

WPLYW WSTĘPNEGO ODKSZTAŁCENIA PLASTYCZNEGO NA ENERGIĘ UDAROWEGO ZRYWANIA

EWA DRESCHEROVA (WARSZAWA)

1. Wprowadzenie

Zagadnienie wpływu wstępnych odkształceń plastycznych na własności mechaniczne stali posiada dość obszerną literaturę w aspekcie ważnego z technicznego punktu widzenia zagadnienia kruchości stali, pracujących pod udarowymi obciążeniami w obniżonych temperaturach. Istnieje wiele prac stwierdzających, że wstępne odkształcenie plastyczne i odpowiednia obróbka cieplna przesuwają krytyczną temperaturę kruchości w kierunku wyższych temperatur i dyskutujących możliwości polepszenia własności mechanicznych stali, przeznaczonych do pracy w opisanych warunkach. Omawia je między innymi monografia WŁADIMIRSKIEGO [2]. Zagadnienie zależności energii udarowego rozrywania od wstępnych odkształceń plastycznych w dostępnej literaturze jest traktowane jako margines szerszych badań kruchego pęknięcia stali. W niniejszej pracy ograniczono się do zbadania wpływu wstępnych odkształceń plastycznych przez rozciąganie na energię zniszczenia udarowego stali MSt 4 w stanie nieżarzonej. Analiza tego zagadnienia pozwala ocenić własności elementów konstrukcyjnych wykonanych metodą tłoczenia na zimno, bez późniejszej obróbki cieplnej i pracujących w warunkach obciążeń dynamicznych.

2. Metoda badań

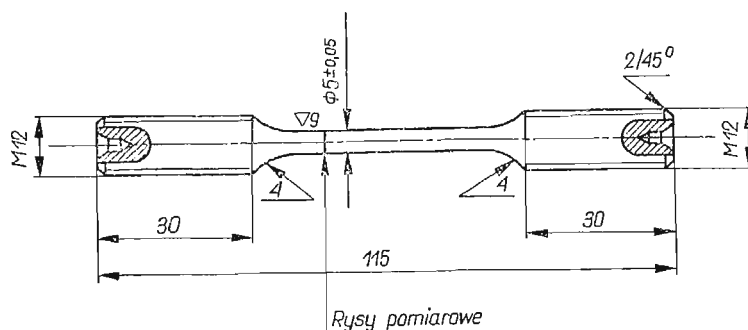
Rozciąganie statyczne powodujące wstępne odkształcenie plastyczne w próbce prowadzono na 10 tonowej zrywance hydraulicznej ze średnią prędkością wydłużenia 0,3 mm/min.

Badania udarnościowe prowadzono na młocie Charpy'ego dostosowanym do udarowego rozrywania o podwójnym zakresie energii od 0–15 KGm i 0–30 KGm ze stałą początkową prędkością uderzenia 5 m/sek. W celu uzyskania miarodajnych wyników stosowano przeciętnie cztery próbki dla każdej badanej wartości odkształcenia. Ze względu na zagadnienie starzenia materiału zachowano stały dla wszystkich próbek przedział czasu wynoszący jedną godzinę pomiędzy próbą statyczną a udarnościową. W rozważaniach pominięto efekty cieplne. Badania wykonano dla 84 próbek.

3. Pomiar odkształceń plastycznych i energii odkształcenia

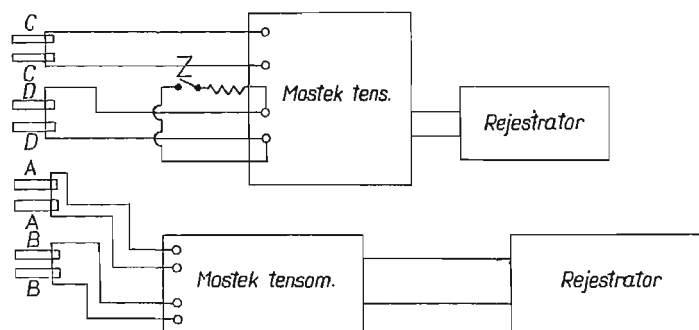
Typową próbkę stosowaną w badaniu udarnościowym na rozrywanie na młocie Charpy'ego (rys. 1) przystosowano do badań statycznych. Do pomiaru wstępnych odkształceń plastycznych używano tensometru mechanicznego firmy «Amsler» na bazie

40 mm i o dokładności odczytu 0,01 mm, zakładanego bezpośrednio na próbkę. W trakcie próby rozciągania odczytywano równocześnie wartości siły i wydłużenia, co pozwalało konstruować dla każdej próbki dokładny wykres $P = P(\Delta l)$. Ponieważ praca miała na celu uzyskanie ilościowej zależności energii udarowego rozrywania od wstępnych odkształceń



Rys. 1

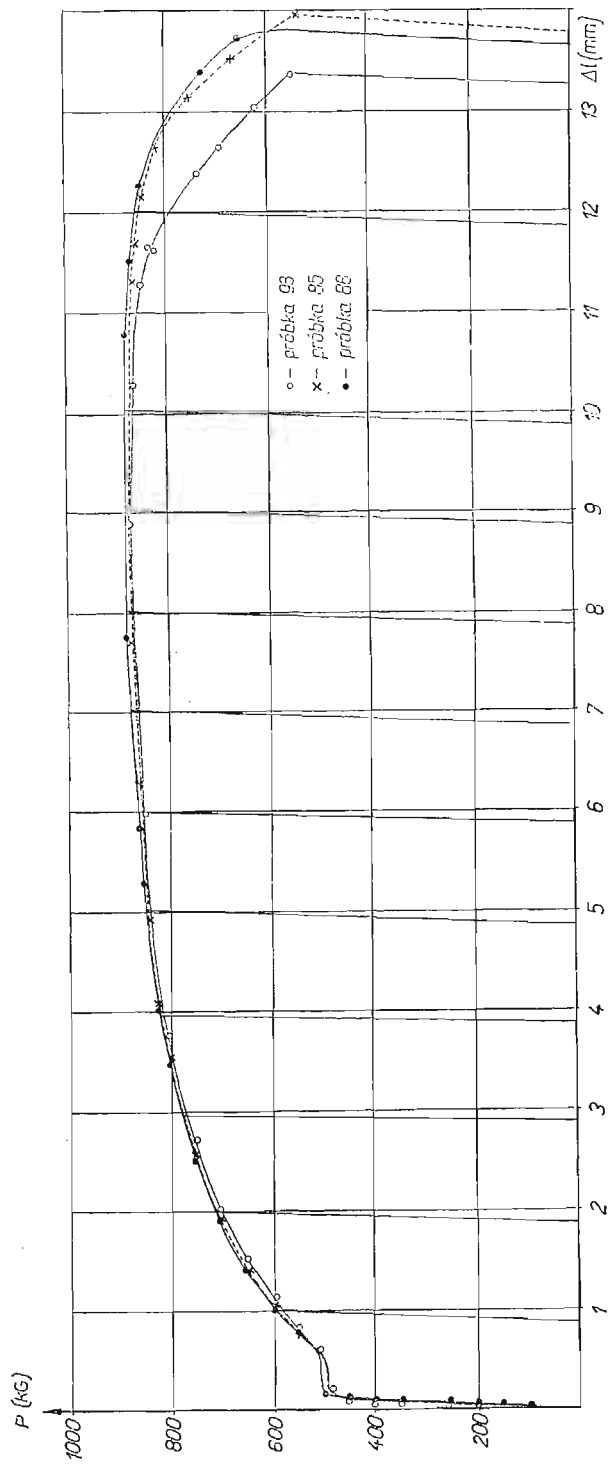
plastycznych, dokładny pomiar wartości zastosowanych odkształceń stanowił istotny problem. Opisany tensometr mechaniczny pozwalał mierzyć odkształcenia jedynie do wartości 10%. Skonstruowano więc przyrząd pozwalający mierzyć wydłużenia próbki aż do momentu zerwania (rys. 2).



Rys. 2

Badaną próbkę otaczały dwie sprężyste obejmy z cienkiej blachy mosiężnej, na których umieszczono po dwa tensometry oporowe *A* rozciągane, *B* ściskane. Po obu stronach próbki umieszczono ponadto w specjalnym uchwycie dwa mechaniczne czujniki o dokładności 0,01 mm.

Do ciągłej rejestracji odkształceń służył zestaw przedstawiony na rys. 2. Zmiany napięcia w obwodzie tensometrów proporcjonalne do wydłużenia próbki przekazywano na wejście mostka tensometrycznego pracującego w układzie z rejestratorem. W celu zwiększenia dokładności rejestracji odkształceń pomimo liniowego zakresu pracy tensometrów



Rys. 3

prowadzono dla każdej próbki odczyty wartości wydłużenia Δl z dokładnością 0,005 mm (średnia obu czujników) równocześnie z odczytami wartości przyrostów siły. Pozwalało to dla różnych zakresów odkształceń dobrać jak najszersze wychylenia pisaka rejestratora. Jednakże w zakresie małych odkształceń wygodniej było posługiwać się czujnikiem mechanicznym ze względu na pewne trudności występujące przy wzmacnianiu małych impulsów prądu stałego. Prędkość przesuwu taśmy rejestratora wynosiła 3600 mm/godz. Na uzyskanym wykresie rejestratora zapisującego wydłużenie w funkcji czasu można wyróżnić poszczególne fazy procesu rozciągania: początkowo krzywa ma przebieg prawie poziomy, widoczny wzrost odkształceń zaczyna się w momencie przekroczenia przystanku plastyczności. Zmiana kąta nachylenia krzywej w obszarze dużych odkształceń świadczy o rozpoczęciu się procesu nieustalonego płynięcia. Wartość wydłużenia w momencie rozerwania jest określona jednoznacznie z dokładnością do 0,1 mm. Podobny odczyt końcowej wartości wydłużenia w momencie zniszczenia próbki przy stosowaniu czujników mechanicznych jest niemożliwy ze względu na zbyt dużą prędkość wydłużenia w momencie tworzenia się szyjki.

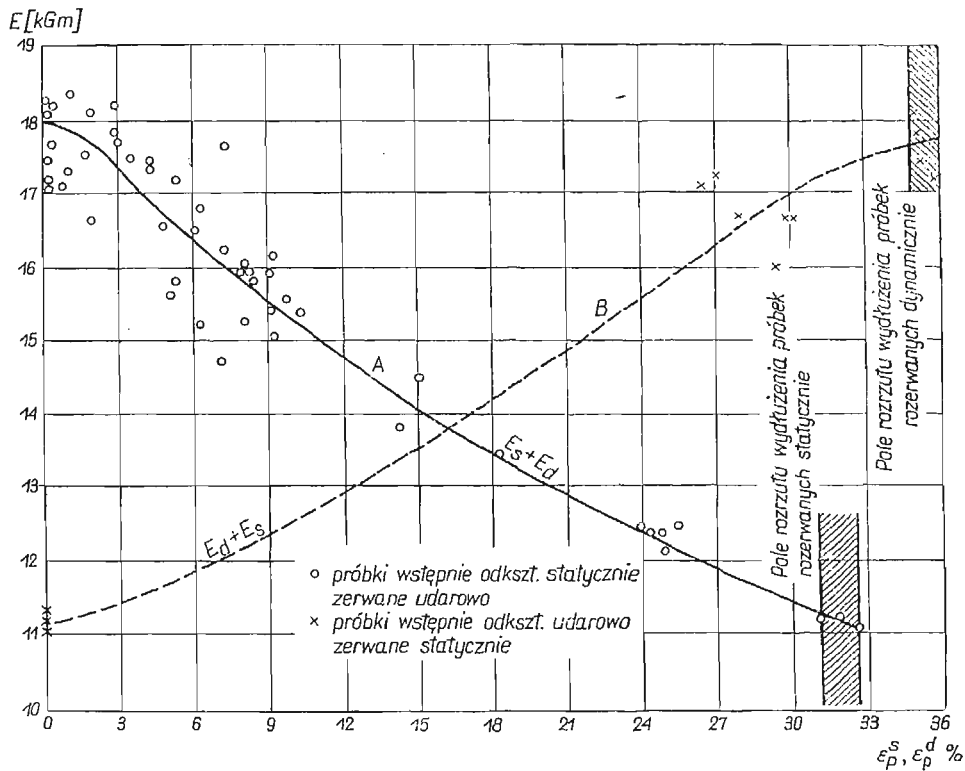
W celu uzyskania ciągłej w czasie rejestracji przyrostów siły obciążającej naklejono cztery tensometry oporowe na pracujący sprężyscie reduktor gwintu między próbką a szczękami zrywarki. Użyto rejestratora pracującego w układzie z mostkiem. W obwodzie rejestratora wbudowano znacznik kreślący pionową kreską na wykresie $P = P(t)$ punkty o przyporządkowanej wartości siły co 50 kg. Zaletą tego typu rejestracji $P = P(t)$ jest dokładny opis odciążania w procesie powstawania i propagowania się szyjki, jak również rejestracja siły maksymalnej i siły zrywającej. Zsynchronizowanie prędkości przesuwu taśm obu rejestratorów pozwoliło wyeliminować czas z wykresów $P = P(t)$, $\Delta l = \Delta l(t)$ i skonstruować wykres $P = P(\Delta l)$ dla każdej badanej próbki. Tak uzyskane wykresy planimetryowano, aby wyznaczyć pracę odkształcenia równoważną energii zaabsorbowanej przez próbkę w procesie rozciągania do danej wartości wstępnego odkształcenia. Otrzymana tą drogą energia odkształcenia statycznego mogła być porównana z energią pochłoniętą przez próbkę w próbie następnego udarowego rozrywania. Odkształcono statycznie aż do zerwania trzy próbki, których wykresy rozciągania przedstawia rys. 3. Pole zawarte pomiędzy osią odkształceń a wykresami rozciągania przedstawia wartość energii pochłoniętej przez próbkę zniszczoną statycznie.

Dzieląc wykres (rys. 3) na odcinki, a tym samym pole na części zależne od wartości umownego wstępnego odkształcenia plastycznego, uzyskano możliwość określenia wpływu wstępnych odkształceń plastycznych na całkowitą energię zrywania statycznego, co przyjęto za podstawę porównania wartości energii dwu różnych programów doświadczenia: wstępnego odkształcenia statycznego i zniszczenia udarowego oraz wstępnego odkształcenia statycznego i zniszczenia statycznego. Wykonano również próby mające na celu zbadanie próbek wstępnie odkształconych dynamicznie, a następnie zniszczonych przez statyczne rozerwanie.

4. Wyniki badań

Krzywa A na rys. 4 przedstawia uzyskaną zależność całkowitej energii, równej sumie energii statycznej i udarowej $E_s + E_d$ od wartości wstępnego odkształcenia plastycznego ϵ_p^s . Przez

energię statyczną należy rozumieć energię zaabsorbowaną przez próbkę w procesie statycznego rozciągania, przez energię udarową energię zaabsorbowaną przy zerwaniu na młocie. Na rysunku oznaczono pole rozrzutu wydłużenia próbek rozerwanych statycznie. Godnym uwagi jest malejący charakter przebiegu krzywej *A* od wartości 18 kGm dla próbek zerwanych dynamicznie do 11 kGm dla próbek zerwanych statycznie. Oczywiście jest, że podobny wykres skonstruowany na podstawie rys. 3 dla próbek wstępnie odkształconych statycznie i zerwanych statycznie będzie linią prostą równoległą do osi wstępnych odkształceń. Zgodnie z wynikami prac [1 i 3] przyczyną dużej różnicy charakteru przebiegu omó-

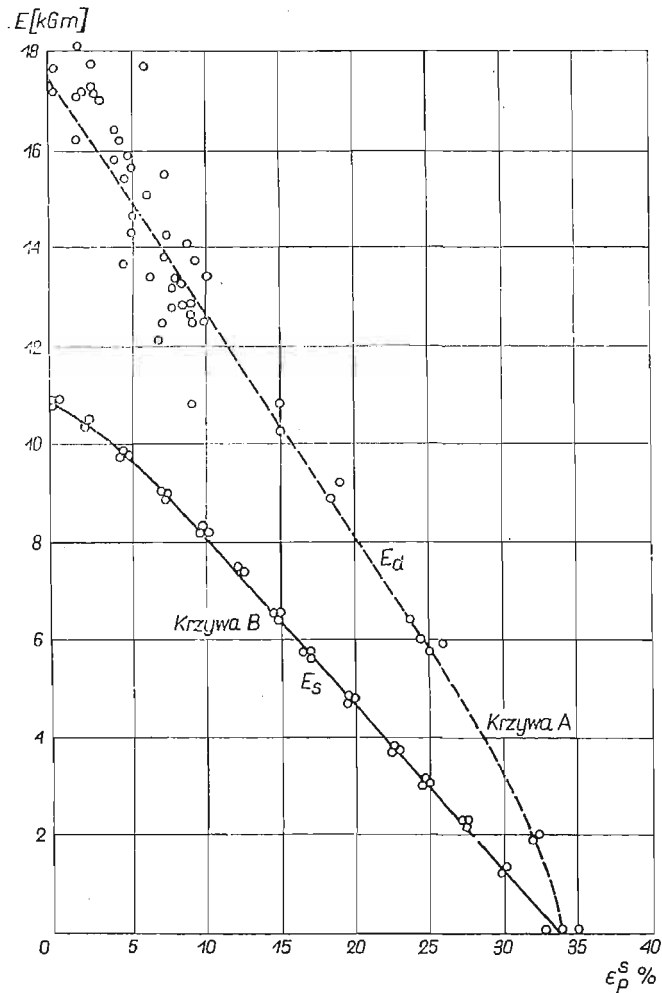


Rys. 4

wionych krzywych jest wrażliwość badanej stali na prędkość odkształcenia, co będzie jeszcze dyskutowane poniżej. Wydaje się być również godnym uwagi zbadanie odwrotnej zależności: wpływu wstępnych dynamicznych odkształceń plastycznych ϵ_p^d na energię późniejszego statycznego rozrywania. W przybliżeniu określono kształt krzywej E całkowita = $E_d + E_s$, w przypadku odwrotnego obciążenia (linia *B* na rys. 4). Minimalną energią całkowitą będzie jak poprzednio energia próbki zniszczonej statycznie, maksimum przypadnie na próbkę rozerwaną dynamicznie. Przy zachowaniu warunku stałej początkowej prędkości wydłużenia odkształcono wstępnie dynamicznie pięć próbek do wartości $\epsilon_p^d = 26,5-30\%$, a następnie rozerwano je statycznie. Linią przerywaną *B*, rys. 4, przedstawiono

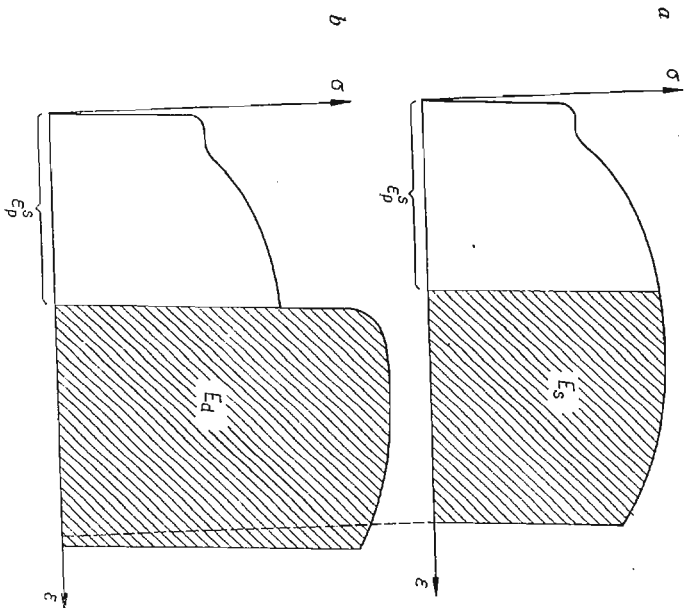
przewidywaną zależność energii całkowitej od wstępnego odkształcenia dynamicznego. Na rysunku 4 oznaczono ponadto pole rozrzutu wydłużenia próbek rozerwanych dynamicznie. Łatwo zauważyć, że wydłużenie próbki rozerwanej dynamicznie jest większe niż wydłużenie próbki zerwanej statycznie.

Krzywa *A* na rys. 5 przedstawia energię udarowego zrywania próbek E_d (por. rys. 6b) w zależności od wielkości wstępnych odkształceń plastycznych uzyskanych przez statyczne

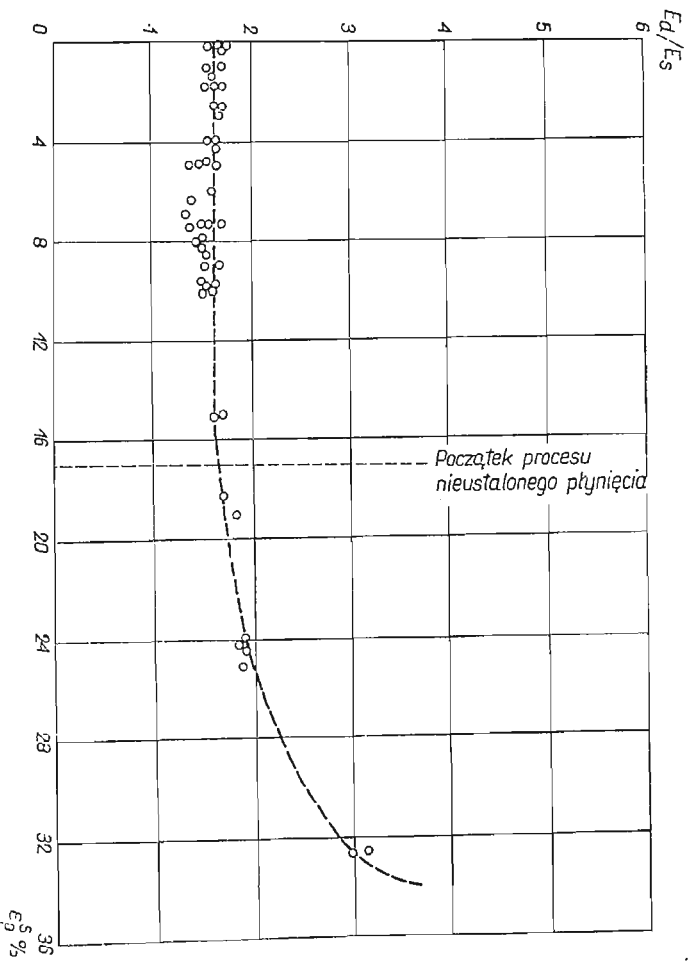


Rys. 5

rozciąganie. Energia dynamiczna, jak tego należało oczekiwać, wyraźnie maleje. Krzywa *B* na rys. 5 przedstawia skonstruowaną na podstawie wykresu 3 zależność energii statycznego zniszczenia E_s (por. rys. 6a) od wstępnych odkształceń plastycznych uzyskanych przez statyczne rozciąganie. Wielkość energii E_s wyznaczano w następujący sposób z rys. 3:



Rys. 6



Rys. 7

Podzielone na 13 części pole równoważne energii statycznej planimetryowano kolejno wycinkami odkładając na rys. 5 wartości energii uzyskanej z odjęcia od całkowitego pola wycinków odpowiadających określonym wartościom wstępnych odkształceń, np.: dla przypadku zerowych wstępnych odkształceń punkty na krzywej B przedstawiają całkowitą energię zniszczenia przez statyczne rozciąganie. Na rysunku 5 wyraźnie widać istotne różnice w energiach oraz w kątach nachylenia obu krzywych.

Rysunek 6a przedstawia uproszczony wykres rozciągania miękkiej stali. Zakreskowane pole rys. 6b przedstawia wartość energii E_d zaabsorbowanej przez próbkę podczas udarowego rozrywania. Uproszczony wykres rozciągania w próbie dynamicznej skonstruowano na podstawie doświadczeń Campbella-Duby'ego [1]. Rozpatrując kolejno różne wartości wstępnych odkształceń statycznych na rys. 6b uzyskano podobną w charakterze przebiegu i kącie nachylenia zależność pomiędzy wstępnym odkształceniem plastycznym a energią rozrywania udarowego.

Na podstawie krzywych A i B z rys. 5 skonstruowano wykres stosunku energii udarowej E_d do energii statycznej E_s dla tych samych wartości wstępnych odkształceń (rys. 7). W zakresie $\varepsilon_p^s \sim 0-17\%$ stosunek ten przyjmuje w przybliżeniu wartość stałą. Począwszy od $\varepsilon_p^s = 20\%$ rozpoczyna się wzrost ilorazu. Punkty o rzędnej $\varepsilon_p^s = 32,5\%$ zostały zdjęte dla próbek odkształconych wstępnie aż do momentu wystąpienia wyraźnej szyjki.

5. Wnioski

1. Krzywa A na rys. 5 przedstawia ilościową zależność pomiędzy wstępnym odkształceniem plastycznym a energią udarowego rozrywania dla stali MSt 4. Przeprowadzone badania doświadczalne są jedyną drogą ilościowego ujęcia omawianego wpływu i jako takie mogą stanowić pomoc przy ocenie własności elementów konstrukcyjnych wykonanych metodą tłoczenia na zimno i pracujących w warunkach dynamicznych obciążeń.

2. Malenie całkowitej pracy odkształcenia plastycznego $E_s + E_d$ w miarę wzrostu wstępnych odkształceń plastycznych przez statyczne rozciąganie świadczy o wrażliwości badanej stali na prędkość odkształcenia.

3. Wzrost ilorazu przedstawionego na rys. 7 dla dużych wstępnych odkształceń plastycznych, przy których pojawia się w próbce i propaguje szyjka, świadczy o tym, że dla złożonego stanu naprężenia, jaki ma miejsce w próbce w momencie utworzenia się szyjki, nie zachowuje się wzajemna relacja pomiędzy próbą statyczną i dynamiczną obowiązująca dla jednoosiowego stanu naprężenia.

Literatura cytowana w tekście

1. J. D. CAMPBELL, J. DUBY, Proc. Royal Soc., London, Vol. 236, VI, 1956.
2. Т. А. ВЛАДИМИРСКИЙ, *Хрупкость сталей*, Машгиз, Москва 1959.
3. Ю. Я. ВОЛОШЕНКО-КЛИМОВИЦКИЙ, *Динамический предел текучести*, Издательство «Наука», Москва 1965.

Резюме

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИИ НА ЭНЕРГИЮ
РАЗРУШЕНИЯ ПРИ УДАРНОМ РАЗРЫВЕ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния предварительных пластических деформаций на энергию разрушения при ударном разрыве образца. Исследовались образцы из мягкой стали МСт 4. Проведено сравнения энергии разрушения при статическом и динамическом разрыве.

Результаты опытов показывают что отношение этих энергии постоянно для малых и средних величин предварительных пластических деформаций. Для больших предварительных пластических деформаций соответствующих появлению шейки, наблюдается отчетливое возрастание отношения энергии динамического разрушения к энергии статического разрушения.

Summary

THE INFLUENCE OF THE INITIAL PLASTIC DEFORMATION ON THE FRACTURE ENERGY
IN TENSION IMPACT TEST

Some results of the experimental investigation of the influence of the initial plastic deformation on the fracture energy in tension impact test are presented. The material tested was the mild steel MSt 4.

The static and dynamic fracture energies were compared. It was found, that the ratio of both energies is constant for small and medium values of the initial plastic deformations. If the initial deformation is so large that necking effect appears, the ratio of both energies displays considerable increase.

ZAKŁAD MECHANIKI OŚRODKÓW CIĄGŁYCH
INSTYTUTU PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI PAN

Praca została złożona w Redakcji dnia 24 czerwca 1966 r.
