

Wprowadzenie do ćwiczeń laboratoryjnych

Opracował : dr inż. Konrad Konowski *)

Szczecin 2013 r.

*) za podstawę niniejszego opracowania posłużył skrypt [1]

1. Własności mechaniczne materiałów

Własnościami mechanicznymi materiałów używanych w technice do budowy maszyn oraz wyrobów artykułów użytkowych nazywa się zespół cech charakteryzujących ich zachowanie pod działaniem sił obciążających. Podstawowymi własnościami mechanicznymi każdego materiału jako tworzywa konstrukcyjnego są: wytrzymałość, podatność sprężysta i plastyczna oraz trwałość.

Wytrzymałość rozumiana w szerokim znaczeniu charakteryzuje odporność materiałów na działanie różnego rodzaju obciążeń, dzięki której elementy techniczne wykonane z tych materiałów mogą być poddane działaniu sił, momentów zginających i skręcających, ciśnień itp. Nie ulegając doraźnym uszkodzeniom w postaci odkształceń trwałych lub pęknięć.

Podatność sprężysta (sprężystość) charakteryzuje zdolność materiału do odkształceń sprężystych.

Podatność plastyczna (plastyczność) określa zdolność materiału do odkształceń trwałych.

Trwałość jest to odporność materiału na działanie obciążeń i określonych warunków zewnętrznych w czasie.

Z reguły dąży się do wytwarzania i stosowania materiałów o możliwie dużej wytrzymałości. Podatność sprężysta lub plastyczna jest w wielu konstrukcjach niepożądana. W innych przypadkach cechy te wykorzystuje się w sposób celowy, np. w działaniu sprężyn lub podczas obróbki plastycznej materiałów.

Własności mechaniczne materiałów zależą od:

- Składu chemicznego, tj. pierwiastków i związków chemicznych, wchodzących w skład materiału,
- Struktury materiału, powstałej w wyniku procesów stosowanych przy jego wytwarzaniu, np. przeróbki plastycznej, obróbki cieplnej itp.,
- Warunków termodynamicznych i fizykochemicznych w jakich znajduje się materiał podczas jego użytkowania. Na przykład wzrost temperatury najczęściej powoduje nie tylko zwiększenie podatności plastycznej materiału ale równocześnie obniżenie własności wytrzymałościowych,

Wymagania dotyczące własności materiałów rosną w miarę rozwoju techniki i muszą być coraz ściślej przestrzegane. Sprecyzowane i w coraz większym stopniu różnicujące się wymagania stawiane materiałom stworzyły konieczność sprawdzania ich jakości. Pod pojęciem jakości należy rozumieć w tym przypadku posiadanie przez materiał założonych własności, gwarantujących spełnienie przez niego ustalonych zadań w określonym czasie. Wczesne wykrycie złej jakości materiału lub występujących w nim wad pozwala na uniknięcie wyprodukowania wadliwych wyrobów a tym samym zbędnych kosztów produkcji i skutków jakie mogą powstać w wyniku awarii wadliwego elementu konstrukcyjnego.

Własności mechaniczne określające w głównej mierze jakość materiału, wyznacza się w drodze różnego rodzaju prób (testów), których charakter zależy od rodzaju badanej własności i przeznaczenia materiału.

Rozróżnia się dwie grupy własności mechanicznych materiałów:

- Własności technologiczne
- Własności wytrzymałościowe

Własności technologiczne określają przydatność materiału do ściśle określonych celów praktycznych lub do odpowiedniej obróbki np. kucia, tłoczenia, skręcania itp. Próby technologiczne są w zasadzie próbami jakościowymi. Sprowadzają się one najczęściej do bezpośredniej obserwacji wyników działania siły i stwierdzenia czy określony proces technologiczny w ustalonych warunkach da się przeprowadzić. Są stosowane przede

wszystkim jako próby odbiorcze materiałów w postaci blachy, drutu taśmy, rury itp. Najczęściej stosowanymi próbami technologicznymi są: próba skręcania drutu, próba nawijania sprężyny, próby spłaszczania i rozciągania rur.

Własności wytrzymałościowe obejmują te wszystkie własności, do wyznaczenia których niezbędnym parametrem jest siła. Próby wytrzymałościowe dostarczają ścisłych danych liczbowych, określających wielkości siłowe oraz skutki ich działania. Dane nazywa się ogólnie wskaźnikami i wyznacza na podstawie prób ilościowych. Zalicza się do nich np. granicę plastyczności, wytrzymałość na rozciąganie, ściskanie ścinanie, skręcanie i zginanie, twardość, stałe sprężyste materiału (E , ν) itp. Niektóre wskaźniki, tzw. wskaźniki plastyczności określają zdolności materiału do maksymalnych odkształceń plastycznych (wydłużenie i przewężenie plastyczne próbki).

Wskaźniki wytrzymałościowe umożliwiają:

- Porównywanie własności różnych materiałów,
- Kwalifikowanie przydatności poszczególnych materiałów do celów konstrukcyjnych lub produkcyjnych,
- Obliczanie przewidywanych odkształceń i nośności konstrukcji technicznych w toku ich projektowania.

Dla spełnienia warunku porównywalności wyników prób, sposoby ich przeprowadzania muszą być ściśle określone i przestrzegane. Podstawowe próby zarówno o charakterze wytrzymałościowym jak i technologicznym zostały znormalizowane (normy europejskie i krajowe). Umożliwia to uniknięcie rozbieżności i dowolności w interpretacji wyników prób. Oprócz powyższych norm, przemysł może wprowadzać normy resortowe oraz warunki techniczne odbioru, ustalające szczegółowe wymagania i sposoby sprawdzania jakości materiałów.

2. Rodzaje obciążeń, naprężeń i odkształceń

Obciążeniami nazywa się siły zewnętrzne czynne przyłożone do ciała. Są to najczęściej siły działające na powierzchnię ciała (ciśnienia, siły skupione, momenty), ale również mogą nimi być siły objętościowe jak ciężar, a w zagadnieniach kinetostatycznych - siły bezwładności.

Podstawowe własności mechaniczne materiałów wyznacza się stosując proste schematy obciążeń próbek, a mianowicie: rozciąganie, ściskanie, ścinanie, skręcanie i zginanie.

Obciążenia mogą być stałe lub też zmieniać się w czasie.

Jeżeli wzrost obciążenia zachodzi dostatecznie powoli, tak że można pominąć wpływ sił bezwładności, to takie obciążenie nazywa się statycznym.

W przeciwnym przypadku obciążenie jest dynamiczne: nagle, udarowe lub zmęczeniowe.

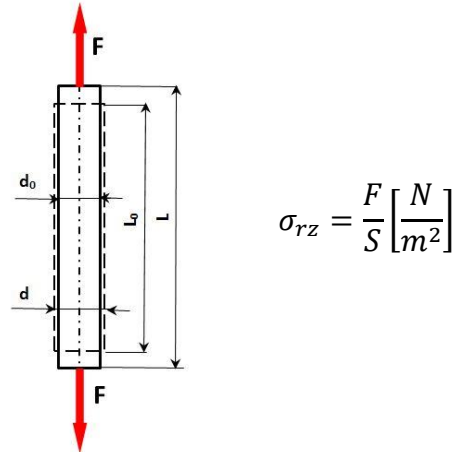
Obciążenie nagle zachodzi wówczas, gdy pojawia się od razu całą swoją wartością. Zachodzi to np. przy obciążaniu ciężarem spadającym z wysokości równej zero. Obciążenia udarowe zachodzą przy zderzeniach ciał. Ten rodzaj obciążenia charakteryzuje się wzrostem siły od zera do wartości maksymalnej i następnie spadkiem do zera, przy czym zmiany te zachodzą w ułamku sekundy. Obciążeniami zmęczeniowymi nazywa się obciążenia wielokrotnie zmienne. Wywołują one nieodwracalne zmiany w materiale, które mogą prowadzić do zniszczenia zmęczeniowego.

Zależnie od charakteru obciążenia rozróżnia się próby statyczne i dynamiczne.

Próby statyczne mogą być doraźne, jeżeli czas obciążania trwa od kilku minut do kilku godzin lub długotrwałe, trwające w niektórych przypadkach nawet dziesiątki lat. Naprężenie niszczące ujawnione w próbie doraźnej nazywa się wytrzymałością doraźną. Wśród prób długotrwałych najczęściej stosuje się próbę pełzania, polegającą na badaniu procesu wzrostu odkształceń w funkcji czasu przy stałej wartości obciążenia. Największą wartość naprężenia ,

które nie spowoduje zniszczenia próbki po dowolnie długim okresie czasu nazywa się wytrzymałością trwałą. Jest ona mniejsza od wytrzymałości doraźnej, dla niektórych tworzyw dość znacznie.

W badaniach własności mechanicznych materiałów naprężenia mogą być obliczane według dwóch zasad. Według pierwszej zasady oblicza się naprężenia rzeczywiste, odnosząc np. przy rozciąganiu siłę F (rys. 1) do rzeczywistego pola S przekroju, odpowiadającego danej sile



Rys.1 Schemat rozciągania próbki

Według drugiej zasady pomija się zmiany przekroju próbki zachodzące podczas obciążania i oblicza się w sposób umowny odnosząc siłę rozciągającą F do początkowego pola S_0 przekroju poprzecznego

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

Ciała stałe charakteryzują się między innymi określoną objętością i kształtem (postacią). Pod obciążeniem, ciała rzeczywiste zmieniają swój pierwotny kształt i objętość. Zmianę tę nazywa się ogólnie odkształceniem. Rozróżnia się odkształcenia sprężyste i plastyczne (trwałe). Odkształcenia sprężyste po odjęciu obciążenia całkowicie zanikają, natomiast plastyczne – pozostają trwałe

3. Charakterystyka materiałów konstrukcyjnych

Materiał konstrukcyjny dzięki swej budowie molekularnej ma strukturę nieciągłą. W wytrzymałości materiałów zakłada się jednak, że stanowi on ciągły ośrodek materialny (kontinuum materialne). Przyjęcie takie jest dopuszczalne, ponieważ rozmiary nawet bardzo małych obiektów technicznych zdecydowanie przewyższają rozmiary elementów mikrostruktury.

Traktowanie materiału konstrukcyjnego jako ośrodka ciągłego ma niezwykle ważne znaczenie zarówno dla rozważań teoretycznych jak i badań eksperymentalnych. Założenie, że

naprężenia, odkształcenia i przemieszczenia są ciągłymi i różniczkowalnymi funkcjami punktów wewnętrznych ciała oraz czasu pozwoliło na wprowadzenie do wytrzymałości aparatu analizy matematycznej. Ponadto okazało się, że w praktycznych zagadnieniach wytrzymałości istotne znaczenie mają tylko własności mechaniczne materiałów, czyli zależności pomiędzy naprężeniami, odkształceniami, temperaturą i czasem, a nie całe skomplikowane oddziaływania wzajemne atomów, które dokładnie charakteryzuje stan fizyczny rzeczywistego materiału. Na tej podstawie oparte są podstawowe metody doświadczalne badania własności mechanicznych materiałów.

W wytrzymałości przyjmuje się najczęściej, że materiał jest jednorodny i izotropowy.

Materiał nazywa się jednorodnym, jeżeli w każdej wyodrębnionej części swojej objętości ma jednakowe interesujące nas własności fizyczne. Jeżeli materiał nie spełnia tego warunku nazywa się niejednorodnym.

Materiał izotropowy charakteryzuje się jednakowymi własnościami mechanicznymi we wszystkich kierunkach. Materiały, których własności w różnych kierunkach są niejednakowe nazywają się anizotropowymi.

Większość metali technicznych i ich stopów w skali makro może być z dopuszczalnym dla praktyki przybliżeniem traktowana jako materiały jednorodne i izotropowe. Typowym materiałem anizotropowym jest np. drewno. Wybitnie anizotropowe własności mają również pojedyncze kryształy.

W technice rzadko spotyka się ciała, które pod wpływem działania obciążeń o dowolnej wartości (w granicach od bardzo małych aż do powodujących zniszczenie przedmiotu) odkształcałyby się idealnie sprężysto lub plastycznie. Sprężystość i plastyczność nie wykluczają się wzajemnie. Najczęściej przy niewielkich obciążeniach pewna część odkształcenia ma charakter trwały, lecz jest bardzo mała w stosunku do odkształcenia sprężystego. Przy większych obciążeniach odkształcenie plastyczne może dominować. Mając na uwadze zdolności do odkształceń rozróżnia się materiały plastyczne, sprężysto-plastyczne, sprężysto-kruche i kruche.

- Materiałami plastycznymi nazywa się takie materiały, które pod wpływem działania obciążeń odkształcają się głównie w sposób trwały jak glina, plastelina itp.
- Materiały sprężysto-plastyczne (elastoplastyczne) są to materiały, przeważnie metale przemysłowe i ich stopy, które początkowo- przy niezbyt dużych naprężeniach – odkształcają się sprężysto, a przy większych naprężeniach doznają znacznych odkształceń trwałych, obok których występują jednocześnie nieznaczne odkształcenia sprężyste. Do tej grupy należą m.in. stale konstrukcyjne węglowe i stopowe oraz stopy miedzi i aluminium.
- Materiały sprężysto-kruche (elastokruche) posiadają zdolność do znacznych odkształceń sprężystych, przy czym przed zniszczeniem ulegają niewielkim odkształceniom plastycznym jak np. stal sprężynowa hartowana (resory samochodowe).
- Materiały kruche ulegają zniszczeniu prawie bez odkształceń plastycznych, przy małych odkształceniach sprężystych. Z materiałów konstrukcyjnych stosowanych w budowie maszyn do tej grupy należy żeliwo.

Według współczesnych poglądów plastyczność lub kruchość nie traktuje się jako charakterystyczną niezmienną własność materiału, lecz jako wynik działania różnorodnych

czynników: temperatury, kształtu próbki, rodzaju obciążenia (statyczne, dynamiczne), stanu naprężenia (prosty, złożony) itp. Na przykład marmurowe walce przy jednoosiowym rozciąganiu lub ścisaniu wykazują cechy materiału wybitnie kruchego, natomiast poddane znacznemu trójosiowemu ścisaniu mogą być odkształcane tak, jak gdyby były wykonane z materiału plastycznego. Również kształt próbki oraz prędkość obciążania mogą decydować o tym czy materiał zachowa się jako plastyczny czy kruchy. Wpływ temperatury na plastyczność i kruchość materiałów jest powszechnie znany.

Z omówionych względów podaną wyżej klasyfikację materiałów na plastyczne i kruche należy odnosić jedynie do normalnej temperatury laboratoryjnej, normalnych próbek i najprostszych obciążeń. Ściśle rzecz biorąc nie należałoby mówić o materiałach plastycznych czy kruchych a raczej ostatecznie kruchym lub plastycznym danego materiału, podobnie jak mówi się o stanie stałym, ciekłym lub gazowym danego ciała.

Należy jeszcze podkreślić, że w literaturze technicznej dość często rozróżnia się tylko dwa rodzaje materiałów konstrukcyjnych, nazywanych potocznie plastycznymi (ciągliwymi) oraz kruchymi. Pierwszego określenia używa się przede wszystkim w odniesieniu do materiałów sprężysto-plastycznych (jako , że materiały plastyczne w ścisłym znaczeniu tego słowa bardzo rzadko znajdują zastosowanie w technice), drugiego zarówno dla materiałów sprężysto-kruchych jak i kruchych.

4. Próbki do badań własności mechanicznych materiałów konstrukcyjnych

Próbką nazywa się materiał o określonym kształcie i wymiarach przeznaczony do bezpośredniego wykonania na nim próby, mającej na celu określenie jego właściwości wytrzymałościowych, technologicznych itp. Próbką może być również gotowy półwyrób lub wyrób.

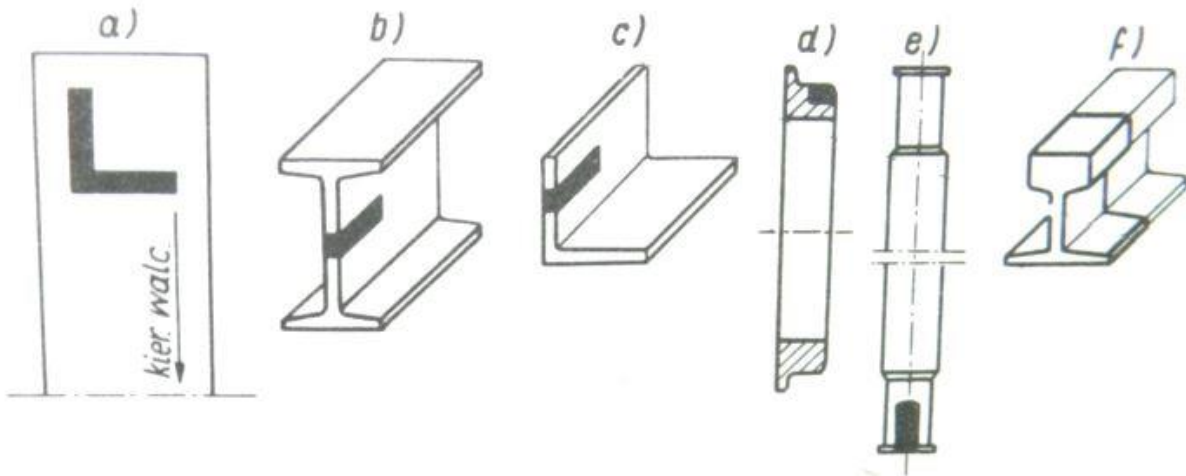
Stosunkowo nieznaczną ilość asortymentów gotowych wyrobów poddaje się bezpośrednio próbom w celu ustalenia własności mechanicznych materiału. Do nich należą np. łańcuchy liny, druty ,sprężyny, rury o małych średnicach itp. W tych przypadkach pobieranie próbek nie stanowi większych trudności. Bada się wówczas część przedmiotu (np. łańcucha lub drutu) lub kilka przedmiotów z danej partii wyrobów.

Najczęściej jednak w praktyce badania dotyczą przedmiotów o dużych wymiarach. Brak dostatecznie silnych urządzeń badawczych jak i względy oszczędnościowe zmuszają do pobierania do badań tylko części przedmiotów, tzw. odcinków próbnych. W takich przypadkach mała liczba próbek powinna pozwolić na właściwą ocenę jakości lub przydatności znacznych partii materiału. Pobieranie odcinków próbnych z materiału i ich obróbka muszą być wtedy tak dokonywane, aby własności materiału nie ulegały przy tym zmianie. Nie można ustalić ogólnej reguły, ile materiału należy użyć do badań i z jakiego miejsca pobrać odcinek próbny. Zależy to przede wszystkim od przeznaczenia badanego materiału lub przedmiotu oraz od fazy produkcji. Z tego powodu kontrola produkcji oraz odbiorcy kierują się wieloma ścisłymi przepisami, ustalającymi w każdym przypadku nie tylko rodzaj i liczbę próbek, lecz również sposób i miejsce ich pobierania w zależności od rodzaju badanego materiału lub wyrobu.

Na ogół można powiedzieć, że jeżeli dana partia składa się prawie wyłącznie z dużych przedmiotów, pobiera się w przewidzianych miejscach odcinek próbny z kilku losowo wybranych sztuk. W razie badania przyczyn uszkodzeń (np.. zniszczenie urządzenia podczas

pracy) wycina się próbkę najczęściej w pobliżu pęknięcia, przy czym o miejscu pobierania i ilości materiału decyduje pracownik odpowiedzialny za przeprowadzenie badań.

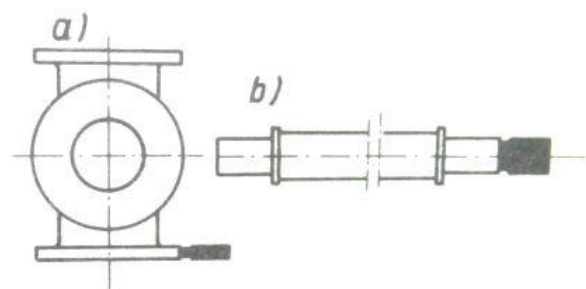
Na rys.2 przedstawiono kilka przykładów sposobu pobierania odcinków próbnych z gotowych wyrobów o dużych wymiarach.



Rys.2. Przykłady pobierania odcinków próbnych z różnych gotowych wyrobów: a) blacha, b) dwuteownik, c) kątownik, d) obręcz koła wagonowego, e) oś wagonowa, f) szyna

Aby uniknąć zniszczenia badanego przedmiotu, stosuje się często do odlewów specjalne nadlewy, a do odkuwek – naddatki. Odcięte naddatki zastępują w zupełności odcinki próbne pobrane z samego przedmiotu (rys. 3). Rolę odcinków próbnych spełniają również pręty odlewane oddzielnie z tego samego wytopu, z którego odlano właściwe przedmioty.

Odcinki próbne służą do wykonania próbek. Rodzaje próbek ich kształty oraz wymagana dokładność wykonania są bardzo różnorodne i przystosowane do zamierzonego sposobu obciążania. Z zasady dąży się do nadawania próbkom jak najprostszycy kształtów np. walców, prostopadłościanów, prętów o przekroju kołowym lub prostokątnym , płytek itp. Proste kształty próbek pozwalają na ścisłe określenie stanu naprężenia, jaki powstaje w materiale pod działaniem zewnętrznych obciążeń. Próbki dla podstawowych rodzajów prób są znormalizowane.



Rys.3. Naddatki do prób (na rysunku zaczerńnione): a) odlew z nadlewem, b) odkuwka osi wagonowej z naddatkiem

Posługiwanie się próbkami wykonanymi z odcinków próbnych opiera się na założeniu, że materiał w całej swojej masie jest jednorodny.. Założenie to jest słuszne tylko częściowo, gdyż w praktyce nie można ręczyć na ogół za jednorodność materiału, np. za idealnie taką samą strukturę czy za jednakowy rozkład zanieczyszczeń. Takie ujęcie sprawy jest wszakże konieczne, w przeciwnym bowiem przypadku należałoby zbadać cały wyprodukowany materiał. Należy tu podkreślić znaczenie przypadkowości i losowości w wyborze

przedmiotów przeznaczonych do badania , które mają zapewnić przeciętną otrzymanych wyników zgodną z przeciętnymi własnościami całości badanego materiału

5. Badania wytrzymałościowe elementów technicznych

Badania statyczne i dynamiczne elementów maszyn lub konstrukcji mają na celu sprawdzenie poprawności obliczeń, jakości materiałów (wykrycie ewentualnych wad) oraz wykonania. Są one często niezbędne gdyż, jak wiadomo, zależność pomiędzy wytrzymałością gotowej części konstrukcyjnej a wytrzymałością materiału w próbie, zwłaszcza przy obciążeniu zmiennym jest dość skomplikowana i możliwa do określenia z technicznie wystarczającą dokładnością jedynie w prostych i bardziej typowych przypadkach.

Wzory obliczeniowe nauki o wytrzymałości materiałów wyprowadzone są w oparciu o szereg założeń upraszczających, dotyczących zarówno własności materiału jak również schematu kinematycznego odkształceń.

W metodach obliczeniowych wytrzymałości materiałów uwzględnia się w zasadzie tylko czynniki najważniejsze i rezygnuje świadomie i celowo z czynników ubocznych drugo- i trzeciorzędnych. Elementy techniczne zwykle odbiegają swoimi kształtami, sposobami ich obciążania i warunkami podparcia od prostych modeli (pręt rozciągany, wał, belka, płyta itp.), dla których wyprowadzone zostały podstawowe wzory. Należy się więc z góry liczyć z tym , że nie otrzymuje się zupełnej zgodności naprężeń i przemieszczeń obliczonych z wzorów teoretycznych z rzeczywiście występującymi w elementach technicznych. Podstawowym kryterium oceny wzorów i metod obliczeniowych wytrzymałości materiałów nie jest ich pełna drobiazgowość ścisłość matematyczna lecz wynik badań doświadczalnych. Jako dobre dla celów projektowych uznaje się te metody obliczeń, których błąd nie przekracza tzw. technicznej dokładności obliczeń. tj. kilka lub kilkanaście procent. Błąd będzie oczywiście tym większy, im bardziej element techniczny będzie odbiegał od modelu hipotetycznego, dla którego wzór został wyprowadzony.

Teoria wytrzymałości materiałów nie jest w stanie dać zawsze wyczerpującej odpowiedzi na pytania dotyczące wytrzymałości takiego czy innego detalu. We współczesnych konstrukcjach kształty i warunki pracy elementów są coraz bardziej złożone tak, że ocena ich wytrzymałości nie jest możliwa nie tylko przy pomocy prostego aparatu matematycznego wytrzymałości materiałów, ale również przy pomocy o wiele bardziej skomplikowanych i doskonalszych metod teorii sprężystości czy metody elementów skończonych. W takich przypadkach pomocne są specjalne metody doświadczalne wyznaczania odkształceń i naprężeń oraz badania wytrzymałości elementów i całych konstrukcji.

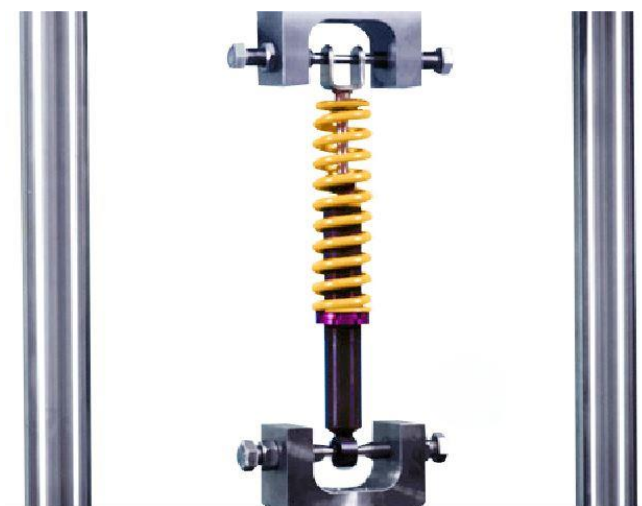
Ze względu na znaczny koszt takich badań przeprowadza się je przeważnie dla bardzo odpowiedzialnych elementów i konstrukcji oraz dla odpowiedzialnych elementów przy produkcji seryjnej i masowej. Badaniom statycznym poddaje się zwykle całe konstrukcje (rys.4) lub ich główne zespoły, rzadziej poszczególne elementy. Bada się więc mosty, urządzenia kotłowe, samoloty, samochody itp.

Badaniom zmęczeniowym poddaje się głównie poszczególne elementy (rys.5), całkowite zaś konstrukcje i urządzenia jedynie w przypadkach niezbędnie koniecznych. Wchodzi tu również w grę czynnik finansowy.



Rys.4. Badania doświadczalne samochodu wyścigowego [5]

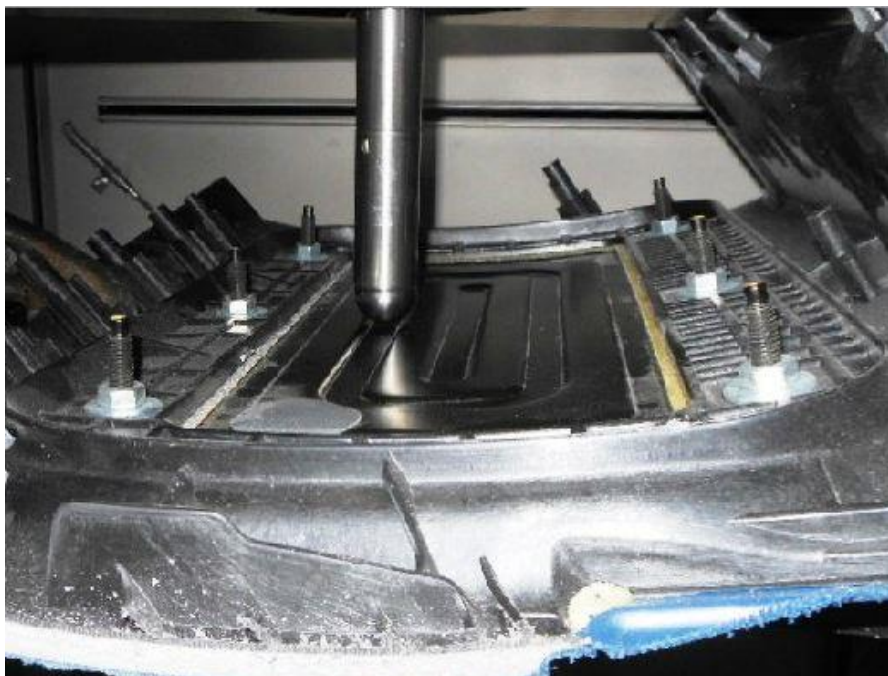
Badania zmęczeniowe są kosztowne, wymagają poza tym bardziej skomplikowanej i kosztowniejszej aparatury niż badania statyczne. Badania elementów, a zwłaszcza zmęczeniowe stanowią ostatni etap badań doświadczalnych. Przeprowadzane są one w warunkach możliwie najbardziej zbliżonych do rzeczywistych warunków pracy elementu w zespole.



Rys.5. Badania umożliwiające wyznaczenie trwałości amortyzatorów i tłumików drgań [5]

Badania zmęczeniowe tylko prostych i mniej odpowiedzialnych elementów mogą być zastąpione przez próby zmęczeniowe materiału w próbkach. Na wytrzymałość zmęczeniową części konstrukcyjnej wpływ mają bowiem nie tylko własności wytrzymałościowe materiału, ale również kształt geometryczny oraz wymiary części, stan powierzchni, warunki otoczenia (np. czynniki chemicznie agresywne), rodzaj, charakter i wartość obciążenia i inne.

Rozróżnia się badania elementów niszczące i nieniszczące. Gotowe wyroby powinny być w miarę możliwości poddawane badaniom niszczącym. Istnieje oddzielna dość obszerna literatura na ten temat. Najczęściej stosowane są próby przeciążania, próby ciśnieniowe, pomiary tensometryczne, metody kruchych pokryw, defektoskopia ultradźwiękowa, rentgenograficzna i magnetyczna.



Rys.6. Próba udarności z zastosowaniem wysokich wartości energii uderzenia przeprowadzona na elementach deski rozdzielczej samochodu [5]



Rys. 7. Próba ściskania przemysłowych kasków ochronnych [5]

Niekiedy elementy i konstrukcje poddaje się wzrastającemu obciążeniu aż do ich zniszczenia (rys.6, rys.7). Badania takie mają na celu ustalenie rzeczywistej wartości obciążenia

niszczącego, wykrycie najsłabszego ogniwa układu, stwierdzenie rzeczywistego zapasu wytrzymałości itp. Tego rodzaju badaniom poddaje się zwykle egzemplarze prototypowe w produkcji masowej i seryjnej.

Badania wytrzymałości zmęczeniowej są z zasady badaniami niszczącymi. Problem zagwarantowania elementom technicznym odpowiedniej trwałości i zabezpieczenia ich przed zniszczeniem zmęczeniowym jest jednym z najtrudniejszych do rozwiązania problemów wytrzymałościowych

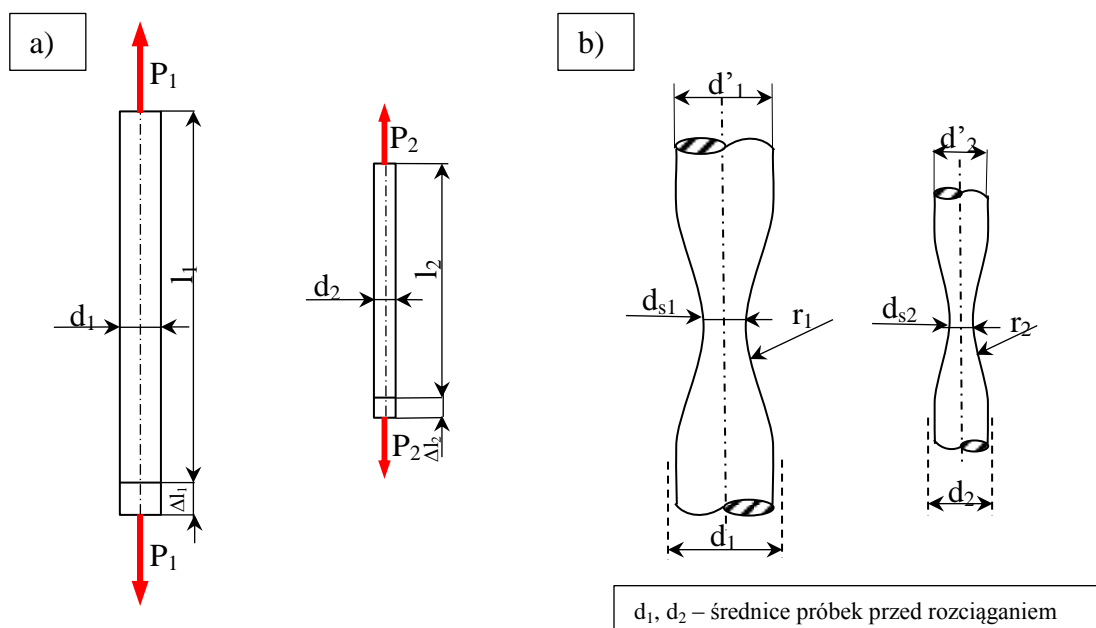
6. Zagadnienie podobieństwa w badaniach wytrzymałościowych

W wielu przypadkach badanie dużych elementów technicznych zastępuje się badaniem małych próbek, a badania urządzeń lub konstrukcji w ich naturalnej postaci – badaniami na pomniejszonych modelach. Doświadczenia na modelach muszą jednakże być przeprowadzone w pewnych specjalnych warunkach, gwarantujących pełne podobieństwo modelu i obiektu. Istnieje dość szeroko rozbudowana teoria podobieństwa, która określa jak należy dobierać wartości poszczególnych wielkości fizycznych w modelu, aby uzyskać podobieństwo techniczne.

W badaniach statycznych materiałów i konstrukcji szeroko wykorzystuje się zasady podobieństwa geometrycznego i statycznego.

Podobieństwo geometryczne dwóch ciał (układów wytrzymałościowych) zachodzi wtedy, gdy wymiary jednego ciała (układu) są n – krotnym powiększeniem wymiarów drugiego ciała (układu).

Podobieństwo statyczne definiuje się w następujący sposób: ciała (układy) geometrycznie podobne wykazują podobieństwo statyczne, gdy ich względne odkształcenia pod wpływem stałego obciążenia są takie, że ciała (układy) te po odkształceniu są nadal geometrycznie podobne.



Rys.8. a) Podobieństwo geometryczne próbek rozciąganych b) Podobieństwo geometryczne szyjek po rozerwaniu próbek z tego samego materiału

Na rys.8a. przedstawiono dwie próbki rozciągane, które są wykonane z tego samego materiału, a ich kształty są geometrycznie podobne. Stosunek (skala) podobieństwa geometrycznego wynosi:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{d_1}{d_2} = n$$

Podobieństwo statyczne tych dwóch próbek będzie zachodziło tylko wtedy, gdy obciążenie P_1 i P_2 próbek będą spełniały warunek:

$$\frac{P_1}{P_2} = n^2$$

Tylko wówczas bowiem w próbkach tych powstaną geometrycznie podobne wydłużenia bezwzględne

$$\frac{\Delta l_1}{\Delta l_2} = \frac{\Delta d_1}{\Delta d_2} = n$$

A wydłużenia względne i naprężenia będą jednakowe:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \varepsilon_2 \\ \varepsilon_{poprz.1} &= \varepsilon_{poprz.2} \\ \sigma_1 &= \sigma_2 \end{aligned}$$

Gdy w obu próbkach podczas rozciągania utworzą się szyjki (rys. 8b), to kształty tych szyjek będą także geometrycznie podobne, tzn.

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{d'_1}{d'_2} = \frac{d_{s1}}{d_{s2}} = \frac{r_1}{r_2} = n$$

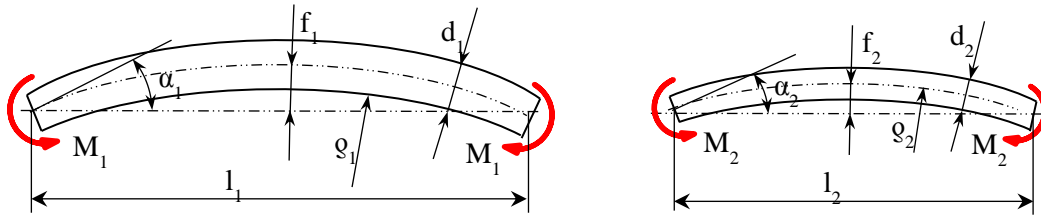
Na rys.9. przedstawiono dwie geometrycznie podobne próbki, wykonane z tego samego materiału, obciążone momentami zginającymi przyłożonymi na końcach próbek. Dla uzyskania podobieństwa statycznego momenty zginające M_1 i M_2 muszą spełnić warunek

$$\frac{M_1}{M_2} = n^3$$

Tylko wtedy w obu próbkach powstaną geometrycznie podobne odkształcenia

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{f_1}{f_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = n$$

$$\alpha_1 = \alpha_2$$



Rys.9 . Zginanie próbek geometrycznie podobnych

oraz jednakowe naprężenia w warstwach skrajnych.

Tak samo dwa geometrycznie podobne wałki skręcane, obciążone momentami skręcającymi spełniającymi warunek:

$$\frac{M_{s1}}{M_{s2}} = n^3$$

gdzie: $n = \frac{l_1}{l_2} = \frac{d_1}{d_2}$,

będą miały kąty skręcenia $\varphi_1 = \varphi_2$, równe kąty odkształcenia postaciowego $\gamma_1 = \gamma_2$, oraz jednakowe rozkłady naprężeń w przekrojach poprzecznych i takie same wartości maksymalnych naprężeń w warstwach zewnętrznych.

Z powyższego widać, że dla zachowania podobieństwa statycznego dwóch układów wytrzymałościowych geometrycznie podobnych i wykonanych z tego samego materiału o stosunku podobieństwa n , stosunek sił działających w obu układach musi być równy n^2 , a stosunek momentów równy n^3 . Tylko wtedy bezwzględne odkształcenia liniowe będą geometrycznie podobne (w skali n), zaś odkształcenia względne i odkształcenia kątowe w obu układach będą jednakowe. Równocześnie w materiale obu układów, w miejscach i przekrojach geometrycznie sobie odpowiadających powstaną jednakowe stany naprężenia.

Zasady podobieństwa geometrycznego i statycznego są szeroko wykorzystywane w metodach badania własności mechanicznych materiałów oraz wytrzymałości elementów maszyn i konstrukcji. Badając , małe modele dużych złożonych konstrukcji takich jak mosty, suwnice, korpusy maszyn itp., można na podstawie podobieństwa statycznego wyciągnąć właściwe wnioski co do wytrzymałości i odkształceń tych konstrukcji.

Należy zaznaczyć, że wyżej sformułowane zasady nie są wystarczające dla zachowania podobieństwa w zagadnieniach wytrzymałości dynamicznej (udarowej , zmęczeniowej). W zagadnieniach tych występuje ponadto zagadnienie podobieństwa sił masowych, tak że wszystkie siły działające na układ muszą posiadać jednakową skalę.

7. Uniwersalne maszyny w badaniach wytrzymałościowych

Podstawową maszyną do statycznych prób wytrzymałościowych jest uniwersalna maszyna wytrzymałościowa zwana potocznie zrywarką. Maszyny tego typu wyposażone są w zestawy specjalnych uchwytów i przyrządów, które umożliwiają przeprowadzenie prób rozciągania, ściskania, zginania, oraz niektórych prób technologicznych. Przystosowane do tych maszyn komory grzejne pozwalają na prowadzenie badań w szerokim zakresie temperatur. Niektóre modele maszyn wytrzymałościowych umożliwiają również

przeprowadzenie badań zmęczeniowych. Wielkością znamionową zrywarki jest maksymalna siła rozciągająca (ściskająca) jaką można na niej osiągnąć. Zrywarki o małych i średnich siłach obciążających (do 100 kN) mają z reguły napęd mechaniczny, a zrywarki duże (300, 500, 1000 kN lub więcej) napęd hydrauliczny. Z reguły posiadają one wiele zakresów pomiarowych siły i prędkości przesuwania tłoka (trawersy). W maszynach wytrzymałościowych starszego typu (spotykanych jeszcze dość często w różnych laboratoriach) rejestracja wyników próby realizowana jest poprzez zapis przemieszczenia tłoka (trawesy) i siły obciążającej w postaci wykresu X-Y. Tego typu maszynę wytrzymałościową przedstawiono na rys. 10

Jest to maszyna wytrzymałościowa z napędem mechanicznym. Sterowanie pracą maszyny odbywa się ręcznie przez operatora. Wyniki z prób wytrzymałościowych otrzymuje się w postaci wykresów siła – droga uchwytu, zapisywanych na taśmie papierowej. Nie ma możliwości eksportowania mierzonych sygnałów do urządzeń zewnętrznych. Ten sposób otrzymywania, wyników z prób wytrzymałościowych obecnie nie spełnia wymagań w tym zakresie wielu norm i towarzystw klasyfikacyjnych.



Rys.10. Uniwersalna maszyna wytrzymałościowa ZD10/ 90 z napędem mechanicznym o max. sile obciążającej do 100 kN, maksymalne przemieszczenie trawersy - 500 mm

Na rys. 11 przedstawiono maszynę wytrzymałościową z napędem hydraulicznym. Zaletą napędu hydraulicznego jest możliwość uzyskania dużych sił, płynność regulacji prędkości oraz mniejsze wymiary niż napędu mechanicznego. Napęd ten jest mało wrażliwy na uderzenia występujące przy pękaniu próbek. Do wad tego układu zaliczyć należy brak możliwości utrzymania stałej wartości obciążenia przez dłuższy okres czasu.

Do prób rozciągania w głowicach umieszcza się uchwyty dostosowane do badanych próbek. Mogą to być uchwyty szczękowe ze zbieżnymi, samozaciskającymi się szczękami, uchwyty pierścieniowe, gwintowane lub specjalne. W uchwytach gwintowanych i pierścieniowych próbki nie mogą ślizgać się i przesuwać tak, jak to ma miejsce w uchwytach szczękowych. Dzięki temu uzyskuje się dokładniejsze wykresy maszynowe.



Rys.11. Uniwersalna maszyna wytrzymałościowa ZD 100 z napędem hydraulicznym o maksymalnej sile obciążającej do 1000 kN.

Przedstawione powyżej maszyny wytrzymałościowe mają szereg wad i nie są w stanie sprostać wysokim wymaganiom stawianym obecnie w badaniach naukowych metali, a tym bardziej przy badaniach tworzyw sztucznych i kompozytów. Do zasadniczych wad tych maszyn należą: mała czułość i dokładność układu pomiarowego siły oraz brak możliwości rozciągania próbki ze ściśle określoną prędkością odkształceń, dobieraną w szerokich granicach.

Wad tych nie posiadają nowoczesne maszyny wytrzymałościowe. Charakteryzują się one wysoką dokładnością pomiarów zarówno sił jak i przemieszczeń liniowych (rys.12).



Rys.12. Serwohydrauliczna maszyna do badań wytrzymałościowych firmy INSTRON 8501 o maksymalnej sile obciążającej do 100kN

Maszyny wytrzymałościowe tego typu, wyposażone są zwykle w dodatkowe oprzyrządowanie np. do prób zginania (rys.13), komorę do badań w podwyższonych

temperaturach, piec do badań w wysokich temperaturach (rys.14), ekstensometry (rys.15), itp.



Rys.13. Przyrząd do trójpunktowego zginania próbek



Rys.14. Piec do badań w wysokich temperaturach



Rys.15. Ekstensometr typu clip on

Parametrami sterującymi ruchem tłoka mogą być zadane przez operatora czasowe przebiegi, przemieszczeń lub siły lub odkształceń.

Przedstawiona na rys.12 maszyna wytrzymałościowa, wyposażona jest w specjalne oprogramowanie do badań statycznych **SERIA IX** i dynamicznych **WaveMaker**. Umożliwia ono nie tylko sterowanie pracą maszyny, ale również służy do zapisywania i opracowywania wyników badań.

Na rys.16. przedstawiono **uniwersalną dwuosiową maszynę wytrzymałościową INSTRON 8850**. Umożliwia ona między innymi, realizację prostych stanów obciążenia (np. rozciągania, zginania, skręcania) jak i złożonych stanów obciążenia (np. jednoczesne rozciąganie i skręcanie).

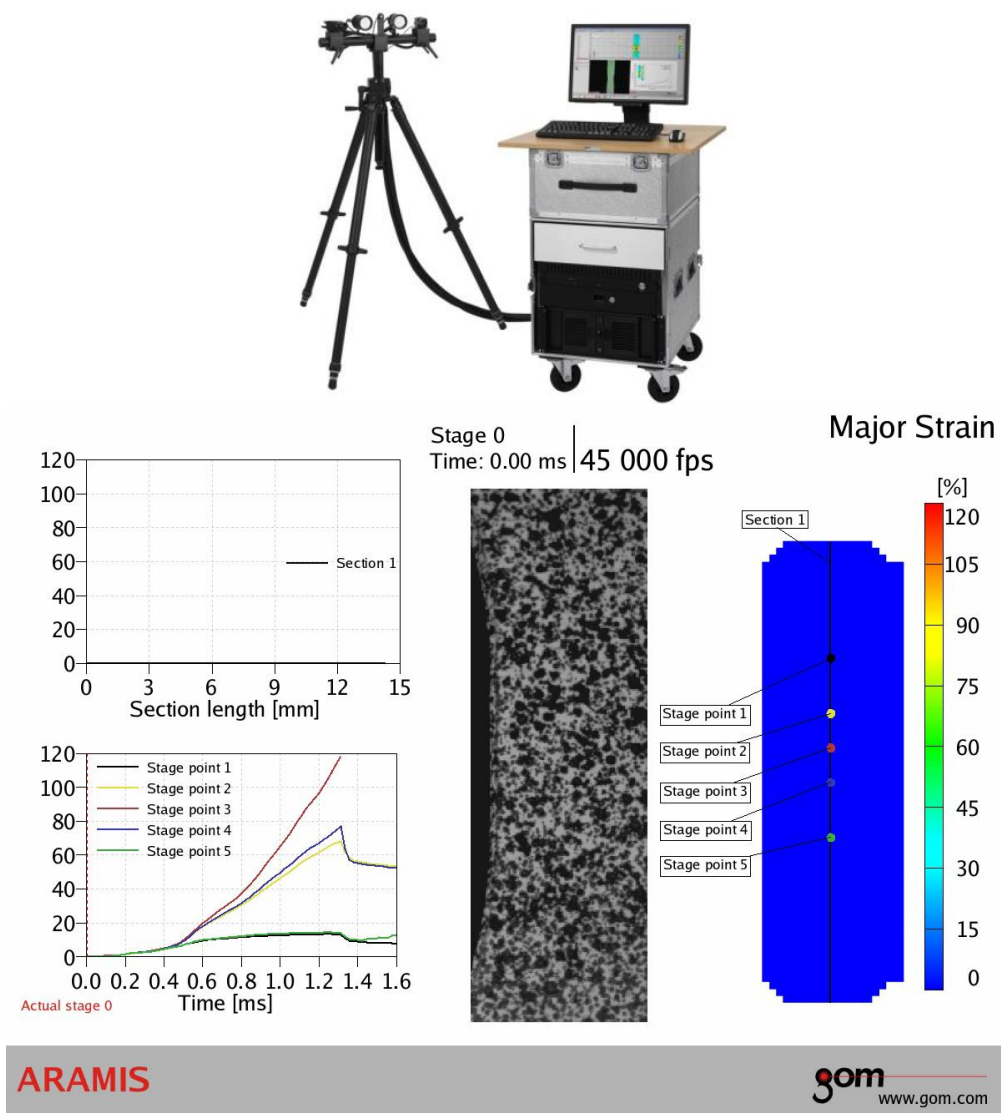
Poniżej przedstawiono podstawowe jej parametry oraz elementy wyposażenia:

1. Dwukolumnowa rama wytrzymałościowa, model wolnostojący, do badań statycznych i dynamicznych o zakresie obciążeń: ± 250 kN oraz ± 2000 Nm. Zintegrowany siłownik z łożyskowaniem hydrostatycznym realizujący obciążenia osiowe ± 250 kN o skoku ± 50 mm oraz obciążenia skrętne o momencie skrętnym ± 2000 Nm i kącie skrętu $\pm 50^\circ$.
2. Siłomierze do pomiaru siły i momentu skręcającego : $[\pm 250$ kN, ± 2000 Nm] : $[\pm 50$ kN, 100Nm]
3. Cyfrowy system sterowania realizujący synchroniczne odczyty danych we wszystkich kanałach pomiarowych.
4. Zasilacz hydrauliczny przystosowany do pracy laboratoryjnej:
- nominalny przepływ 86 l/min przy ciśnieniu roboczym 280 bar.
5. Zestaw akcesoriów badawczych i oprogramowania:
 - uchwyty hydrauliczne klinowe do testów rozciągania, ściskania i skręcania,
 - tarcze do testów ściskania,
 - ekstensometry do pomiarów odkształceń dynamicznych,
 - czujniki przemieszczeń LVDT,
 - pakiet wyposażenia do badań mechaniki pęknięcia,
 - zestaw komory do badań temperaturowych w zakresie: -150°C do $+350^\circ\text{C}$,

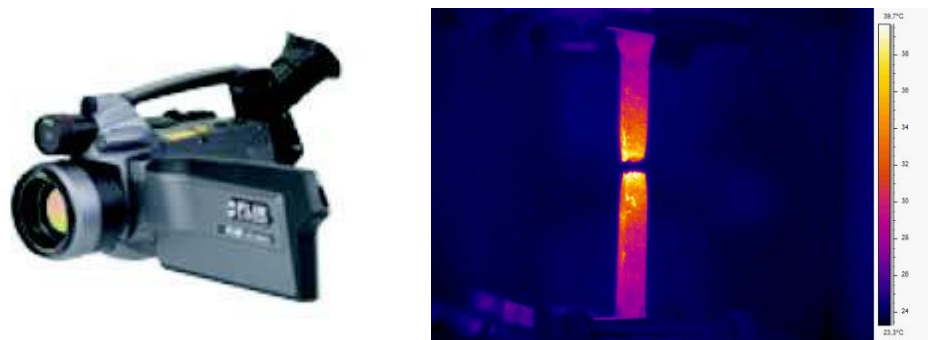
- uchwyty mechaniczne klinowe do testów rozciągania i ściskania w komorze temperaturowej o max. obciążalności +/-100 kN,
 - uchwyt do testów zginania 3-punktowego przystosowany do testów w komorze temperaturowej (rys.19),
 - zestaw pieca do badań wysokotemperaturowych: 300°C - 1200°C, konstrukcja pieca dostosowana jest do badań statycznych i dynamicznych,
 - stereoskopowy system ARAMIS 4M do pomiaru i analizy odkształceń 3D, zintegrowany w systemie do badań wytrzymałościowych (rys.17),
 - układ analizy termowizyjnej zintegrowany w systemie do badań wytrzymałościowych (rys.18).
6. Zintegrowany zespół akwizycji i analizy danych pomiarowych wraz z oprogramowaniem do badań wytrzymałościowych.
 7. Programy do obsługi badań dynamicznych i zmęczeniowych



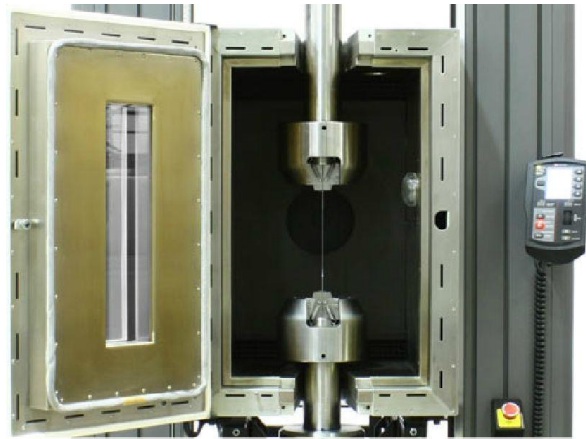
Rys. 16. Uniwersalna serwohydrauliczna maszyna wytrzymałościowa firmy INSTRON 8850



Rys. 17. System ARAMIS 4M, do bezdotykowych pomiarów przemieszczeń i odkształceń próbek, firmy GOM [6]



Rys. 18. Kamera termowizyjna i obraz rozkładu temperatury w rozciąganej próbce



Rys.19. Komora do badań w podwyższonych temperaturach.

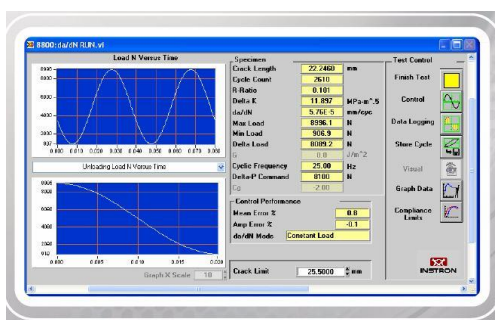
Przedstawiona na rys. 12. maszyna wytrzymałościowa wyposażona jest w pakiet programów do badań statycznych (rys.20), dynamicznych (rys. 21) oraz do badań w zakresie mechaniki kruchej pęknięcia (rys.22).



Rys.20. Program do badań statycznych.



Rys.21. Program do badań dynamicznych.



Rys.22. Program do badań zjawisk kruchej pęknięcia.

Nowoczesne maszyny do badań wytrzymałościowych oprócz dużej dokładności cechują szerokie możliwości zastosowania. Można na nich przeprowadzać badania procesów pełzania, relaksacji naprężeń, histerezy, zmęczenia materiału i inne. Próby te mogą obejmować metale, materiały ceramiczne i budowlane, tworzywa sztuczne, kompozyty, papier, gumę, drut, tkaniny i pojedyncze włókna, folię itp. Duża dokładność oraz bogate wyposażenie nowoczesnych maszyn wytrzymałościowych umożliwiają stosowanie ich zarówno do celów przemysłowych jak i do prac naukowo-badawczych w różnych gałęziach techniki i innych dyscyplinach, np. w biologii, medycynie.

Literatura:

1. Grudziński Karol: **Ćwiczenia laboratoryjne z Wytrzymałości Materiałów**. Politechnika Szczecińska. Szczecin 1972 r.
2. Kowalewski Zbigniew: **Ćwiczenia laboratoryjne z Wytrzymałości Materiałów**. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2000 r
3. Katarzyński Stefan, Kocańda Stanisław, Zakrzewski Marek: **Badanie własności mechanicznych metali**. WNT Warszawa 1969
4. Wyrzykowski J.W., Pleszakow E., Sieniawski J.: **Odkształcenia i pękanie metali**. WNT warszawa 1999r.
5. <http://www.instron.pl>
6. <http://www.gom.com>
7. <http://www.flir.com>