ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1986

Seria: MECHANIKA z. 83 Nr kol. 879

Jerzy OKRAJNI

WYZNACZANIE CHARAKTERYSTYK ZMĘCZENIA CIEPLNEGO

Streszczenie. W pracy omówiono proces odkształcania wywołanego cyklicznymi zmianami temperatury. Podano charakterystyczne parametry procesu oraz przykłady przebiegów zależności pomiędzy tymi parametrami. Przedstawiono dwie metody prowadzenia badań zmęczenia małocyklowego tworzywa, które umożliwiają symulację warunków odkształcania obiektu. Dokonano analizy przebiegu odkształcania próbki poddanej cyklicznemu nagrzewaniu w przypadku jej sztywnego utwierdzenia na obu końcach. W tej części skoncentrowano się na omówieniu roli efektu lokalizacji odkształceń w zmęczeniu cieplnym próbki. Przedyskutowano następnie zagadnienia związane z zastosowaniem izotermicznej metody badań. Podano sposoby opracowywania wyników badań i charakterystykę układu pomiarowego do badań zmęczenia małocyklowego. Podsumowanie zawiera uwagi dotyczące sposobu wykorzystania wyników badań zmęczeniowych tworzywa. W tej części pracy zamieszczono schemat toku postępowania w procesie konstruowania obiektów przeznaczonych do pracy w złożonych warunkach oddziaływań mechanicznych i cieplnych. Zamieszczony schemat uwzględnia możliwość optymalizacji cech konstrukcyjnych obiektu.

Wprowadzenie

Dalszy rozwój wielu gałęzi przemysłu hutniczego, chemicznego i energetyki uzależniony jest w chwili obecnej w znacznym stopniu od wyników prac nad nowymi tworzywami, dla których często niezbędne okazuje się opracowanie teoretyczno-doświadczalnych charakterystyk wytrzymałościowych. Dotyczy to nie tylko badań podstawowych własności fizycznych i mechanicznych przy programowanych parametrach stanu (obciążenie, temperatura itp.), lecz również badań trwałości w warunkach działania cyklicznych zmian temperatury, odgrywających w urządzeniach w wyszczególnionych gałęziach przemysłu istotną rolę. Niszczenie metali w wyniku wielokrotnych zmian temperatury i naprężeń cieplnych wywołujących plastyczne odkształcenia w obszarach makroskopowych nazywane jest zmęczeniem cieplnym [1, 2, 3]. Obecnie w kilku ośrodkach w kraju prowadzi się badania nad procesem tego rodzaju niszczenia. W zakres tych badań wchodzi analiza kryteriów oceny trwałości, a zasadniczo dotyczą one opracowania metod badania zmęczenia cieplnego.

Z uwagi na konieczność ustalenia warunków, w jakich przebiegają procesy zmian własności w przypadku działania zmiennej temperatury, celowe jest równoległe prowadzenie studiów teoretycznych obejmujących analizę rozkładu naprężeń i odkształceń. Wyniki tego typu analiz stanowią podstawę doboru odpowiedniej metodyki badań.

Jak wynika ze zrealizowanych do chwili obecnej prac w zakresie zmęczenia wywołanego działaniem zmiennej temperatury [4, 5, 6 , 7, 8, 9, 10...], za istotne dla tego procesu należy przyjąć takie parametry, jak: temperatura, odkształcenie i naprężenie. Trwałość obiektu wyrażona liczbą cykli zmian temperatury jest w tym przypadku zdeterminowana zależnością funkcyjną pomiędzy tymi parametrami w najbardziej wytężonych obszarach:

$$F\left[\sigma_{ij}(t),\ \varepsilon_{ij}(t),\ T(t)\right] \Rightarrow N \tag{1}$$

gdzie:

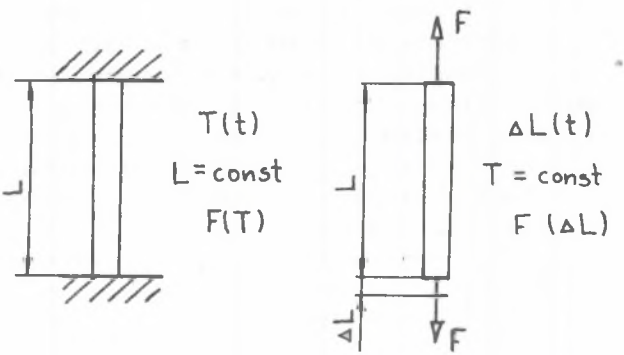
σ_{ij} - tensor naprężenia,

ε_{ij} - tensor odkształcenia,

T - temperatura,

t - czas.

W konkretnym zagadnieniu technicznym na zależności pomiędzy naprężeniami, temperaturą i odkształceniami wpływają cechy geometryczne obiektu, warunki eksploatacji oraz własności fizyczne tworzywa. Parametry te w funkcji czasu opisują przebieg odkształcania w poszczególnych cyklach zmian temperatury, którego kinetykę w warunkach zmęczenia cieplnego scharakteryzować można przebiegiem pętli histerezy w układzie naprężenie - odkształcenie $\sigma(\varepsilon)$ [4, 6, 7, 11...]. Opisuje ona bowiem proces cyklicznego odkształcania w warunkach uplastycznienia przeciwzwrotnego, które występuje w obszarach odkształceń plastycznych elementów obciążonych zmiennym, nierównomiernym polem temperatury. Takie charakterystyki w jednoosiowym stanie naprężenia można między innymi uzyskać badając tworzywo dwiema metodami, omówionymi w niniejszym opracowaniu.



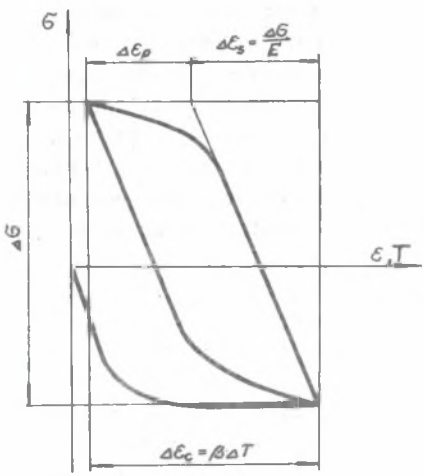
Rys. 1. Schemat sposobów realizacji badań procesu zmęczenia cieplnego
Fig. 1. Scheme of realization ways of thermal fatigue investigations

Pierwsza z nich polega na cyklicznym nagrzewaniu i schładzaniu próbki mocowanej w nieodkształcalnych uchwytach (rys. 1). Sposób zamocowania próbki determinuje zachowanie jej praktycznie stałej długości. Zmienna temperatura jest wówczas przyczyną zmian obciążenia.

W drugiej metodzie obciążenie próbki wywołane jest zewnętrznym zmiennym polem siłowym, któremu odpowiada analogiczne pole przemieszczeń jak w próbce obciążanej zmienną temperaturą. Próby tego typu realizowane są przy zachowaniu stałej temperatury (badania izotermiczne).

Badania w niestacjonarnych polach temperatur

Cykliczne zmiany temperatury próbki wywołują w niej naprężenia, których wielkość uzależniona jest od odkształceń cieplnych. Wykres zależności pomiędzy odkształceniami i naprężeniami przedstawia rysunek 2, na którym zilustrowano przypadek wyidealizowanego cyklu cieplnego dla próbki sztywno utwierdzonej na obu końcach. Przy założeniu liniowej zależności pomiędzy temperaturą i odkształceniami można przyjąć, iż jest to również graficzny obraz funkcji naprężenia i temperatury.



Rys. 2. Wykres zależności pomiędzy odkształceniami i naprężeniami dla próbki obustronnie sztywno utwierdzonej

Fig. 2. Graph of relations between distortiens and stresses for sample fixed at both ends

Przebieg cyklicznego odkształcania, scharakteryzowany w tym przypadku pętlą histerezy, można opisać za pomocą jej parametrów:

$\Delta\sigma$ - zakres naprężenia,

$\Delta\varepsilon_c$ - zakres odkształcenia całkowitego,

$\Delta\varepsilon_s$ - zakres odkształcenia sprężystego,

$\Delta\varepsilon_p$ - zakres odkształcenia plastycznego.

Jeżeli przyjąć, że współczynnik rozszerzalności termicznej nie zależy od temperatury oraz że jej rozkład na długości próbki jest równomierny, wówczas przy zmianie temperatury o ΔT odkształcenie mechaniczne próbki będzie równe:

$$\Delta\varepsilon_c = \beta\,\Delta T \qquad (2)$$

gdzie:

β - współczynnik liniowej rozszerzalności termicznej.

Zakres odkształceń plastycznych, który niejednokrotnie może stanowić kryterium zniszczenia, wyznacza się na podstawie równania:

$$\Delta \varepsilon_p = \beta \Delta T - \frac{\Delta \sigma}{E} \tag{3}$$

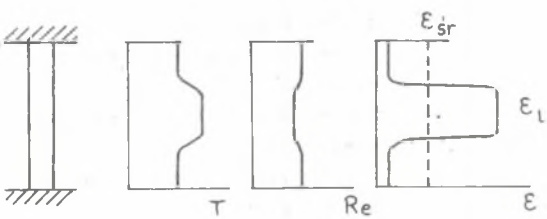
gdzie:

E - moduł sprężystości.

Równanie powyższe obowiązuje przy założeniu, że moduł Younga ma stałą wartość niezależną od temperatury.

Ponieważ w temperaturach podwyższonych należy wziąć pod uwagę możliwość wystąpienia pełzania i relaksacji, celowe jest rozpatrzenie ich wpływu na przebieg zależności $\sigma(\varepsilon)$. Z przeprowadzonej analizy wynika [4], że przy występowaniu pełzania i relaksacji zakresu odkształceń plastycznych nie można w sposób bezpośredni uzależnić od zakresu naprężeń $\Delta\sigma$ - jak np. we wzorze (3).

Szczególnie istotny dla przebiegu zależności $\sigma(\varepsilon)$ jest wpływ nierównomierności rozkładu temperatury na długości próbki, zważywszy zwłaszcza fakt, iż nierównomierności tej praktycznie nie da się uniknąć przy zastosowaniu takich metod nagrzewania jak metoda indukcyjna czy oporowa. Wyczerpujące omówienie wad i zalet obu metod znaleźć można w pracy [12].



Rys. 3. Wykresy rozkładu temperatury T, granicy plastyczności R_e i lokalnego odkształcenia ε_l na długości próbki w procesie kumulacji odkształceń, związanej z nierównomiernością rozkładu temperatury

Fig. 3. Graphs of thermal distribution T, yield point R_e and local distortien ε_l distribution alen the sample in the process of distortiens cumulation connected with nonuniform thermal distribution

W związku z nierównomiernością rozkładu temperatury odkształcenia plastyczne mają tendencję do kumulacji w najbardziej nagrzanych obszarach próbki. Jeden z możliwych mechanizmów kumulacji przedstawia rysunek 3. Niższa granica plastyczności w obszarze o wyższej temperaturze powoduje, iż odkształcenie w środku próbki może być kilka razy większe od średniej wartości. Należy również zwrócić uwagę na wpływ procesu cyklicznego umacniania wywołanego odkształceniami plastycznymi. Procesy umacniania w połączeniu z oddziaływaniem na siebie obszarów o zróżnicowanych poprzez wpływ nierównomierności pola temperatur własnościach, związane ściśle ze zróżnicowanym charakterem rozkładu temperatury podczas grzania i chłodzenia, powodują kumulowanie się plastycznych odkształceń w różnych

punktach na długości próbki. Zależnie od własności materiału, sposobu grzania i chłodzenia próbka może w związku z tym przybierać w miarę upływu kolejnych cykli złożony kształt. Przedstawione mechanizmy, które obserwować można w skali laboratoryjnej dla tak prostego elementu, jakim jest omawiana próbka, oddziałują również w o wiele bardziej złożonej postaci w konkretnych obiektach. Powodują one znaczne trudności w ustaleniu ilościowych relacji pomiędzy istotnymi dla procesu zmęczenia parametrami. Znaczne polepszenie dokładności pomiaru parametrów zjawisk zachodzących w próbce można uzyskać poprzez zastosowanie czujnika loklanych odkształceń. Jednak i w tym przypadku należy wziąć pod uwagę fakt, że rejestrowane wartości siły mogą nie pozostawać w ścisłej zależności od temperatury i odkształcenia z uwagi na możliwość występowania w warunkach nierównomiernego rozkładu temperatury na długości próbki omówionych wcześniej procesów kumulacji odkształceń.

Trwałość zmęczeniową, której wyznaczenie jest zasadniczym celem omawianej próby, charakteryzuje się wykresami:

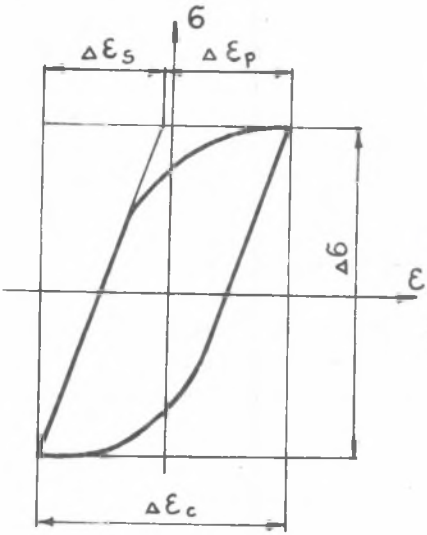
$$\Delta T = f(N_f), \quad \Delta\varepsilon_c = f(N_f), \quad \Delta\varepsilon_p = f(N_f),$$

gdzie N_f jest liczbą cykli do zniszczenia próbki.

Metoda izotermiczna

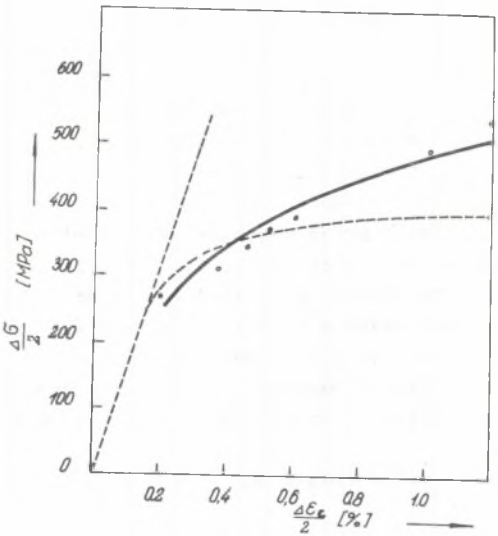
Badania realizuje się w tym przypadku przy zachowaniu stałej temperatury. Podczas próby dokonuje się pomiarów siły i odkształcenia. Sposób mocowania próbki oraz brak zmienności w czasie temperatury umożliwia uzyskanie równomiernego rozkładu temperatury na długości próbki objętej bazą czujnika (ekstensometru). Badania prowadzone są przy zachowaniu stałej amplitudy odkształcenia całkowitego lub stałej amplitudy odkształcenia plastycznego. Charakterystyczne wielkości określane na podstawie przebiegu pętli histerezy to, podobnie jak w omówionej uprzednio metodzie $\Delta\sigma$, $\Delta\varepsilon_c$, $\Delta\varepsilon_p$, $\Delta\varepsilon_s$ (rys. 4).

Najczęściej realizuje się próby przy stałej wartości odkształcenia całkowitego. Zmienne są wówczas $\Delta\sigma$, $\Delta\varepsilon_p$, i $\Delta\varepsilon_s$, które można odczytać z pętli histerezy. Tworzywa badane tą metodą mogą być cyklicznie stabilne, wówczas $\Delta\sigma$ = const. Mogą się cyklicznie umacniać ($\Delta\sigma$ wzrasta w kolejnych cyklach) lub osłabiać ($\Delta\sigma$ maleje w kolejnych cyklach). W zależności od temperatury i rodzaju materiału okres umacniania lub osłabiania zamyka się w zakresie od kilku cykli do 1/3 lub 1/2 liczby cykli do zniszczenia. W pozostałej części okresu trwałości naprężenia $\Delta\sigma$ można praktycznie uważać za stałe. Tę wartość naprężenia nazywa się naprężeniem nasycenia.



Rys. 4. Przebieg pętli histerezy dla próbki obciążonej zmienną siłą osiową przy zachowaniu stałego zakresu odkształceń całkowitych

Fig. 4. Hysteresis loop for the sample loaded by varying axal force keeping the range of total dostortions constant



Rys. 5a. Krzywa cyklicznego odkształcenia; stal H18N9S, temp. 293 K

Fig. 5a. A curve of periodical distortion, steel H18N9S, temp. 293 K

Naprężenie nasycenia $\frac{\Delta\sigma}{2}$ w funkcji $\frac{\Delta\varepsilon_p}{2}$ tworzy krzywą cyklicznego umocnienia, którą opisuje się [5, 13, 14] równaniem:

$$\frac{\Delta\sigma}{2} = K' \left(\frac{\Delta\varepsilon_p}{2}\right)^{n'} \tag{4}$$

gdzie:

K' - współczynnik wytrzymałości cyklicznej,

n' - wykładnik cyklicznego umocnienia.

Wykorzystując powyższe równanie wyznaczyć można krzywą cyklicznego odkształcenia - $\frac{\Delta\sigma}{2}$ w funkcji $\frac{\Delta\varepsilon_c}{2}$, która daje informację o zachowaniu się materiału w warunkach działania cyklicznych zmian obciążenia (rys. 5a).

Trwałość zmęczeniową próbek wiąże z zakresem odkształceń sprężystych, plastycznych i całkowitych wzór Mansona:

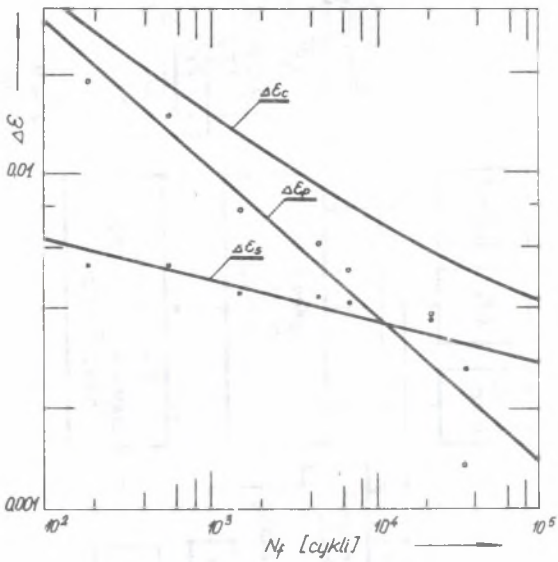
$$\Delta\varepsilon_c = \Delta\varepsilon_p + \Delta\varepsilon_s = M(N_f)^z + \frac{G}{E}(N_f)^g \tag{5}$$

gdzie:

M, z, G, φ - stałe materiałowe.

Wzór ten uzyskuje się poprzez zastosowanie liniowej aproksymacji wyników doświadczeń w układzie podwójnie logarytmicznym:

$$-\log \Delta\varepsilon_s = f(\log N_f), \quad \log \Delta\varepsilon_p = f(\log N_F) \quad \text{(rys. 5b)}$$

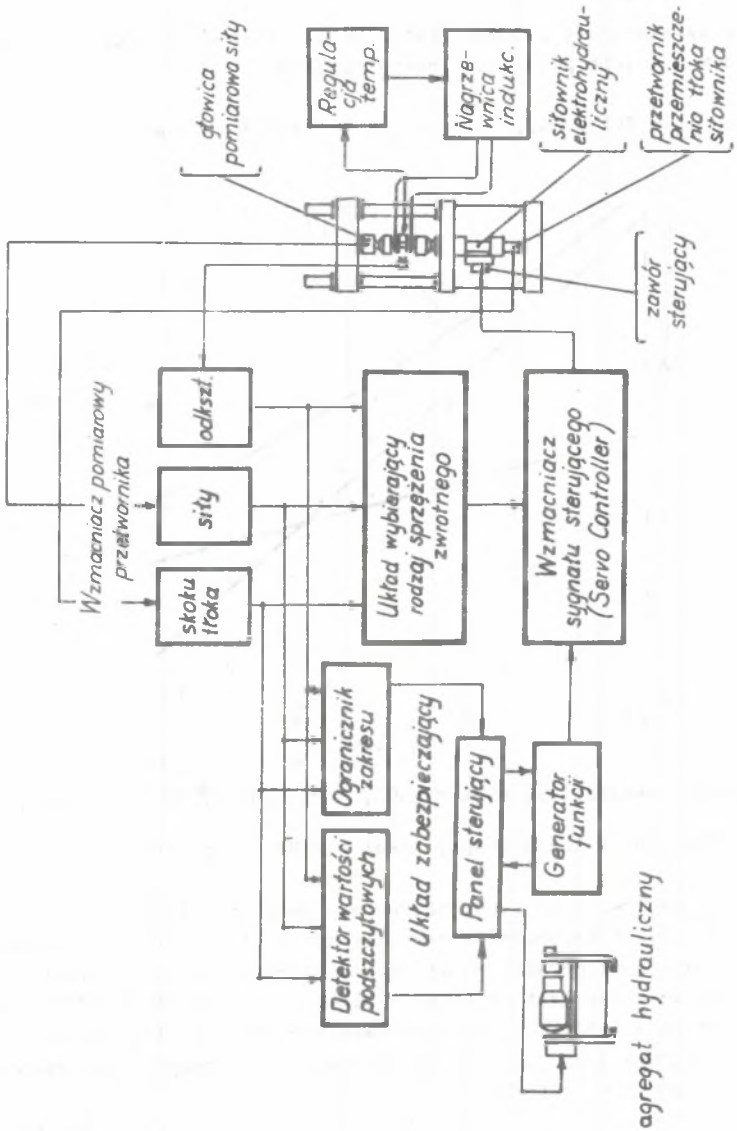


Rys. 5b. Wykres zmęczeniowy; stal H18N9S, temp. 293 K. Na podstawie pracy [6]

Fig. 5b. Fatigue graph, steel H18N9S, temp. 293 K

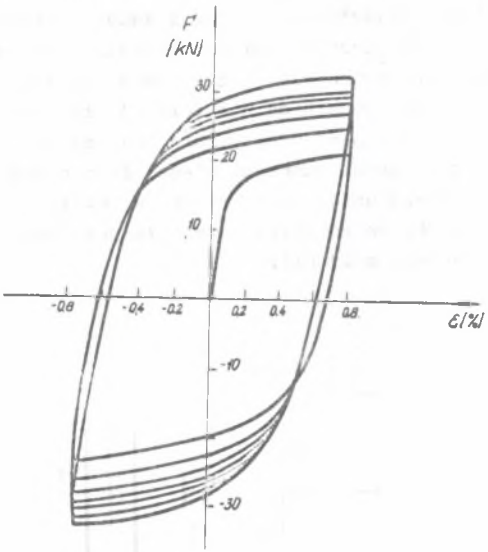
Badania zmęczeniowe tego typu, nazywane z uwagi na wielkość liczby cykli do zniszczenia próbki badaniami w zakresie małej liczby cykli, prowadzi się zazwyczaj na maszynach serwohydraulicznych. Na rysunku 6 przedstawiono schemat takiego urządzenia. Jest to schemat blokowy systemu firmy MTS wyposażonego w urządzenia do indukcyjnego nagrzewania próbek. Pomiaru odkształceń dokonuje się za pomocą czujnika tensometrycznego oporowego z końcówkami kwarcowymi, stykającymi się bezpośrednio z próbką.

System serwohydrauliczny zapewnia możliwość regulacji próbą za pomocą zmiennego parametru siły, odkształcenia lub przemieszczenia siłownika. Podczas prowadzenia badań przy stałej amplitudzie odkształcenia całkowitego wielkością regulowaną jest odkształcenie, którego przebieg w czasie uzależniony jest od sygnału generowanego przez generator funkcji. W czasie prowadzenia badań można kontrolować poszczególne parametry próby (siłę, od-



Rys. 6. Blokowy schemat systemu serwohydraulicznego firmy MTS
Fig. 6. Block diagram of servohydraulic system of MTS firm

kształcenie, przemieszczenie i temperaturę) za pomocą mierników cyfrowych oraz rejestrować przebieg pętli histerezy F (ε) na rejestratorze XY (rys. 7). Układ wyposażony jest również w system zabezpieczeń kontrolnych oraz przeciążeniowych.



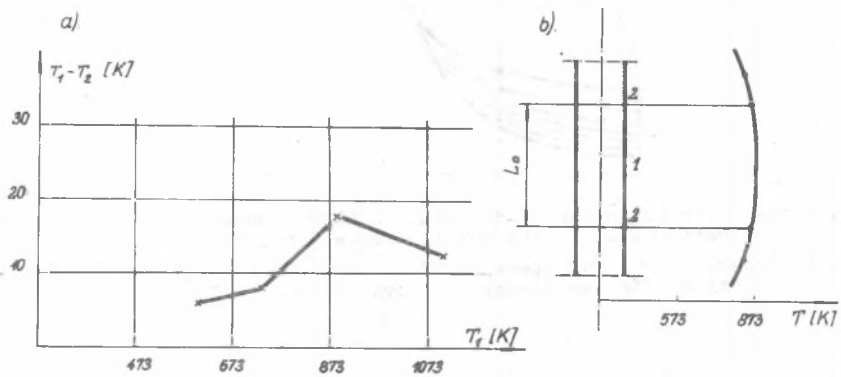
Rys. 7. Pętle histerezy uzyskane dla stali H18N9S w badaniach zmęczeniowych w zakresie małej liczby cykli, $\Delta\varepsilon_c$ = 1,6%, T = 873 K

Fig. 7. Hysteresis loops for steel H18N9S, temp. 873 K, in fatigue investigations for small number of cycles, $\Delta\varepsilon_c$ = 1.6%

Podsumowanie

Dobór metody badań powinien być uzależniony od rodzaju materiału i warunków eksploatacji, dla których jest on przeznaczony. Metoda izotermiczna będzie właściwa wówczas, gdy wpływ temperatury w zakresie jej zmian podczas eksploatacji na takie własności tworzywa jak R_e, E, β jest nieznaczny. Można ją stosować również dla szczególnego przypadku takich obiektów, w których w warunkach eksploatacji w obszarze zniszczenia znacznym zmianom naprężeń cieplnych tworzywa nieistotne zmiany temperatury [15]. Przyjęcie hipotezy sformułowanej przez Forresta i Penfolda, zakładającej, że wytrzymałość materiału na zmęczenie cieplne jest uwarunkowana jego odpornością na cykliczne odkształcenia niezależnie od przyczyn je wywołujących [1], znacznie poszerza możliwości zastosowania metody izotermicznej. Hipoteza ta jednakże wydaje się być właściwa jedynie dla niektórych materiałów i w ograniczonym zakresie temperatur. Jeśli zmiany odkształceń i naprężeń łączą się

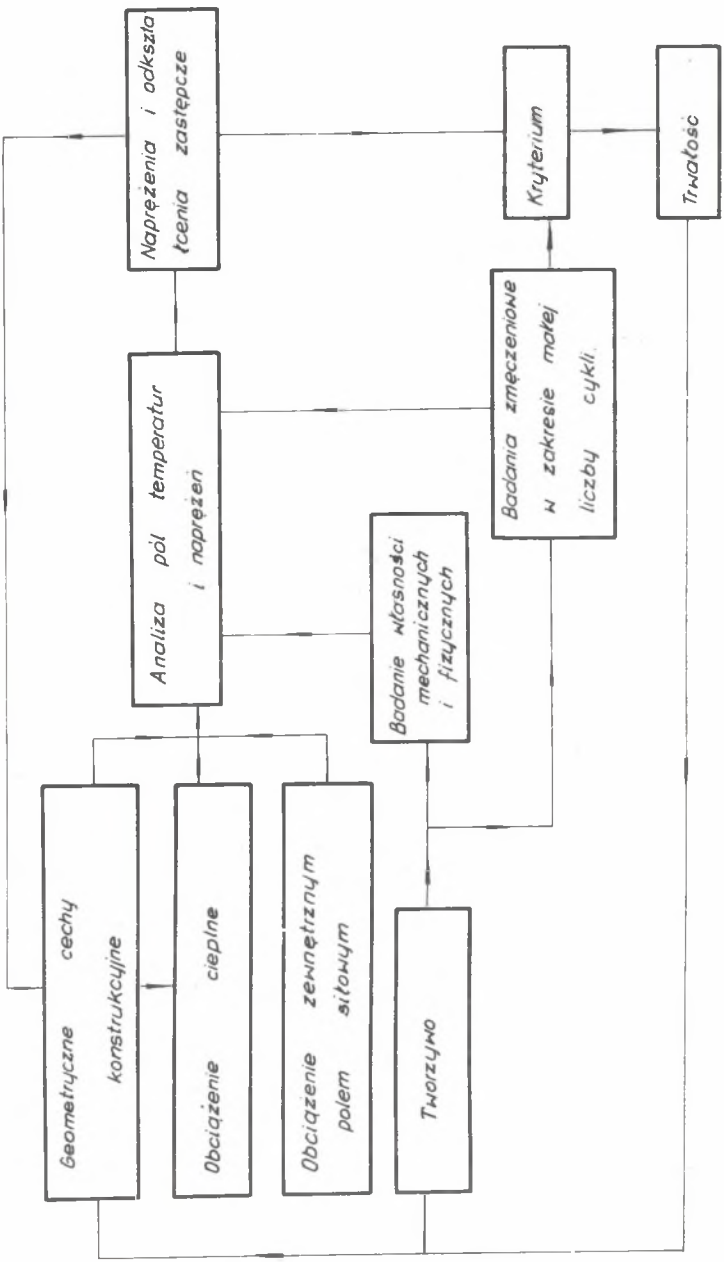
ze zmianami temperatury w tym samym obszarze, tak jak ma to miejsce w warunkach szybkiego powierzchniowego nagrzewania i chłodzenia, wówczas pierwsza z omówionych metod zapewnić może warunki zbliżone do rzeczywistych. Wyeliminowanie szeregu wad tej metody jest możliwe poprzez zastosowanie elektronicznego sterowania próbą. Niedogodny sposób ograniczenia możliwości odkształcenia poprzez mocowanie próbki w sztywnych uchwytach zastępuje się wówczas (jak np. w urządzeniu firmy MTS) sposobem polegającym na regulacji próbą za pomocą wielkości odkształcenia. Jeśli zadana zostanie jego stała wartość, wówczas podczas cyklicznych zmian temperatury długość próbki w zakresie objętym bazą ekstensometru nie będzie ulegać zmianom. Obszar obserwacji zawężony zostaje w ten sposób do niewielkiej długości w środku próbki, gdzie rozkład temperatury jest praktycznie równomierny (rys. 8), a różnica temperatur pomiędzy różnymi punktami ulega nieznacznym wahaniom. W ogólnym przypadku, przy braku ustalonych kryteriów trwałości w warunkach zmęczenia cieplnego, pełna charakterystyka materiału powinna zawierać wyniki prób przeprowadzonych obiema metodami.



Rys. 8. Wykres zależności pomiędzy maksymalną różnicą temperatur T_1 - środka i T_2 - końca długości pomiarowej w funkcji temperatury próbki - (s). Rozkład temperatury na długości próbki (T_1 = 873 K) - (b). Wykresy ilustrują wyniki pomiarów temperatury próbki ze stali H18N9S, nagrzewanej metodą indukcyjną [6]

Fig. 8. Diagram of relations between maximal temperature differences T_1 (of the middle) and T_2 (of the end) and the sample temperature a). Distribution of temperature along the gample (T_1 = 873 K) b)

Uzyskane empiryczne zależności określające trwałość zmęczeniową, jak również krzywe cyklicznego odkształcenia mogą być wykorzystane w działaniach projektowych w celu określenia kształtu, wymiarów lub dopuszczalnych parametrów pracy elementów poddanych cyklicznym zmianom temperatury. Rysunek 9 przedstawia uproszczony schemat toku postępowania w działaniach pro-



Rys. 9. Blokowy schemat metodyki projektowania obiektów przeznaczonych do pracy w warunkach działania cyklicznych zmian pól temperatury

Fig. 9. Block diagram of design methodology for plants working in condition of periodical temperature fields changes

jektowych zmierzających do uzyskania konstrukcji zapewniającej względnie wysoką trwałość obiektu. Należy zwrócić uwagę na występujące różnice pomiędzy przedstawioną schematycznie metodyką a metodami projektowania z uwagi na kryterium trwałości w warunkach działania zmiennych pól siłowych. Krzywa cyklicznego odkształcenia stanowi charakterystykę materiałową przydatną często dla określania kryterialnych stanów naprężenia i odkształcenia. W zagadnieniach z zakresu teorii sprężystości i plastyczności w zastosowaniu do obliczeń konstrukcyjnych taką charakterystyką jest krzywa statycznego rozciągania. Można ponadto stwierdzić, że poziom obciążenia cieplnego, rozumiany np. jako wielkość zakresu zmian temperatury lub odkształceń, nie może stanowić stałego elementu założeń projektowych, zależy on bowiem od cech geometrycznych przyjętych w procesie konstruowania. Szczególnego znaczenia nabierają w związku z tym metody optymalizacyjne projektowania.

Obecnie istnieje potrzeba dalszych badań zarówno nad metodami oceny trwałości obiektu oraz sposobami konstruowania, jak również nad doborem metodyki oceny procesu dekohezji oraz kryteriów trwałości. Postęp w zakresie badań zmęczenia cieplnego wymaga doskonalenia aparatury w celu uzyskania znacznej zgodności pomiędzy procesami możliwymi do zrealizowania w laboratorium i przebiegiem zjawisk w obiekcie. Niezbędne jest między innymi zastosowanie programatorów obciążeń cieplnych. Z uwagi na złożone relacje pomiędzy istotnymi parametrami zmęczenia celowe jest również wprowadzenie techniki numerycznego sterowania próbą.

LITERATURA

[1] Żuchowski R.: Zmęczenie cieplne metali. Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1981.

[2] Weroński A.: Analiza przemian strukturalnych i mechanizmu pękania stalowych form pod wpływem zmęczenia cieplnego w procesie odśrodkowego odlewania rur. Praca habilitacyjna, ZN Politechniki Świętokrzyskiej, Z 11/76.

[3] Gierzyńska M., Smarzyński Z., Wrona T.: Wpływ cyklicznie zmiennych obciążeń cieplnych i mechanicznych na dekohezję stali WNL. ZN Politechniki Śląskiej, Hutnictwo Z. 19/79. Gliwice 1979.

[4] Coffin L.P i inni: Manuel on Low Cycle Fatique Testing, ASTM STP 465, Baltimore 1969.

[5] Manson S.S.: Tiempieraturnyje napriażenija i małocikłowaja ustałost. Izd. Maszinostrojenije, Moskwa 1974 (tłumaczenie z j. angielskiego).

[6] Okrajni J.: Badanie wpływu cyklicznych zmian pól temperatur i związanych z nimi odkształceń cieplnych na trwałość stali austenitycznych. Praca doktorska, Biblioteka Główna Politechniki Śląskiej, Gliwice 1982.

[7] Birger I.A.,Szorr B.F. i inni: Tiermoprocznost dietalej maszin. Izd. Mszinostrojenije, Moskwa 1975.

[8] Pisarienko G.S., Możarnowskij N.S., Antipow E.A.: Soprotiwlenije żaroprocznych matieriałow niestacjonarnym siłowym i tiempieraturnym wozdiejstwijam. Izd. Naukowa Dumka, Kijów 1974.

[9] Iszczenko I.I.,Pogreblak A.D.,Sinajskij B.N.: Wlijanije wysokich tiemperatur na soprotiwlenije ustałosti żaroprocznych stalej i spławow. Izd. Naukowa Dumka, Kojów 1978.

[10] Striżało B.A.: Cikliczeskaja procznost i połzuczest mietałłow pri małocikłowom nagrużenii w usłowijach niskich i wysokich tiempieratur. Izd. Naukowa Dumka, Kijów 1978.

[11] Serensen S.W. i inni: Soprotiwlenije deformirowaniju i rozruszenije pri małom czisle cikłow naprużenija. Izd. Naukowa Dumka, Moskwa 1975.

[12] Troszczenko W.T,i inni:Mietody issledowanija soprotiwlenija mietałłow nagrużenii w usłowijach niskich i wysokich tiempieratur. Izd. Naukowa Dumka, Kijów 1974.

[13] ASTM: Tentative Recommended Practice for Constant - Amplitude Low - Cycle Fatique Testing. E 606-77 T.

[14] Carden A.E., Slade T.B.: High-Temperature Low-Cycle Fatigue Experiments on Hastaloy x. ASTM Special Technical Publikation 459. San Francisco 1968.

[15] Okrajni J.: Wpływ parametrów technologii upłynniania węgla na proces zmęczenia cieplnego na przykładzie nagrzewnicy ze stali austenitycznej. Inżynieria Materiałowa, Nr 4 (11), Warszawa 1982.

Wpłynęło do Redakcji 6.04.83 r.

Recenzent: Doc dr inż. Ryszard Żuchowski

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОУСТАЛОСТНОСТИ

Р е з ю м е

В работе оговорен процесс деформации, вызван циклическими изменениями температуры. Даны характерные параметры процесса и примеры протекания зависимостей между этими параметрами. Представлены два метода проведения исследований малоцикловой усталостности вещества, которые дают возможность симулировать условия деформации объекта. Проведён анализ протекания деформации опытного образца, подвержённого циклическому нагреванию, для случая зажатия обоих концов образца. В этой части работы оговорена роль эффекталокализации деформации при тепловой усталостности образца. Далее оговорены вопросы связанные с применением изометрического метода исследований. Приведены способ обработки результатов исследований и характеристика измерительной системы для усталостных малоцикловых исследований. В окончании даются замечания, касающиеся способа использования результатов усталостных исследований вещества. Приведена схема ведения процесса конструирования объектов предназначенных для работы в сложных условиях механических и тепловых воздействий. Приведённая схема учитывает возможность оптимизации конструкторских признаков объектов.

ASSIGMMENT OF THERMAL FATIGUE CHARACTERISTICS

S u m m a r y

In the paper a process of deformation caused by periodic changes of temperature is discussed. Characteristic parameters are given examples of relations between these parameters are presented. Two methods of investigations of smallcyoles fatigue are presented which enable simulation of deformations. The analysis of runs of deformation of samples periodically heated in the case of their fixing at both ends is performed. The role of the location effect in thermal fatigue of samples has been emphasized. Problems connected with isothermal method application are discussed. The ways of results elaboration and the characteristies of measurement system for smallcycles fatigue investigation are presented. In the conclusion section some remarks about the way of results applications are given. The diagram of the design process for systems working in the complex conditions of mechanical and thermal reactions is also presented. It takes into account the possibility of plant construction features optimization.