

SAMO-NAPRAWIAJĄCE SIĘ MATERIAŁY INŻYNIERSKIE – PRZEGLĄD W ASPEKTCIE ZASTOSOWAŃ W ROLNICTWIE

Jerzy Grudziński

Katedra Podstaw Techniki, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. Artykuł poświęcono tematyce nowoczesnych materiałów inteligentnych posiadających zdolność samo-naprawy miejsc po utracie ciągłości struktury. Przeprowadzono przegląd inspirowanych zjawiskami zaleczania ran i uszkodzeń mechanicznych organizmów żywych. W podsumowaniu wskazano ich zalety, ograniczenia, potencjalne możliwości zastosowania w technice rolniczej oraz na wskazanie nowego podejścia do eksploatacji.

Słowa kluczowe: bionika, samo-naprawa, eksploatacja maszyn rolniczych

Wstęp

Zdolność zaleczania ran oraz innych uszkodzeń struktury komórkowej organizmów żywych stanowi bardzo istotną właściwość systemów biologicznych. Nowoczesne materiały polimerowe i kompozyty znajdują coraz szersze zastosowania również w technice rolniczej dzięki bardzo szerokim możliwościom kształtowania właściwości materiałów przy bardzo wysokiej żywotności. Problemem eksploatacyjnym takich materiałów jest niebezpieczeństwo kruchej pęknięcia, bez generowania wcześniejszych symptomów osłabienia. Dlatego dokładne rozpoznanie mechanizmów samo leczenia systemów biologicznych i ich transfer do materiałów syntetycznych stanowi od kilkunastu lat przedmiot badań specjalistów nowej dyscypliny naukowej – bioniki oraz inżynierii materiałowej.

Czynnikiem, ograniczającym wykorzystanie kompozytów jest ich bardzo ograniczona zdolność do odkształceń plastycznych. Absorpcja energii zewnętrznej prowadzi do powstawania mikrodefektów struktury, następnie ich rozprzestrzeniania się, i w konsekwencji do nagłych uszkodzeń elementów maszynowych. Diagnozowanie i prognozowanie powstawania takich mikrodefektów jest bardzo trudne, a w niektórych zastosowaniach wręcz niemożliwe. Stąd wynikła potrzeba przeglądu i usystematyzowania wiedzy dotyczącej pojawiających się od kilkunastu lat doniesień o materiałach syntetycznych zdolnych do samo-naprawy uszkodzeń mechanicznych. Celem pracy jest przedstawienie stosunkowo nowej grupy materiałów inteligentnych samo-naprawiających się, do których powstania przyczyniła się wiedza o zjawiskach samo-naprawy materiałów naturalnych, ich systematyzacja i ocena wpływu na system eksploatacji maszyn i pojazdów.

Obserwacja struktury organizmów biologicznych prowadzi do konkluzji, że efektywnym sposobem zwiększania wrażliwości i adaptacyjności systemów samo-naprawy jest występowanie w strukturze materiału składnika ciekłego. W oparciu o to spostrzeżenie

różne grupy naukowców opracowywały oryginalne rozwiązania struktury syntetycznych materiałów posiadających w różnym stopniu zdolność do samo-naprawy uszkodzeń. Ze względu na to, że polimery i kompozyty są coraz szerzej stosowane w technice rolniczej, wszelkie nowe możliwości doskonalenia systemów ich użytkowania są niezwykle ważne dla ograniczenia ryzyka produkcji rolnej.

Cel pracy

Czynnikiem, ograniczającym wykorzystanie kompozytów jako materiałów inżynierskich jest ich bardzo ograniczona zdolność do odkształceń plastycznych. Absorpcja energii zewnętrznej prowadzi do powstawania mikrodefektów struktury, rozprzestrzeniania się ich i w konsekwencji do nagłych uszkodzeń elementów maszynowych. Diagnozowanie i prognozowanie powstawania takich mikrodefektów jest bardzo trudne, a w niektórych zastosowaniach wręcz niemożliwe. Stąd wynikła potrzeba przeglądu i usystematyzowania wiedzy dotyczącej pojawiających się od kilkunastu lat doniesień o materiałach syntetycznych zdolnych do samo-naprawy uszkodzeń mechanicznych. Celem pracy jest przedstawienie stosunkowo nowej grupy materiałów inteligentnych samo-naprawiających się, do których powstania przyczyniła się wiedza o zjawiskach samo-naprawy materiałów naturalnych, ich systematyzacja i ocena wpływu na system eksploatacji maszyn i pojazdów.

Zjawiska biologiczne jako źródło inspiracji dla samo-naprawy materiałów syntetycznych

Samoczynne gojenie ran naruszających spójność tkanek skóry i mięśni, zrastanie się złamanych lub pękniętych kości, czy odbudowa powłok ochronnych organizmów żywych stanowią doskonały obiekt modelowania zjawiska, którego wykorzystanie w technice mogłoby zrewolucjonizować eksploatację maszyn i urządzeń technicznych poprzez podwyższenie niezawodności, wydłużenie czasu użytkowania i obniżenie kosztów eksploatacji wyrobów. Na przeszkodzie w szerszym wykorzystaniu mechanizmów samo-leczenia jest brak ich dostatecznego rozpoznania [Mayer 2005]. Wyrazem wielkich nadziei związanych z naśladowaniem rozwiązań występujących w naturze było utworzenie w roku 2002 na Uniwersytecie Princeton (USA) Instytutu Materiałów Inspirowanych przez Biologię [Gould 2003]. Badania materiałów i procesów inspirowanych materiałami biologicznymi znalazły się w programie kongresu EUROMAT 2007 w Norymberdze [Kusiński 2008].

Z problematyką adaptacji rozwiązań występujących w organizmach żywych do technologii wytwarzania materiałów inżynierskich ściśle związana jest ocena stopnia, w jakim zastosowane rozwiązanie stanowi pełne naśladownictwo wzorca naturalnego, a na ile rozwiązanie biologiczne stanowiło jedynie inspirację dla wprowadzenia innowacji. Nie zawsze potrzebne jest pełne odtworzenie mechanizmu biologicznego dla uzyskania innowacyjnego efektu użytkowego.

Koncepcje samo-naprawy kompozytów

Mechanizm zaleczania, zablizniania ran organizmów żywych jest związany z obecnością płynów ustrojowych krążących po organizmie. Niezależnie od funkcji biologicznych jakie mają one do spełnienia, płyny mogą szybko dostarczać do miejsca uszkodzenia takie substancje, które w danej chwili są potrzebne do osiągnięcia efektu samo-naprawy (samo-

Samo-naprawiające się materiały...

zaleczania). Dlatego koncepcje samo-naprawy kompozytów, które podobnie jak większość materiałów konstrukcyjnych nie zawierają w swoim składzie cieczy, opierają się na wprowadzeniu do struktury materiału składnika ciekłego, opakowanego w cienkościennie mikronaczynia, który w razie ich uszkodzenia może przemieszczać się po materiale i wypełniać uszkodzone miejsca. Funkcje samo-naprawy sprowadzają się do likwidowania powstałych mikropełnięć przed ich rozrostem i rozprzestrzenianiem. Najbardziej znane mechanizmy biologiczne stanowiące inspiracje dla budowy nowych materiałów to zabliznianie ran skóry ssaków, układ krwionośny, przepływ i krzepnięcie krwi, budowa komórek krwi, zrastanie się pękniętych kości i kompartmentalizacja, czyli mechanizm budowy wewnętrznych ścianek zabezpieczających organizm przed przenikaniem substancji szkodliwych do wrażliwych części rośliny.

Koncepcje samo-naprawy kompozytów dla których inspiracją stały się zjawiska występujące w przyrodzie zostały przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Koncepcje samo-naprawy kompozytów zainspirowane zjawiskami biologicznymi
Table 1. Concepts of self-regenerating composites inspired by biological phenomena

Zjawisko biologiczne	Mechanizm samo-naprawy	Opis strategii samo-naprawy	Źródła literaturowe
Zaleczanie ran, zabliznianie uszkodzeń roślin	polimery naprawialne	inspirowana biologicznie samo-naprawa wymagająca zewnętrznej inicjacji	Chen i in. 2002 Yuan i in. 2008
Przepływ krwi	mikrokapsułki	przeciekanie środka naprawczego, przechowywanego wewnątrz struktury	Lee i in. 2004 Keller i in. 2007 Kessler i in. 2003
	wydrążone włókna zbrojenia		Pang i in. 2005 Gupta i in. 2006 Trask i in. 2007
Komórki krwi	mikrocząsteczki	sztuczne komórki przenoszące mikrocząsteczki w rejon uszkodzenia	Alexeev i in. 2006
Układ krwionośny	wydrążone włókna zbrojenia	dwu- lub trójwymiarowa sieć umożliwiająca uzupełnianie i odnawianie struktury przez środek naprawczy	Toohey i in. 2006 Stenret i in. 2006
Krzepnięcie krwi	żywica naprawcza	żywica syntetyczna krzepnąca lokalnie w uszkodzonym miejscu.	
Zrastanie kości	włókna zbrojenia	osadzanie, resorpcja i przebudowa pękniętych włókien zbrojenia	
Zjawiska elastoplastyczne we włóknach	włókna zbrojenia	przy wielokrotnych cyklach obciążeń powtarzające się pęknięcia i zrastanie kości	
Zaleczanie uszkodzeń kory drzew	kompartmentalizacja	formowanie wewnętrznych, szczelnych ścianek zabezpieczających przed wpływem środowiska	

Podsumowanie

Na obecnym stopniu rozwoju technologii wytwarzania najważniejszym obszarem zastosowań materiałów samo-naprawialnych będą stanowiły lotnictwo, przemysł zbrojeniowy i inne dziedziny, gdzie wykorzystywana są zaawansowane, kosztowne technologie. Wraz ze wzrostem złożoności konstrukcji ciągników i maszyn rolniczych, do ich budowy coraz powszechniej będzie się wykorzystywać się kompozyty polimerowe. Aktualne zastosowania do budowy zbiorników paliw płynnych, zbiorników cieczy agresywnych chemicznie i innych elementów opryskiwaczy, rozsiewaczy nawozów sztucznych, osłon i elementów roboczych przenoszących obciążenia mechaniczne będą rozszerzane. Zatem już teraz należy uwzględnić kompozyty ze zdolnością do samo-naprawy w systemie eksploatacji (użytkowania i obsługiwanie) maszyn i pojazdów rolniczych.

Następujące problemy wymagają rozwiązania:

1. osiągnięcie jak największej efektywności samo-naprawy, rozumianej jako zdolność zaleczania jak największych uszkodzeń materiału,
2. szybkość samo-naprawy uszkodzeń,
3. przywracanie jak największej wytrzymałości mechanicznej naprawionego materiału,
4. możliwość wielokrotnej naprawy uszkodzeń tego samego miejsca.

Przegląd literatury jednoznacznie wskazuje na postulat tworzenia interdyscyplinarnych zespołów badawczych umożliwiających wielostronne podejście do problemów wykorzystania wiedzy o mechanizmach obronnych organizmów żywych przy projektowaniu materiałów.

Postęp w dziedzinie komputerowych badań samo-naprawy kompozytów wymaga budowy efektywnych modeli mogących opisywać zjawiska zachodzące w wielofazowej strukturze materiału. Narzędzia komputerowe powinny bardziej dokładnie opisywać morfologiczne zmiany w systemie rosnące w wyniku degradacji materiału rodzimego i bardziej realistycznie budowane zasady modyfikacji struktury w celu zapewnienia samo-naprawy.

W tym celu aktualnie stosowane narzędzia modelowania integrują metody dynamiki płynów, mechaniki strukturalnej, reaktywności chemicznej i przemian fazowych.

Bibliografia

- Alexeev A., Verberg R., Balazs A.** 2006. Modeling the interaction between deformable capsules rolling on a compliant surface. *Soft Matter*. 2. pp. 499-509.
- Chen X. et al.** 2002. A Thermally Remendable Cross-Linked Polymeric Material. *Science*, 295 (5560). pp. 1698-1702.
- Gould P.** 2003. Self-help for ailing structures. *Materials Today*, Vol.6, 6, June. pp.44-49.
- Gupta S. et al.** 2006. Entropy driven segregation of nanoparticles to cracks in multilayered composite polymer structures. *Nature Materials* 5. pp. 229-233.
- Keller M.W., White S.R., Sottos N.R.** 2007. A Self-Healing Poly(Dimethyl Siloxane) Elastomer, *Adv. Funct. Mater.*, 17. pp. 2399-2404.
- Kessler M.R., White S.R., Sottos N.R.** 2003. Self-healing structure composite materials, *Composites, A* 34. pp. 743-753.
- Kusiński J.** 2008. Materials engineering – current and future directions of research (Inżynieria materiałowa – aktualne i przyszłe kierunki badań). *Inżynieria materiałowa* 1(161). s. 7-13.

- Lee J.Y., Buxton G.A., Balazs A.C.** 2004. Using monoparticles to create self-healing composites, *J. Chemical Phys.* 121 (110). pp. 5531-5540.
- Mayer G.** 2005. Rigid Biological Systems as Models for Synthetic Composites. *Science*. Vol. 310, 5751. pp. 1144-1147.
- Pang J.W.C., Bond I.** 2005. Bleeding Composites – Damage Detection and Self-Repair Using a Biomimetic Approach. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 36(2). pp.183-188.
- Stenret V., Mock U., Tillner S.** 2006. DIY repairs. Self-healing mechanisms are being developed for protective coatings. *European Coatings Journal*. 1 November. pp. 32-36.
- Toohey K.S.** et al., 2007. Self-healing materials with microvascular networks. *Nature Materials*, Vol.6. pp. 581-585.
- Trask R.S., Williams H.R., Bond I.P.** 2007. Self-healing polymer composites: mimicking nature to enhance performance. *Bioinsp. Biomim.*, is.1. pp.1-9.
- Yuan Y.C.** i in., 2008. Self healing in polymers and polymer composites. Concept, realization and outlook: A review. *eXPRESS Polymer Letters*, Vol.2, No.4. pp. 238-250.

SELF-REGENERATING ENGINEERING MATERIALS – REVIEW IN TERMS OF APPLICATIONS IN AGRICULTURE

Abstract. The article presents modern intelligent materials able to self-regenerate their structure after it was disrupted. Materials inspired by living organisms capable of healing wounds and mechanical injuries by themselves were reviewed. In the summary, their advantages, limits and potential possibilities of use in agricultural technique were indicated as well as a new approach to exploitation was presented.

Key words: bionics, self-regeneration, agricultural machines exploitation

Adres do korespondencji:

Jerzy Grudziński, e-mail: jerzy.grudzinski@up.lublin.pl
Katedra Podstaw Techniki
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Doświadczalna 50a
20-280 Lublin