

Wstęp

zadanie przedmiotu; rys historyczny; podstawowe założenia: continuum materialne, równowaga stateczna, zasada zeszczywnienia; zasada superpozycji

Zadanie przedmiotu

Właściwość materiału przeciwstawiania się niszczącemu działaniu sił określamy jako wytrzymałość. Przedmiotem rozważań na Wytrzymałości materiałów będzie:

- badanie i opis właściwości materiałów konstrukcyjnych,
- określanie stanu mechanicznego materiału pod wpływem obciążeń,
- określanie dopuszczalnych obciążeń dla istniejących konstrukcji,
- projektowanie konstrukcji dla zadanych obciążeń.

Wytrzymałość materiałów jest częścią ogólniejszej mechaniki ośrodka ciągłego (odkształcalnego ciała stałego), dostosowaną do potrzeb techniki. Stanowi ona zbiór podstawowych i ważnych praktycznie rozwiązań inżynierskich. W tym sensie nie jest rozwijającą się nauką lecz przedmiotem nauczania, zawierającym ogólne omówienie najbardziej użytecznych metod projektowania konstrukcji inżynierskich.

Nasz kurs właściwej wytrzymałości materiałów poprzedzony będzie omówieniem statyki prostych układów konstrukcyjnych.

Rys historyczny¹

Początki wytrzymałości materiałów sięgają zamierzchłych czasów. Bez wątplenia już Egipcjanie znali pewne empiryczne formuły, pozwalające na wznoszenie wielkich świątyń, piramid i obelisków. Największa piramida Chufu (Cheopsa) ma kwadratową podstawę o boku 230 m. i ok. 146 m wysokości. Najwyższy obelisk starożytnego Egiptu, Totmesa III (XV wiek p.n.e.), miał 32 m wysokości — obecnie stoi przed bazyliką Laterańską w Rzymie.

Do dzisiaj możemy podziwiać greckie budowle sakralne i użyteczności publicznej. Wielkimi budowniczymi byli także Rzymianie. Jako pierwsi zaczęli stosować przekrycie łukowe szeroko stosowane m.in. w zachowanych do dziś akweduktach. Europę pokryli siecią dróg, które były masywnymi konstrukcjami, często z podłożem umacnianym palami i konstrukcji betonowej wielowarstwowej o grubości ok. 1m.

W średniowiecznej Europie zaczęły powstawać odpowiedniki dzisiejszych drapaczy chmur: katedry gotyckie. Podziwiając ich smukłość, lekkość i strzelistość staje się dla nas oczywiste, że budowniczowie posiadali rzetelną i niemałą wiedzę o obciążeniach, wytrzymałości i rozkładzie sił. W większości jednak była to wiedza pilnie strzeżona przed niewtajemniczonymi.

Jednakże aż do epoki Odrodzenia inżynierowie polegali jedynie na doświadczeniu i rozsądku.

Pierwsze analityczne sformułowania problemów wytrzymałości materiałów pochodzą z końca XVI wieku od Galileusza (zasada prac wirtualnych). Burzliwy rozwój nauki przypada na XVIII i XIX wiek. Podstawy teoretyczne sformułowane zostały - niemal wyłącznie - w przodujących ówczesnie krajach: Francji, Anglii i Niemczech.

W dobie obecnej nie jest to nauka — zakres przedmiotu od dłuższego czasu nie ulega zasadniczej zmianie. Wprowadzane są jedynie pewne elementy stanowiące przedmiot rozważań

¹ Obszerne informacje na temat rozwoju przedmiotu można znaleźć w książce Timoszenki „Historia wytrzymałości materiałów”.

innych dziedzin, wyodrębnionych z wytrzymałości materiałów i będących obecnie samodzielnymi gałęziami wiedzy, jak np. teoria sprężystości, teoria plastyczności, reologia czy mechanika zniszczenia. Tak więc możemy powiedzieć, że wytrzymałość materiałów zawiera zbiór podstawowych rozwiązań inżynierskich, stanowiący kanon wiedzy inżyniera.

Podstawowe założenia

Kontinuum materialne

W wytrzymałości materiałów, jako dziedzinie mechaniki ośrodka ciągłego, abstrahuje się od nieciągłej, atomowej budowy materii. Zakładamy, że materia jest ciągła na poziomie makroskopowym naszych rozważań. Otoczenie punktu materialnego, o niezerowej objętości, nie może redukować się do zera (znikać) ani zmierzać do nieskończoności w wyniku deformacji. Wyklucza się pęknięcia, zarysowania i rozwarstwienia materiału.

Rozważania mogą być prowadzone na różnych poziomach skali materiału: makro albo mikro. Wytrzymałość materiałów, przeciwieństwo np. do mechaniki kwantowej, zajmuje się analizą materiału w skali makro.

Właściwości materiału podlegają uśrednieniu dla jego *objętości reprezentatywnej*. Objętość taka może być z grubsza określona jako objętość sześcianu, którego wymiar charakterystyczny zależy od rodzaju materiału. Z grubsza biorąc, wielkość ta jest rzędu:

- 1 mm dla stali,
- 1 cm dla drewna,
- 10 cm dla betonu.

Oznacza to, że nasze rozważania dotyczyć będą elementów o objętości większej od reprezentatywnej. Dla mniejszych elementów, teoria albo nie znajduje zastosowania albo powinna być stosowana ze szczególną ostrożnością.

Równowaga stateczna

Układ może znajdować się w jednym z trzech możliwych stanów równowagi: w równowadze trwałej, obojętnej bądź nietrwalej. Stany te można poglądowo przedstawić na przykładzie kulki, na którą działa krótkotrwały impuls.

Jeżeli kulka znajduje się w zagłębieniu, to - po ustaniu impulsu - powraca do pierwotnego położenia. Jest to *stan równowagi trwałej*.

Jeżeli kulka znajduje się na płaszczyźnie, impuls powoduje zmianę jej położenia: kulka nie wraca w pierwotne położenie pozostając w nowym. Powrót do pierwotnego położenia jest jednak możliwy przy zadziałaniu przeciwnie skierowanego impulsu. Jest to *stan równowagi obojętnej*.

Jeżeli kulka znajduje się na szczycie wzniesienia, impuls powoduje zmianę jej położenia (kulka stacza się w dół) i powrót do pierwotnego położenia, ogólnie mówiąc, nie jest możliwy. Jest to *stan równowagi nietrwalej*.

Wyniki rozważań podsumowuje *zasada Dirichleta*:

Gdy układ materialny znajduje się w zachowawczym polu sił, wówczas położenie, w którym energia potencjalna osiąga minimum, jest położeniem równowagi trwałej.

Zakładając będziemy, że każdy z rozpatrywanych przez nas układów znajduje się w stanie równowagi trwałej. Oznacza to, że po zniknięciu chwilowego wymuszenia (zaburzenia) układ powraca do pierwotnego stanu. Układy znajdujące się w równowadze obojętnej bądź chwiejnej nie będą przedmiotem naszych rozważań.

Zasada zeszywnienia

Konstrukcje budowlane są, w większości, bardzo sztywne. Ich przemieszczenia pod obciążeniem są małe i mogą być w obliczeniach zaniedbane. Błąd obliczeń, popełniany wskutek zaniedbania wpływu przemieszczeń układu, jest najczęściej znikomo mały. W trakcie analizy statycznej będziemy konstrukcję traktować jako sztywną tarczę, zaniedbując wpływ przemieszczeń konstrukcji na stan konstrukcji. Takie założenie nazywane jest *zasadą zeszywnienia*.

| *Zeszywnienie ciała odkształcalnego nie narusza równowagi sił działających na to ciało.*

Powyższa zasada dotyczy większości układów, zwanych *geometrycznie liniowymi*. Układy *geometrycznie nieliniowe* (jak np. tzw. krata Misesa), są znacznie rzadziej stosowane i wymagają uwzględnienia podatności konstrukcji.

Powyższe rozróżnienie na układy geometrycznie liniowe i nieliniowe powinno być, w zasadzie, weryfikowane obliczeniami. Najczęściej jednak, przy pewnej wprawie, można od razu prawidłowo sklasyfikować geometrię rozważanej konstrukcji.

Zasada superpozycji

| *Skutek od sumy niezależnie działających przyczyn jest równy sumie skutków od każdej z tych przyczyn z osobna.*

Matematycznie, z przypadkiem takim mamy do czynienia dla równań liniowych i jednorodnych, i oznacza to, że:

jeśli: $f(x) = ax$, to: $f(\sum_i x_i) = \sum_i f(x_i)$ oraz $f(kx) = kf(x)$.

Tak więc, w szczególności:

- skutek od wielu przyczyn jest równy skutkowi od tych przyczyn
- jeśli przyczyna wzrośnie k -krotnie to i skutek wzrośnie k -krotnie.