

**Sekcja Procesów Przeróbki Plastycznej  
Komitetu Metalurgii PAN**

**Sekcja Mechaniki Materiałów  
Komitetu Mechaniki PAN**

## **X Jubileuszowe Seminarium Naukowe**

**ZINTEGROWANE STUDIA PODSTAW  
DEFORMACJI PLASTYCZNEJ METALI**

**PLASTMET' 2016**



**MATERIAŁY KONFERENCYJNE**

**22 - 25 listopada 2016  
Muzeum Zamek w Łańcucie**

## **Badania Gumo Metalu w procesie cyklicznego ściskania**

K. Golasieński<sup>1</sup>, E. Pieczyska<sup>1</sup>, M. Maj<sup>1</sup>, M. Staszczak<sup>1</sup> and N. Takesue<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Fundamental Technological Research, Warsaw, Poland

<sup>2</sup> Department of Applied Physics, Fukuoka University, Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka, Japan

Gumo Metalem nazwano nowy, wielofunkcyjny stop tytanu  $\beta$  - opracowany w Toyota *Central Research & Development Laboratory* na początku XXI wieku. Stop ten cieszy się dużym zainteresowaniem ze względu na wyjątkowe właściwości; niski moduł sprężystości, wysoką wytrzymałość, nieliniową sprężystość, bardzo dobre parametry tłoczne oraz charakterystyki termiczne podobne do Inwaru i Elinwaru [1, 2]. Typowy skład Gumo Metalu stanowi Ti-Nb-Ta-Zr-O, gdzie tlen odgrywa kluczową rolę. Stop jest wytwarzany w technologii proszków spiekanych z przesycającym roztworowym oraz późniejszym ciągnięciem na zimno przy 90% redukcji przekroju. Proces ciągnięcia jest odpowiedzialny za wyjątkowe właściwości mechaniczne Gumo Metalu i silną teksturę oraz wpływa na mechanizmy odkształcania tego stopu, wciąż nie do końca poznane. W początkowych pracach podkreślano, że mechanizmy te są niekonwencjonalne (bezdislokacyjne) [1, 2, 3]. Celem prezentowanych badań było porównanie charakterystyk mechanicznych Gumo Metalu przy cyklicznym obciążeniu ściskającym w kierunku osi ciągnięcia. Badaniom poddano polikrystaliczny pręt Gumo Metalu o składzie bliskim Ti-36Nb-2Ta-3Zr-0.3O z wyraźną teksturą technologiczną w kierunku  $\langle 110 \rangle$ , uzyskaną w wyniku ciągnięcia. Próbki o wymiarach  $\approx 2.85 \times 2.85 \times 3.55$  mm poddano procesowi cyklicznego ściskania z prędkością  $5 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$  na maszynie wytrzymałościowej MTS 858, przy sterowaniu przemieszczeniem. Wykonano 10 cykli obciążenie-odciążenie; początkowe 1÷5 cykle z krokiem  $\approx 0.025$ , dalsze 6÷10 z krokiem  $\approx 0.05$ . Otrzymane charakterystyki naprężenia-odkształcenia potwierdzają wyjątkowe właściwości mechaniczne stopu: niski moduł sprężystości  $\sim 70$  GPa i wysoką wytrzymałość powyżej 1000 MPa. Profile krzywych otrzymane dla kolejnych cykli odkształcania znacznie się zmieniają i charakteryzują się wyraźną granicą plastyczności, zarysowaną dla 4-go oraz rozwijającą się w kolejnych cyklach. Ponadto, podczas procesu odkształcania szybką kamerą optyczną zarejestrowano sekwencje zdjęć powierzchni próbek. Przy pomocy algorytmu DIC opracowanego w IPPT wyznaczono z dużą dokładnością pola odkształceń i naprężeń. Przeanalizowano rozkłady DIC otrzymane dla 10-go cyklu obciążania.

**Podsumowanie.** Przedstawiono wstępne wyniki badań mechanicznych Gumo Metalu w procesie cyklicznego ściskania w kierunku osi ciągnięcia. Otrzymane wyniki potwierdziły wysokie właściwości mechaniczne Gumo Metalu; niski moduł sprężystości i wysoką wytrzymałość. Stwierdzono, że profile wykresów kolejnych cykli odkształcania znacznie się zmieniają i charakteryzują się wyraźną granicą plastyczności dla 4-go oraz kolejnych cykli. Badania ściskające Gumo Metalu wzdłuż osi prostopadłej do osi ciągnięcia będą realizowane w zakresie przyszłych prac.

**Acknowledgments.** Badania zostały sfinansowane z Grantu NCN No. 2014/13/B/ST8/04280.

# Investigation of Gum Metal under compressive cyclic loading

K. Golasinski<sup>1</sup>, E. Pieczyska<sup>1</sup>, M. Maj<sup>1</sup>, M. Staszczak<sup>1</sup> and N. Takesue<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Fundamental Technological Research, Warsaw, Poland

<sup>2</sup> Department of Applied Physics, Fukuoka University, Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka, Japan

A new multifunctional class of  $\beta$ -Ti alloy called Gum Metal was developed in the Toyota Central R&D Laboratory (CRDL) at the beginning of the 21<sup>st</sup> century. Since then, Gum Metal has attracted remarkable attention due to its exceptional properties, i.e. low elastic modulus, high strength, nonlinear elastic deformation and excellent cold workability, as well as Invar- and Elinvar-like behavior [1, 2]. Typical composition of Gum Metal is Ti-Nb-Ta-Zr-O, where oxygen content plays a key role. Its fabrication route consists of powder metallurgy forging method with subsequent cold swaging usually up to 90% in area reduction. The cold swaging is critical for the unique mechanical performance and the deformation mechanisms occurring in Gum Metal under loading are unconventional and still unclear [1, 2, 3]. The goal of this research was to perform and contrast mechanical behavior of polycrystalline Gum Metal subjected to cyclic compressive loading along the swaging direction. The polycrystalline Gum Metal rod with the composition near Ti-36Nb-2Ta-3Zr-0.3O in mass% was cold-swaged and texturized along the  $\langle 110 \rangle$  direction. The specimens with sizes of near 2.85mm x 2.85mm x 3.55mm were machined and subjected to displacement controlled compression at the strain rate of  $5 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ , using the MTS 858 testing machine. The 10 loading-unloading cycles were conducted as follows; cycles 1 to 5 with a strain step equal to approximately 0.025 (true strain), 6 to 10 with a step of approximately 0.05. The stress vs. strain curves confirm unique mechanical performance of the alloy: low Young's Modulus near 70 GPa and high strength over 1000 MPa. The curves profiles change significantly with each cycle and reveal pronounced yield points; sharpened for the 4<sup>th</sup> and clearly observed for further cycles. Additionally, during the deformation process the image sequences of the specimen surface were recorded. On the basis of the obtained sequences, the displacement and strain fields were determined using DIC algorithm, developed in IPPT. Example of digital image correlation maps obtained for the 10<sup>th</sup> cycle of the loading is analyzed.

**Concluding remarks.** Preliminary results of mechanical behavior of Gum Metal compressed along the swaging direction during cyclic loading were presented. The unique mechanical performance of Gum Metal - low Young's Modulus and high strength were confirmed. During the cyclic loading the curves profiles change significantly with each cycle and reveal a clearly pronounced yield points for the 4<sup>th</sup> and further cycles. Compression tests along perpendicular direction to the swaging one will be considered for our future research.

**Acknowledgments.** The research has been supported by NCN Grant - 2014/13/B/ST8/04280.

[1] Saito T., Furuta T., Hwang J.H., Kuramoto S., Nishino, K., Suzuki N., Chen R., Yamada A., Ito K., Seno Y., Nonaka T., Ikehata H., Nagasako N., Iwamoto C., Ikuhara Y., Sakuma T. 2003. Multifunctional Alloys obtained via a dislocation-free plastic deformation mechanism. *Science*, 300, 464-467.

[2] Takesue N., Shimizu Y., Yano T., Hara M., Kuramoto S. 2009. Single-crystal growth of Ti-Nb-Ta-Zr-O alloys and measurement of elastic properties, *J. Cryst. Growth.*, 311, 3319-3324.

[3] Pieczyska E.A., Maj M., Furuta T., Kuramoto S. 2016. Gum Metal – unique properties and results of initial investigation of a new titanium alloy – extended paper. *Advances in Mechanics: Theoretical, Computational and Interdisciplinary Issues.*, ISBN 978-1-138-02906-4, 469-4