ANTONI KARAMARA

ZASADY DOBORU TWORZYW ODLEWNICZYCH W OPARCIU O WYNIKI BADAŃ ZJAWISK ODWRACALNYCH I NIEODWRACALNYCH W TRAKCIE PRÓBY NA ROZCIĄGANIE

Streszczenie

Właściwy dobór tworzyw odlewniczych, pod kątem widzenia ich zastosowań praktycznych, uwarunkowany jest dokładną znajomością ich właściwości. Spośród nich najczęściej decydujące znaczenie posiadają własności mechaniczne. Poniższa praca przedstawia możliwości otwierające się w dziedzinie oceny metali i stopów odlewniczych w związku z wynikami badań zjawisk zachodzących w trakcie próby na rozciąganie. Zasadnicze znaczenie posiada tu właściwa interpretacja zjawisk odwracalnych, jak np. przebieg ustabilizowanej pętli histerezy mechanicznej i odkształceń odwracalnych wzdłużnych i poprzecznych wywołanych wzrostem naprężeń oraz zjawisk nieodwracalnych, jak np. zmiany modułu sprężystości /E/ i liczby Poisson'a /μ/ wywołane zmianami naprężeń.

Okazało się bowiem, że zjawiska te mogą stanowić punkt wyjścia do oceny wytrzymałości zmęczeniowej tworzyw, a tym samym granicznych wartości naprężeń, które mogą wystąpić w odlewach nie powodując ryzyka ich zniszczenia.

1. Wprowadzenie

Dobór tworzyw do konkretnych zastosowań praktycznych opiera się na znajomości tych charakterystycznych ich cech, które uważa się w danym przy-

padku zastosowania za decydujące o trwałości odlewu, w warunkach jego eksploatacji. W niektórych przypadkach można takie kryteria oceny ustalić w sposób stosunkowo jednoznaczny, kiedy chodzi np. o wystarczającą odporność na zużycie, a nawet odporność na oddziaływanie chemiczne rozmaitych substancji ciekłych i gazowych. W innych jest to trudne lub wręcz niemożliwe przynajmniej w obecnym stanie naszej wiedzy. Należy przy tym pamiętać, że ocena tworzywa w odlewie na podstawie próbki nie zawsze jest miarodajna.

Racjonalne kształtowanie wytrzymałościowe odlewów musi być oparte na znajomości stałych sprężystych i krytycznych /dopuszczalnych/ naprężeń odpowiednich tworzyw odlewniczych. Zachodziła tu również potrzeba analizy stosowanych dotychczas definicji [1,2,3] i przeprowadzenia szeregu prac badawczych [4,5,6,7]. W pracach prowadzonych w Instytucie Odlewnictwa, m. in. w pracy wymienionej powyżej [3], podano propozycję modyfikacji definicji modułu sprężystości i współczynnika Poisson'a. Zmodyfikowane definicje tych stałych sprężystych uwzględniają jedynie odkształcenia odwracalne.

Prace badaczy zagranicznych nie zajmują się modyfikacją definicji modułu sprężystości pod kątem widzenia jej dostosowania do praktycznego wykorzystania w obliczeniach konstrukcyjnych. Niemniej wskazuje się w nich [4,6], że jedynie początkowa wartość modułu sprężystości posiada w pełni określony sens fizyczny. Prócz wcześniejszych prac autora [3,8] brak publikacji analizujących definicję i sposoby wyznaczania współczynnika Poisson'a.

Jeśli chodzi o krytyczne wartości naprężeń, to ich wyznaczanie oparte było, w przypadku tworzyw odlewniczych, na ich wytrzymałości na rozciąganie /R_m/, przy czym wartość krytyczna stanowiła pewną część wartości /R_m/ ustaloną za pomocą współczynnika bezpieczeństwa. Współczynnik ten zabezpieczający znaczny zapas wytrzymałości stosuje się zazwyczaj w obliczeniach do chwili obecnej. Niemniej od szeregu lat prowadzi się prace badawcze zmierzające do dokładnego poznania własności tworzyw odlewniczych,

a szczególnie rozmaitych gatunków żeliwa. Należy tu wymienić w pierwszym rzędzie obszerne prace Roš'a i Eichinger'a [8], Collaud'a [9,10], Coffin'a i Schenectady'ego [11], a także Plénard [12] i autora [13,14,15,16]. Prace te, prócz wzbogacenia aktualnego materiału doświadczalnego dotyczącego własności mechanicznych tworzyw odlewniczych, ze szczególnym uwzględnieniem żeliwa, zawierają dane ujmujące wytrzymałość tych tworzyw pod działaniem obciążeń zmiennych oraz dla dwu- i trójosiowego stanu napięcia. Zasadnicze wnioski wypływające z wymienionych opracowań przedstawiono w jednej z poprzednich publikacji [16].

2. Zagadnienie jednoznacznej definicji modułu sprężystości

Z uwagi na zmiany modułu sprężystości większości tworzyw odlewniczych, zachodzące pod wpływem naprężeń, wiele uwagi poświęcono jednoznacznemu sformułowaniu jego definicji. Często stwierdza się, że moduł sprężystości posiada dla tych tworzyw sens fizyczny jedynie jako moduł początkowy lub zerowy zdefiniowany jako granica stosunku zmiany naprężeń do odpowiadającej jej zmiany odkształcenia dla nieskończenie małego naprężenia i nieskończenie małego przyrostu naprężenia:

$$E_0 = \lim_{\substack{\sigma \to 0 \\ \Delta\sigma \to 0}} \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \qquad /1/$$

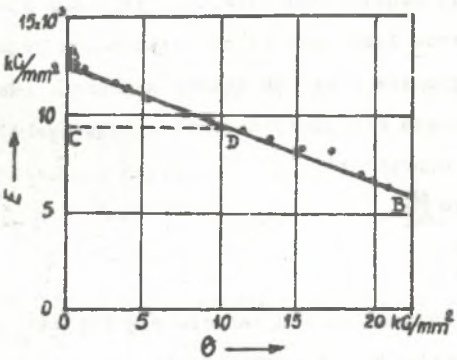
Prócz tego stwierdza się, że wartość ta nie zmienia się zbytnio ze wzrostem naprężeń, co sugeruje możliwość wykorzystania tej początkowej wartości modułu w obliczeniach konstrukcyjnych. Tymczasem wartość $\Delta\sigma/\Delta\varepsilon$ jest na ogół funkcją naprężeń /na ogół ze wzrostem naprężeń $\Delta\sigma/\Delta\varepsilon$ maleje/, a więc tak sformułowana wartość modułu nie jest jednoznaczna.

Podobnie, w przypadku tworzyw o nieliniowej zależności $\sigma = f(\varepsilon)$, traci jednoznaczność klasyczna definicja modułu sprężystości:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \qquad /2/$$

σ - naprężenie, ε - odkształcenie odpowiadające naprężeniu σ.

Wartość modułu będąc w takim przypadku funkcją naprężeń /często liniową/ przy pierwszym obciążeniu, zależy od historii obciążenia. Na fakt ten zwrócono już dawno uwagę, a obszerniejszą analizę tego zjawiska dla żeliwa z grafitem płatkowym przedstawił Gilbert [7]. Jego wnioski potwierdziły się w badaniach autora /13,16/dotyczących żeliwa z grafitem płatkowym, o wytrzymałości na rozciąganie wynoszącej około 20 kG/mm^2. Okazało się mianowicie, że przy pierwszym rozciąganiu moduł sprężystości,rozumiany wg definicji klasycznej $E = \sigma/\varepsilon$ jest liniową funkcją naprężeń, natomiast po odciążeniu od pewnego naprężenia, dla którego moduł sprężystości wynosił E , wartość jego jest w przybliżeniu stała i równa wartości otrzymanej przy naprężeniu σ /rys. 1/. Podobnie É.Plénard podaje w jednej ze swych prac [12] wyniki potwierdzające zależność modułu sprężystości od historii obciążenia dla tworzyw, wykazujących odkształcenia trwałe już dla stosunkowo małych naprężeń.



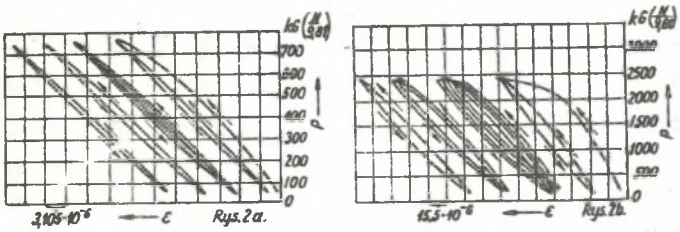
Rys. 1
Wpływ historii obciążenia na zależność modułu sprężystości żeliwa od naprężeń

Autor w szeregu poprzednich prac proponował definiowanie modułu sprężystości tworzyw odlewniczych w szczególności żeliwa dla danego zakresu naprężeń, jako współczynnika kierunkowego linii odciążeń wykresu rozciągania [13,3,16], co więcej na definicji tej oparto metodę wyznaczania modułu sprężystości, który stał się przedmiotem normy [17].

Koncepcja ta okazała się racjonalna, bo formułuje definicję modułu sprężystości w sposób jednoznaczny dla danego zakresu naprężeń, a więc w

sposób praktycznie przydatny /szczególnie w obliczeniach konstrukcyjnych/. Jej słuszność potwierdzona została szeregiem prac m.in. również wymienioną pracą É.Plénard [12].

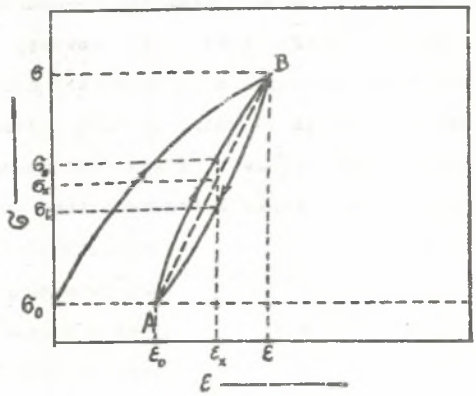
Ostatnio prowadzi się szeroko zakrojone badania własności mechanicznych tworzyw odlewniczych na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej Instron. Badania te wykazują stabilizowanie się modułu sprężystości nie tylko dla naprężeń niższych od granicy akomodacji /o której będzie jeszcze mowa poniżej/ lecz również powyżej tej granicy. Jest to widoczne na załączonych fotografiach /rys. 2a,b/, gdzie na rysunku 2a przedstawiono kolejne pętle histerezy mechanicznej w zakresie naprężeń powodujących stabilizację zjawiska histerezy oraz powyżej tego zakresu /rys. 2b/.



Rys. 2

Przykłady wyznaczania pętli histerezy mechanicznej przy użyciu maszyny uniwessalnej "Instron"; a/ zakres stopniowej stabilizacji pętli histerezy po odpowiedniej ilości obciążeń; b/ powyżej zakresu stabilizacji

W odniesieniu do diagramów rzeczywistych cykli obciążenia /naprężenie/ / odkształcenie proponowana definicja modułu sprężystości ujmuje go jako współczynnik kierunkowy siecznej, przechodzącej przez najwyższy i najniższy punkt ustabilizowanej pętli histerezy sprężystej /linia AB na rys. 3/. Mowa tu oczywiście o wykresach, w których rzędne przedstawiają naprężenia, przy czym skala naprężeń umownych /przy założeniu stałego przekroju próbki/ jest proporcjonalna do skali obciążeń.



Rys. 3

Wyznaczanie modułu sprężystości jako współczynnika kierunkowego siecznej stabilnej pętli histerezy mechanicznej

Moduł sprężystości jest więc zdefiniowany jako stosunek różnicy naprężeń do odpowiadającej jej różnicy odkształceń /czyli do odkształcenia odwracalnego wywołanego tą różnicą naprężeń/

$$E = \frac{\sigma - \sigma_0}{\varepsilon - \varepsilon_0} \qquad /3/$$

Wobec stałości różnicy $\varepsilon - \varepsilon_0$ odpowiadającej /dla ustabilizowanej pętli histerezy/ stałej różnicy naprężeń umownych $\sigma - \sigma_0$, tak ujęta definicja modułu sprężystości jest w pełni jednoznaczna, stanowiąc jednocześnie średnią wartość współczynników kierunkowych wszystkich stycznych do górnej i dolnej gałęzi pętli histerezy. Należy tu jeszcze dodać, że danej wartości odkształcenia $\varepsilon_0 < \varepsilon_x < \varepsilon$ odpowiadają dwie wartości naprężeń σ_s i σ_i dla górnej i dolnej gałęzi pętli histerezy, natomiast posłużenie się przy obliczeniu naprężenia zdefiniowaną wyrażeniem /3/ wartością modułu prowadzi do otrzymania średniej wartości naprężenia $\sigma_i < \sigma_x < \sigma_s$ zarówno dla naprężeń rosnących jak też malejących.

W takim stanie rzeczy uproszczenie związane z przyjęciem powyższej definicji modułu sprężystości powoduje pominięcie zjawiska histerezy sprężystej. Błąd wyznaczenia naprężeń jest największy w środkowej części pętli i maleje do zera w górnej i dolnej jej części. Błąd ten zależny rów-

nież od maksymalnej szerokości pętli nie posiada więc większego znaczenia przy ocenie wytężenia, w danym zakresie naprężeń.

3. Liczba Poisson'a tworzyw odlewniczych

Proponowana definicja liczby Poisson'a [16] nawiązuje konsekwentnie do omówionej powyżej definicji modułu sprężystości. Stanowi ona mianowicie bezwzględną wartość stosunku odkształceń odwracalnych poprzecznego do wzdłużnego. W ten sposób własności sprężyste tworzyw odlewniczych określa się jednoznacznie dla danego zakresu naprężeń w sposób przydatny do obliczeń wytrzymałościowych.

Zaproponowane definicje modułu sprężystości i liczby Poisson'a opierają się na odwracalnych zjawiskach zachodzących w zakresie naprężeń powodujących, przy obciążeniach cyklicznych, wystąpienie ustabilizowanej pętli histerezy mechanicznej. Opisany proces jest odwracalny, jeżeli uwzględnia się jedynie odkształcenia wywołane zmianą naprężenia od σ_0 do σ_1 z powrotem do σ_0. Prócz tego jednak w trakcie obiegu każdego cyklu występuje rozproszenie energii, wywołane zjawiskiem tarcia wewnętrznego. Jeżeli wartość energii odpowiadającej polu pętli histerezy jest wystarczająco duża może powodować wyraźny wzrost temperatury tworzywa, prowadzący z kolei w niektórych przypadkach do zmiany własności sprężystych.

4. Granica akomodacji i zjawisko histerezy sprężystej żeliwa

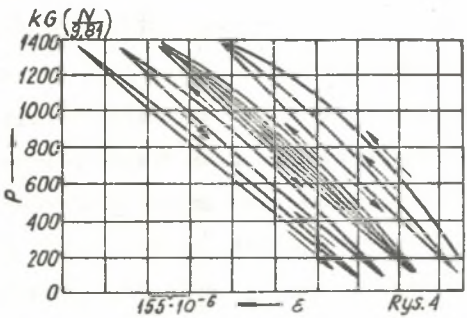
Kilka uwag podanych w niniejszym rozdziale można traktować bardziej ogólnie jako odnoszące się nie tylko do tworzyw odlewniczych. Jak wiadomo, granica sprężystości tworzyw wykazujących liniową zależność odkształcenia od naprężenia posiada zasadnicze znaczenie dla oceny ich własności mechanicznych. Pojęcie tej granicy traci jednak sens dla tworzyw wykazujących już dla małych naprężeń /dużo niższych od naprężeń wywoływanych przez obciążenia robocze/ odkształcenia trwałe lub inaczej, utrzymanie klasycznej

definicji granicy sprężystości w odniesieniu do żeliwa, szczególnie żeliwa z grafitem płatkowym prowadzi do stwierdzenia, że granica sprężystości żeliwa jest tym mniejsza im większa jest czułość pomiaru odkształceń.

Z tej przyczyny zaleca się raczej, w przypadku tworzyw odlewniczych, wyznaczanie umownych granic sprężystości i plastyczności jako naprężeń wywołujących określone odkształcenia trwałe np. 0,02; 0,05; 0,10 i 0,20 %. Sposób ten jednak może prowadzić do błędów oceny tworzywa, jeżeli nieznana jest historia poprzednich obciążeń próbki. Błąd ten może polegać na otrzymaniu zawyżonych wartości wspomnianych granic.

Należy tu na marginesie zaznaczyć, że powyższa obiekcja wynika głównie z niewystarczającej znajomości wpływu zjawiska tzw. "odpoczynku", które niewątpliwie powoduje przynajmniej częściową regenerację poprzednich własności tworzywa zmienionych po obciążeniu. O ile bowiem badano rozwój odkształceń trwałych pod wpływem obciążeń długotrwałych [12], o tyle nie badano jeszcze wpływu czasu na efekt poprzednich obciążeń wywołujących zmiany odwracalne. Skutkiem tego nie wiadomo czy zawsze chodzi o zmiany nieodwracalne sensu stricto, czy też o zmiany czasowo nieodwracalne.

W takim stanie rzeczy podjęto pracę zmierzające do wyznaczenia granicy, która nie byłaby zależna od historii obciążenia, przynajmniej jeżeli obciążenie to nie wywoływało naprężeń wyższych od pewnej wartości, o której będzie jeszcze mowa poniżej. Granicą taką jest właśnie granica akomodacji. Zjawisko akomodacji wspomniane zostało przez Huber'a [18]. Autor niniejszej pracy podaje natomiast próbę wyznaczenia [14] wytrzymałości żeliwa na zmęczenie obrotowo-giętne w oparciu o wyniki oznaczeń granicy akomodacji zdefiniowanej jako maksymalna górna granica naprężenia cyklu /granica dolna naprężeń cyklu jest równa naprężeniu wstępnemu bliskiemu zeru/, przy którym otrzymuje się jeszcze ustabilizowaną pętlę histerezy mechanicznej /rys. 4/. Dane bibliograficzne wskazują na to, że granica akomodacji wykazuje znacznie mniejszą zależność od historii obciążenia niż wartości naprężeń umownych [12]. W powołanej publikacji stwierdzono mia-



Rys. 4
Zjawisko akomodacji na podstawie oryginalnych przebiegów na maszynie Instron

nowicie, że historia obciążenia może wpłynąć na wartość granicy akomodacji tylko w tym przypadku, kiedy naprężenie wywołane przez przeciążenie jest wyższe od granicy akomodacji.

Należy tu podkreślić zasadniczą różnicę między omawianymi kryteriami. Naprężenia umowne $R_{0,02}$ /umowna granica sprężystości/: $R_{0,05}$; $R_{0,10}$ i $R_{0,2}$ /umowna granica plastyczności/ ulegają wpływowi poprzednio wywołanych naprężeń nawet jeżeli te naprężenia są niewielkie i próbki z tego samego tworzywa mogą wykazać rozmaite wartości $R_{0,02}$; $R_{0,05}$; $R_{0,10}$ i $R_{0,20}$, oczywiście jeżeli przyjmie się, że odpoczynek nie likwiduje całkowicie skutków poprzedzającego przeciążenia. Granica akomodacji nie podlega natomiast wpływowi poprzednich obciążeń niższych od tejże granicy.

W ten sposób granica akomodacji wyznaczona w oparciu o stabilizujące się efekty nieodwracalne jest dużo lepszym kryterium od naprężeń umownych opartych na wartościach zarejestrowanych odkształceń trwałych. Dodajmy, że problem wpływu historii obciążenia i odpoczynku na naprężenia umowne i granicę akomodacji został właściwie zbadany dopiero częściowo. Istnieją np. podstawy do przypuszczeń, że wpływ obciążenia, poprzedzającego wyznaczenie granicy akomodacji na tę granicę zależy również od częstości w przypadku obciążeń zmiennych i od czasu działania w przypadku obciążeń stałych.

Przebieg krzywej naprężenie/odkształcenie większości tworzyw odlewni-

czych jest odmienny w przypadku wzrostu obciążeń od przebiegu obserwowanego przy zmniejszaniu obciążenia. W wyniku tego otrzymuje się pętlę histerezy mechanicznej, przy czym przy wzroście naprężeń kreślona jest górna gałąź pętli a dla naprężeń malejących otrzymuje się jej dolną gałąź /jak to przedstawia rys. 4/. Bywają jednak przypadki, że przebieg pętli jest odwrotny, co zachodzi zazwyczaj przy niskich naprężeniach, szczególnie jeżeli dany materiał posiada wysoką umowną granicę sprężystości /$R_{0,02}$/. Dla określonej górnej wartości naprężeń cyklu przebieg pętli histerezy zmienia się na taki, jak przedstawiony na rysunku 4. Zdarza się przy tym,że pierwsza pętla histerezy dla danego obciążenia maksymalnego na przebieg odwrotny, natomiast po wielokrotnym przyłożeniu obciążenia przebieg ten zmienia kierunek na uwidoczniony na rysunku 4. Należy dodać, że wtedy gdy pętla histerezy wskazuje odwrotny przebieg odkształcenie trwałe po obciążeniu wielokrotnym jest często mniejsze niż po pierwszym cyklu. Bardzo charakterystycznym zjawiskiem zachodzącym w trakcie procesu akomodacji jest stopniowe zmniejszanie się pola pętli histerezy. Stąd wniosek, że podczas obciążeń wielokrotnych zachodzą procesy nieodwracalne, powodujące trwałe zmniejszenie się pętli histerezy,a tym samym zmniejszenie udziału procesów nieodwracalnych /powodujących rozproszenie energii/ w trakcie pojedynczego cyklu.

5. Zastosowanie omówionych własności mechanicznych celem najwłaściwszego doboru tworzywa

Własności mechaniczne stanowią istotne kryteria oceny tworzywa pod kątem widzenia jego zastosowań. Omówione powyżej własności, które wyznaczano dotychczas prawie wyłącznie w trakcie badań o charakterze naukowym mogą być wykorzystane do takiej właśnie oceny, o czym wspomniano już poprzednio [14, 15]. Zasadniczy problem wiążący się z oceną tworzywa, to wyznaczenie naprężeń dopuszczalnych, naprężeń którym można poddać materiał nie powodując jego zniszczenia.

Przyjmując, że w wyniku badań na zmęczenie w próbie obrotowo- giętnej, otrzymuje się wartości, które mogą być w wielu przypadkach potraktowane jako maksymalne wartości naprężeń dopuszczalnych ustalono związki między własnościami mechanicznymi w próbie statycznej na rozciąganie a wytrzymałością na zmęczenie w próbie obrotowo-giętnej w postaci:

$$\frac{Z_{go}}{R_{0,02}} = f\left/\frac{R_{0,02}}{R_m}\right/ \qquad /4/$$

Zależność ta została ujęta graficznie /16/ i sprawdzona zarówno w oparciu o wyniki zgromadzone w literaturze, jak też wyniki prac własnych.

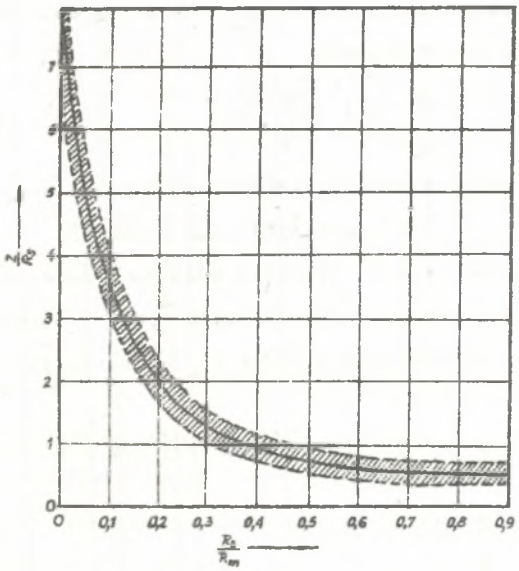
Dalsze polepszenie precyzji przewidywania wytrzymałości na zmęczenie w próbie obrotowo-giętnej uzyskuje się przez wykorzystanie granicy akomodacji, co w znacznym stopniu uniezależnia wyniki oceny Z_{go} od historii obciążenia.

Dotychczas brak jeszcze wystarczającej ilości danych aby można było wykreślić zależność:

$$\frac{Z_{go}}{R_a} = f\left/\frac{R_a}{R_m}\right/ \qquad /5/$$

analogicznie do zależności /4/ przedstawionej na rysunku 5. Niemniej jednak przeprowadzone dotychczas badania wykazały możliwość posłużenia się wykresem /rys. 5/ w przypadku, w którym dysponuje się granicę akomodacji. Wyznaczanie Z_{go} należy wówczas prowadzić w sposób następujący: 1/ wyznaczyć doświadczalnie stosunek $\frac{R_a}{R_m}$; 2/ na wykresie /rys. 5/ znaleźć stosunek $\frac{Z}{R_a}$ odpowiadający stosunkowi $\frac{R_a}{R_m}$ dla danego tworzywa, biorąc pod uwagę, że R_a podstawia się w miejsce R_s w podanych stosunkach; stosunek $\frac{Z}{R_a}$ należy znaleźć zarówno dla środkowej, ciągłej linii /środek pasa rozrzutu/, jak też dla dolnej linii przerywanej /dolny kres pasa rozrzutu/; z obydwu otrzymanych wartości należy obliczyć średnią arytmetyczną; 3/ otrzymana na podstawie znajomości granicy akomodacji /R_a/ i obliczonej średniej $\frac{Z}{R_a}$ można ocenić Z, czyli wytrzymałość zmęczeniową w próbie obrotowo-giętnej.

Można tu dodać, że ten sposób wyznaczania wytrzymałości na zmęczenie został wielokrotnie sprawdzony praktycznie. Tym samym może był on uważany za



Rys. 5
Zależność między granicą sprężystości /granica akomodacji/, a wytrzymałością na zmęczenie w próbie obrotowo-gięitnej

doświadczalny sposób wyznaczania naprężeń dopuszczalnych dla niektórych przypadków /częsty przypadek naprzemiennego zginania/ obciążeń zmiennych.

Pozostaje jeszcze zastanowić się pokrótce na błędami oceny naprężeń dopuszczalnych, dokonanej na podstawie wyników oznaczeń granicy akomodacji, w przypadku gdy nie znana jest historia obciążenia próbki lub badanego elementu. To co tu zostanie powiedziane odnosi się nie tylko do oznaczeń opartych na granicy akomodacji, lecz również i do tych, w których korzystamy z umownej granicy sprężystości.

Jeżeli mianowicie granica akomodacji zostanie podwyższona przez poprzedzające badanie, przeciążenie, wówczas zwiększa się mianownik lewej strony zależności [5], a więc zwiększeniu powinien ulec również licznik $/Z_{go}/$. Tak byłoby jednak dla $\frac{R_a}{R_m}$ = const. Tymczasem stosunek ten się zwiększa ze wzrostem R_a, powodując tym samym, że odpowiadający stosunek $\frac{Z}{R_a}$ jest mniejszy niż poprzednio, co w dużym stopniu, a prawdopodobnie całkowicie kompensuje wzrost bazy odniesienia jaką stanowi granica akomodacji.

Oczywiście to, czy ta kompensacja zachodzi we wszystkich przypadkach

całkowicie /a wykres na rys. 5 odnosi się praktycznie do wszystkich metali i stopów technicznych/ jest przedmiotem dalszych szerokich badań związków między wytrzymałością na zmęczenie a innymi własnościami mechanicznymi stopów, w szczególności żeliwa.

Literatura

1. É.Plénard, J.Plessier: La limite d'élasticite des fontes et rôle du facteur temps. Fonderie 251, styczeń 1967, s. 1-14.
2. A.Karamara: Zagadnienie oznaczania modułu sprężystości żeliwa. Prace Instytutu Odlewnictwa, 1958, rok IX, nr 3-4/58, s. 203-228.
3. A.Karamara: Stałe sprężyste żeliwa. Konferencja Naukowa PAN-STOP Kraków, listopad 1966, s. 47-61.
4. P.Le Rolland, É.Plénard: Mesure du module d'élasticite des fontes par plusieurs méthodes et comparaison des résultats. Fonderie nr 131, grudzień 1956, s. 477-495.
5. G.Aubrion: Effet d'entaille du au graphite. Fonderie nr 181,luty 1961, s. 70.
6. G.N.J.Gilbert: Factors Relating to the Stress/Strain Properties of Cast Iron. Journal of Research and Development of the British Cast Iron Research Association, t. 6, nr 11, kwiecień 1957.
7. G.N.J.Gilbert: An Evaluation of the Stress/Strain Properties of Flake Graphite Cast Iron in Tension and Compression. B.C.I.R.A. Journal of Research and Development t. 7, 1959, nr 13, s. 745-790.
8. M.Roš, A.Eichinger: Die Bruchgefahr fester Körper. EMPA-Zurich, 1949, t. 172; 1950, t. 173
9. A.Collaud: La caractéristique de dureté de E.Dübi généralisée,Congrès International de Fonderie, Paryż 1953.
10. A.Collaud: Contribution à la qualification mécanique des fontes grises et à l'amélioration de leur comportement on service; Mitteilungen von Rolí; 3-ci rok, t. 1/2, czerwiec 1944.
11. L.F.Coffin, N.Y.Schenectady: The Flow and Fracture of a Brittle Material. Journal of Applied Mechanics, wrzesień 1959, s. 233-248.
12. É.Plénard: Intérêt pratique d'une nouvelle caractéristique mécanique la limite d'accommodation. Revue de Métallurgie, grudzień 1958,s.845--862.
13. A.Karamara: Zagadnienie jednoznacznej oceny jakości żeliwa w świetle badań jego własności mechanicznych i magnetycznych. Prace Instytutu

Odlewnictwa, rok XI, 1961, zeszyt 1/61, s. 21-69.
14. A. Karamara: Akkommodationsvermögen des Gusseisens als statisches Kennzeichen seiner Dauerfestigkeit, III Kongres Badań Materiałowych, Budapeszt, wrzesień 1964, referat I/6; s. 71-87.
15. A. Karamara: Metoda tensometrów oporowych w zastosowaniach praktycznych do oceny naprężeń w elementach maszyn. Prace Instytutu Odlewnictwa, rok XV, 1965, zeszyt 4/65, s. 275-318.
16. A. Karamara: Wyznaczanie wytrzymałości postaciowej odlewów na podstawie granicy akomodacji. Polska Akademia Nauk - Oddział w Krakowie. Prace Komisji Metalurgiczno-Odlewniczej. Metalurgia 17, 1971, s. 7-70.
17. Wyznaczanie modułu sprężystości i współczynnika Poisson a za pomocą tensometrycznych czujników oporowych PN-65/H-83122.
18. M.T. Huber: Stereomechanika techniczna (wytrzymałość materiałów) Warszawa 1951. Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych.

Принципы подбора литейных материалов на основании результатов исследований обратимых и необратимых явлений в ходе испытания на растяжение

Р е з ю м е

Правильный подбор литейных материалов с практической точки зрения обусловлен обстоятельным знанием их свойств. Среди них очень часто решающее значение имеют механические свойства. В этой работе представлены возможности, открывающиеся в области оценки металлов и литейных сплавов в связи с результатами исследования явлений, возникающих в перисд испытания на растяжение. Основно значение здесь имеет надлежащая интерпретация обратимых явлений, как напр. хода стабилизованной гистерисной механической петли, а также обратимых продольных и поперечных дефсрмации, вызванных ростом напряжений и необратимых явлений, как напр. изменения модула упругости /E/ и коэффициента Пауссона /μ/, вызванные изменениями в напряжениях.

Оказалось, что эти явления могут являться исходной точкой для оценки усталостной прочности материалов и тем самым могут быть предельным значением напряжений, которые могут возникать в отливках, не вызывая риска их разрушения.

Principles for the choice of casting meterials on the basis of investigation results concerning reversible and irreversible phenomena observed during tensile tests

S u m m a r y

The proper choice of casting materials - from the viewpoint of their adaptability - is conditioned by the exact knowledge of their properties, the mechanical properties being most often of decisive importance. The paper discusses new possibilities in the field of evaluating metals and cast alloys, which are due to the investigation results concerning the phenomena that are to be observed in the course of tensile tests. Of fundamental importance is in this case the proper interpretation of reversible phenomena- as e.g.the course of an established loop of the machanical hysteresis and of reversible longitudinal and lateral deformations brought about by the increase of stresses, as well as of irreversible phenomena, as for instance the change of the coefficient of elasticity /E/ and of the Poisson number / μ /, brought about by changes in stress.

For it has turned out that such phenomena may serve as the starting-point when evaluating the fatigue strength of materials, and thus also the limiting values of stress, which may occur in castings without any risk of damage.