

Bionika w rozwoju procesów obróbki ścierniej

Bionic in grinding processes development

ADAM RUSZAJ *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.340

Bionika to interdyscyplinarna nauka badająca budowę i zasady funkcjonowania organizmów żywych oraz procesy występujące w przyrodzie w celu inspirowania rozwiązań problemów technicznych. Dotyczy to również procesów wytwarzania. W artykule przedstawiono bioniczną koncepcję doskonalenia szlifierek i procesu szlifowania.

SŁOWA KLUCZOWE: sztywność, odporność na drgania, zużycie, samoregeneracja

Bionic is interdisciplinary science which investigates structures and principle of alive organisms activity and processes occurring in the nature in order to inspire technical problems solutions including manufacturing processes. In the paper the bionic conception of machine tools and grinding process development are presented.

KEYWORDS: stiffness, vibration resistance, wear, self-regeneration

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój bioniki. Świadczy o tym rosnąca liczba publikacji i patentów. Publikacje z zakresu bioniki pojawiają się nie tylko w specjalistycznych czasopismach (np. *Journal of Bionic Engineering* [6]), ale również w tych tradycyjnie związanych z badaniami procesów wytwarzania czy rozwojem obrabiarek (np. *Journal of Machine Tools & Manufacture* [4]). Zakres badań bionicznych jest ogromny i praktycznie wiąże się z każdym obszarem techniki: od problemów czysto mechanicznych do zagadnień informatycznych i organizacyjnych. W niniejszym artykule zostanie scharakteryzowany proces obróbki ścierniej z punktu widzenia bioniki [1, 2]. W literaturze spotyka się rozwiązania inspirowane procesami lub zjawiskami zachodzącymi w naturze dotyczące obrabiarek – szlifierek, narzędzi-ściernic oraz procesu usuwania produktów szlifowania i ciepła z obszaru obróbki. Możliwość udoskonalenia tych właśnie elementów procesu szlifowania przez wprowadzenie bioinspiracji zostanie przedstawiona poniżej [1÷12].

Właściwości mechaniczne

Podstawowe właściwości mechaniczne szlifierek wpływające na wyniki procesu szlifowania to (obok parametrów kinematycznych): wytrzymałość, sztywność, odkształcenia, odporność na zużycie elementów współpracujących, zdolność tłumienia drgań. Wszystkie z wymienionych właściwości można istotnie poprawić, wzorując się na makro- i mikrostrukturach roślin (drzewa, krzewy, trzcina, kaktus meksykański, liście drzew i kwiatów) oraz zwierząt (szkielet, kości, dzioby tukana lub dzięcioła.) W zależności od rodzaju elementu i wzorca biologicznego bioniczne konstrukcje charakteryzują się zwiększeniem wytrzymałości o 53÷124%, zwiększeniem sztywności o 21÷43%, zmniejszeniem masy o 3÷43%, zmniejszeniem odkształceń o 16÷44% [1, 2, 3]. Bioniczne konstrukcje charakteryzują się ponadto zwiększoną odpornością na drgania [3]. W ten właśnie sposób poprawiono właściwości mecha-

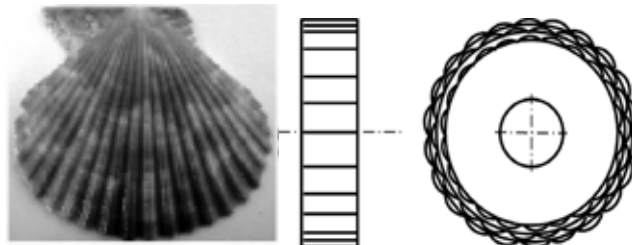
niczne ultraprecyzyjnej szlifierek [4]. Zwiększenie trwałości elementów maszyn uzyskuje się przez laserowe wykonanie na powierzchniach współpracujących struktury bionicznej wzorowanej np. na strukturze skrzydeł lub tułowia żuka gnojowego. Dzięki bionicznej strukturze odporność na zużycie zmęczeniowe elementów żeliwnych zwiększono nawet o 53% [5]. W analogiczny sposób istotnie poprawiono właściwości warstwy wierzchniej próbek stalowych przez zastosowanie bionicznej struktury siatkowej typu *reseau* [6]. W niniejszym artykule zostaną przedstawione podstawowe bioinspiracje, które według ich autorów mogą istotnie zmodernizować ściernicę i proces szlifowania.

Zjawiska występujące w obszarze obróbki

W obszarze obróbki występują takie podstawowe zjawiska jak usuwanie nadmiaru obróbkowego i wykruszonych ziaren ściernych oraz wydzielanie się ciepła, głównie w wyniku procesów mikroskrawania oraz tarcia. Produkty obróbki oraz ciepło usuwane są przez płyn chłodziwo-smarujący, a część produktów obróbki wypełnia pory ściernicy, powodując jej zalepianie. Usprawnienie tego procesu jest zdaniem autorów prac [7, 9] możliwe przez prowadzenie procesu szlifowania w zanurzeniu, co obniży temperaturę przedmiotu i ściernicy oraz poprawi efektywność usuwania produktów obróbki. Niestety, istotnie wzrosło energochłonność procesu. Autorzy propozycji twierdzą, że inspiracją była analiza w skali mikro i makro systemów wodnych Ziemi. Poprawę usuwania produktów z powierzchni ściernicy, a zwłaszcza z porów uzyskuje się wytworzenie na ich powierzchni wewnętrznej efektu „liścia lotosu” [8, 10]

Odporność ściernicy na zużycie

Badania wykazują, że muszle skorupiaków, a w szczególności prążkowana muszla *Farrers Scallop*, stosunku do muszli gładkich mają większą, nawet o 63%, odporność na zużycie [7]. Zdaniem autorów [7], kształtując powierzchnię roboczą ściernicy analogicznie do muszli *Farrers Scallop* można istotnie podnieść jej odporność na zużycie (rys. 1).



Rys. 1. Muszla *Farrers Scallop* (po lewej) oraz wzorowana na niej wielowarstwowa ściernica (po prawej) [7, 11]

Kolejną bioinspiracją do zwiększenia odporności ściernicy na zużycie były wyniki analizy układu włókien pędu bambusa. Sztywność pędu bambusa jest największa w kierunku prostopadłym do włókien. Dlatego proponuje się zastosowanie włókien umacniających ściernicę (np. włókna węglowe) ułożonych w kierunku prostopadłym do prędkości szlifowania. Jeszcze lepszy efekt można uzyskać przez zastosowanie ziaren wydłużonych [7].

* Prof. dr hab. inż. Adam Ruszaj (ruszaj@mech.pk.edu.pl – Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji Politechniki Krakowskiej)

Kolejny ważny problem to **samoostrzenie ściernicy**. W przyrodzie samoostrzenie jest rozwiązywane przez zastępowanie zużytego elementu (warstwy) nową; np. *cling fish* posiada wielowarstwowe elementy do przyczepiania się do podłoża strumienia. Zużyta warstwa zastępowana jest nową. Na tej podstawie opracowano koncepcję ściernicy wielowarstwowej (rys. 1) [7]. Jeżeli ściernica posiada wiele warstw, może w sposób ciągle pozostać ostra na skutek usuwania zużytej warstwy. Usuwanie warstw może być powodowane przez przekroczenie pewnej siły połączenia warstw lub zmiękczenia kleju w pewnej temperaturze, jeżeli warstwy zostały sklejone. Sama koncepcja ściernicy warstwowych nie jest oryginalna. Zagadnieniami tymi zajmował się prof. Wojciech Kacalak, który poświęcił wiele prac badawczych na opracowanie niekonwencjonalnych narzędzi ściernych o budowie warstwowej, pakietowej z agregatami ściernymi oraz strefowo zróżnicowanymi właściwościami [13]. Profesor W. Kacalak w wymienionych badaniach kierował się własnym doświadczeniem i nie odwoływał się do bioinspiracji [13].

Poduszka powietrzna

Wirująca ściernica tworzy w obszarze obróbki „poduszkę powietrzną”, która ogranicza kontakt powierzchni obrabianej z cieczą roboczą, a tym samym utrudnia chłodzenie i smarowanie. Rozwiązaniem problemu jest stosowanie dysz i pomp wysokociśnieniowych, co znacząco podnosi koszty operacji. Można również zastosować dysze talerzowe i igłowe, które dostarczają płyn blisko strefy obróbki. Ustawienie tych dysz zależy od zarysu ściernicy i muszą one być ponownie ustawiane, gdy ściernica zmieni wymiar, co komplikuje proces obróbkowy. Bioinspiracją do rozwiązania problemu była obserwacja gejzerów. Generalna koncepcja „działania” gejzerów jest natępująca: woda wcieka do komory podziemnej, która jest podgrzewana przez magmę, często daleko od powierzchni. To podgrzewanie powoduje wzrost ciśnienia i erupcję wody. Zastosowanie dysz dostarczających chłodziwo impulsowo i cyklicznie do strefy obróbki podczas szlifowania jest skutecznym rozwiązaniem. Gejzerowa dysza może utrzymywać wysokie ciśnienie do momentu, gdy temperatura w strefie obróbki osiągnie wartość krytyczną; następnie dysza uwalnia płyn roboczy i następuje erupcja jak w gejzerze. Następnie dysza jest zamykana, aby zwiększyć ciśnienie itd. Taki typ dyszy umożliwia ponadto zmniejszenie zużycia płynu roboczego. Sterowanie pracą dyszy jest trudne i wymaga zamontowania czujnika temperatury. Materiał dyszy musi być odporny na działanie płynu chłodząco-smarującego, produktów szlifowania i wykruszonego ścierniwa. Należy przewidzieć zastosowanie tarczy osłaniającej dyszę oraz specjalnej migawki do cyklicznego odsłaniania dyszy.

Chłodzenie obszaru obróbki

Chłodzenie obszaru obróbki i stabilizacja ciepła obrabiarki to oczywiste, ale równocześnie wciąż aktualne problemy praktyczne. Temperatura w obszarze obróbki może osiągnąć wartość większą niż temperatura topnienia obrabianego materiału. Jak już podkreślano, usuwanie ciepła z obszaru obróbki utrudnia tworząca się poduszka powietrzna. Aby stworzyć optymalne warunki realizacji procesu, układ: obrabiarka – ściernica – przedmiot powinien rozpraszać ciepło powstające w obszarze obróbki. Jako biologiczny wzorzec do rozwiązania problemu przyjęto język psa, który skutecznie chłodzi cały jego organizm [7]. Rozwiązanie problemu można osiągnąć przez wykonanie

obrabiarki z materiałów dobrze przewodzących ciepło, realizację procesu w zanurzeniu, zastosowanie chłodzenia kriogenicznego lub wspomaganie drganiami ultradźwiękowymi [7].

Podsumowanie

Z przedstawionych rozważań wynika, że bioinspiracje stymulują rozwój konstrukcji szlifierek, ściernic oraz pozwalają modyfikować tradycyjny proces szlifowania. Obecnie racjonalnymi bioinspiracjami są te doskonalące właściwości mechaniczne szlifierek, łącznie ze zmniejszeniem zużycia się elementów współpracujących. Oczywiście projektowanie bionicznych zespołów obrabiarek, a następnie ich wykonanie generuje większe koszty niż w przypadku rozwiązań konwencjonalnych. Ale efekty wynikające z poprawy właściwości mechanicznych, takich jak wytrzymałość czy sztywność, zmniejszenia masy czy zwiększenia odporności na drgania są znaczące. Inne biokoncepty dotyczące kształtu części roboczej ściernicy i samego procesu są obecnie dyskusyjne. Ukształtowanie ściernicy na wzór muszli jest korzystne, bo rzeczywiście zwiększa odporność na zużycie i poprawia warunki usuwania produktów obróbki i ciepła, ale ma sens tylko w przypadku ściernicy wielowarstwowych rozwiązujących problem ostrzenia ściernicy. Można przypuszczać, że zastosowanie ściernicy bionicznych zmniejszy również siły szlifowania, co zaobserwowano w przypadku stosowania ściernicy strukturyzowanych laserowo [12]. Podobnie realizacja procesu szlifowania w zanurzeniu korzystnie wpływa na procesy chłodzenia i usuwanie produktów z obszaru obróbki, ale równocześnie zwiększa energochłonność procesu i w zasadzie wymaga wyznaczenia nowych charakterystyk technologicznych. Innymi słowy, korzystanie z bioinspiracji w rozwoju szlifierek i procesów szlifowania wymaga jeszcze dopracowania.

LITERATURA

1. Walter L., Isenmann R., Moehle M.G. "Bionic in patents – se mantic based analysis for the exploitation of bionic principles in patents". *Procedia Engineering*. Vol. 9 (2011): pp. 620÷632.
2. Ruszaj A. "Bionic Impact on Industrial Production Development". *Advances in Manufacturing Science and Technology*. Vol. 39 (2015): pp. 5÷22.
3. Ruszaj A. „Bioinspiracje w projektowaniu konstrukcji lekkich”. *Mechanik*. Nr 2 (2016): s. 88÷92.
4. Li B., Hong J., Liu Z. "Stiffness design of machine tool structures by a biologically inspired topology optimization method". *International Journal of Machine Tools & Manufacture* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmactools.2014.03.005>.
5. Chen Z., Lu S., Song X., Zhang H., Yang W., Zhou H. "Effects of bionic units on the fatigue wear of grey iron surface with different shapes and distributions". *Optics & Laser Technology*. Vol. 66 (2015): pp. 166÷174.
6. Lu J., Yang CH., Zhang L., Feng A., Jang Y. "Mechanical Properties and Microstructure of Bionic Non-Smooth Stainless Steel Surface by Laser Multiple Processing". *Journal of Bionic Engineering*. Vol. 6 (2009): pp. 180÷185.
7. Linke B.S., Moreno J. "New Concept for bio-inspired grinding". *Journal of Manufacturing Processes*. Vol. 19 (2015): 73÷80.
8. Ma M., Hill M.R. „Superhydrophobic surfaces". *Current Opinion in Colloid and Interface Science*. Vol. 11 (2006): pp. 193÷202.
9. Molino R.M., Zoppi M. "A robotic system for underwater eco-sustainable wire-cutting". *Autom Constr.* Vol. 24 (2012): pp. 213÷23.
10. Schmid S.R., Nebosky P.S. "A manufacturing framework for biomimetic porous metals". *Trans NAMRI/SME*. Vol. 37 (2009): pp. 183÷188.
11. Shu L.H., Ueda K., Chiu I., Cheong H. "Biologically inspired design". *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. Vol. 60 (2011): pp. 673÷693.
12. Walter C., Komischke T., Kuster F., Wegener K. "Laser – structured grinding tools – Generation of prototype patterns and performance evaluation". *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 214 (2014): pp. 951÷961.
13. "Wojciech Kacalak – Charakterystyka dorobku naukowego", <http://docplayer.pl/2844153>.