

## MECHANIKA DOŚWIADCZALNA — PROBLEMY I KIERUNKI ROZWOJU<sup>1)</sup>

JACEK STUPNICKI

*Politechnika Warszawska*

Rozwój mechaniki jest nierozzerwalnie związany z rozwojem doświadczalnych metod badań. Bez obserwacji zjawisk i procesów mechanika w obecnej swojej formie nie mogłaby istnieć, byłaby nauką abstrakcyjną poruszającą się w hipotetycznej przestrzeni. Badania doświadczalne w przeszłości stymulowały rozwój mechaniki, a coraz dokładniejsze obserwacje i pomiary zmuszały do doskonalenia teorii i związanych z nimi modeli matematycznych.

Współczesna nauka i technika stawia przed mechaniką nowe problemy, które mogą być efektywnie rozwiązywane jedynie w ścisłej koordynacji badań doświadczalnych i teoretycznych. Jednakże obserwując życie naukowe w kraju i zagranicą zauważamy brak koordynacji takich badań. Badania doświadczalne i teoretyczne są prowadzone niezależnie przez różne zespoły badawcze. Z uwagi na wymagane różne predyspozycje psychiczne, różne zdolności i różne przygotowanie do prowadzenia badań, naukowcy na ogół nie zajmują się jednocześnie badaniami teoretycznymi i doświadczalnymi. Niestety zespoły teoretyczne i doświadczalne tworzą hermetyczne grupy, których wyniki prac są wzajemnie niedostępne i nieprzydatne.

Na wielu spotkaniach Sekcji Mechaniki Doświadczalnej Komitetu Mechaniki PAN postulowana jest pilna potrzeba współdziałania zespołów teoretycznych i eksperymentalnych. Winna być wypracowana platforma współpracy, sposób kontaktów oraz wspólny język dla opisu wyników badań teoretycznych i doświadczalnych.

Należy postulować wypracowanie takich metod współpracy by wyniki prac doświadczalnych inspirowały teoretyków i aby stawały się podstawą do powstawania teorii i uogólnień. Podobnie wyniki prac teoretycznych winny wskazywać cele badań doświadczalnych, winny opisywać przypadki, których przebadanie może potwierdzić lub obalić teorię. Dopiero ściśle powiązanie eksperymentu i teorii może prowadzić do harmonijnego rozwoju mechaniki [12].

Współczesne cele badań doświadczalnych w mechanice pokrywają się ze strategicznymi kierunkami w zakresie mechaniki ośrodków ciągłych i mechaniki konstrukcji. Wzrasta zapotrzebowanie na nowe związki konstytutywne coraz bardziej precyzyjnie opisujące własności materiałów i uwzględniające wpływ na materiały różnych czynników,

<sup>1)</sup> Niniejsze opracowanie jest rozwinięciem fragmentu raportu opracowanego przez zespół: B. Radziszewski, P. Rafalski, K. Sobczyk, J. Stupnicki, K. Wilmański, dla Komitetu Mechaniki PAN.

między innymi czasu, temperatury, promieniowania, historii deformacji, struktury krystalicznej.

Aby te związki ustalić prowadzone są badania w zakresie dużych odkształceń, obciążeń cyklicznych, obciążeń udarowych. Badana jest propagacja fal naprężeń, propagacja czoła szczeliny, badane są własności lepkosprężyste i lepkoplastyczne, ośrodki o niejednoznacznych zależnościach naprężeń od odkształceń. Ponadto badania doświadczalne są niezbędne w złożonych zagadnieniach technicznych, w których brak jeszcze obecnie możliwości analiz teoretycznych i numerycznych. Wyniki badań doświadczalnych są uznawanym dowodem prawidłowości decyzji podjętych przez konstruktorów i poprawności wyników uproszczonych obliczeń sprawdzających. W wielu dziedzinach postęp techniki nie może czekać na rozwiązania teoretyczne. Jeszcze obecnie, wskutek braku rozwiązań teoretycznych jedynie w oparciu o badania doświadczalne konstruktorzy uwzględniają procesy zmęczenia, mechaniki pękania, płynięcie materiału, zagadnienia kontaktu z udziałem tarcia i wiele innych.

Badania doświadczalne stanowią nierozłączne ogniwo systemu automatycznego sterowania, ciągłej analizy stanu. Znajduje to potwierdzenie w układach sterowania lotów samolotów i pojazdów kosmicznych, pływania statków, stanów urządzeń technicznych, reaktorów atomowych, zapór, mostów, sterowania ruchem robotów przemysłowych. Metody badań doświadczalnych są włączone w linie montażowe fabryk stanowiąc podstawę kontroli produkcji, procesów, kontroli jakości.

Nowe generacje komputerów zdają się mieć nieograniczone możliwości jednak obecny okres cechuje utrata zaufania do efektywności metod numerycznych, okazały się one bardzo kosztowne i żmudne w zakresie badań złożonych konstrukcji z materiałów o skomplikowanych własnościach reologicznych, procesów przebiegającego w czasie procesów pełzania, zjawisk falowych, procesów ze zmianą fazy lub obszaru.

Jednakże rozwój komputerów i rozwój systemów automatycznej regulacji stymuluje rozwój metod doświadczalnych. Metody badań, które dawniej nie mogły być stosowane z uwagi na zbyt pracochłonny proces analizy wyników obecnie są akceptowane. Powstało szereg układów sprzężonych z komputerem, gdzie wyniki pomiarów są zbierane i systematyzowane i analizowane przez komputer a efekt końcowy podawany jest w postaci wykresów lub wartości liczbowych. Powstały układy, w których stanowisko doświadczalne połączone jest bezpośrednio z komputerem, a wyniki analizowane na bieżąco w trakcie badań służą do sterowania dalszym przebiegiem pomiarów.

Rzeczony rozwój tej techniki badań jest efektem wielkich nakładów finansowych na badania kosmiczne gdzie tysiące różnych pomiarów wykonywane i analizowane stanowią podstawę do korekty trajektorii lotu, naprowadzenia na właściwą orbitę.

Zupełnie nowe możliwości stworzyły automatyczne układy przetwarzania obrazów stosowane do analizy danych polowych np. elastooptyki czy interferometrii holograficznej, oparte o zasady techniki telewizyjnej. Numeryczny zapis obrazu wymagający zapamiętania miliona danych w ciągu ułamka sekundy wymaga zupełnie nowych systemów pamięci komputerów oraz ogromnych komputerów dla późniejszego czy równoległego przetworzenia takiej liczby danych — eliminowania szumów i błędów przypadkowych.

Efektywne okazały się metody hybrydowe wykorzystujące zalety metod numerycznych i metod doświadczalnych. Filozofia tego typu badań polega na eliminacji z algorytmu

obliczeń numerycznych tych etapów, które są bądź bardzo czasochłonne lub niemożliwe do przeprowadzenia i w to miejsce wprowadzania stanowiska doświadczalnego, gdzie dane zjawisko przebiega w rzeczywistości, nie podlega więc uproszczeniom związanym z tworzeniem modelu matematycznego.

Jeśli dla przykładu analizie podlega układ sprężysty w całym obszarze z wyjątkiem jednego podobszaru, w którym materiał ma własności lepkosprężyste trudne do opisu matematycznego lub niejednoznacznie zdefiniowane, wówczas tworzymy model matematyczny całego układu włączając do niego dane zbierane w trakcie przeprowadzenia doświadczenia nad modelem fizycznym podobszaru lepkosprężystego [6]. Ostatnią dekadę cechuje żywiołowy rozwój metod doświadczalnych. Metody i techniki tu stosowane stają się bliższe badaniom fizyków w zakresie badania materii, korzystają z metod automatycznego sterowania, opierają się na ściśle określonych modelach fizycznych [11].

Badania doświadczalne daleko odeszły od pomiarów rutynowych, przeprowadzonych zgodnie z normami kontroli jakości.

Ze zbioru kilkuset opisanych zjawisk fizycznych mających związek z procesami mechanicznymi tj. ruchem, przemieszczeniem i odkształceniem ciał do niedawna wykorzystano jedynie kilka (najczęściej zmianę oporności właściwej, efekt elastoptyczny, zjawisko piezoelektryczne i termoelektryczne). W ostatnim okresie do badań mechanicznych wciągnięto — emisję akustyczną [13], magnetostrykcję [5] i emisję promieniowania podczerwonego [14], zmianę polaryzacji w ciekłych kryształach, dwójłomność strumienia cieczy [9], [10].

W coraz szerszym zakresie do ilościowych badań własności mechanicznych, naprężeń własnych stosuje się metody akustyczne pomiaru prędkości propagacji fal akustycznych [15].

Istnieją próby włączenia do badań procesów mechanicznych zjawiska absorpcji światła, dichroizmu [8], wykorzystania dodatkowych pól fizycznych w elastoptyce np. efektu Kerr'a, Faraday, Cotton-Moutona, efektu Pockelsa i innych [1] [8]. Proponowane jest zastosowanie czujników atomowych do badania efektów lokalnych naprężeń w kryształach [4].

Dzięki szerokiemu rozwojowi laserowych źródeł światła powstały zupełnie nowe możliwości badań przemieszczeń, badań kształtu, odkształceń, metodami interferometrii holograficznej i interferometrii płamkowej. Został rozszerzony zakres badań elastoptycznych na badania brył trójwymiarowych metodami światła rozpraszanego. Sprzężenie badań elastoptycznych z holograficznymi dostarcza dodatkowych informacji a badania elastoptyczne w zakresie promieniowania podczerwonego rozszerzają zakres możliwości spełnienia warunków podobieństwa modelowego [2]. W tym też kierunku idą stałe poszukiwania nowych polimerów optycznie czynnych i optycznie nieczynnych o specyficznych własnościach mechanicznych w szerokim zakresie temperatur.

#### Literatura cytowana w tekście

1. H. ABEN, *Additional Physical Fields in Photoelasticity*, IUTAM Symposium The Photoelastic Effect and Its Applications OTTIGNES 1973, Springer Verlag 1975, str. 294 - 316.
2. G. L., CLOUD, J. T. PINDER, *Techniques in Infrared Photoelasticity*, Experimental Mechanics 8, 193-201, 1968.

3. J. W. DALLY, *Classical and Advanced Methods of Photoelasticity*, IUTAM Symposium The Photoelastic Effect and Its Applications OTTIGNES 1973, Springer Verlag 1975, 17 - 102.
4. J. DURAN, *The Use of Atomic Gages for Studying Local Stress Effects in Crystals*, IUTAM Symposium The Photoelastic Effect and Its Applications OTTIGNES 1975 Springer Verlag 1975, 257 - 271.
5. L. JILKEN, *Electromagnetic Detection of Mechanical Phenomena*, Linköping Studies in Sciences and Technology, Dissertation Linköping 1978.
6. K. H. LAERMAN, *Hybrids Analysis of Plate Problems*, Experimental Mechanics 21, N. 10, 1981.
7. W. P. MASON, *Physical Acoustics and Properties of Solids*, D van Nostrand Co Inc. New York 1958.
8. S. PAUTHIER—CAMIER, *The Available Experimental Methods for Measure the Optical Properties of Matter*, IUTAM Symposium The Photoelastic Effect and Its Applications OTTIGNES 1973 Springer Verlag 1975, 231 - 257.
9. W. PHILIPPOFF, *Flow Birefringence and Stress*, J Appl. Physics 27, 984 - 989, 1956.
10. J. T. PINDER, A. R. KRISHNAMURTHY, *Characteristic Relations of Flow Birefringence*, Part 1. Relation in Transmitted Radiation, Exp. Mech. 18. 1 - 10, 1978, Part 2. Relations in Scattered Radiation, Exp. Mech. 18, 41 - 48, 1978.
11. J. T. PINDER, *New Physical Trends in Experimental Mechanics*, CISM Courses and Lectures no. 264 Springer Verlag 1981.
12. J. STUPNICKI, *Raport o stanie mechaniki eksperymentalnej w Polsce*, przygotowany przez Sekcję Mechaniki Doświadczalnej Komitetu Mechaniki PAN.
13. A. S. TETELMAN, R. GHOW: *Acoustic Emission*, ASTM STP-505, p. 30 - 40, Philadelphia ASTM, 1972.
14. V. TURCHINA, D. M. SANBORU, W. O. WINER, *Temperature Measurement in Sliding Elastohydrodynamic Point Contacts*, Transaction of the ASME, July 1974.
15. A. VARY, *Quantitative Ultrasonic Evaluation of Mechanical Properties of Engineering Material.*, 1981, Ultrasonic Symposium.

*Praca została złożona w Redakcji dnia 20 kwietnia 1983 roku*