

# ETUDE EXPERIMENTALE DU COMPORTEMENT VISCOPLASTIQUE DU TITANE PUR Ti40 A DIFFERENTES VITESSES DE DEFORMATION ET TEMPERATURES

Marwan Jarkas, Hamed ElKhatib<sup>1</sup>, Rafic Haje Chehade<sup>1</sup> et Ghazi Bousaleh<sup>1</sup>  
Centre Universitaire de Technologie Franco-Libanais du Liban Nord, Deddeh El Koura,  
B.P. 732, Tripoli, Liban

<sup>1</sup>Institut Universitaire de Technologie, Université Libanaise, B.P. 813, Saida, Liban  
jarkasma@hotmail.com

(Received 20 June 2006 - Accepted 7 November 2007)

## RESUME

*Cet article apporte une contribution à la connaissance du comportement du titane pur de type alpha en situation de chargement quasi-statique. On obtient expérimentalement les relations contraintes - déformation associées à un chargement à différentes vitesses de déformation ( $7.10^{-5} s^{-1}$  ;  $8.10^{-4} s^{-1}$  ;  $1,4.10^{-2} s^{-1}$ ,  $8.10^{-2} s^{-1}$  et  $14 s^{-1}$ ) et températures (243 K, 298 K et 473 K). Le travail présenté dans cet article constitue le début d'un projet d'étude sur la modélisation du comportement viscoplastique du titane pur Ti40 à grande vitesse de déformation.*

**Mots clés :** compression, titane, vitesse de déformation, quasi-statique, viscoplastique

## ABSTRACT

*This paper provides some prospect comprehension of pure alpha titanium's behavior under quasi-static loading. The stress – strain relations paths at several strain rates ( $7.10^{-5} s^{-1}$  ;  $8.10^{-4} s^{-1}$  ;  $1,4.10^{-2} s^{-1}$ ,  $8.10^{-2} s^{-1}$  et  $14 s^{-1}$ ) and temperature (243 K, 298 K et 473 K) were measured experimentally. The present work is considered as the starting point of this research project concerning the modeling of the viscoplastic behavior of pure titanium Ti40 at high strain rate.*

**Keywords:** compression, titanium, strain rate, quasi-static, viscoplastic

## INTRODUCTION

Le métal le plus recherché du point de vue comportement mécanique est le métal qui dispose d'une faible densité et d'une grande résistance. L'utilisation d'un tel métal permet d'alléger les structures telles que les coques de fusées et de sous-marins et d'obtenir des blindages plus légers tout en gardant de bonnes performances balistiques. Le titane possède toutes ces caractéristiques. Sa grande résistance à la corrosion en fait un métal de choix dans les applications médicales et navales.

C'est dans ce contexte que se situe le présent travail qui consiste à étudier et mettre en évidence, lors d'essais de compression quasi-statique à plusieurs vitesses de déformation et sous différentes températures, le comportement viscoplastique du titane pur (Ti40).

### DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif utilisé pour étudier le titane pur Ti40 est la machine Zwick 1484. Avec cette machine il est possible de suivre en parallèle l'évolution des caractéristiques mécaniques tels la force et le déplacement à différentes températures. La sollicitation est en compression quasi-statique à vitesse de déplacement de traverse imposée (Figure 1).

### MATERIAU ETUDIE

Le titane employé pour cette étude est de pureté commerciale Ti40 de type  $\alpha$ . Il a été fourni sous la forme d'une barre de 3 m de longueur et de 11 mm de diamètre. Les éprouvettes ont été usinées en forme cylindrique de 3 mm de hauteur et de 6 mm de diamètre. Les principales impuretés avec leurs teneurs indiquées par le fournisseur sont : fer (0.05 %); oxygène (0.15 %); azote (0.01%); carbone (0.01%); hydrogène (0 %). La dureté Vickers est de 220 HV.

Pour éliminer les contraintes résiduelles, le titane a été recuit pendant deux heures à 923 K sous vide. La Figure 2 représente l'observation en microscopie optique de la microstructure du titane avant et après le traitement thermique. Les échantillons sont polis mécaniquement au papier abrasif jusqu'au 15  $\mu\text{m}$ . Après polissage, les échantillons sont attaqués chimiquement avec une solution composée de : HF : 2  $\text{cm}^3$ ; HNO<sub>3</sub> : 3  $\text{cm}^3$ ; H<sub>2</sub>O : 95  $\text{cm}^3$ . On a obtenu finalement une structure microscopique homogène, avec une valeur moyenne de taille de grain de 28  $\mu\text{m}$ .

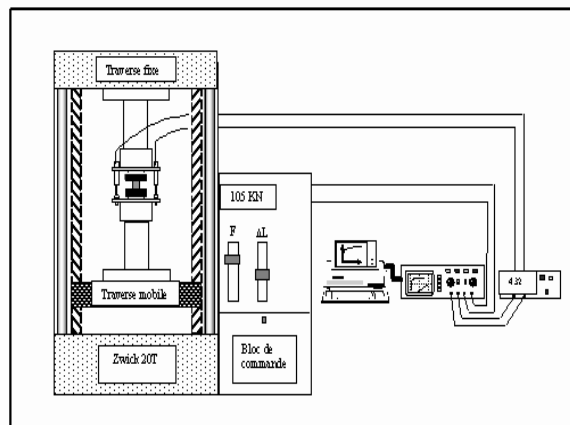
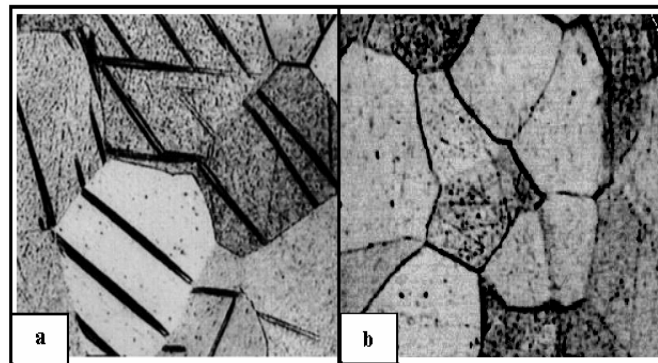


Figure 1. Descriptif de la machine Zwick 1484.

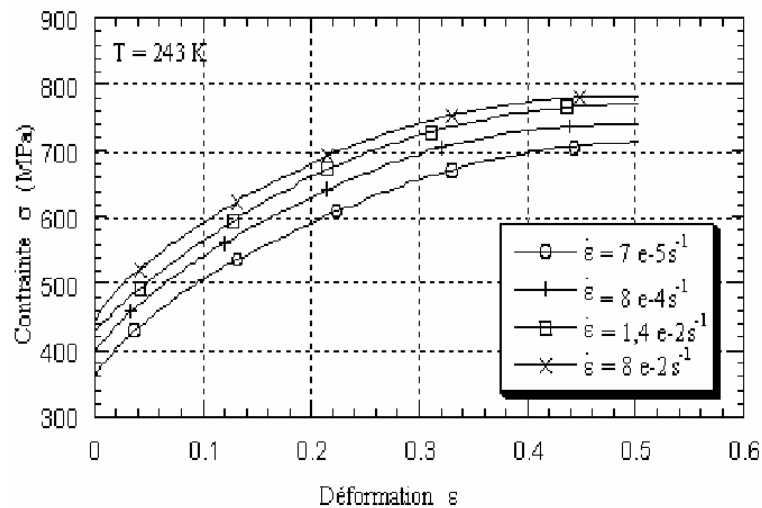
**RESULTATS DES ESSAIS DE COMPRESSION QUASI-STATIQUE**

La machine de traction - compression Zwick 1484 a permis d'effectuer des essais de compression sur une large plage de vitesses de déformation :  $7.10^{-5} s^{-1}$ ;  $8.10^{-4} s^{-1}$ ;  $1,4.10^{-2} s^{-1}$ ,  $8.10^{-2} s^{-1}$  et même  $14 s^{-1}$ . Grâce à l'enceinte adaptée, on a réalisé, aux mêmes vitesses de déformation, des essais à basse température (243 K) et à haute température (473 K).



**Figure 2. Microstructure (x1000) du titane Ti40 avant (a) et après (b) traitement thermique.**

Les courbes des essais obtenues sont le résultat de la moyenne de trois essais réalisés pour chaque vitesse de déformation et pour chaque température (Figures 3, 4 et 5).



**Figure 3. Courbes moyennes de consolidation du titane à 243 K et à différentes vitesses de déformation.**

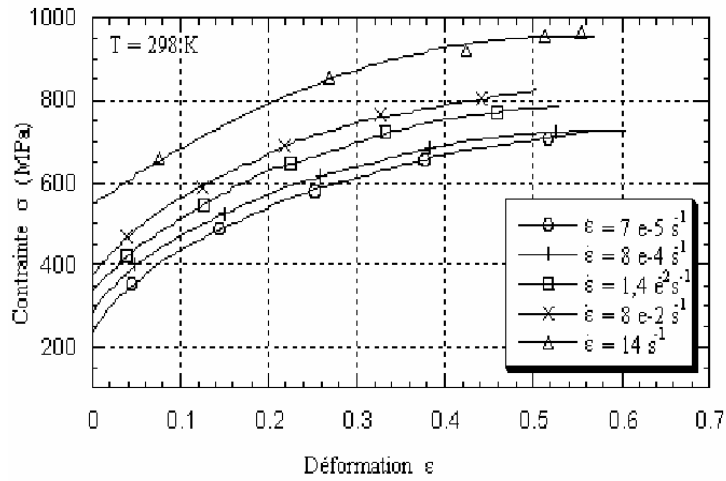


Figure 4. Courbes moyennes de consolidation du titane à 298 K et à différentes vitesses de déformation.

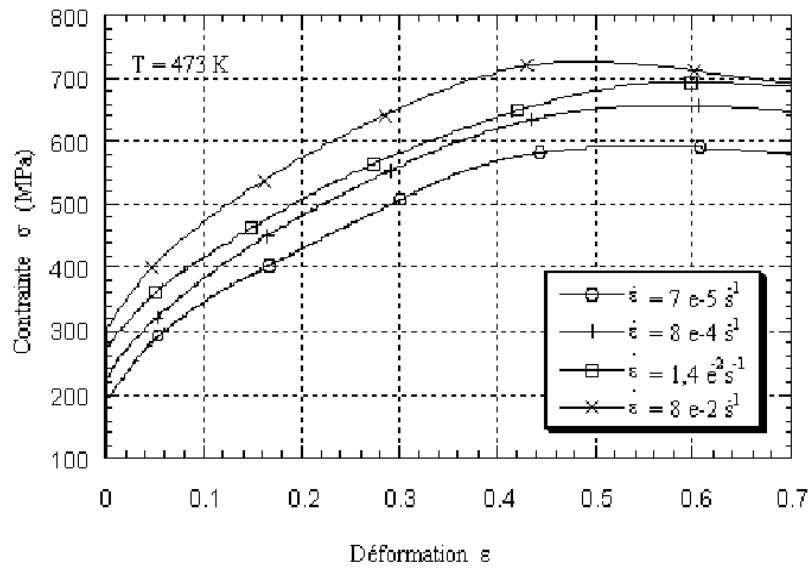
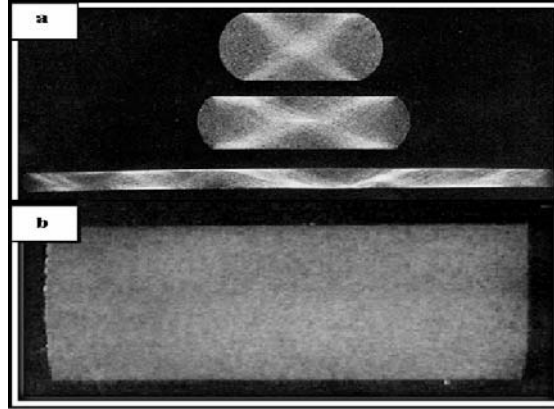


Figure 5. Courbes moyennes de consolidation du titane à 473 K et à différentes vitesses de déformation.



**Figure 6. (a) Une coupe transversale du Ti-62 42Si à trois stades de déformation. (b) Une coupe transversale d'un échantillon Ti40 qui montre l'absence de l'effet du frottement pour  $\epsilon = 0.6$  et  $T = 298$  K.**

On sait que dans un essai de compression les extrémités de l'éprouvette sont gênées par le frottement entre les deux extrémités et les plaques de compression (Figure 6), (Semiatin & Jonas, 1984 ; Qiang *et al.*, 2004).

Pour éviter ce phénomène, on a lubrifié les extrémités de l'échantillon par le produit « Molikote D-321R » qui a une très grande capacité de charge et une fonctionnalité entre 93 K et 723 K. Les résultats se sont montrés assez fiables et on a réduit l'effet du frottement au minimum (Prima, 2000).

Il ne faut pas oublier aussi que les essais de compression peuvent avoir une présence de l'effet de l'inertie. Pour les faibles vitesses de déformation ce phénomène peut être négligé (Klepaczko, 1969 ; Dharan & Hauser, 1970; Malinowski & Klepaczko, 1986).

## DISCUSSION

Il ressort des essais réalisés que la vitesse de déformation a une très grande influence sur le comportement plastique du titane. Sa sensibilité à la vitesse de déformation ( $\beta$ ) à  $T = 300$  K est égale à environ 36 MPa. Cette sensibilité est du même ordre de grandeur que celui trouvé par Tsao et Campell,  $\beta = 40$  MPa à température ambiante (Tsao & Campell, 1973). Harding (1974) trouve une sensibilité à la vitesse de déformation proche de 30 MPa à  $T = 300$  K qui ne varie pas beaucoup au cours de déformation en faibles vitesses de déformation. Cette observation est confirmée par nos essais (Figure 7).

La forte sensibilité à la température est illustrée par la Figure 8. Ces résultats sont caractéristiques d'un comportement thermiquement activé. On peut considérer que la sensibilité à la température est constante jusqu'à  $T = 300$  K. Cette sensibilité a comme valeur  $-1.4$  Mpa / K, ce qui coïncide très bien avec les études de Orava *et al.* (1966), qui ont donné une valeur de  $-1.5$  Mpa / K.

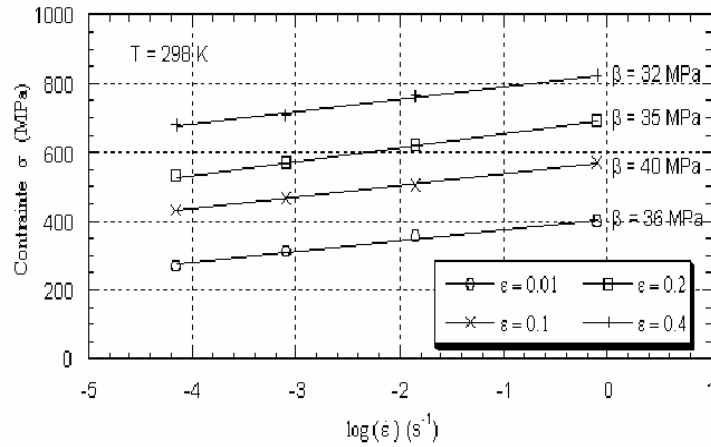


Figure 7. La variation de la contrainte en fonction de la vitesse de déformation entre  $7.10^{-5} s^{-1}$  et  $1 s^{-1}$ .

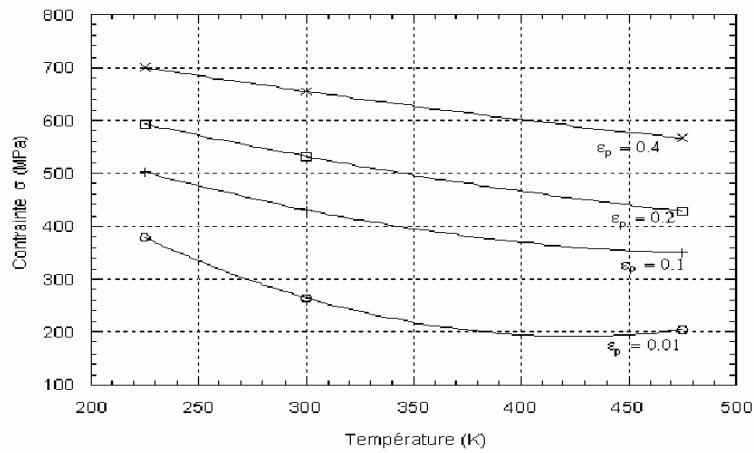


Figure 8. La variation de la contrainte en fonction de la température.

### CONCLUSION

L'ensemble des résultats des essais de compression effectués sur le titane pur Ti40 pour plusieurs vitesses de déformation et à trois températures différentes, a montré une bonne représentation des caractéristiques plastiques du matériau. Ces résultats montrent une grande ductilité pour toutes les vitesses de déformation, une forte diminution de la contrainte avec la température ainsi qu'une augmentation de la contrainte avec la vitesse de déformation. Un des objectifs ultérieurs des auteurs consiste à tester le titane pur Ti40 aux grandes vitesses de

déformations en vue de passer à la modélisation du comportement viscoplastique de ce matériau.

### RÉFÉRENCES

- Dharan, C.K.H. and Hauser, F.E. 1970. Determination of stress-strain characteristics at very high strain rates. *Exp. Mech.*, 10: 370-376.
- Harding, J. 1974. *Mechanical properties of materials at high rates of strain*. Report, The Institute of Physics conference series no. 21, Oxford, UK, p. 3.
- Klepaczko, J.R. 1969. *Lateral inertia effects in the compression impact experiments*. IFTR Reports n°17.
- Malinowski, Z. and Klepaczko, J.R. 1986. A unified analytic and numerical approach to specimen behavior in the split Hopkinson pressure bar. *Int. Journal Mech. Sci.*, 28: 381-391.
- Orava, R.N., Stone, G. and Conrad, H. 1966. The effect of temperature and strain rate on the yield and flow stresses of alpha-titanium. *Transactions of the ASM*, 59: 171-184.
- Prima, F. 2000. *Etude métallurgique d'un nouvel alliage de titane  $\beta$ -métastable*. Thèse doctorat INSA Rennes.
- Qiang, L., Xu, Y.B., Bassim, M.N. 2004. Dynamic mechanical behavior of pure titanium. *Journal of Materials Processing Technology*, 155-156: 1889-1892.
- Semiatin, S.L. and Jonas, J.J. 1984. Formability and workability of metals: plastic instability and flow localization. *Metals Park, Ohio: American Society for Metals*, 17: 156-162.
- Tsao, M.C.C. and Campbell, J.D. 1973. *Plastic shear properties of metals and alloys at high strain rates*. Report, Dept. Eng. Sci., Oxford Univ., UK, p. 93.