

Jerzy ŁUNARSKI*

TRIBOTECHNOLOGIA I JEJ RELACJE Z TRIBOLOGIĄ

TRIBOTECHNOLOGY AND ITS RELATION TO TRIBOLOGY

Słowa kluczowe:

tribologia, technologia, tribotechnologia, technotribologia

Key-words:

tribology, technology, tribotechniques, tribotechnology, technotribology

Streszczenie

W pracy o charakterze dyskusyjnym zaproponowano wprowadzenie dwóch pojęć związanych z tribologią i technologią, tzn.:

- tribotechnologia – oznaczająca operacje technologiczne w budowie maszyn wykorzystujące do realizacji swojej funkcji procesy tribologiczne (tarcie toczne, ślizgowe, mieszane, z udarem i spoczynkowe) wraz z odpowiednim ich różnicowaniem,

* Politechnika Rzeszowska, WBMiL, KTMiOP, 35-959 Rzeszów, ul. W. Pola 2, tel. 017-8651390 fax 017-8651184.

- technotribologia – obejmująca różnorodne operacje technologiczne stosowane do konstytuowania powierzchni systemów tribologicznych. Operacje te można podzielić na: zmniejszające współczynnik tarcia, zwiększające współczynnik tarcia lub zwiększające odporność na zużycie obrabianych powierzchni systemu tribologicznego.

Zaproponowano również uściślenie zakresu pojęcia tribotechnika, do którego zaliczono: tribochemię, technotribologię, projektowanie ukierunkowane na potrzeby tribologiczne (DFT) oraz planowanie i projektowanie eksperymentów tribologicznych (DoET).

WPROWADZENIE

Definicje, terminologie, klasyfikacje stanowią ważny element w porządkowaniu posiadanej wiedzy i mogą inspirować dalszy jej rozwój. Poszczególne definicje ulegają ewolucji wraz z rozwojem nauki i niekiedy zawierają określony udział subiektywnych poglądów autora formującego definicję. Z tych względów podstawowe pojęcia mają wiele definicji różniących się wskazaniami dominujących elementów, ich współoddziaływaniem czy też wskazaniami elementów składowych definicji.

Szybki rozwój nauki i techniki często powoduje konieczność zredefiniowania pojęć stosowanych oraz konieczność wprowadzenia pojęć uzupełniających. W niniejszych rozważaniach o charakterze dyskusyjnym pragnąłbym zaproponować pewien sposób uporządkowania pojęć związanych z tribologią, jak również nieco odmienne spojrzenie na przyjęte relacje między stosowanymi pojęciami.

DEFINICJE

Przed rozważaniami na ten temat przytoczę kilka definicji (spośród wielu podobnych):

- tribologia – nauka o procesach zachodzących w ruchomym styku ciał stałych [L. 2],
- tribologia jest nauką o teorii i procesach towarzyszących tarcia (zużyciowym, cieplnym, chemicznym i in.) [L. 6],
- tribologia – dział techniki (raczej nauki) zajmujący się zjawiskami zachodzącymi w makro- i mikroobszarach tarcia powierzchni elementów maszyn i urządzeń znajdujących się względem siebie w ruchu oraz związanymi z tym zagadnieniami praktycznymi dotyczącymi

czynników mających wpływ na zużywanie się powierzchni współpracujących [L. 3].

Pojęciem często używanym w pracach z zakresu tribologii jest „tribotechnika” definiowana następująco:

- tribotechnika to nauka o praktycznych zastosowaniach tribologii [L. 2],
- tribotechnika to nauka o praktycznym wykorzystaniu zjawisk tribologicznych przy projektowaniu, wytwarzaniu i eksploatacji systemów tribologicznych [L. 6],
- tribotechnika to nauka o kontaktowym oddziaływaniu ciał stałych przy ich względnym ruchu, obejmująca tarcie, zużycie, smarowanie. Obejmuje również tribofizykę i tribomechanikę [L. 1],
- tribotechnika – dział tribologii obejmujący końcowy etap procesu konstytuowania węzłów tribologicznych i elementów par ciernych z uwzględnieniem tribologicznych analiz, materiałów, technologii [L. 5].

Rzadko spotykanym pojęciem jest tribotechnologia. W opracowaniu [L. 5] podano jej następującą definicję:

- tribotechnologia – rozdział tribologii zajmujący się tribotechnicznymi aspektami kształtowania części, obróbki materiałów metodami skrawania i deformowania w celu uzyskania wymaganych właściwości powierzchni ciernych części i zespołów z pomocą umacniających oddziaływań i nakładania specjalnych powłok.

Powyższe sformułowania sugerują, że:

- tribotechnika jest działem tribologii,
- tribotechnika obejmuje również procesy wytwarzania powierzchni ciernych (oprócz ich projektowania i eksploatacji), co oznacza też, że tribotechnologia jest działem tribotechniki.

Do dalszych rozważań należałoby sprecyzować pojęcie technologii, która ma również wiele definicji, przykładem których są:

- technologia jest zespołem nauk, których zadaniem i treścią jest badanie procesów i środków wytwarzania (J. Karczmarek),
- technologia to wyposażenie, technika, czyli umiejętności i wiedza dotycząca jej stosowania przez organizację (Winner),
- technologia jest usystematyzowanym zastosowaniem zasad naukowych i wiedzy praktycznej do fizycznych faktów i systemów (P. Love),

- technologia jest ukierunkowanym procesem wytwarzania potrzebnych produktów i usług, opracowanym w oparciu o dostępną wiedzę teoretyczną i praktyczną [L. 4].

TRIBOTECHNOLOGIA

Biorąc powyższe pod uwagę, połączenie słów tribologia i technologia w słowie tribotechnologia może mieć dwa odmienne znaczenia:

1. Oznacza procesy technologiczne wytwarzania, które wykorzystują zjawiska tribologiczne dla zrealizowania procesów kształtowania produktów lub usług.
2. Oznacza procesy technologiczne, których celem jest ukonstytuowanie systemów tribologicznych, tzn. powierzchni ciał współpracujących i warunków, w jakich ta współpraca następuje. Procesy te realizowane są bez udziału zjawisk tribologicznych.

Ze względu na różne przeznaczenie obu tych grup technologii wskazane byłoby wprowadzenie dla nich odrębnych nazw, np.:

- tribotechnologia obejmująca technologie wykorzystujące zjawiska tribologiczne do realizacji procesów wytwarzania. Przybliżoną próbę klasyfikacji i przykłady tych technologii przedstawiono w **Tabl. 1** i **2**.
- technotribologia obejmująca technologie opracowane i stosowane dla odpowiedniego konstytuowania elementarnych systemów tribologicznych (powierzchni współpracujących i warunków współpracy).

Jako kryteria różnicowania w **Tabl. 1** przyjęto rodzaj tarcia, tzn. toczone, toczone z poślizgiem, ślizgowe oraz tarcie towarzyszące procesom udarowym. Można jeszcze wskazać niektóre operacje i czynności, w których wykorzystywane jest tarcie spoczynkowe (z odpowiednim naciskiem), na przykład: mocowanie siłami tarcia, naciski stosowane przy prasowaniu spieków, utwardzaniu tworzyw itp. Poszczególne technologie można jeszcze podzielić na grupy, w których te oddziaływania są silne, średnie i słabe, lecz trudno ustalić granice między tymi grupami. Z tego względu w **Tabl. 2** technologie te podzielono na kształtujące postaciowo, umacniające powierzchniowo i umożliwiające łączenie elementów w procesach montażowych i przedmontażowych.

**Tabela 1. Przykład podziału klasyfikacyjnego technologii zaliczonych do tribo-
technologii w zależności od intensywności procesów**

Table 1. Example of classification of technologies, which concern tribotechnology; depending on process intensity

Intensywność Procesy oddziaływań tribologicznych	Intensywność oddziaływań procesów tribologicznych		
	Duża	Średnia	Mała
Tarcie toczne	Nagniatanie toczne Wyoblanie toczne Prostowanie i zagi- nianie rolkowe	Walcowanie (blach, prętów) Przecinanie krąż- kowe	Platerowanie toczne Zgrzewanie liniowe Połączenia śru- bowo-toczne
Tarcie toczne z poślizgiem	Nagniatanie oscylacyjne Walcowanie (gwintów, wielowy- pustów)	Wibracyjne umacnianie Prasowanie radialne	
Tarcie ślizgowe	Zgrzewanie tarciove Przetłaczanie Wygniatanie gwin- tów w otworach Wyoblanie ślizgowe Przenoszenie selektywne	Nagniatanie ślizgowe Obróbka wiórowa Połączenia wciskane (na zimno)	Obróbka ścierna (wykończająca)
Tarcie ślizgowe z udarem	Nagniatanie udarowe Kucie i dogniatanie Wygniatanie elektrodynamiczne Kształtowanie wybuchowe	Zgrzewanie ultradźwiękowe Nitowanie udarowe Młotkowanie	Platerowanie udarowe Platerowanie wibracyjne
Tarcie spoczynkowe	Kalibrowanie na prasach Spiekanie proszków Mocowanie siłami tarcia Utwardzanie two- rzyw (pod naciskiem)	Połączenia kołnierzone Uszczelnianie	Połączenia składane (wpu- sty, wielowypu- sty, zatrzaski i in.)

Tabela 2. Przykład podziału technologii zaliczonych do tribotechnologii w zależności od ich przeznaczenia

Table 2. Example of dividing of technology, which concern tribotechnology; depending on their use

Zastosowanie Procesy technologii tribologiczne	Przeznaczenie technologii		
	Kształtowanie	Umacnianie WW	Łączenie
Tarcie toczne	Walcowanie Wyoblanie Prostowanie Przecinanie	Nagniatanie toczne	Zgrzewanie liniowe Połączenia śrubowo-toczne
Tarcie toczne z poślizgiem	Prasowanie radialne Walcowanie (gwin-tów, wielowypu-stów)	Nagniatanie oscylacyjne Umacnianie wibracyjne	
Tarcie ślizgowe	Obróbka wiórowa Wyoblanie ślizgowe Ciągnięcie Wyciskanie	Przetłaczanie (kulki, walca) Przenoszenie selektywne Nagniatanie ślizgowe	Zgrzewanie tarciove Połączenia wci-skane Połączenia śru-bowe i klinowe
Tarcie ślizgowe z udarem	Kucie i dogniatanie na młotach Wygniatanie elektrodynamiczne Kształtowanie wybuchowe	Nagniatanie strumieniowe Polerowanie wibracyjne Młotkowanie	Zgrzewanie ultradźwiękowe
Tarcie spoczynkowe	Spiekanie proszków Utwardzanie tworzyw	Kalibrowanie	Połączenia składane Uszczelnianie

W powyższych tabelach podano jedynie wybrane technologie bez uwzględniania wielu specjalistycznych, zaś ich usytuowanie również jest przybliżone, bo o ich cechach w znacznym stopniu decydują przyjęte parametry procesu, mogące powodować konieczność odmiennego przy-
porządkowania.

TRIBOTECHNIKA

Przed omówieniem drugiej grupy technologii, nazwanych (tymczasowo) technotribologie, zachodzi potrzeba uściślenia pojęcia „tribotechnika” (praktyczne zastosowanie tribologii) oraz „tribochemia”, „tribofizyka” czy „tribomechanika”, traktowanych jako działy tribologii. Możliwe jest również odmienne ich potraktowanie jako:

- tribotechnika – dział techniki wspomagający tribologię,
- tribochemia – dział chemii wspomagający tribologię,
- tribofizyka – dział fizyki wspomagający tribologię,
- tribomechanika – dział mechaniki wspomagający tribologię,
- tribometria – dział metrologii wspomagający tribologię.

Wymienione dyscypliny korzystają ze zgromadzonej wiedzy w swojej dyscyplinie, a ich działania ukierunkowane są na konstituowanie systemów tribologicznych, zgodnie z wymaganiami sformułowanymi przez tribologię.

Traktując tribotechnikę jako dziedzinę techniki mającą za zadanie konstituowanie racjonalnych (a nawet optymalnych) systemów tribologicznych, można stwierdzić, że tribotechnologia przy przyjętym kryterium znaczeniowym nie stanowiłaby części tribotechniki, gdyż jej przeznaczenie jest odmienne (z wyjątkiem niektórych technologii, np. przenoszenia selektywnego, nagniatania oscylacyjnego i in.).

Do głównych elementów składowych tribotechniki należałoby zaliczyć:

1. Technotribologię obejmującą różnorodne technologie stosowane do odpowiedniego ukształtowania powierzchni elementów systemu tribologicznego. Istnieje niezwykle duża liczba tych technologii różniących się sposobem kształtowania elementów, stosowanymi parametrami i uzyskiwanymi własnościami powierzchni, co utrudnia ich podziały klasyfikacyjne. Technologie te można podzielić na trzy zasadnicze grupy, tzn.:
 - a) technologie, których celem jest minimalizacja wartości współczynnika tarcia w rozpatrywanym węźle – systemie tribologicznym,
 - b) technologie, których celem jest maksymalizacja odporności na różne rodzaje zużycia w rozpatrywanym węźle – systemie tribologicznym,
 - c) technologie, których celem jest maksymalizacja wartości współczynnika tarcia (hamulce, sprzęgła itp.).

Poszczególne cele mogą być realizowane poprzez konstytuowanie odpowiedniej struktury i właściwości materiałów elementów współpracujących, poprzez odpowiednie modyfikowanie stanu warstwy wierzchniej metodami inżynierii powierzchniowej oraz poprzez nakładanie na powierzchnię powłok o zadanych właściwościach. Sposoby te mogą być dodatkowym kryterium różnicowania grup technologii na podgrupy.

2. Drugim elementem tribotechniki powinna być tribochemia mająca za zadanie opracowywanie pośredniego elementu w systemie tribologicznym, jakim jest środek smarowy. Środki te mogą być bardzo zróżnicowane ze względu na konieczność ich dostosowania do różnych systemów tribologicznych pracujących w różnych warunkach i względem których stawia się różne wymagania.
3. Trzecim elementem składowym tribotechniki jest dział projektowania systemów tribologicznych, który można nazwać DFT, tzn. Design for Tribology. Dział ten wykorzystuje różne techniki obliczeniowe, projektowe, modelowe w celu nadania projektowanym systemom tribologicznym wymaganych cech użytkowych i eksploatacyjnych. Do ważniejszych elementów składowych DFT należałoby zaliczyć:
 - a) projektowanie układów smarowania obejmujące sposoby podawania, cyrkulacji, filtracji, uzupełniania i wymiany,
 - b) projektowanie układów uszczelniających mających za zadanie zabezpieczenie przed wypływem na zewnątrz systemu środków smarowych i zabezpieczenie przed dostawaniem się zanieczyszczeń zewnętrznych do systemu tribologicznego,
 - c) projektowanie układów diagnozujących stan systemu tribologicznego i regulacyjnych mających za zadanie stabilne podtrzymywanie racjonalnych (optymalnych) warunków współpracy. Układy te są pomocne we właściwym eksploataowaniu systemu tribologicznego.
4. Za ostatni element składowy tribotechniki należałoby uznać dział zajmujący się projektowaniem i przygotowaniem badań eksperymentalnych, których wyniki stanowią sedno tribologii. Dział ten można nazwać DoET (Design of Experiments in Tribology). Do ważniejszych zadań z tym związanych należą:
 - a) ustalenie właściwej kinematyki ruchów odwzorowujących lub modelujących ruchy w analizowanych systemach tribologicznych wraz z układami napędowymi (tribomechanika),

- b) opracowanie układów umożliwiających modelowanie rzeczywistych warunków pracy analizowanych węzłów ciernych (sposób podawania oleju, zanieczyszczenia, wibracje, temperatura itp.),
- c) opracowanie układów kontrolno-pomiarowych i sterujących, umożliwiających pomiar, rejestrację, archiwizowanie różnych danych eksperymentu (tribometria), które po analizie i opracowaniu poszerzają zakres wiedzy tribologicznej.

Przedstawione rozważania nie wyczerpują wielostronnych powiązań tribologii z poszczególnymi dziedzinami wiedzy i techniki, które stale się rozszerzają. Następuje również określona integracja na styku tribologii i innych dziedzin wiedzy prowadząca do konstytuowania nowych kierunków badań. Przykładem mogą być różnorodne problemy związane z techniką kosmiczną, głębokowodną, lotniczą, wojskową, funkcjonowaniem systemów tribologicznych w warunkach korozyjnych, radiacyjnych, w systemach nanotechnicznych, biotechnicznych i in.

Odpowiednie uporządkowanie pojęciowe i właściwe przyporządkowanie klasyfikacyjne za pomocą odpowiednich metod (morfologiczna, analogii, mindmappingu i in.) często naprowadza na wyjawienie nowych możliwości, dotychczas niewykorzystanych.

PODSUMOWANIE

1. Zaproponowano stosowanie pojęcia „tribotechnologia” dla scharakteryzowania operacji technologicznych wykorzystujących, dla zrealizowania swojej funkcji, wybrane procesy tribologiczne.
2. Zaproponowano uściślenie pojęcia „tribotechnika” przez wskazanie grupy zagadnień stanowiących zakres tej dyscypliny, tzn. technotribologię, tribochemię, DFT i DoET.
3. Zaproponowano wprowadzenie dodatkowego pojęcia „technotribologia” dla oznaczenia różnych technologii stosowanych dla polepszenia właściwości tribologicznych systemów tribologicznych.

LITERATURA

1. Garkunow D.N.: Tribotechnika. Maszynostrojenije, Moskwa 1989.
2. Lawrowski Z.: Tribologia. Tarcie, zużycie, smarowanie. OW PWt, Wrocław 2008.
3. Leksykon naukowo-techniczny. WNT, Warszawa 1984.
4. Łunarski J.: Zarządzanie technologiami. OW PRz, Rzeszów 2009.

5. Słownik-sprawocznik po treniju, iznosu i smazkie detalej maszyn. Naukowa Dumka, Kijów 1990.
6. Sprawocznik po tribotechnike, t. 1. Teoreticzeskije osnovy. Red. M. Hebda, A.W. Cziczinadze. Maszynostrojenije, Moskwa 1989.
7. Tribologia. Tribotechnika. Red. M. Szczerek, M. Wiśniewski. ITeE, Radom 2000.

Recenzent:
Stanisław PYTKO

Summary

In the work, which has a disputable character, introducing two definitions concerning tribology and technology is proposed.

- **Tribotechnology – means technological operations in machine building, which use tribological processes for their functions' realisations (rolling friction, sliding friction, mixed friction, with stroke, rested),**
- **Technotribology – includes different technological operations, which are used in creating tribological systems surfaces. These operations can be divided into the operation which decrease the friction factor, the operation which increase friction factor or wear resistance of the tribological systems machining surfaces.**

The range of tribotechniques is also proposed and concerns tribotechnology, technotribology, designing oriented in tribological needs (DFT), and tribological experiments planning and designing (DoET).