URZĄDZENIE DO DYNAMICZNEGO SKRĘCANIA

JANUSZ KLEPACZKO (WARSZAWA)

1. Wstęp

Jak wiadomo, obecnie dopuszcza się dwa warunki plastyczności, mianowicie warunek minimum energii odkształcenia postaciowego (warunek Hubera-Misesa) oraz warunek maksymalnych naprężeń tnących (warunek Treski). Obydwa warunki wykazują dobrą zgodność z wynikami doświadczeń w przypadku badań statycznych, przy czym za bardziej ścisły uważa się warunek Hubera-Misesa. Należy podkreślić, że w obydwu warunkach zasadnicze znaczenie mają naprężenie tnące τ i odkształcenie postaciowe γ . Stąd też próby przy czystym ścinaniu, a takimi są próby skręcania cienkościennych próbek rurkowych, mają tak duże znaczenie. Próby te pozwalają na bezpośrednie otrzymanie krzywej umocnienia we współrzędnych $\tau - \gamma$ i porównanie wyników np. z wynikami dla jednoosiowego rozciągania.

Z drugiej strony wiadomo, że materiały, w szczególności metale, są wrażliwe na prędkość odkształcenia. Zjawisko to jest obecnie intensywnie badane, jednak w większości przypadków w warunkach jednoosiowego rozciągania bądź ściskania. Liczba badań na skręcanie próbek rurkowych jest znikoma.

Wymienione czynniki były powodem do zaprojektowania i wykonania urządzenia do dynamicznego skręcania. Urządzeń takich skonstruowano dotychczas niewiele i wszystkie są oparte na podobnych zasadach.

Jedną z pierwszych jest konstrukcja opisana w pracy [2] (ITIHARA, 1933), która umożliwiała zarówno statyczne jak i dynamiczne skręcanie próbek; rejestracja momentu skręcającego i kąta skręcenia odbywała się na papierze fotograficznym. Układ rejestrujący moment skręcający, który polegał na pomiarze kąta skręcenia długiego sprężystego wałka zakończonego lusterkiem, wykazywał poważne wady przy wyższych prędkościach deformacji. Drgania tego wałka o dużej amplitudzie i o małej częstości uniemożliwiały prawidłową interpretację wyników.

Niewątpliwie udaną konstrukcją jest maszyna do skręcania z różnymi prędkościami, przedstawiona w pracy [7] (WORK i DOLAN, 1954). Maszyna ta umożliwiała skręcanie przy czterech prędkościach odkształcenia w granicach od $\eta_{\min} = 1,10^{-4}$ sek.⁻¹ do $\eta_{\max} = 12,5$ sek.⁻¹. Przy pomiarze momentu skręcającego wykorzystano dynamometr z naklejonymi tensometrami elektrooporowymi, dla rejestracji kąta przewidziano urządzenie oparte na zasadzie suwaka i spirali oporowej oraz niezależnie fotokomórki. Przebiegi rejestrowano na oscylografie pętlicowym. Również w pracy [1] zamieszczono wyniki doświadczeń otrzymane dla żelaza w takich samych granicach prędkości odkształcenia.

Najnowszą konstrukcją, która zapewnia jak dotychczas maksymalne prędkości odkształcenia przy skręcaniu $\eta_{max} = 60$ sek.⁻¹, jest konstrukcja opisana krótko w pracy [6] (Міма i Hori, 1965). Zasada działania i metody rejestracji nie różnią się zasadniczo od konstrukcji omówionej poprzednio, z tym jednak, że kąt skręcenia jest mierzony za pomocą styku odpowiednio włączającego się po określonym przyroście kąta podczas obrotu uchwytu mocującego próbkę.

Wszystkie wymienione konstrukcje opierają się na podobnych zasadach i stanowią pewną klasę maszyn podobnego typu.

2. Zasada działania i konstrukcja

Omawiane urządzenie do dynamicznego skręcania zostało zbudowane na nieco innych zasadach. Jest to przystawka do młota «Charpy» produkcji WPM Lipsk typu PSW 30.



Rys. 1. Ogólny widok urządzenia do dynamicznego skręcania (bez oświetlaczy)

Urządzenie jest zakładane na miejsce wymiennych podpór do zginania próbek, równocześnie zamienia się ciężar wahadła na inny odpowiednio skonstruowany. Ogólny widok urządzenia został przedstawiony na rys. 1 i 2, a jego szkic na rys. 3.

Zasada działania części mechanicznej jest następująca. Wahadło uderza bijakiem o krzywkę 5 osadzoną na wałku 4. Wałek umieszczony w łożyskach podstawy 2 oraz korpusu 3 obraca się przekazując moment obrotowy na czynną głowicę pomiarową 6, ta z kolei skręca próbkę 9. Bierna głowica pomiarowa 7 jest zamocowana z jednej strony do korpusu, a z drugiej połączona z próbką. W ten sposób próbka ulega skręcaniu pomiędzy dwiema

głowicami pomiarowymi. Podstawa łożyska wałka oraz korpus są mocowane do podstawy młota 1. Wahadło wraz z bijakiem w pozycji odpowiadającej momentowi uderzenia jest widoczne na rys. 2. Maksymalna prędkość wahadła w momencie uderzenia wynosi około 5 m/sek. Natomiast, aby podczas powrotu wahadła nie było następnych uderzeń, bijak chowa się jedynie uderzając lekko o krzywkę.

Należy dodać, że prędkość skręcania jest regulowana bądź wysokością i kształtem krzywki, bądź wysokością, z której jest opuszczane wahadło.



Rys. 2. Widok urządzenia w momencie uderzenia wahadła o krzywkę



Rys. 3. Szkic urządzenia

A-A plaszczyzna wahadła młota 1-podstawa młota, 2-podstawa lożyska, 3-korpus. 4-wałek, 5-krzywka, 6-czynna głowica pomiarowa, 7-bierna głowica pomiarowa, 8-zamocowanie biernej głowicy pomiarowej, 9-próbka, 10 i 11 -fotodiody, 12 i 13-oświet lacze, 14 i 15-płytki z prostokątnymi szczelinami, 16 i 17-tensometry elektrooporowe

Niewątpliwie najtrudniejszym problemem w badaniach dynamicznych są pomiary i z tego powodu metody mierzenia momentu skręcającego i kąta skręcenia podczas procesu deformacji zostaną omówione nieco szerzej. Temu celowi służą dwie identyczne odpowiednio zaprojektowane i wykonane głowice pomiarowe.

Pomiar momentu skręcającego jest następujący i opiera się na przyjęciu zasady pomiarów quasi-statycznych. Zasada ta polega na tym, że pomija się efekty falowe zarówno w układzie dynamometrów jak i w próbce. Prawidłowe i optymalne wykorzystanie tej zasady w pomiarach dynamicznych tego typu polega na tym, że elementy mierzące siły powinny znajdować się po czynnej i biernej stronie próbki. W ten sposób można na drodze eksperymentalnej oszacować ewentualne błędy wynikłe z pominięcia analizy falowej. Po drugie, elementy mierzące siły powinny znajdować się jak najbliżej próbki, dzięki czemu czas przejścia fali sprężystej pomiędzy tymi elementami jest możliwie krótki.

Innymi słowy zakłada się, że to co zostaje zarejestrowane z obydwóch głowic pomiarowych ma miejsce w tym samym momencie w próbce. Mamy tu na myśli wartości momentu skręcającego i kąta skręcenia.

Dalej, głowica pomiarowa przeznaczona do badań dynamicznych powinna mieć odpowiednio dużą częstotliwość i małą amplitudę drgań własnych; warunek ten zapewnia się przez dobranie odpowiedniej sztywności.

Wszystkie te warunki starano się spełnić w naszej konstrukcji. Głowice pomiarowe zostały wykonane z wysokogatunkowej hartowanej stali narzędziowej. Na części pomiarowej w postaci odpowiednio sztywnej rurki naklejono po dwa tensometry elektrooporowe w układzie samokompensacyjnym pod kątem 45° do osi głowicy. W ten sposób w pomiarze momentu skręcającego wykorzystano tensometrię elektrooporową.

Obliczmy teraz czas przejścia fali sprężystej i plastycznej pomiędzy środkami naklejonych tensometrów elektrooporowych. Oczywiście fala plastyczna może ewentualnie powstać jedynie na długości pomiarowej próbki. Jak wiadomo, prędkość fali ścinania wyraża się wzorem

(1)
$$c = \sqrt{\frac{d\tau}{d\varphi} \frac{1}{\varrho}},$$

gdzie przez τ oznaczono naprężenie tnące, przez φ odkształcenie postaciowe, ϱ gęstość. Dla przypadku fali sprężystej mamy

(2)
$$c_{sgr} = \sqrt{\frac{G}{\varrho}},$$

gdzie G oznacza moduł Kirchhoffa.

Czas przejścia fali jest sumą czasów przejścia przez uchwyty próbki i części głowic pomiarowych t_1 oraz czasu przejścia przez długość pomiarową próbki t_2 , stąd

$$t = t_1 + t_2, \quad t = \frac{l'}{c_{\rm spr}} + \frac{l_0}{c},$$

więc

(3)
$$t = l' \sqrt{\frac{\varrho}{G}} + \frac{l_0 \sqrt{\varrho}}{\sqrt{d\tau/d\varphi}}.$$

Gdy cały układ znajduje się w stanie sprężystym, a próbka jest wykonana ze stali, wówczas mamy

$$t = l \sqrt{\frac{\varrho}{G}}, \quad l = l' + l_0.$$

Biorąc wartości liczbowe $G = 8,1 \cdot 10^3 \text{ kG/mm}^2$, l' = 72 mm, $l_0 = 10 \text{ mm}$, $\varrho = 7,85 \text{ g/cm}^3$, l = 82 mm, otrzymujemy t = 0,0257 m sek. O ile w próbce propaguje się fala plastyczna, to zakładając $d\tau/d\varphi = 0,02$ G, co odpowiada zaawansowanemu płynięciu plastycznemu mamy

$$t = \frac{1}{c_{\rm spr}} \left(l' + \gamma / \overline{50} \, l_0 \right),$$

po podstawieniu wartości liczbowych otrzymujemy t = 0,0447 msek.

Ponieważ w obecnych badaniach czasy skręcania wynosiły średnio około 3 msek, to z przedstawionych obliczeń wynika, że zaprojektowany układ mierzący moment można traktować z powodzeniem w sposób quasi-statyczny. Wniosek taki jest podyktowany tym, że czas przejścia pierwszej fali przez układ mierzący i próbkę jest około sto razy krótszy od czasu jej odkształcania.

Jak wspomniano poprzednio drugim czynnikiem ograniczającym czas rejestracji momentu od strony czasów krótkich jest częstość drgań własnych dynamometru. W tym przypadku wymaga się, aby okres drgań własnych T był kilkakrotnie krótszy od czasu deformacji próbki. W rozważanym przypadku po przeprowadzeniu pomiarów na oscylogramach okazało się, że częstość drgań własnych głowic pomiarowych wynosi $\omega = 3705$ Hz, co odpowiada T = 0,27 msek. Okres ten jest więc kilkanaście razy krótszy od czasu skręcenia próbki i również w tym przypadku pomiary można traktować jako quasistatyczne.

Zasada pomiaru kąta skręcenia próbki jest podobna do opisanej w pracy [3] dla przypadku pomiarów przemieszczeń liniowych. Zasadę tę omówimy krótko w oparciu o schemat z rys. 3. Na głowicach pomiarowych 6 i 7 nacięto na całym obwodzie rowki o podziałce kątowej $\lambda = 4^{\circ}$, które następnie zaczerniono. W górnych otworach korpusu nad naciętą częścią głowicy umieszczono poczernione blaszki mosiężne 14 i 15 z prostokątnym wycięciem o szerokości odpowiadającej szerokości rowków, tj. około 1 mm. Nad otworami w blaszkach zamocowano odpowiednio fotodiody 10 i 11 oraz oświetlacze 12 i 13. W czasie ruchu obrotowego głowicy czynnej 6 pod wycięciem w blaszce pojawiają się kolejno jasne i ciemne pola; ponieważ pola te są oświetlone, fotodioda staje się źródłem prądu o przebiegu zbliżonym do sinusoidalnego. Jednemu okresowi sinusoidy odpowiada kąt skręcenia równy λ , wobec czego bieżący kąt skręcenia w danym momencie wynosi

$$\alpha = n\lambda$$
, $n = 1, 2, 3, ..., (i-1), i$.

Po wprowadzeniu podziałki odkształcenia x_o otrzymujemy

(4)
$$\varphi = n\lambda_{\mathcal{H}_{\varphi}}; \quad n = 1, 2, 3, \dots (i-1), i, \quad \text{gdzie} \quad \varkappa_{\varphi} = \pi r \frac{\alpha}{180^{\circ}};$$

przez r oznaczono średni promień części rurkowej próbki.

Mamy więc do czynienia z zasadą «modulacji częstotliwości», gdyż częstotliwość prądu z fotodiody zmienia się w zależności od prędkości ruchu obrotowego głowicy. Dla znalezienia zmian kąta skręcenia próbki w funkcji czasu, $\alpha = \alpha(t)$, lub wartości



Rys. 4. Schemat otrzymywania wykresu zmian kąta skręcenia próbki w funkcji czasu, ι-oś czasu, i₀-prąd ciemny fotodiody, φ-oś odksztalcenia



Rys. 5. Schemat blokowy układu pomiarowego

odkształcenia w funkcji czasu $\varphi = \varphi(t)$ należy korzystać ze schematu przedstawionego na rys. 4. W tym celu dzielimy oś φ poziomymi liniami równoległymi do osi czasu na odcinki o wartości $\lambda \varkappa_{\varphi}$ lub mniejsze w zależności od potrzebnej liczby punktów na wykresie $\varphi = \varphi(t)$ i numerujemy je kolejno. Na przykład przy opracowaniu obecnych wyników przyjęto podział $\lambda/4$. Następnie na osi czasu odkładamy pionowo odcinki odpowiadające kolejnym wierzchołkom sinusoidy lub np. 1/4 okresu sinusoidy w zależności od przyjętego podziału również numerując je kolejno. Przecięcia linii poziomych i pionowych o jednakowych wartościach *n* stanowią poszukiwane punkty wykresu $\varphi = \varphi(t)$. Dysponując więc trzema kanałami rejestracji można otrzymać pełne dane o przebiegu skręcania próbki. Kąt skręcenia głowicy biernej jest tak mały, że praktycznie nie wymaga rejestracji przy odpowiednio dużych kątach skręcenia próbki, wtedy fotodioda *11* nie pracuje.

Schemat blokowy układu rejestrującego przebiegi dynamiczne został przedstawiony na rys. 5. Układ jest dostosowany do jednego synchroskopu dwukanałowego.

Z korpusu wyprowadzono przewody I i 2 z fotodiod oraz przewody 3 i 4 od tensometrów elektrooporowych naklejonych na głowicach pomiarowych. Przewody z tensometrów doprowadzono na wejścia dwóch kanałów I i II trójkanałowego mostka tensometrycznego do pomiarów dynamicznych typu ZPT-147/II firmy «Chemiter» o pasmie przenoszenia od 0 do 1800 Hz 3dB. Jedno z wyjść mostka, w tym przypadku wyjście z kanału II, połączono z wejściem y kanału II synchroskopu. W obecnych badaniach użyto dwukanałowego synchroskopu typu OKD-505A firmy «Radiotechnika» o pasmie przenoszenia 0-4 MHz. Wyjście I z fotodiody połączono bezpośrednio z wejściem y kanału I synchroskopu. Wzmocnienie na kanale I synchroskopu zostało tak dobrane, aby fotodioda pracowała bez zasilania prądem stałym, przy czym do badań zostały użyte fotodiody germanowe typu FG-2 firmy «Tewa».

Przebiegi rejestrowano w ten sposób, że styk 5 był zwierany przez przechodzące wahadło, a zamknięcie obwodu powodowało jednorazowe wyzwolenie podstawy czasu w synchroskopie. Ekran lampy synchroskopu fotografowano małoobrazkowym aparatem fotograficznym.

Opisany układ wykazał pełną sprawność działania zarówno w zakresie części mechanicznej jak i pomiarowej.

3. Wyniki doświadczeń

W celu otrzymania dynamicznej krzywej umocnienia dla polikrystalicznego technicznie czystego aluminium (99,95% Al) w stanie wyżarzonym oraz dla żelaza «Armco» (0,04% C) również w stanie wyżarzonym przeprowadzono dwie serie doświadczeń. Wszystkie doświadczenia przeprowadzono na cienkościennych próbkach rurkowych o długości czynnej $l_0 = 10$ mm, średnicy zewnętrznej $d_{AI} = 18$ mm; $d_{Fe} = 13$ mm, grubości ścianki $g_{AI} = =1$ mm; $g_{Fe} = 0,5$ mm.

Po wycechowaniu układu mierzącego moment za pomocą dostawnego wahadła o znanej maksymalnej wartości momentu przeprowadzono próby dynamiczne z wyłączną rejestracją momentu skręcającego w funkcji czasu M = M(t) jednocześnie dla dwóch głowic pomiarowych. Próby te przeprowadzono dla porównania wyników z poprzednimi przewidywaniami odnośnie do traktowania procesu skręcania jako quasi-statycznego. Typowe oscylogramy z takich prób dla aluminium i żelaza przedstawiono na rys. 6 i rys. 7. Dolny kanał rejestrował przebieg skręcania z głowicy czynnej, górny z głowicy biernej. Czas skręcania w obydwu przypadkach tj. dla aluminium i żelaza wynosił około 4,5 msek. Z dolnych przebiegów można zaobserwować amplitudę i częstość drgań własnych czynnej głowicy pomiarowej o średnim okresie T = 0,27 msek. Górne przebiegi są przesunięte

³ Mechanika teoretyczna

równolegle o około 0,06 msek w stosunku do dolnych, a ich kształt nie różni się zasadniczo od przebiegów dolnych. Należy stąd wyciągnąć wniosek, że wyniki doświadczalne potwierdzają możliwość opracowania pomiarów w oparciu o założenie procesu quasi-statycznego.



Rys. 6. Oscylogram z równoczesnego pomiaru momentu skręcającego z dwóch głowic pomiarowych dla próbki aluminiowej. Na kanale górnym rejestrowano wskazania biernej głowicy pomiarowej, na dolnym czynnej



Rys. 7. Oscylogram z równoczesnego pomiaru momentu skręcającego z dwóch głowic pomiarowych dla próbki z żelaza «Armco». Na kanale górnym rejestrowano wskazania biernej głowicy pomiarowej, na dolnym czynnej

Druga seria badań, którą należy uznać za próby właściwe, polegała na dynamicznym skręcaniu serii próbek z aluminium i żelaza, aby następnie porównać otrzymane krzywe umocnienia z krzywymi statycznymi. Krzywe statyczne otrzymano na maszynie do skręcania opisanej w pracy [4], przy czym używano próbek o identycznych wymiarach jak w badaniach dynamicznych.

Rejestracja momentu skręcającego odbywała się przy użyciu głowicy pomiarowej biernej, rejestracja kąta skręcenia przy wykorzystaniu fotodiody 10 (rys. 3) i głowicy

pomiarowej czynnej. Skalowanie czasu odbywało się każdorazowo po rejestracji przebiegu skręcania przez fotografowanie na następnej klatce filmu prostokątnego przebiegu o częstotliwości wzorcowej 1000 Hz. Typowe przebiegi zarejestrowane w ten sposób zostały przedstawione na rys. 8 i 9.



Rys. 8. Oscylogramy pomiaru kąta skręcenia i momentu skręcającego dla próbki aluminiowej oraz skalowania czasu przebiegiem prostokątnym o częstotliwości wzorcowej 1000 Hz



Rys. 9. Oscylogramy pomiaru kąta skręcenia i momentu skręcającego dla próbki z żelaza «Armco» oraz skalowania czasu przebiegiem prostokątnym o częstotliwości wzorcowej 1000 Hz

Pomiar otrzymanych fotogramów odbywał się na dużym mikroskopie pomiarowym z praktyczną dokładnością $\pm 0,003$ mm. Taka dokładność wraz z odpowiednio dokładnym systemem cechowania gwarantuje dokładność pomiaru naprężenia tnącego $\Delta \tau_{\rm Fe} \approx 2,5\%$ dla żelaza oraz $\Delta \tau_{\rm Al} \approx 3\%$ dla aluminium w obydwu przypadkach przy odkształceniu $\varphi \approx 0,10$.

W wyniku pomiarów otrzymywano informacje o dwóch rejestrowanych przebiegach w czasie, mianowicie funkcje M = M(t) oraz $\varphi = \varphi(t)$. Odpowiednie czasy obliczano ze wzoru $t = \varkappa_t x$ znając podziałkę czasu \varkappa_t z przebiegu cechowania czasowego; współrzędna x jest liczona od momentu rozpoczęcia procesu skręcania. Po wyrugowaniu czasu otrzymano dynamiczne krzywe umocnienia, które zostały pokazane wraz z krzywymi statycznymi na rys. 10 i 11. Liczby przy odpowiednich punktach dynamicznej krzywej umocnienia oznaczają czas w milisekundach, który upłynął od początku procesu skręcania próbki. Aby równocześnie wyznaczyć funkcje historii prędkości $d\varphi/dt = \eta(\varphi)$, które są niezbędne do otrzymania kompletnych informacji o zachowaniu się badanych

3*



Rys. 10. Statyczna i dynamiczna krzywa umocnienia dla badanego aluminium (liczby przy punktach oznaczają czas w milisekundach liczony od początku procesu skręcania, $\overline{\eta}_{dyn}$ oznacza średnią prędkość odkształcenia w warunkach dynamicznych, η_{stat} — prędkość odkształcenia dla warunków statycznych)

metali w warunkach dynamicznych, sporządzono wykresy $\varphi(t)$ i następnie różniczkowano je wykreślnie. Otrzymane w ten sposób funkcje $\eta = \eta(\varphi)$ dla aluminium i żelaza «Armco» przedstawiono na rys. 12 i 13.

Z przedstawionych wykresów wynika, że maksymalne prędkości odkształcenia w obecnych badaniach są rzędu 80 sek⁻¹. Średnie prędkości odkształcenia zostały podane na rysunkach. Charakterystyczne zmiany prędkości odkształcenia wraz ze wzrostem odkształcenia, tj. istnienie minimum, pozwalają w pierwszym przybliżeniu na traktowanie otrzymanych krzywych umocnienia jako krzywych dla średnich prędkości odkształcenia. Opierając się na tym założeniu sporządzono dla aluminium wykres czułości na prędkość n w funkcji odkształcenia $n = n(\varphi)$. Czułość na prędkość n jest definiowana jako

(5)
$$n = \frac{\partial \log \tau}{\partial \log \eta}$$
 lub $n = \frac{\log \frac{\tau_2}{\tau_1}}{\log \frac{\eta_2}{\eta_1}}, \quad \eta_2 > \eta_1, \quad T = \text{const.}$

Z założenia funkcja $n = n(\varphi)$ w stałej temperaturze T nie powinna zależeć od odkształcenia (por. np. praca [5]). Wykres ten przedstawiono na rys. 14, przy czym do obliczeń przyjmowano wartości $\eta_2 = 33,0$ sek.⁻¹, $\eta_1 = 1,66 \cdot 10^{-5}$ sek⁻¹. Ponieważ wartości n praktycznie nie zmieniają się ze wzrostem odkształcenia, przeto należy uznać, że otrzymany wynik dla aluminium jest zgodny z przewidywaniami.



Rys. 11. Statyczna i dynamiczna krzywa umocnienia dla żelaza «Armco», liczby przy punktach oznaczają czas w milisekundach liczony od początku procesu skręcania, $\overline{\eta}_{dyn}$ oznacza średnią prędkość odkształcenia w warunkach dynamicznych, η_{stat} — prędkość odkształcenia dla warunków statycznych





W przypadku żelaza «Armco» widoczny jest wyraźny wzrost zarówno górnej jak i dolnej granicy plastyczności, stosunek górnych granic plastyczności wynosi $(\sigma_{dyn}/\sigma_{stat})_{(p1)} =$ = 2,95, a stosunek dolnych $(\sigma_{dyn}/\sigma_{stat})_{(p1)} =$ 2,29. Charakterystycznym faktem jest to,



Rys. 13. Zmiany prędkości odkształcenia w funkcji odkształcenia $\eta = \eta(\varphi)$ dla próbki z żelaza «Armco»

że krzywa umocnienia otrzymana w warunkach dynamicznych leży poniżej górnej granicy plastyczności $\sigma_{(p1)dyn}$. Zjawisko takie jest najprawdopodobniej wywołane dużą sztywnością układu mechanicznego skręcającego próbkę. Jak wspomniano poprzednio, duża sztywność głowic jest korzystna ze względów pomiarowych. Zakończenie procesu skręcania przy odkształceniu $\varphi \approx 0,10$ zostało podyktowane jedynie przez geometrię układu krzywka-



Rys. 14. Otrzymane wartości czułości na prędkość n w funkcji odkształcenia dla badanego aluminium

bijak i nie jest spowodowane zniszczeniem próbki, jak mogłoby się wydawać z kształtu krzywej umocnienia. Zmniejszenie się naprężenia plastycznego płynięcia w zakresie odkształceń $\varphi \approx 0,10$ jest prawdopodobnie spowodowane relaksacją naprężenia wskutek zmniejszenia się prędkości odkształcenia.

4. Wnioski

W wyniku przeprowadzonej dyskusji i przytoczonych rezultatów doświadczeń można podać następujące wnioski:

1. Obrany system części mechanicznej urządzenia oraz system pomiarowy okazały się prawidłowe i wykazały pełną sprawność.

2. Na opisanym urządzeniu do dynamicznego skręcania uzyskano maksymalne prędkości odkształcenia rzędu 100 sek⁻¹. Zasada pracy układu pomiarowego pozwala na skręcanie i pomiar przebiegu z maksymalną prędkością odkształcenia rzędu 500 sek⁻¹.

3. Opisane urządzenie może stanowić podstawę dla konstrukcji maszyny do skręcania w dużym zakresie prędkości odkształcenia.

4. W wyniku doświadczeń otrzymano krzywe umocnienia dla aluminium i żelaza «Armco» przy maksymalnych prędkościach odkształcenia rzędu 80 sek⁻¹. Krzywe te porównano z krzywymi statycznymi dla tych metali.

Wśród pozostałych czynników, które należałoby wymienić niewątpliwie istotnym faktem jest stały przekrój próbki w próbie skręcania. Zagadnienie to jest ważne w badaniach dynamicznych, gdyż stały przekrój próbki nie pociąga za sobą efektu bezwładności poprzecznej. Efekt ten istnieje w próbkach ściskanych bądź rozciąganych i może nieco zmieniać stan naprężeń w próbce.

Otrzymane dynamiczne krzywe umocnienia przy skręcaniu cienkościennych próbek rurkowych, można porównać z wynikami otrzymanymi z prób na ściskanie lub rozciąganie. Jak wspomniano na wstępie, zagadnienie to jest szczególnie ważne z punktu widzenia teorii plastyczności.

Literatura cytowana w tekście

- 1. P. E. BENNET, G. M. SINCLAIR, An analysis of the time and temperature dependence of the upper yield poin of iron, Trans. ASME, 4, 83 D (1961), 557.
- 2. M. ITIHARA, Impact torsion test, Technology Rep. Tohoku Imp. Univ., 1, XI (1933), 16 (part 1); 4, XI (1933), (parts 2, 3, 4).
- 3. J. KLEPACZKO, Czujnik ekstensometryczny z fotodiodą do pomiarów statycznych i dynamicznych, Pomiary Automatyka Kontrola, 11, 12 (1966), 466.
- J. KLEPACZKO, Wplyw zmian prędkości odksztalcenia na krzywą umocnienia aluminium, Rozprawa doktorska, IPPT PAN (1965).
- 5. J. KLEPACZKO, O potęgowej postaci mechanicznego równania stanu z uwzględnieniem temperatury, Rozpr. Inżyn., 3, 13 (1965), 561.
- 6. G. MIMA, S. HORI, Some torque-twist relations on low temperature dynamic torsion test of low carbon steel, Techn. Rep. Osaka Univ., 638-657, 15 (1965), 37.
- 7. C. E. WORK, T. J. DOLAN, Applications of experimental stress analysis to torsion research, Proc. SESA, 1, 12 (1954), 79.

Резюме

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА КРУЧЕНИЕ

В статье дано описание конструкции и принципа действия устройства для динамических испытаний образцов на кручение. Объяспена техника измерений, а также проведен анализ системы с точки зрения распространения волн сдвига.

JANUSZ KLEPACZKO

Устройство задумано как дополнительная приставка для повсеместно используемого копра "Шарпи" тип *PSW* 30 производства фирмы *WPM* Лейпциг. Конструктивная схема использусмая в данном устройстве может служить основой для конструкции стенда способного скручивать образцы в широком интервале скоростей деформаций. Максимальные скорости деформации сдвига полученные в описываемом устройстве равны ок. 100 сек⁻¹, однако принцип действия регистрирующей системы дает возможность исследования процесса кручения при скорости деформаций до 500 сек⁻¹.

В заключение статьи обсуждены результаты испытаний железа »Armco« и поликристаллического алюминия (99.95% *Al*). Построеные на основе опытов динамические кривые упрочнения этих металлов сравниваются со статическими кривыми.

Summary

IMPACT TORSION TEST APPARATUS

The paper contains description of the design and working principles of an apparatus for impact torsion test. The mechanical design and measuring technique is discussed along with a short analysis of the shear waves propagation in the device.

The apparatus is applied to an ordinary Charpy hammer with the energy capacity 30 kgm. The design principles of the device may be used as the basis for designing of the torsion testing machines with large strain rate range up to 500 sec⁻¹. Using present device a maximum strain rate equal to 100 sec⁻¹ has been reached.

At the end of the paper some experimental results for the Armco iron and policrystaline aluminium (99.95% Al) are presented. For both metals dynamic stress-strain curves have been obtained and later compared with the static curves.

ZAKŁAD MECHANIKI OŚRODKÓW CIĄGŁYCH INSTYTUTU PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI PAN

Praca została złożona w Redakcji dnia 30 grudnia 1966 r.