- 20 vol. MX (where MX: SiC, B<sub>4</sub>C, WC, MoSi<sub>2</sub> and CrSi<sub>2</sub>). The composites were obtained by HP sintering, which was carried out at temperature from the range 1400 - 2100°C adjusted to the starting composition. Oxidation resistance tests were performed in the temperature range 800-1400 °C. According to the literature, the additives (activators) significantly increasing the oxidation resistance were: SiC, MoSi<sub>2</sub> and CrSi<sub>2</sub>. In their case, a tight Si-O-B layer is formed, protecting the interior of the material from oxygen i.e. these composites oxidize passively. The least resistant to oxygen (i.e. actively oxidizing) is a ZrB<sub>2</sub>-HfB<sub>2</sub>-B<sub>4</sub>C composite. In this case above 1100°C a volatile boron oxide formed by oxidation of the borides and boron carbide leads to formation of open pores, through which oxygen diffuses into the interior of the material. Also the composites without any additives or with WC addition above 1100°C are degraded by oxygen. In the case of the reference composite (without additives), this is caused by the formation of gaseous B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, while in the case of the WC containing composite the high volatility of tungsten oxides and boron oxide leads to its active oxidation.

*The work was carried out under the project Excellence Initiative - Research University (AGH-University of Krakow, Krakow, Poland) of number: 501.D4.II.696.7996 (ID: 1577).*

**Keywords:** UHTC, AlB<sub>2</sub> type borides, HP, oxidation resistance

### References:

1. S.K. Thimmappa, B.R. Golla, B. Prasad, *Oxidation Behavior of Silicon-Based Ceramics Reinforced Diboride UHTC: a Review*, Silicon (2022) 12049–12074. doi:10.1007/s12633-022-01945-8
2. R. Golla, A. Mukhopadhyay, B. Basu, S.K. Thimmappa, *Review on ultra-high temperature boride ceramics*, Prog. Mater. Sci. 111 (2020) 100651. doi:10.1016/j.pmatsci.2020.100651

## ZAAWANSOWANE METALOWO-CERAMICZNE MATERIAŁY KOMPOZYTOWE OTRZYMYWANE TECHNIKAMI CEKŁOFAZOWYMI

Anna Janina Dolata<sup>1</sup>, Maciej Dyzia<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej, Polska.  
*anna.dolata@polsl.pl*

Zaawansowane metalowo-ceramiczne materiały kompozytowe (MMCs), w szczególności na bazie lekkich stopów Al i Mg, wykazują duży potencjał dla wielu zastosowań zwłaszcza w warunkach obciążeń tribologicznych, mechanicznych, a także termicznych.

Odpowiedni dobór rodzaju, udziału objętościowego i geometrii faz ceramicznych oraz składu chemicznego stopu osnowy, a przede wszystkim opracowanie ekonomicznie opłacalnej technologii produkcji metalowo-ceramicznych materiałów kompozytowych są kluczowe dla poszerzenia możliwości ich praktycznego zastosowania. Badania prowadzone w Laboratorium Kompozytów Metalowych Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Śląskiej skupiają się na rozwoju technik ciekłofazowych, do których należą: metoda zawiesinowa (*ang. stir casting*) i odlewanie odśrodkowe (*ang. centrifugal casting*), infiltracja odśrodkowa (*ang. centrifugal infiltration*) oraz infiltracja gazowo-ciśnieniowa (*ang. gas pressure infiltration*).

Prezentowane wyniki badań dotyczą technik niskociśnieniowych, takich jak: infiltracja odśrodkowa oraz infiltracja gazowo-ciśnieniowa. Główną zaletą opracowanych metod jest niskie ciśnienie infiltracji (do 4 MPa), które przede wszystkim nie prowadzi do uszkodzenia przestrzennych szkieletów ceramicznych, zapewnia pełne ich nasycenie ciekłym stopem metalu i umożliwia uzyskanie funkcjonalnych materiałów kompozytowych o wzajemnie przenikającej się strukturze metalu i ceramiki (IPCs).

**Słowa kluczowe:** kompozyty metalowo-ceramiczne z perkolacją faz (IPCs), metody infiltracji niskociśnieniowej, mikrostruktura

Praca finansowana w ramach działań statutowych (projekt nr.: 11/030/BK\_24/1177).

# ADVANCED METAL-CERAMIC COMPOSITE MATERIALS OBTAINED BY LIQUID-STATE PROCESSING TECHNIQUES

Anna Janina Dolata<sup>1</sup>, Maciej Dyzia<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> *Silesian University of Technology, Faculty of Materials Engineering, Poland*  
*anna.dolata@polsl.pl*

Advanced metal-ceramic composite materials (MMCs), in particular based on light Al and Mg alloys show great potential for many applications, especially under tribological, mechanical and thermal loads.

The adequate selection of the type, volume fraction and geometry of ceramic phases as well as the chemical composition of the matrix alloy, and especially the development of an economically viable technology for the production of metal-ceramic composite materials are key to expanding their industrial application. Research conducted at the Metal Composites Laboratory of the Faculty of Materials Engineering of the Silesian University of Technology focuses on the development of liquid-phase techniques, which include: stir casting and centrifugal casting, centrifugal infiltration and gas-pressure infiltration.

The presented research results concern low-pressure techniques, such as centrifugal infiltration and gas-pressure infiltration. The main advantage of the developed methods is the low infiltration pressure (up to 4 MPa), which does not cause damage to the three-dimensional ceramic skeletons, ensures their full saturation by liquid metal alloy and allows obtaining a functional, interpenetrating metal-ceramic composites (IPCs).

**Keywords:** metal-ceramic composites with phase percolation (IPCs), low-pressures infiltration, microstructure

The research was supported under statutory activities (projects no.: 11/030/BK\_24/1177).

## KOMPOZYTY Z OSNOWĄ ALUMINIOWĄ I CZĄSTKAMI SiC WYTWARZANE METODĄ MIESZANIA

Maciej Dyzia<sup>1</sup>, Anna Janina Dolata<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej, Polska.  
[anna.dolata@polsl.pl](mailto:anna.dolata@polsl.pl)

Istotną zaletą materiałów kompozytowych jest możliwość projektowania ich struktury i właściwości poprzez odpowiedni dobór materiału osnowy, rodzaju, postaci, wielkości i udziału fazy zbrojącej oraz dobór metody i parametrów procesu wytwarzania kompozytu.

W procesie wytwarzania kompozytów o osnowie stopów aluminium (Al) z cząstkami węgla krzemu (SiC<sub>p</sub>) bazującym na metodzie mechanicznego mieszania (*ang. stir-casting*) kluczowe znaczenie mają: przygotowanie stopu osnowy (rafinacja, modyfikacja składu chemicznego stopu), przygotowanie cząstek ceramicznych (ograniczenie rozkładu wielkości ziarna, preparacja chemiczna, obróbka termiczna), a także prędkość i czas mieszania zawiesiny kompozytowej. Uzyskanie stabilnej zawiesiny kompozytowej wymaga spełnienia warunków, w których powierzchnia ceramiki będzie zwilżana przez ciekły stop metalu, co pozwala na uzyskanie trwałego połączenia na granicy rozdziału faza zbrojąca-osnowa.

W badaniach własnych skoncentrowano się na przygotowaniu metodyki i zaleceń technologicznych wytwarzania zawiesin kompozytowych, w których jako fazę zbrojącą wykorzystano cząstki węgla krzemu. Opracowane procedury zostały zweryfikowane w warunkach przemysłowych, a finalnym efektem zrealizowanych prac badawczych jest seria 50 tłoków kompozytowych do sprężarek powietrza wytworzona w ramach współpracy z Firmą Złotecki Sp. z o.o.

**Słowa kluczowe:** kompozyty metalowo-ceramiczne, metoda zawiesinowa, tłoki kompozytowe, struktura, granica międzyfazowa

Praca finansowana w ramach działań statutowych (projekt nr.: 11/030/BK\_24/1177).

## ALUMINIUM MATRIX COMPOSITES WITH SiC PARTICLES FABRICATED BY STIR CASTING METHOD

Maciej Dyzia<sup>1</sup>, Anna Janina Dolata<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> *Silesian University of Technology, Faculty of Materials Engineering, Poland*  
*anna.dolata@polsl.pl*

The main advantage of composite materials is the possibility to design their structure and properties through the adequate selection of the matrix material, type, form, size and volume of the reinforcing phase, as well as the selection of the method and parameters of the composite production.

In the process of manufacturing composites based on aluminum alloys (Al) with silicon carbide particles (SiC<sub>p</sub>) based on the stir-casting method, the most important are: preparation of the matrix alloy (refining, modification of the chemical composition of the alloy), preparation of ceramic particles (limiting grain size distribution, chemical preparation, thermal treatment), as well as the speed and time of mixing the composite suspension. Obtaining a stable composite suspension requires adequate conditions under which the surface of ceramic phases will be wetted by the liquid metal alloy, which allows for obtaining a permanent connection at the interface between the reinforcing phase and the matrix.

The author's own research focused on the preparation of methodology and technological recommendations for the production of metal-ceramic composite suspensions in which silicon carbide particles were used as the reinforcing phase. The developed procedures were verified in industrial conditions, and the final result of the presented works is a series of 50 composite pistons for air compressors manufactured in cooperation with Złotecki Sp. z o. o.

**Keywords:** metal-ceramic composites (MMCs), stir casting, methods, composite pistons, microstructure, interface

The research was supported under statutory activities (projects no.: 11/030/BK\_24/1177).

## KOMPOZYTY O OSNOWIE WITRYMERÓW EPOKSYDOWYCH, MODYFIKOWANE CIECZAMI JONOWYMI

Simona Furgol<sup>1,2</sup>, Damian Kiełkiewicz<sup>2</sup>, Natalia Biernat<sup>2</sup>, Agata Krasuska<sup>2</sup>, Ewa Sabura<sup>2</sup>,  
Katarzyna Gębura<sup>2</sup>, Anna Janina Dolata<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej, Katedra Technologii Materiałów, Wspólna  
Szkoła Doktorska, ul. Akademicka 2a, 44-100 Gliwice, Polska

<sup>2</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz, Instytut Ciężkiej Syntezy Organicznej "Blachownia", Kędzierzyn-Koźle,  
47-225 Polska

<sup>3</sup> Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej, Katedra Technologii Materiałów,  
ul. Krasińskiego 8, Katowice, 40-019 Polska.

e-mail: [simona.furgol@polsl.pl](mailto:simona.furgol@polsl.pl)

Opracowanie technologii wytwarzania witrymerów epoksydowych z adaptacyjnymi wiązaniami kowalencyjnymi (CAN) to zrównoważony przełom w dziedzinie tworzyw sztucznych umożliwiając ponowne przetwarzanie i recykling żywic, a tym samym redukcję odpadów składowanych na wysypiskach. Podążając za zrównoważonymi rozwiązaniami, poszukiwane są również innowacyjne materiały epoksydowe do zastosowań jako komponent osnowy w kompozytach polimerowych.

Celem pracy jest opracowanie nowych i funkcjonalnych materiałów kompozytowych, na bazie żywicy epoksydowej modyfikowanej cieczami jonowymi, nadających się do recyklingu i ponownego wykorzystania. Ciecze jonowe, znane ze swojej zgodności z zasadami zielonej chemii, posłużą m.in. jako katalizatory transestryfikacji w syntezie witrymerów o podwyższonych właściwościach. W pracy założono także możliwość odzysku komponentów wzmacniających epoksydową osnowę, np. włókien wykorzystanych do wytwarzania kompozytów.

Wykorzystanie cieczy jonowych w technologii wytwarzania kompozytów witrymerowych niesie za sobą duże nadzieje w obszarze transformacji gospodarki do obiegu zamkniętego (GOZ). W miarę postępu badań, nowych formuł i technologii przetwarzania poszerzone zostaną możliwości zastosowania witrymerów w różnych gałęziach przemysłu.

**Słowa kluczowe:** witrymer, ciecz jonowa, żywica epoksydowa, kompozyt

PRACE BADAWCZE DOFINANSOWANE ZE ŚRODKÓW BUDŻETU PAŃSTWA W RAMACH VII EDYCJI PROGRAMU MEiN pn. „DOKTORAT WDROŻENIOWY 2023” (temat: „Kompozyty o osnowie witrymerów epoksydowych z kowalencyjnymi wiązaniami adaptacyjnymi modyfikowanych cieczami jonowymi, nr umowy: DWD/7/0412/2023, dofinansowanie: 316 799,84 zł).



## EPOXY VITRIMERS MATRIX COMPOSITES MODIFIED WITH IONIC LIQUIDS

Simona Furgol<sup>1,2</sup>, Damian Kiełkiewicz<sup>2</sup>, Natalia Biernat<sup>2</sup>, Agata Krasuska<sup>2</sup>, Ewa Sabura<sup>2</sup>,  
Katarzyna Gębura<sup>2</sup>, Anna Janina Dolata<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Silesian University Of Technology -Faculty of Materials Engineering, Joint Doctoral School, Silesian University of Technology, Akademicka 2a, 44-100 Gliwice, Poland*

<sup>2</sup> *Łukasiewicz Research Network—Institute of Heavy Organic Synthesis "Blachownia", Kędzierzyn-Koźle, 47-225, Poland*

<sup>3</sup> *Silesian University Of Technology -Faculty of Materials Engineering, ul. Krasińskiego 8, Katowice, 40-019 Polska*

*e-mail: simona.furgol@polsl.pl*

The development of technology to produce epoxy vitrimers with Covalent Adaptive Networks (CAN) is a sustainable breakthrough in the field of plastics enabling the reprocessing and recycling of resins, therefore reducing landfill waste. Following sustainable solutions, innovative epoxy materials are also being sought for use as a matrix component in polymer composites.

The aim of this study is to develop new and functional composite materials, based on epoxy resin modified with ionic liquids, suitable for recycling and reuse. Ionic liquids, known for their compatibility with the principles of green chemistry, will serve, among other things, as transesterification catalysts in the synthesis of vitrimers with enhanced properties. The work also assumes the possibility of recovering epoxy matrix-reinforcing components, such as fibres used in the manufacture of composites.

The use of ionic liquids in vitrimer composite manufacturing technology holds great promise in the area of transforming the economy to a closed loop (GOZ). As research, new formulations and processing technologies progress, the possibilities for the use of vitrimers in various industries will be expanded.

**Keywords:** vitrimer, ionic liquid, epoxy resin, composite

RESEARCH WORKS FINANCED FROM THE STATE BUDGET'S RESOURCES UNDER THE VII-TH EDITION OF THE MEIN PROGRAMME 'INDUSTRIAL PhD PROGRAM 2023' (subject: 'Epoxy vitrimer matrix composites with covalent adaptive networks modified with ionic liquids, Contract No: DWD/7/0412/2023, grant: PLN 316,799.84).

## PREPREGI EPOKSYDOWE O ZWIĘKSZONEJ ZAWARTOŚCI BIO-SUROWCÓW

Natalia Biernat<sup>1</sup>, Damian Kiełkiewicz<sup>1</sup>, Simona Furgoł<sup>1</sup>, Małgorzata Greif<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Ciężkiej Syntezy Organicznej "Blachownia",  
Kędzierzyn-Koźle, Polska

*e-mail: natalia.biernat@icso.lukasiewicz.gov.pl*

Prepregi to materiały składające się ze zbrojenia fabrycznie zaimpregnowanego żywicą, w niskich temperaturach mogą być one przechowywane przez miesiące, natomiast utwardzenie kompozytu następuje po podgrzaniu w formie. Prepregi stosowane są m.in. przy produkcji sprzętów sportowych, w przemyśle lotniczym czy samochodowym - wszędzie tam gdzie wymagana jest lekkość i wytrzymałość konstrukcji. Światowy rynek prepregów został wyceniony na 11,05 miliarda dolarów w 2022 roku i oczekuje się, że w latach 2023–2030 będzie się rozwijać przy złożonej rocznej stopie wzrostu (CAGR) wynoszącej 10,8% [1].

Aktualnie głównie stosowanym składnikiem matrycy jest żywica na bazie bisfenolu A lub F, jako zbrojenie stosowane są włókna węglowa, szklane lub aramidowe. W związku ze stale zwiększającym się zapotrzebowaniem rynkowym na „zielone” tworzywa istnieje potrzeba opracowania rozwiązań pozwalających na eliminację surowców pochodzenia petrochemicznego ze składu prepregów, a w ich miejsce wprowadzenia surowców pochodzenia naturalnego. W związku z powyższym zbadano możliwość wprowadzenia do kompozycji bio-prepregu surowców odnawialnych poprzez zastąpienie żywicy na bazie bisfenolu epoksydowanymi olejami oraz zastosowanie utwardzaczy pochodzenia naturalnego.

**Słowa kluczowe:** prepregi epoksydowe, bio-surowce, bio-prepregi, surowce odnawialne

### Literatura:

1. Grand View Research: Prepreg Market Size, Share & Trends Analysis Report By Fiber (Glass, Carbon, Aramid), By Resin (Thermoset, Thermoplastic), By Manufacturing Process (Hot-melt, Solvent Dip), By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2023 - 2030.

## EPOXY PREPREGS WITH INCREASED CONTENT OF BIO-RAW MATERIALS

Natalia Biernat<sup>1</sup>, Damian Kiełkiewicz<sup>1</sup>, Simona Furgoł<sup>1</sup>, Małgorzata Greif<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Łukasiewicz Research Network - Institute of Heavy Organic Synthesis "Blachownia",  
Kędzierzyn-Koźle, Poland*

*e-mail: natalia.biernat@icso.lukasiewicz.gov.pl*

Prepregs are materials consisting of reinforcement factory-impregnated with resin, at low temperatures they can be stored for months, the composite hardens after heating in the mold. Prepregs are used in the production of sports equipment, in the aviation and automotive industries - wherever lightness and durability of the structure are required. The global prepreg market was valued at \$11.05 billion in 2022 and is expected to expand at a compound annual growth rate (CAGR) of 10.8% from 2023 to 2030 [1].

Currently, the mainly used matrix component is a resin based on bisphenol A or F, and carbon, glass or aramid fibers are used as reinforcement. Due to the constantly increasing market demand for "green" materials, there is a need to develop solutions that allow the elimination of petrochemical raw materials from the composition of prepregs. In their place, it is necessary to introduce raw materials of natural origin. Therefore, the possibility of introducing renewable raw materials into the bio-prepreg composition was investigated by replacing the bisphenol-based resin with epoxidized oils and hardening them using natural hardeners.

**Keywords:** epoxy prepregs, bio-raw materials, bio-prepregs, renewable raw materials

### References:

1. Grand View Research: Prepreg Market Size, Share & Trends Analysis Report By Fiber (Glass, Carbon, Aramid), By Resin (Thermoset, Thermoplastic), By Manufacturing Process (Hot-melt, Solvent Dip), By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2023 - 2030.

## WITRYMERY POLIOLEFINOWE JAKO ALTERNATYWA DLA USIECIEWANYCH POLIOLEFIN W PRZEMYSŁE KOMPOZYTOWYM

Natalia Biernat<sup>1,2</sup>, Simona Furgoł<sup>1</sup>, Ewa Sabura<sup>1</sup>, Katarzyna Gębura<sup>1</sup>, Anna Pietruszka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Ciężkiej Syntezy Organicznej "Blachownia",  
Kędzierzyn-Koźle, Polska*

<sup>2</sup>*Katedra Inżynierii i Technologii Polimerów, Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska,  
Wrocław, Polska*

*e-mail: natalia.biernat@icso.lukasiewicz.gov.pl*

Poliolefiny to szeroko stosowane tworzywa termoplastyczne, aby zwiększyć ich wytrzymałość poddawane są sieciowaniu. Usieciowany polietylen np. w kompozycie z aluminium wykorzystywany jest do produkcji rur do dostarczania wody. W trakcie sieciowania poliolefin powstają stałe wiązania kowalencyjne które usztywniają tworzywo oraz powodują, że nie upływnia się ono po stopieniu, w związku z tym nie jest możliwy jego recykling. Ze względu na wymagania Gospodarki Obiegu Zamkniętego (GOZ) konieczne jest znalezienie alternatywy, którą mogą być witrymery - materiały wykazujące odwracalne sieciowanie. Strukturę molekularną witrymeru stanowi sieć przestrzenna ułożona z adaptacyjnych wiązań kowalencyjnych (CANs), wiązania te zmieniają swoją topologię w wyniku aktywowanych termicznie reakcji wymiany wiązań chemicznych [1]. Wiązania te powodują, że witrymer upływnia się w podwyższonej temperaturze.

Przeprowadzone badania pokazują, że możliwa jest witrymeryzacja polietylenu metodą reaktywnego przetwórstwa. Zaobserwowano zmianę momentu obrotowego w trakcie procesu oraz poprawę stabilności termicznej materiału. Zastosowanie witrymerów poliolefinowych w przemyśle kompozytowym może okazać się skutecznym sposobem na zwiększenia możliwości recyklingowych kompozytów.

**Słowa kluczowe:** witrymery, witrymery poliolefinowe, recykling, sieciowanie poliolefin

Badanie było współfinansowane przez Ministerstwo Edukacji i Nauki w ramach grantu nr DWD/6/0585/2022.

### Literatura:

1. N. Zee, R. Nicolay: "Vitrimers: Permanently crosslinked polymers with dynamic network topology", *Progress in Polymer Science* (2020) **104**, 101233.

# POLYOLEFIN VITRIMERS AS AN ALTERNATIVE TO CROSS-LINED POLYOLEFINES IN THE COMPOSITE INDUSTRY

Natalia Biernat<sup>1,2</sup>, Simona Furgoł<sup>1</sup>, Ewa Sabura<sup>1</sup>, Katarzyna Gębura<sup>1</sup>, Anna Pietruszka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Lukasiewicz Research Network - Institute of Heavy Organic Synthesis "Blachownia",  
Kędzierzyn-Koźle, Poland*

<sup>2</sup>*Department of Engineering and Technology of Polymers, Faculty of Chemistry, Wrocław University  
of Science and Technology, Wrocław, Poland  
e-mail: natalia.biernat@icso.lukasiewicz.gov.pl*

Polyolefins are the most commonly used thermoplastics and are cross-linked to increase their strength. Cross-linked polyethylene, e.g. in an aluminum composite, is used to produce water supply pipes. During cross-linking of polyolefins, permanent covalent bonds are formed, which stiffen the material and prevent it from liquefying after melting, making it impossible to recycle. Due to the requirements of circular economy, it is necessary to find an alternative, which may be vitrimers - materials with reversible cross-linking. The molecular structure of vitrimer is a spatial network composed of adaptive covalent bonds (CANs), these bonds change their topology as a result of thermally activated chemical bond exchange reactions [1]. These bonds cause the vitrimer to liquefy at elevated temperatures.

Research shows that vitrimerization of polyethylene is possible using the reactive processing method. A change in torque during the process and an improvement in the thermal stability of the material were observed. The use of polyolefin vitrimers in the composite industry may prove to be an effective way to increase the recycling capabilities of composites.

**Keywords:** vitrimers, polyolefin vitrimers, recycling, cross-linking of polyolefins

This research was co-financed by the Ministry of Education and Science of Poland under grant No DWD/6/0585/2022.

## References:

1. N. Zee, R. Nicolay: "Vitrimers: Permanently crosslinked polymers with dynamic network topology", *Progress in Polymer Science* (2020) **104**, 101233.

## POTENCJAŁ APLIKACYJNY PRODUKTU UZYSKANEGO W TECHNOLOGII RECYKLINGU ZGARÓW SOLNYCH POWSTAŁYCH W PROCESIE PRODUKCJI STOPÓW ALUMINIUM

J. Wieczorek<sup>1</sup>, T. Maciąg<sup>1</sup>, K. Błasiak<sup>1</sup>, D. Słupska<sup>1\*</sup>, A. Słupski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *T+S Sp. z o.o. Tadeusza Kościuszki 111, 32-650 Kęty, Grupa Alumetal*  
*\*e-mail: dsłupska@alumetal.pl*

Grupa Alumetal zalicza się do największych w Europie producentów wtórnych aluminiowych stopów odlewniczych i stopów wstępnych. W procesie otrzymywania lub recyklingu aluminium i jego stopów powstaje odpad w postaci zgarów solnych. Ich skład zależy głównie od gatunku wytwarzanego stopu aluminium oraz zastosowanej technologii topienia, rafinacji i ochrony stopu przed utlenieniem. Zgary solne zawierają głównie mieszaninę soli NaCl i KCl, związki aluminium m.in. tlenki, metaliczne aluminium i śladowe ilości innych metali. Podjęto prace mające na celu recykling zgarów solnych, będących odpadem niebezpiecznym poprzez odzysk surowców w tym soli pokryciowej i metali oraz znalezienie komercyjnego wykorzystania pozostałych w procesie tlenków aluminium.

Przedstawiono możliwości zastosowania odpadu zawierającego związki glinu, będącego produktem technologii recyklingu zgarów solnych powstających w czasie przetwarzania złomu aluminium. Sprawdzono go w roli nieorganicznego dodatku mineralnego, w tym m.in. w surowca do produkcji klinkieru portlandzkiego, składnika cementu, składnika zestawu surowcowego w produkcji wełny skalnej i składnika materiałów ogniotrwałych.

**Słowa kluczowe:** recykling, stopy aluminium, zgary solne, surowiec mineralny oparty na glinie

T+S Sp. z o. o. realizuje projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Inteligentny Rozwój pt. "Technologia recyklingu zgarów solnych powstałych w procesie produkcji aluminiowych, wtórnych stopów odlewniczych". Projekt realizowany w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju: Szybka Ścieżka. Projekt nr: POIR.01.01.01-00-0680/19-00

# APPLICATION POTENTIAL OF THE PRODUCT OBTAINED IN THE TECHNOLOGY OF RECYCLING SALT DROSS GENERATED IN THE PRODUCTION PROCESS OF ALUMINUM ALLOYS

J. Wieczorek<sup>1</sup>, T. Maciąg<sup>1</sup>, K. Błasiak<sup>1</sup>, D. Słupska<sup>1\*</sup>, A. Słupski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *T+S Sp. z o.o. Tadeusza Kościuszki 111, 32-650 Kęty, Grupa Alumetal*  
*\*e-mail: dslupska@alumetal.pl*

The Alumetal Group is one of the largest producers of secondary aluminum casting alloys and primary alloys in Europe. In the process of obtaining or recycling aluminum and its alloys, waste is produced in the form of salt dross. Their composition depends mainly on the type of aluminum alloy produced and the technology used for melting, refining and protecting the alloy against oxidation. Salt dross contains mainly a mixture of NaCl and KCl salts, aluminum compounds, among others. oxides, metallic aluminum and traces of other metals. Work was undertaken to recycle salt dross, which is hazardous waste, by recovering raw materials, including coating salt and metals, and finding commercial use for aluminum oxides remaining in the process.

The possibilities of using waste containing aluminum compounds, which is a product of the technology of recycling salt dross generated during the processing of aluminum scrap, are presented. It has been tested as an inorganic mineral supplement, including: as a raw material for the production of Portland clinker, a component of cement, a component of the raw material set for the production of rock wool and a component of refractory materials.

**Keywords:** recycling, aluminum alloys, salt dross, Al-based mineral raw material

T+S Sp. z o. o. implements a project co-financed by the European Union from the European Regional Development Fund under the Smart Growth Program entitled " Technology for the recycling of salt slags from the secondary casting aluminium alloys production". The project is implemented as part of the competition of the National Center for Research and Development: Fast Track. Project no.: POIR.01.01.01-00-0680/19-00

# WPŁYW PARAMETRÓW PROCESU WYTWARZANIA NA WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH UMACNIANYCH POPRODUKCYJNYMI PROSZKAMI ŻELIWA

Robert Cieślak<sup>1,2</sup>, Paweł Figiel<sup>1</sup>, Anna Biedunkiewicz<sup>1</sup>, Izabela Irska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Katedra Technologii Materiałowych, al. Piastów 19, 70-310 Szczecin, Polska  
e-mail: pfigiel@zut.edu.pl

<sup>2</sup> Wodrol Sp. z o.o. ul. Chełmińska 6, 78-600 Wałcz, Polska

Kompozyty polimerowe znajdują szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłowych. W prezentowanej pracy zostały przedstawione wyniki badań wytwarzanych kompozytów w osnowie polimerowej, umocnionej zmodyfikowanymi poprodukcyjnymi proszkami żeliwa szarego, w formie wiórów. Ideą pomysłu było zagospodarowanie trudnych w recyklingu żeliwnych odpadów poprodukcyjnych [1,2] i zastosowanie ich jako fazy zbrojącej osnowę polimerową, w formie przemysłowej żywicy epoksydowej na bazie bisfenolu. W pracy przedstawiono wyniki badań kompozytów z maksymalnym 65% udziałem masowym proszków żeliwa szarego o wielkości ziarna mniejszej niż 0,075 mm. Kompozyty otrzymywano w próżni, w temperaturze powyżej temperatury zeszklenia żywicy i z różnym czasem wygrzewania (0 – 2h). Metodami spektroskopowymi (1H NMR, ATR-FTIR) scharakteryzowano osnowę z żywicy epoksydowej, wyznaczono również równoważnik epoksydowy, zbadano jej lepkość i zawartość substancji nielotnych. Na podstawie mikroskopowej analizy mikrostruktury ujawniono homogenny rozkład wiórów w osnowie polimerowej oraz incydentalnie występujące pory zamknięte. Badania wytrzymałościowe ujawniły korzystny wpływ czasu wygrzewania na właściwości mechaniczne. Czas ten jednak nie wpływał wyraźnie na wyniki twardości, które mieściły się w zakresie 75 – 80 w skali Shore`a.

**Słowa kluczowe:** kompozyty polimerowe, żywica epoksydowa, żeliwo szare,

## Literatura:

1. Pribulova et al.: "Recycling of wastes from cast iron casting production", International Multidisciplinary Scientific GeoConference : SGEM; 19, (2019) 763-770.
2. B.A. Tayeh, D.M. Al Saffar: "Utilization of waste iron powder as fine aggregate in cement mortar, J. Eng. Res. Techno 5(2) (2018) 22-27.



# EFFECT OF MANUFACTURING PROCESS PARAMETERS ON PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES REINFORCED WITH POST-PRODUCTION CAST IRON POWDERS

Robert Cieślak<sup>1,2</sup>, Paweł Figiel<sup>1</sup>, Anna Biedunkiewicz<sup>1</sup>, Izabela Irska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *West Pomerania University of Technology, Szczecin, Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, Department of Materials Technology, Piastów 19 av., 70-310 Szczecin, Poland  
e-mail: pfigiel@zut.edu.pl*

<sup>2</sup> *Wodrol Sp. z o.o. Chełmińska 6 av., 78-600 Wałcz, Poland*

Polymer composites are widely used in various industrial sectors. In the presented work, the results of studies of manufactured composites in a polymer matrix reinforced with modified post-production cast iron powders, in the form of chips, are presented. The idea was to utilize cast iron post-production wastes, which are difficult to recycle [1,2], and use them as a reinforcing phase for the polymer matrix, in the form of an industrial bisphenol-based epoxy resin. This paper presents the results of composites with a maximum of 65% by weight of cast gray iron powders with a grain size of less than 0.075 mm. The composites were obtained in vacuum, at temperatures above the glass transition temperature of the resin and with different annealing times (0 - 2h). The epoxy resin matrix was characterized by spectroscopic methods (1H NMR, ATR-FTIR), the epoxy equivalent, its viscosity and non-volatile content were also examined. Microscopic analysis of the microstructure revealed a homogeneous distribution of chips in the polymer matrix and incidental closed pores. Strength tests revealed a favorable effect of annealing time on mechanical properties. However, the time did not clearly affect the hardness results, which were in the range of 75 - 80 on the Shore scale.

**Keywords:** polymer composites, epoxy resin, grey cast iron,

## References:

1. A. Pribulova et al.: "Recycling of wastes from cast iron casting production", International Multidisciplinary Scientific GeoConference : **SGEM**; 19, (2019) 763-770.
2. B.A. Tayeh, D.M. Al Saffar: "Utilization of waste iron powder as fine aggregate in cement mortar, J. Eng. Res. Techno 5(2) (2018) 22-27.

## BADANIE WPŁYWU NATURALNYCH NAPEŁNIACZY NA WŁAŚCIWOŚCI PRÓBEK OTRZYMANÝCH W PROCESIE WYTWARZANIA PRZYROSTOWEGO

Marta Beata Krawczyk<sup>1</sup>, Rafał Przybylski, Paweł Figiel<sup>1</sup>, Konrad Kwiatkowski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Szczecin, Polska. marta.krawczyk@zut.edu.pl*

Materiały naturalne wzbudzają zainteresowanie naukowców jako wzmocnienie w kompozytach polimerowych ze względu na ich niski koszt, niską wagę, dobre właściwości mechaniczne i biodegradowalność. Prowadzone są liczne badania skupiające się na poszukiwaniu kompozytów integrujących zastosowanie różnych materiałów naturalnych jako wzmocnienie z ich potencjalnymi zastosowaniami w różnych obszarach przemysłu. Polimerowe materiały kompozytowe zazwyczaj wytwarzane są klasycznymi metodami, jednak wraz z rozwojem technik wytwarzania stały się również przedmiotem badań w obszarze wytwarzania przyrostowego.

W pracy badano wpływ naturalnych napełniaczy w formie włókien i proszków na gęstość, nasiąkliwość, skurcz, wytrzymałość na rozciąganie oraz udarność. Próbki otrzymano w drodze wytwarzania przyrostowego w technologii MEX (ang. Material Extrusion) przy stałych parametrach procesu dla każdego materiału. Analizie poddane zostały komercyjnie dostępne materiały o osnowie z PLA (kwas polimlekowy) z 40% dodatkiem drewna, bambusa i korka, zaś uzyskane wyniki odniesiono do czystego materiału. We wstępnych badaniach zaobserwowano, że naturalne napełniacze obniżają gęstość oraz odporność na rozciąganie, poprawiają zaś udarność.

**Słowa kluczowe:** polimerowe materiały kompozytowe, naturalne napełniacze, wytwarzanie przyrostowe

### Literatura:

1. C. Ciofu et al.: "Tribological behavior of PLA biodegradable materials used in the automotive industry", *IJMMT*, 3 (2019) 83-88.
2. Y.E. Belarbi et al.: "Hygrothermal and Microstructural Investigation of PLA and PLA-Flax Printed Structures", *Fibers*, 10 (2022) 24

# INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF NATURAL FILLERS ON THE PROPERTIES OF SAMPLES OBTAINED BY ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGY

Marta Beata Krawczyk<sup>1</sup>, Rafał Przybylski, Paweł Figiel<sup>1</sup>, Konrad Kwiatkowski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, Szczecin, Poland. marta.krawczyk@zut.edu.pl*

Natural materials are attracting the interest of researchers as reinforcement in polymer composites due to their low cost, lightweight, good mechanical properties, and biodegradability. Numerous studies are going on to focus on the search for composites that integrate the use of different natural materials as reinforcement with their potential applications in various industrial areas. Polymer composite materials are usually manufactured using classic methods. However, in recent years, they have also become the subject of research in the field of additive manufacturing.

The study investigated the effects of natural fillers in fiber and powder form on density, absorption, shrinkage, tensile strength, and impact strength. Samples were obtained by additive manufacturing using Material Extrusion (MEX) technology with constant process parameters for each material. Commercial PLA (polylactic acid) matrix materials with a 40% addition of wood, bamboo, and cork were analyzed, and the results were related to the pure material. In preliminary studies, was observed that the natural fillers reduced density and tensile strength while improving impact strength.

**Keywords:** polymer composites, natural fillers, additive manufacturing

## References:

1. C. Ciofu et al.: "Tribological behavior of PLA biodegradable materials used in the automotive industry", *IJMMT*, 3 (2019) 83-88.
2. Y.E. Belarbi et al.: "Hygrothermal and Microstructural Investigation of PLA and PLA-Flax Printed Structures", *Fibers*, 10 (2022) 24

## IZOLACJE KABLI SN i WN – STAN OBECNY, WYZWANIA I KIERUNKI ROZWOJU

Iga Korczyńska<sup>1,2</sup>, Paweł Lesiak<sup>1,2</sup>, Elżbieta Piesowicz<sup>1</sup>, Sandra Paszkiewicz<sup>1</sup>, Adam Majewski<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Polska.

<sup>2</sup> TELE-FONIKA Kable S.A., Bydgoszcz, Polska. iga.korczynska@tfkable.com

<sup>3</sup> PLASTBUD Sp.z o.o., Żary, Polska.

Zdecydowaną większość izolacji kabli średnich (SN) i wysokich napięć (WN) stanowią usieciowany polietylen (XLPE) oraz izolacja etylenowo-propylenowa (EPR). Coraz rzadziej spotyka się izolację papierową pokrytą ołowiem (PILC). Połączenie właściwości fizycznych, stabilności termicznej, odporności na promieniowanie UV oraz szerokiego zakresu struktur i morfologii sprawiło, że XLPE wyróżnia się w porównaniu z innymi materiałami izolacyjnymi. XLPE charakteryzuje się wysoką wytrzymałością na przebicie elektryczne, niską stałą dielektryczną oraz niskimi stratami dielektrycznymi jest jednak podatne na powolny proces starzenie zwanego drzewieniem wodnym.

Alternatywne i innowacyjne rozwiązanie stanowi izolacja na bazie polipropylenu (PP). Główne właściwości nowej technologii wynikają z faktu, że izolacja PP oparta jest na całkowicie termoplastycznych materiałach zdolnych do zapewnienia finalnemu produktowi właściwości elektrycznych i mechanicznych podobnych lub lepszych od konwencjonalnych materiałów izolacyjnych. Nowa technologia pozwala uzyskać mieszankę o właściwości nieosiągalnych dla izolacji sieciowanych, ponieważ właściwości elektryczne są wzmacniane poprzez poprawioną homogeniczność, nieprzerywany proces produkcyjny, brak zanieczyszczeń, reakcji chemicznej oraz gazowych produktów ubocznych. Nowe układy izolacyjne wykazują wyższą temperaturę topnienia w porównaniu z XLPE lub EPR, co pozwala osiągnąć wyższe temperatury robocze bez wpływu na wytrzymałość mechaniczną masy izolacyjnej. Praca w temperaturach do 110°C i awaryjnie do 130°C, zachowując przy tym tę samą temperaturę zwarciovą [1, 2].

**Słowa kluczowe:** izolacja, kable SN i WN, polipropylen, usieciowany polietylen

### Literatura:

1. Brown M., "EPR-Based URD Insulation: A Question of Confidence", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 4, No. 5, September/October 1988;
2. Alberto Bareggi–PrysmianGroup: „P-Laser: from MV to HV” AlertoBareggi, Italy, CIGRE.

## INSULATION OF MV AND HV CABLES – CURRENT STATUS, CHALLENGES AND DIRECTIONS FOR DEVELOPMENT

Iga Korczyńska<sup>1,2</sup>, Paweł Lesiak<sup>1,2</sup>, Elżbieta Piesowicz<sup>1</sup>, Sandra Paszkiewicz<sup>1</sup>, Adam Majewski<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Polska.

<sup>2</sup> TELE-FONIKA Kable S.A., Bydgoszcz, Polska. iga.korczynska@tfkable.com

<sup>3</sup> PLASTBUD Sp.z o.o., Żary, Polska.

The predominant insulation materials for medium (MV) and high voltage (HV) cables are cross-linked polyethylene (XLPE) and ethylene-propylene rubber (EPR). Paper insulated lead covered (PILC) insulation is becoming increasingly rare. The combination of physical properties, thermal stability, resistance to UV radiation, a wide range of structures and morphologies make XLPE stand out compared to other insulation materials. XLPE is characterized by high electrical breakdown strength, low dielectric constant, and low dielectric losses, but it is susceptible to a slow aging process called water treeing.

An alternative and innovative solution is insulation based on polypropylene (PP). The main properties of this new technology from the fact that PP insulation is based on entirely thermoplastic materials capable of providing electrical and mechanical properties to the final product similar to or better than conventional insulation materials. The new technology allows for a mixture of properties unattainable for cross-linked insulation, as electrical properties are enhanced by improved homogeneity, uninterrupted production processes, absence of impurities, chemical reactions, and gas by-products. The new insulation systems exhibit a higher melting temperature compared to XLPE or EPR, allowing for higher operating temperatures without affecting the mechanical strength of the insulation mass. Operating temperatures of up to 110°C and emergency temperatures of up to 130°C can be achieved while maintaining the same short-circuit temperature [1, 2].

**Keywords:** insulation, MV and HV cables, polypropylene, cross-linked polyethylene

### References:

1. Brown M., "EPR-Based URD Insulation: A Question of Confidence", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 4, No. 5, September/October 1988;
2. Alberto Bareggi–PrysmianGroup: „P-Laser: from MV to HV” AlertoBareggi, Italy, CIGRE.

## DEGRADACJA NO<sub>x</sub> W FOTOREAKTORZE Z MIKROSFERAMI GLINOKRZEMIANOWYMI POKRYTYMI CIENKIMI WARSTWAMI TiO<sub>2</sub>

Paulina Szoldra<sup>1</sup>, Maksymilian Frąc<sup>1</sup>, Waldemar Pichór<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Polska. E-mail:  
szoldra@agh.edu.pl

Mikrosfery glinokrzemianowe, będące lekką frakcją popiołów lotnych ze spalania węgla, zostały wykorzystane jako nośnik do osadzania warstw TiO<sub>2</sub>. Połączenie mikrosfer glinokrzemianowych i TiO<sub>2</sub> w postaci cienkiej warstwy skutkuje otrzymaniem jakościowo nowego układu o właściwościach fotokatalitycznych, dedykowanego do konkretnych zastosowań. Powłoka TiO<sub>2</sub> zapewnia dodatkową funkcjonalność, jaką jest zdolność do fotokatalitycznej degradacji zanieczyszczeń. Połączenie powłoki TiO<sub>2</sub> z nośnikiem sferycznym w postaci mikrosfer glinokrzemianowych pozwala uzyskać układ fotokatalityczny, który może znaleźć zastosowanie jako złoże w fotoreaktorach przeznaczonych do oczyszczania powietrza. W reaktorze o przepływie ciągłym mikrosfery z powłokami TiO<sub>2</sub> umożliwiają ciągłą i równomierną degradację NO<sub>x</sub>. Gdy gaz przepływa przez reaktor, cienkie warstwy TiO<sub>2</sub> mogą w sposób ciągły fotokatalitycznie rozkładać NO<sub>x</sub>. Wykorzystanie mikrosfer z cienkimi warstwami TiO<sub>2</sub> w reaktorach z przepływem ciągłym stwarza możliwość ograniczenia emisji NO<sub>x</sub> i poprawy jakości powietrza. Zdolność rozkładu NO w fotoreaktorze z lampą UVA o mocy 9 W wynosiła około 80% w warunkach środowiskowych z wilgotnością względną na poziomie 30%, natężeniem przepływu gazu wynoszącym 1 dm<sup>3</sup>/min i początkowym stężeniem NO- 1 ppm.

**Słowa kluczowe:** Mikrosfery z powłokami TiO<sub>2</sub>, fotoreaktor o przepływie ciągłym, fotodegradacja NO<sub>x</sub>, oczyszczanie powietrza

## DEGRADATION OF NO<sub>x</sub> IN A PHOTOREACTOR WITH ALUMINOSILICATE MICROSPHERES COATED WITH TiO<sub>2</sub> THIN FILMS

Paulina Szoldra<sup>1</sup>, Maksymilian Frąc<sup>1</sup>, Waldemar Pichór<sup>1</sup>

<sup>1</sup> AGH University of Krakow, Poland. E-mail: szoldra@agh.edu.pl

In this work, aluminosilicate microspheres, which are a fraction of fly ash from coal combustion, were used as a substrate for depositing TiO<sub>2</sub> layers. The combination of aluminosilicate microspheres and TiO<sub>2</sub> in the form of a thin layer results in the acquisition of a qualitatively new system with photocatalytic properties, dedicated to specific applications. The TiO<sub>2</sub> coating provides microspheres with additional functionality, namely the ability for photocatalytic degradation of pollutants. The combination of TiO<sub>2</sub> coating with a spherical carrier in the form of aluminosilicate microspheres leads to a photocatalytic system that can be used as a bed for photoreactors intended for air purification. Within a continuous flow reactor with the TiO<sub>2</sub> thin film-based microspheres allow for a continuous and steady treatment of the NO<sub>x</sub>-containing gas stream. As the gas flows through the reactor, the TiO<sub>2</sub> thin films can continuously catalyze the decomposition of NO<sub>x</sub>. The utilization of microspheres with TiO<sub>2</sub> thin films in continuous flow reactors holds promise for mitigating NO<sub>x</sub> emissions and improving air quality. The NO decomposition capacity in the photoreactor with a 9W UVA lamp, reached approximately 80% under conditions including a relative humidity of 30%, a gas flow rate of 1 dm<sup>3</sup>/min, and an initial NO concentration of 1 ppm.

**Keywords:** TiO<sub>2</sub>-coated microspheres; continuous flow photoreactor; NO<sub>x</sub> photodegradation; air purification

## KOMPOZYTY POLIMEROWE NA BAZIE PBT MODYFIKOWANE NAPEŁNIACZAMI WĘGLOWYMI O POTENCJALNYM ZASTOSOWANIU NA TENSORY

Szymon Demski<sup>1</sup>, Michał Misiak<sup>1</sup>, Kamil Dydek<sup>2,1</sup>, Evgenia Madia<sup>3</sup>, Georgios Tzortzinis<sup>3</sup>,  
Paweł Durałek<sup>4</sup>, Anna Boczkowska<sup>1</sup>, Maik Gude<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Materiałowej, Politechnika Warszawska, Wołoska 141, 02-507 Warszawa, Polska  
szymon.demski.dokt@pw.edu.pl

<sup>2</sup> Centrum Zaawansowanych Technologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,  
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 10, 61-614, Poznań, Polska

<sup>3</sup> TUD Dresden University of Technology, Institute of Lightweight Engineering and Polymer  
Technology, Holbeinstr. 3, 01307 Drezno, Niemcy

<sup>4</sup> Technology Partners, ul. Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7A, 02-366 Warszawa, Polska

Poli(tereftalanu) butylu (PBT) jest jednym z najczęściej wykorzystywanych tworzyw termoplastycznych w przemyśle motoryzacyjnym czy elektronicznym ze względu na wysokie właściwości mechaniczne i odporność chemiczną. W celu poszerzenia aplikacyjności tego materiału modyfikuje się go poprzez wprowadzenie napełniaczy węglowych takich jak nanorurki węglowe (CNT) lub grafit. Jedną z możliwości aplikacyjnych modyfikowanych polimerów na bazie PBT jest ich wykorzystanie jako sensorów w systemach monitoringu strukturalnego (*ang. structural health monitoring*). Polega to na monitorowaniu zmian rezystywności materiału, która zmienia się wraz z odkształceniem, co pozwala to na wykrycie uszkodzeń elementów kompozytowych niewidocznych gołym okiem.

W niniejszej pracy wytworzono kompozyty polimerowe na bazie poli(tereftalanu) butylu z dodatkiem wielościennych nanorurek węglowych (MWCNT) oraz grafitu. Materiały w postaci termoplastycznych tasiemek wytworzono metodą wyłaczania. Na wytworzonych materiałach przeprowadzono badania DSC, pomiar przewodności elektrycznej, dyfuzyjności termicznej oraz rozciąganie jednoosiowe termoplastycznych tasiemek z jednoczesnym pomiarem rezystywności.

Badania przeprowadzono w ramach projektu „Strengthening Mazovian Multifunctional Composite Ecosystem through a Holistic Approach and a Strategic Alliance with European Leaders” (akronim: COMP-ECO). Nr 101079250 HORIZON-WINDERA-2021-ACCES-03

**Słowa kluczowe:** kompozyty polimerowe, PBT, napełniacze na bazie węgla sensory uszkodzeń



## PBT-BASED POLYMER COMPOSITES MODIFIED WITH CARBON FILLERS WITH POTENTIAL USE OF STRAIN GAUGES

Szymon Demski<sup>1</sup>, Michał Misiak<sup>1</sup>, Kamil Dydek<sup>2,1</sup>, Evgenia Madia<sup>3</sup>, Georgios Tzortzinis<sup>3</sup>,  
Paweł Durałek<sup>4</sup>, Anna Boczkowska<sup>1</sup>, Maik Gude<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Faculty of Materials Science and Technology, Warsaw University of Technology, Wołoska 141 St.,  
02-507 Warsaw, Poland  
szymon.demski.dokt@pw.edu.pl*

<sup>2</sup> *Centre for Advanced Technologies, Adam Mickiewicz University in Poznań, 10 Uniwersytetu  
Poznańskiego St., 61-614 Poznań, Poland*

<sup>3</sup> *TUD Dresden University of Technology, Institute of Lightweight Engineering and Polymer  
Technology, Holbeinstr. 3 St., 01307 Dresden, Germany*

<sup>4</sup> *Technology Partners, Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7A St., 02-366 Warsaw, Poland*

Poly(butyl terephthalate) (PBT) is one of the most commonly used thermoplastics in the automotive or electronics industry due to its high mechanical properties and chemical resistance. To extend the applicability of this material, it is modified by introducing carbon fillers such as carbon nanotubes (CNTs) or graphite. One of the application possibilities of modified PBT-based polymers is their use as sensors in structural health monitoring (SHM) systems. This involves monitoring changes in the material's resistivity, which varies with deformation, allowing the detection of damage to composite components that is not visible to the naked eye.

In this study, polymer composites based on poly(butyl terephthalate) with the addition of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) and graphite were manufactured. Materials in the form of thermoplastic strips were manufactured by extrusion moulding. Electrical conductivity, thermal diffusivity tests and differential scanning calorimetry (DSC) were conducted to characterise manufactured materials. The uniaxial tensile tests with simultaneous resistivity measurement were performed on the fabricated materials to verify the possibility of application as sensors.

The research was carried out as part of the project 'Strengthening Mazovian Multifunctional Composite Ecosystem through a Holistic Approach and a Strategic Alliance with European Leaders' (acronym: COMP-ECO). No. 101079250 HORIZON-WINDERA-2021-ACCES-03

**Key words:** polymer composites, PBT, carbon-based fillers, damage sensors

# PORÓWNANIE WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW STOSOWAWNYCH NA EKRANY PÓŁPRZEWODZĄCE W KABLACH ENERGETYCZNYCH ŚREDNIEGO I WYSOKIEGO NAPIĘCIA

Paweł Lesiak<sup>1,2,\*</sup>, Iga Korczyńska<sup>1,2</sup>, Renata Chylińska<sup>1</sup>, Konrad Walkowiak<sup>1</sup>, Elżbieta Piesowicz<sup>1</sup>, Sandra Paszkiewicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Al. Piastów 19, 70-310 Szczecin  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki, Instytut Inżynierii Materiałowej. \*  
[pawel.lesiak@tfkable.com](mailto:pawel.lesiak@tfkable.com)

<sup>2</sup> Tele-Fonika Kable S.A., Fabryka Bydgoszcz, Bydgoszcz ul. Fordońska 152, 85-957 Bydgoszcz, Polska.

Ze względu na coraz wyższe wymagania stawiane podczas produkcji kabli energetycznych tj. niższa awaryjność, większa obciążalność prądowa a także, ścisłe wymagania dotyczące aspektów ekologicznych. Wymagania te sprawiają że istnieje ciągła potrzeba nad dopracowywaniem materiałów na kable energetyczne. Jednym z elementów konstrukcyjnych kabli energetycznych jest układ izolacyjny odpowiadający za nieustanną możliwość pracy takiego kabla. Na układ izolacyjny składa się warstwa izolacyjna oraz ekran półprzewodzący żyły roboczej oraz ekran półprzewodzący warstwy izolacyjnej. Rolą ekranów półprzewodzących jest sterowanie liniami pola elektromagnetycznego. Potencjalne zaburzenia pola elektromagnetycznego mogą sprawić nieprawidłowości w pracy kabla a końcowo doprowadzić do jego permanentnego uszkodzenia. Materiałami które obecnie, najczęściej znajdują zastosowanie w kablownictwie są polietylen sieciowany (XLPE) i kauczuk etylenowo-propylenowy (EPR). Z uwagi na fakt, iż w ostatnich latach coraz częściej mówi się o wykorzystywaniu polipropylenu (PP) w kablownictwie, w niniejszej pracy zostaną zaprezentowane kable z układem izolacyjnym wykonanym z polipropylenu, które będą mogły pracować w wyższych temperaturach, niż dotychczas stosowane materiały, co pozwoli na zwiększenie obciążalności prądowej. Kolejnym ważnym aspektem poruszonym w pracy będzie podkreślenie aspektu środowiskowego wynikającego z wykorzystania PP, zamiast np. XLPE który jest nie tylko w pełni recyklingowalny i zmniejsza ilość generowanych odpadów.

**Słowa kluczowe:** Kable elektroenergetyczne, ekran półprzewodzący, polipropylen, XLPE, EPR

## Literatura:

1. T. Worzyk "Submarine Power Cable", Springer (2009)

# COMPARISON OF PROPERTIES OF MATERIALS USED FOR SEMICONDUCTING SCREENS IN MEDIUM AND HIGH VOLTAGE POWER CABLES

Paweł Lesiak<sup>1,2,\*</sup>, Iga Korczyńska<sup>1,2</sup>, Renata Chylińska<sup>1</sup>, Konrad Walkowiak<sup>1</sup>, Elżbieta Piesowicz<sup>1</sup>, Sandra Paszkiewicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics, West Pomeranian University of Technology in Szczecin, ul. Piastów 19, 70-310 Szczecin, Poland. \* [pawel.lesiak@tfkable.com](mailto:pawel.lesiak@tfkable.com)

<sup>2</sup> Tele-Fonika Kable S.A., Factory in Bydgoszcz, Bydgoszcz ul. Fordońska 152, 85-957 Bydgoszcz, Poland

Due to the rising requirements for the production of power cables, such as lower failure rates, higher current carrying capacity, and stringent ecological standards, there is a continuous need for refining materials for power cables. One of the structural components of power cables is the insulation system responsible for the continuous operation of such cables. The insulation system consists of an insulation layer and a semiconducting screen of the conductor and the insulation layer. The role of semiconducting screens is to control electromagnetic field lines. Potential disturbances in the electromagnetic field can cause irregularities in cable operation and ultimately lead to permanent damage. The materials most commonly used in cable engineering today are cross-linked polyethylene (XLPE) and ethylene-propylene rubber (EPR). Since in recent years there more and more is being said about the use of polypropylene (PP) in the cable industry, this work will present cables with an insulating system made of polypropylene, which will be able to operate at higher temperatures than previously used materials, which will allow to increase the current carrying capacity. Another important aspect discussed in the work will be to emphasize the environmental aspect resulting from using PP instead of, for example, XLPE, which is not only fully recyclable and reduces the amount of waste generated.

**Keywords:** Power cables, semiconducting screen, polypropylene, XLPE (cross-linked polyethylene), EPR (ethylene-propylene rubber)

## References:

1. A T. Worzyk "Submarine Power Cable", Springer (2009)

## WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE, KOROZYJNE I TRIBOLOGICZNE KOMPOZYTÓW NA BAZIE MIEDZI WZMOCNIONYCH DWUBORKIEM CYRKONU

Iwona Sulima<sup>1</sup>, Michał Stepień<sup>2</sup>, Paweł Hyjek<sup>1</sup>, Remik Kowalik<sup>2</sup>, Sonia Boczek<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Instytut Nauk Technicznych, Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej w Krakowie,  
ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków, Polska  
iwona.sulima@uken.krakow.pl*

<sup>2</sup> *Wydział Metali Nieżelaznych, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie,  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska*

<sup>3</sup> *Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Metali Nieżelaznych, Oddział w Skawinie ul. Piłsudskiego 19,  
32-050 Skawina, Polska*

Głównym celem badań było określenie wpływu temperatury spiekania i ilości fazy wzmacniającej na mikrostrukturę oraz właściwości kompozytów na osnowie miedzi. Kompozyty z różnym udziałem objętościowym  $ZrB_2$  zostały wytworzone metodą iskrowego spiekania plazmowego (SPS) w temperaturze 850°C i 950°C. Następnie określono właściwości mechaniczne, korozyjne i tribologiczne spieków kompozytowych Cu- $ZrB_2$  oraz dla porównania miedzi bez fazy wzmacniającej. Charakterystykę mikrostruktury kompozytów przeprowadzono za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM). W celu zbadania właściwości mechanicznych przeprowadzono badania mikrotwardości metodą Vickresa i testy ściskania w temperaturze pokojowej. Współczynnik tarcia i odporność na ścieranie określono stosując metodę ball-on-disc. Odporność korozyjna kompozytów była zbadana w roztworze  $H_2SO_4$  stosując elektrochemiczne techniki pomiarowe.

Dla wszystkich spiekanych kompozytów zaobserwowano równomierne rozmieszczenie fazy  $ZrB_2$  w osnowie miedzi. Wyniki wykazały, że mikrotwardość i wytrzymałość na ściskanie w znacznym stopniu zależą od temperatury spiekania i udziału objętościowego  $ZrB_2$  w osnowie. Wyższa zawartość fazy wzmacniającej wpływa na poprawę mikrotwardości, wytrzymałości na ściskanie i odporności na zużycie ściernie przy jednoczesnym zmniejszeniu odporności na korozję kompozytów. Wykazano, że kompozyty Cu- $ZrB_2$  spiekane w wyższej temperaturze 950°C charakteryzują się lepszymi właściwościami mechanicznymi i tribologicznymi.

**Słowa kluczowe:** kompozyty, dwuborek cyrkonu, odporność na ścieranie, odporność na korozję

Badania wykonano na aparaturze zakupionej z dotacji celowej przyznanej przez Ministerstwo Edukacji i Nauki na finansowanie inwestycji związanych z działalnością naukową na zakup aparatury naukowo-badawczej pt. „Innowacyjna platforma badawczo-naukowa dla nowej klasy nanokompozytów” (7216/IA/SP/2021).

## MECHANICAL, CORROSION AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF COPPER BASED COMPOSITES REINFORCED ZIRCONIUM DIBORIDE

Iwona Sulima<sup>1</sup>, Michał Stepień<sup>2</sup>, Paweł Hyjek<sup>1</sup>, Remik Kowalik<sup>2</sup>, Sonia Boczek<sup>3</sup>

*1 Institute of Technology, University of the National Education Commission, Krakow,  
Podchorążych 2 St., 30-084 Krakow, Poland*

*2 Faculty of Non-Ferrous Metals, AGH University of Krakow, Mickiewicza 30 Av., 30-059 Krakow,  
Poland*

*3 Łukasiewicz Research Network - Institute of Non-Ferrous Metals, Light Metals Division,  
Pilsudskiego 19 St., 32-050 Skawina, Poland*

The main objective of the study was to determine the effect of sintering temperature and amount of reinforcing phase on the microstructure and properties of copper matrix composites. The composites with various zirconium diboride contents were successfully consolidated using Spark Plasma Sintering (SPS) at temperature of 850 °C and 950 °C. The mechanical, corrosion and tribological properties of the composites were evaluated, and that of the Cu were also comparatively studied. Scanning electron microscopy (SEM) was used to analyze the microstructure evolution in copper matrix composites. Vickers microhardness and compression tests at room temperature were carried out to investigate the mechanical properties. Ball-on-disc method was carried out to study the wear behavior of Cu-based composites. The corrosion behaviour was examined in an environment of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> using electrochemical techniques.

A uniform dispersion of the ZrB<sub>2</sub> particles in copper matrix was observed for all sintered composites. The experimental results have shown that the microhardness and compressive strength of greatly depends on the sintering temperature and volume fraction of ZrB<sub>2</sub> in the copper matrix. The higher content of ZrB<sub>2</sub> in the copper matrix was responsible for the improvement in microhardness, compressive strength and abrasive wear resistance with the reduction of the corrosion resistance of sintered composites. Cu-ZrB<sub>2</sub> composites sintered at a higher temperature of 950°C were shown to have better mechanical and tribological properties.

**Keywords:** composites, zirconium diboride, wear rate, corrosion resistance

The purchase of scientific and research equipment was performed under the project "Innovative research and scientific platform for a new class of nanocomposites", financed by the Ministry of Education and Science, contract number 7216/IA/SP/2021.



<https://www.ptmk.net>