

POLSKA METALURGIA W LATACH 2002 - 2006

Redaktor Wydania:

K. Świątkowski

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Redaktorzy Działów:

M. Blicharski, K. Fitzner, W. Kapturkiewicz, M. Pietrzyk

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

J. Kazior

Politechnika Krakowska

**KOMITET METALURGII
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

ZDOLNOŚĆ MAGAZYNOWANIA ENERGII PODCZAS ROZCIĄGANIA TYTANU PO WYCISKANIU PRZEZ MATRYCĘ SKRĘTNĄ

W. OLIFERUK¹, Y. BEYGELZIMER², M. MAJ¹, S. SYNKOV²,
A. RESHETOV², Z. PAKIEŁA³

¹ Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Polska Akademia Nauk,
ul. Świętokrzyska 21, 00-049 Warszawa, Polska,

² Fizyko-techniczny Instytut, Ukrainńska Akademia Nauk,
ul. R. Luxemburg 72, 83114 Donieck, Ukraina,

³ Wydział Inżynierii Materiałowej, Politechnika Warszawska,
ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa, Polska.

Abstract

The presented work is devoted to experimental studies of the energy storage process in the tensile test of the ultrafine-grained (UFG) titanium in comparison with the coarse-grained one. The UFG titanium was obtained using severe plastic deformation method (SPD) called twist extrusion (TE) that is briefly presented.

The experiments were performed on three groups of titanium specimens. Two of them (T1 and T2) were cut from the materials obtained by TE method. The T1 titanium was processed by 4 passes through the left twist die, whereas for the T2 titanium the twist direction was changed after the first pass. The last group (T0) was prepared from the annealed sheet of coarse-grained titanium. It was noticed that mechanical properties of the material underwent TE differs considerably from properties of the coarse-grained one. It was observed that yield point obtained for specimens after TE is about 30% higher than that for coarse-grained material. However, the ultimate elongation decrease was observed for both groups of specimens after TE (T1 ~ 60%, T2 ~ 25%) with respect to T0 ones.

The energy storage investigations show the differences in the energy storage rate for T1 and T2 specimens. In the case of T1 specimens the energy storage rate decreases rapidly with strain whereas for T2 specimens (where twist direction was changed) the energy storage rate remains constant at the homogeneous deformation range. The experimental results show that the change of the twist direction during TE may improve the mechanical properties of the material. The constant rate of energy storage in specimens after twist direction change may be macroscopic manifestation of homogeneous and more stable structure of the material.

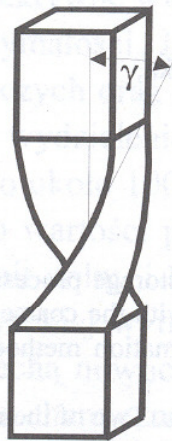
1. Wstęp

Metale i stopy poddane dużemu odkształceniu charakteryzują się ultradrobną strukturą o wielkości ziarna 1 μm lub mniejszej oraz podwyższonymi właściwościami fizycznymi i mechanicznymi. Podstawowym problemem otrzymywania ultradrobnoziarnistych materiałów metodami wykorzystującymi duże odkształcenia plastyczne jest niewielka objętość uzyskiwanego materiału i jego niejednorodność. Możliwość uzyskania stosunkowo dużej objętości tego materiału stwarza wyciskanie hydro mechaniczne przez matrycę skrętną. W literaturze anglojęzycznej metoda ta jest nazywana „twist extrusion” TE.

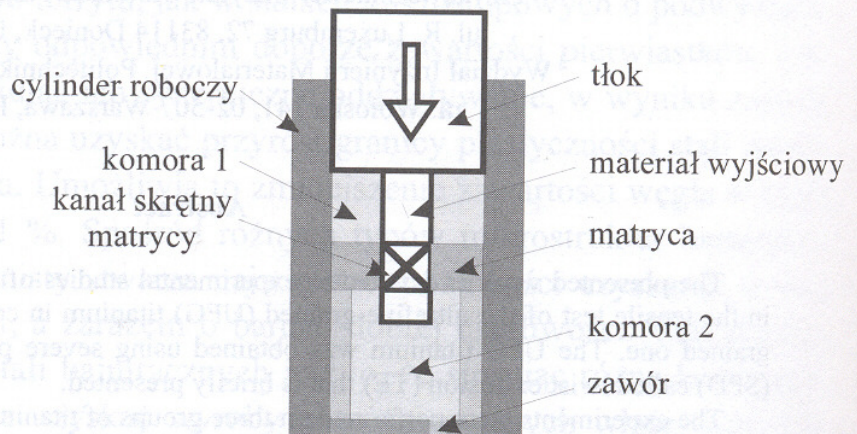
Celem niniejszej pracy jest przedstawienie metody TE oraz zbadanie zdolności magazynowania energii podczas rozciągania tytanu poddanego czterokrotnej obróbce TE bez zmiany kierunku skrętu oraz ze zmianą tego kierunku po pierwszym przejściu i porównanie otrzymanych wyników z wynikami dla tytanu nie poddanego wyciskaniu.

2. Opis wyciskania hydro-mechanicznego przez matrycę skrętną

Kształt kanału matrycy skrętnej przedstawiono na rys. 1, zaś schemat urządzenia do wyciskania hydro-mechanicznego – na rys. 2.



Rys. 1. Kształt kanału matrycy.



Rys. 2. Schemat urządzenia do wyciskania hydromechanicznego.

Materiał przeznaczony do obróbki jest przeciskany przez kanał matrycy za pomocą tłoka. Matrycę i obrabiany materiał umieszcza się w cylindrze roboczym, zawierającym dwie połączone ze sobą komory (rys. 2) wypełnione cieczą pod ciśnieniem ok. 1000 MPa. Ciśnienie będące rezultatem ściskania cieczy tłokiem pozwala uzyskać znaczne deformacje materiału nie powodując pęknięć. Podczas pojedynczego procesu wyciskania obrabiany materiał opuszcza pierwszą komorę i przechodzi do komory drugiej, jednocześnie tłok przesuwa się do górnej płaszczyzny matrycy. Na początku kolejnego procesu tłok powraca do swojego pierwotnego położenia.

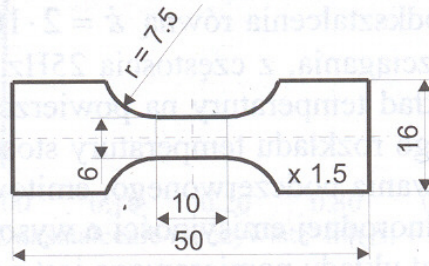
Średnia wartość odkształcenia ścinającego po jednym przejściu materiału przez kanał wynosi $A \approx \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \text{tg} \gamma_{\max}$, gdzie γ_{\max} jest maksymalną wartością kąta między linią skrętu i osią wyciskania [1].

3. Przygotowanie próbek

Do badań wybrano technicznie czysty tytan o średniej wielkości ziarna równej 25 μm i maksymalnej zawartości domieszek: 0,18 wt. % Fe, 0,12 wt. % O, 0,04 wt. % N, 0,07 wt. % C, 0,01 wt. % H.

Przygotowano trzy rodzaje próbek. Próbkę T1 wycięto z tytanu, który poddano czterokrotnemu hydro-mechanicznemu wyciskaniu przez lewoskrętny kanał matrycy.

Próbki T2 wycięto także z materiału poddanego czterokrotnemu wyciskaniu z tym, że po pierwszym przejściu, zmieniono kierunek skrętu. Próbki T0, jako próbki odniesienia, przygotowano z tytanu wyżarzonego; nie poddanego żadnej obróbce. Kształt i wymiary wszystkich próbek były jednakowe (rys. 3).



Rys. 3. Kształt i wymiary próbek.

4. Zdolność magazynowania energii

Podczas odkształcenia plastycznego część energii w_p zużytej na to odkształcenie jest rozpraszana w postaci ciepła q_d , reszta zaś, zwana energią zmagazynowaną e_s , pozostaje w materiale.

$$e_s = w_p - q_d \quad (1)$$

Miarą przemiany energii w dowolnym punkcie procesu odkształcenia jest wielkość de_s/dw_p , zwana zdolnością magazynowania energii. Wielkość ta może być stosowana jako miara stabilności mikrostruktury [2]. Wyznaczenie de_s/dw_p wymaga znajomości zależności e_s od w_p . Zależność tę można otrzymać stosując opracowaną w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN, doświadczalną metodę wyznaczania energii zmagazynowanej podczas rozciągania, bez użycia kalorymetru.

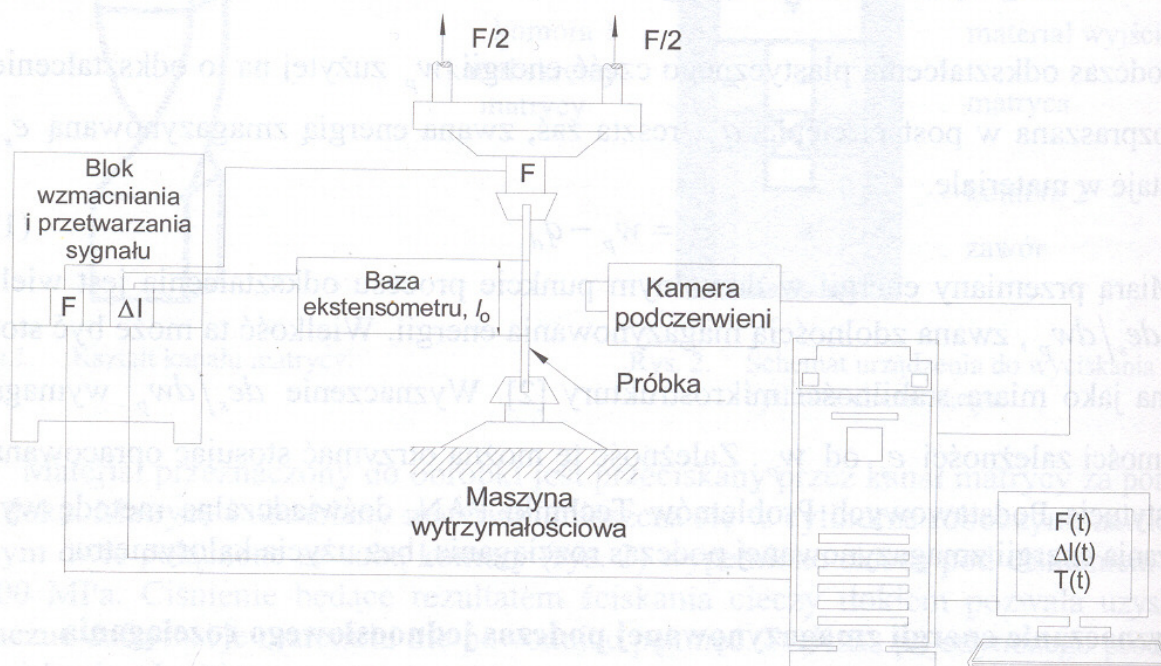
5. Wyznaczanie energii zmagazynowanej podczas jednoosiowego rozciągania

Stosowana metoda jest oparta na pierwszej zasadzie termodynamiki, patrz wzór (1). Zakładając, że własności sprężyste materiału nie zależą od zmian mikrostruktury, pracę odkształcenia plastycznego można wyznaczyć na podstawie krzywych rozciągania. Energię rozpraszaną w postaci ciepła wyznaczano symulując proces nagrzewania się próbki podczas rozciągania, przez dostarczanie do niej energii elektrycznej w ten sposób, aby narastanie temperatury powierzchni próbki w czasie przepływu przez nią prądu elektrycznego było takie samo jak podczas rozciągania. Jeżeli rozciąganie i nagrzewanie prądem przebiega w identycznych warunkach, wówczas, zgodnie z prawem Joule'a-Lenza, energię rozpraszoną w postaci ciepła przez roboczą część próbki można wyznaczyć z łatwo mierzalnych parametrów elektrycznych. Metoda została szczegółowo opisana w pracy [3].

6. Badania doświadczalne procesu magazynowania energii podczas rozciągania tytanu poddanego obróbce TE

Wszystkie przygotowane próbki rozciągano za pomocą maszyny wytrzymałościowej ze stałą prędkością odkształcenia równą $\dot{\varepsilon} = 2 \cdot 10^{-2} s^{-1}$. Mierzono siłę i wydłużenie, w funkcji czasu rozciągania, z częstotliwością 25Hz. Jednocześnie, z taką samą częstotliwością, rejestrowano rozkład temperatury na powierzchni roboczej części próbki. Do pomiaru powierzchniowego rozkładu temperatury stosowano metodę bezstykową, opartą na detekcji promieniowania podczerwonego, emitowanego przez deformowaną próbkę. W celu uzyskania jednorodnej emisyjności o wysokiej wartości, powierzchnię próbki pokryto sadzą. Schemat układu pomiarowego jest pokazany na rys. 4.

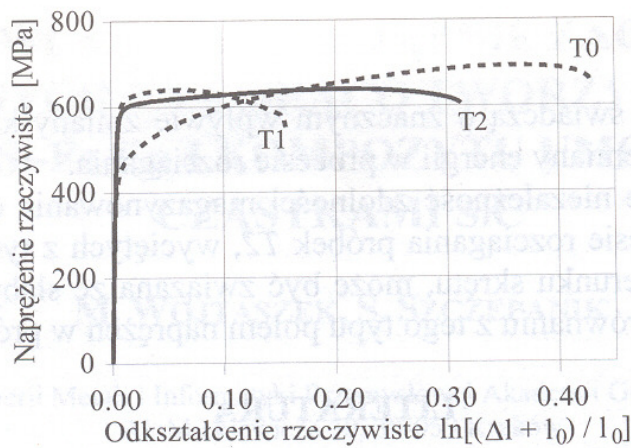
Tę samą metodę pomiaru rozkładu temperatury stosowano podczas nagrzewania próbki prądem elektrycznym.



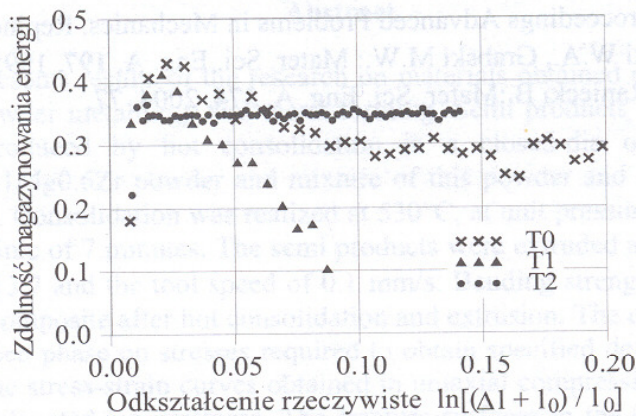
Rys.4. Schemat układu pomiarowego od wyznaczenia energii zmagazynowanej.

Typowe krzywe rozciągania dla poszczególnych grup próbek przedstawiono na rys. 5. Wynika z nich, że obróbka TE podnosi wartość granicy plastyczności o około 30 %, ale sprawia, że podczas rozciągania zerwanie próbki następuje przy mniejszej wartości odkształcenia. Sytuację poprawia zmiana kierunku skrzywienia po pierwszym przejściu materiału przez kanał matrycy. Można przypuszczać, że zmiana ta zwiększa jednorodność mikrostruktury materiału.

Na podstawie zależności siły rozciągającej, wydłużenia i rozkładu temperatury od czasu oraz wyników symulacji procesu nagrzewania się próbki podczas deformacji plastycznej wyznaczono zależności energii zmagazynowanej od pracy odkształcenia plastycznego dla poszczególnych grup, uśredniając wyniki dla pięciu próbek z każdej grupy. Różniczkując te zależności względem pracy odkształcenia plastycznego otrzymano zdolność magazynowania energii jako funkcję odkształcenia rzeczywistego, $\varepsilon = \ln[(\Delta l + l_0)/l_0]$ (rys. 6).



Rys. 5. Typowe krzywe rozciągania dla poszczególnych grup próbek.



Rys. 6. Zdolność magazynowania energii w funkcji odkształcenia rzeczywistego podczas rozciągania tytanu o różnym stanie początkowych.

Zależność de_s/dw_p od ε dla próbek $T0$, nie poddanych wyciskaniu, w początkowym stadium rozciągania ma maksimum i w miarę wzrostu odkształcenia wartość de_s/dw_p łagodnie spada. Taki charakter zależności jest typowy dla materiałów polikrystalicznych, których stan początkowy charakteryzuje się zerowym odkształceniem [4]. Maksimum występuje także w zależności de_s/dw_p od ε dla próbek $T1$, wyciętych z materiału poddanego obróbce TE bez zmiany kierunku skrętu. Wraz ze wzrostem odkształcenia zdolność magazynowania energii w tych próbkach gwałtownie spada (rys. 6).

Dla próbek $T2$, wyciętych z tytanu poddanego obróbce TE, w której po pierwszym przejściu zmieniono kierunek skrętu wyciskania, zdolność magazynowania energii podczas rozciągania, prawie nie zależy od wartości odkształcenia. Otrzymany wynik świadczy o znacznym wpływie zmiany tego kierunku na przemianę energii.

Przypuszcza się, że występowanie maksimum de_s/dw_p w początkowym etapie rozciągania wiąże się z akomodacją plastyczną naprężeń dalekiego zasięgu [4]. Zatem pole tego typu naprężeń w próbkach $T2$, wydaje się być słabe. Głębsza interpretacja wyników wymaga badań mikrostruktury.

6. Podsumowanie

Otrzymane wyniki świadczą o znacznym wpływie zmiany kierunku skrętu podczas obróbki TE na przemiany energii w procesie rozciągania.

Przypuszcza się, że niezależność zdolności magazynowania energii od odkształcenia w badanym zakresie rozciągania próbek T2, wyciętych z tytanu poddanego obróbce TE ze zmianą kierunku skrętu, może być związana ze słabym polem naprężeń dalekiego zasięgu w porównaniu z tego typu polem naprężeń w próbkach T1 i T0.

LITERATURA

- [1] Beygelzimer Y., Varyukhin V., Orlov D., Efros B., Salimgareyev A., Stolyarov V.: Ultrafine-grained materials: processing and structure, Washington 2002, 137.
- [2] Oliferuk W., Maj M.: Proceedings Advanced Problems in Mechanics, Repino, 2004, 339.
- [3] Oliferuk W., Świątnicki W.A., Grabski M.W.: Mater. Sci. Eng. A, **197**, 1995, 49.
- [4] Oliferuk W., Maj M., Raniecki B.: Mater. Sci. Eng. A, **374**, 2004, 77.