MICRO-MACHINE DE TRACTION FONCTIONNANT AUX BASSES TEMPÉRATURES

Par RENÉ-ROLLAND CONTE et JÜRGEN VON STEBUT,

Centre d'Études Nucléaires de Fontenay-aux-Roses.

(Reçu le 22 octobre 1968, révisé le 9 décembre 1968.)

Résumé. — Nous décrivons ici une machine de traction de très petite taille ($\varnothing = 12$ mm, $L = 120$ mm) et télécommandée, conçue pour des irradiations dans la pile Triton à 20 °K.

Elle permet d'effectuer sur un échantillon d'une longueur $L \leq 30$ mm des mesures *in situ* de contrainte, d'allongement et de résistance électrique.

La force maximale qui peut être appliquée est de 1,4 kg et le déplacement de 0,7 mm. Cet appareillage permet en particulier d'étudier l'évolution de la résistivité d'un matériau sous déformation élastique.

Abstract. — We describe a tensile machine of very small size ($\varnothing = 12$ mm, $L = 120$ mm) designed to operate in the Triton reactor at 20 °K.

In situ measurements of stress, strain, an electric resistance on a specimen of $L \leq 30$ mm in length are made possible.

The maximum load that can be applied is 1.4 kg, the maximum elongation obtained is 0.7 mm.

This device is suited in particular for the measurement of the change in resistance of a specimen caused by elastic deformation.

I. Introduction. — Étudier les propriétés élastiques et plastiques des métaux sous irradiation et à basse température impose pour la machine de traction utilisée certaines conditions sévères. Notamment, cette machine doit être très petite, et facilement télécommandable.

Nous décrivons ci-dessous une machine répondant à ces exigences et permettant, en plus, de faire des mesures de résistivité pendant la traction. Nous présenterons les résultats des premières expériences réalisées à 20, 77 et 300 °K hors flux sur des échantillons d'or.

Outre les propriétés mécaniques, nous comptons utiliser cet appareil pour étudier l'effet Tomlinson [1, 2, 3, 4] ainsi que la para-élasticité des défauts d'irradiation [5] dans les métaux. Nos premiers essais, notamment dans le domaine élastique, nous montrent que la sensibilité de l'ensemble de l'appareillage est suffisante pour observer ces effets.

II. Description du dispositif. — Nous voulons pouvoir faire des essais de traction à 20 °K sur un échantillon irradié antérieurement à cette température dans

notre dispositif d'irradiation en pile [6]. Le montage sur une machine de traction classique est rendu extrêmement difficile par la radioactivité et aussi par la nécessité de maintenir l'éprouvette à 20 °K entre irradiation et essai de traction. Il est donc naturel d'envisager de monter d'abord l'échantillon dans un dispositif de traction et d'irradier ensuite cet ensemble.

Deux difficultés sont à résoudre : taille très réduite à donner au dispositif et bonne tenue sous irradiation des divers éléments le constituant.

II.1. APPAREILLAGE UTILISÉ. — L'encombrement extérieur de la micro-machine a été imposé par les possibilités de notre dispositif d'irradiation à 20 °K [6]. Il est défini par $L = 120$ mm et $\varnothing = 12$ mm (fig. 1).

Le principe utilisé est semblable à celui d'une machine de traction classique.

La force est exercée par l'intermédiaire d'un soufflet S_p déformé par l'application d'une pression interne de gaz (hélium) comme dans l'appareil de Klank *et al.* [7]. Cette pression est établie soit à partir d'un cylindre de gaz comprimé et détendu ($P_{\max} = 7$ kg.cm⁻²), soit par un système générateur de pression (fig. 2 et 3).

Ce dernier dispositif, constitué par un soufflet S_{ii} , est raccordé par un tube fin ($1 \times 1,5$ mm) au soufflet S_p de la machine de traction. L'écrasement complet

FIG. 1. — Schéma et photographie de la machine de traction.

FIG. 2. — Variateur de pression. Schéma de principe.

FIG. 3. — Vue générale du dispositif : a, variateur de vitesse ; b, moteur ; c, générateur de pression S_G ; d, capteur de pression ; e, capillaire de pression ; f, canne support du dispositif de traction ; g, alimentations des capteurs de pression et de déplacement ; h, table X-Y ; i, voltmètre numérique.

de S_G par un moteur à vitesse variable produit la même pression maximale que par la détente du gaz comprimé.

Ce dispositif présente l'avantage de permettre d'obtenir facilement des vitesses de traction très reproductibles.

La pression d'hélium obtenue est mesurée par un capteur avec une gamme de 7 kg/cm^2 de pression et une résolution de $\pm 3 \text{ g/cm}^2$ (C, fig. 2). Les variations de pression transformées par le capteur en tensions électriques sont envoyées sur la voie X d'un enregistreur potentiométrique X-Y.

A tout déplacement du soufflet S_p correspond un déplacement identique de l'étrier (fig. 1) qui tire sur l'échantillon par l'intermédiaire du mors supérieur. La mesure de cette grandeur est faite par un capteur de déplacement (TLVD, fig. 1) qui assure pour une course de 1 mm une résolution de $\pm 0,05 \mu$. Ces capteurs (Société Schaewitz) présentent une bonne tenue sous irradiation et ont été utilisés en particulier pour des mesures de croissance d'uranium en pile [8]. Les tensions issues de ce capteur sont enregistrées sur la voie Y de la table X-Y.

Afin de mesurer simultanément les variations de la résistivité en fonction de la contrainte exercée, l'échantillon est isolé électriquement de la masse par des pièces en alumine (fig. 1, isolant électrique).

L'enveloppe extérieure, dans laquelle se trouvent les divers éléments que nous venons de décrire, s'ouvre en deux parties afin de faciliter le montage de l'échantillon, ainsi que son raccordement électrique. La capsule ainsi formée est fixée au bout d'un tube sonde (diamètre $4,5 \times 5$ mm) dans lequel passent le capillaire de pression et les liaisons électriques. Dans le cas d'études sous irradiation, ce tube mesure 12 m de long.

III. Fonctionnement de la machine. — Nous décrivons ci-dessous le fonctionnement de l'ensemble, ce qui donnera un aperçu des performances de l'appareil.

La figure 4 décrit une expérience typique effectuée sur un fil d'or (Or Johnson Matthey, Grade I, $\varnothing = 0,1$ mm, $L = 3$ cm). L'échantillon étant monté, on augmente progressivement la pression dans le soufflet S_p (fig. 2). Au fur et à mesure de cette augmentation, plusieurs phénomènes se produisent, correspondant aux tronçons A-I de la figure 4 que nous expliquons ci-dessous :

- A : Tout le dispositif (amarrage et échantillon) se met en place.
- B : Déformation élastique du soufflet (pente α_1). L'échantillon n'est pas encore tendu.
- C : Déformation élastique de l'échantillon et du soufflet (pente α_2).
- D : Déformation plastique de l'échantillon et déformation toujours élastique du soufflet.
- E : Rupture de l'échantillon et déformation du soufflet.
- F : Déformation du soufflet. Ce tronçon de courbe a la même pente α_1 que le tronçon B.

Tout au long de la déformation de l'échantillon, le soufflet est donc resté dans le domaine élastique. Pour confirmer ce fait, nous avons prolongé l'essai de la façon suivante :

- G : Annulation de A par diminution de pression.
- H : Décharge du soufflet.

Nous arrivons en fin de descente au point « O » initial.

Si, sans échantillon, nous réappliquons la pression, afin de tracer la courbe propre au soufflet (fig. 4, parties B, I, F), la nouvelle courbe se superpose à celle obtenue antérieurement en B, F, G et H; F et B étant reliés par un tronçon I de même pente. Nous sommes donc toujours dans le domaine élastique du soufflet S_p .

Les pentes α_1 et α_2 sont bien reproductibles comme le confirment les cycles d'expériences 1 à 9 de la figure 5 où l'on tire dans la région représentée par les tronçons B et C.

Voyons comment nous pouvons déduire de ces enregistrements les grandeurs qui nous intéressent et plus précisément les valeurs du module de Young

FIG. 4. — Courbe de traction obtenue sur la table X-Y.

FIG. 5. — Courbes de traction dans la région élastique.

FIG. 6. — Schéma d'un essai de traction avec notre machine dans le domaine élastique.

Pour plus de clarté, nous représentons la montée en pression d'une des courbes de la figure 5 sur le schéma de la figure 6.

Nous nous intéressons à la courbe entre le début de traction (obtenu sur la figure 5, par extrapolation des deux droites) (L_1, P_1) et un point arbitraire (P_3, L_2) dans la région élastique de l'échantillon.

Lorsqu'on déforme l'ensemble « échantillon + soufflet », l'augmentation en pression $P_3 - P_1$ nécessaire pour un allongement $L_2 - L_1$ est de $P_3 - P_2$ plus grande que celle qui correspondrait au même allongement du soufflet seul.

Nous pouvons écrire en utilisant les pentes :

$$\alpha_1 = \frac{P_2 - P_1}{L_2 - L_1} \quad \text{et} \quad \alpha_2 = \frac{P_3 - P_1}{L_2 - L_1}.$$

Pour la pente α propre à l'échantillon, on a :

$$\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 = \frac{P_3 - P_2}{L_2 - L_1}.$$

Avec une section utile K du soufflet S_p , on trouve pour le module de Young de l'échantillon :

$$E = A \cdot \alpha$$

où $A = K \cdot L/S$ est une constante pour un échantillon de longueur L et de section S .

La figure 7 montre les courbes de traction, sous leur forme classique, de trois fils d'or de mêmes diamètres.

FIG. 7. — Courbes de traction « classique » obtenues avec notre machine et une machine Instron.

Les deux courbes ont été obtenues pour deux échantillons non écrouis, dont l'un était déformé avec notre machine et l'autre avec une machine Instron ⁽¹⁾. La courbe supérieure décrit la traction avec notre machine d'un fil écroui antérieurement.

En comparant les résultats obtenus dans des séries d'essais effectuées avec ces deux machines, nous pouvons résumer les résultats de la manière suivante :

Pour des échantillons de mêmes natures, les charges de rupture et les modules de Young E sont en bon accord. Disons que la valeur absolue de E peut être connue avec une précision de 10 %, les valeurs rela-

⁽¹⁾ Nous remercions vivement la Société Instron France d'avoir bien voulu faire ces essais.

FIG. 8.

Variation du module de Young E avec la température.

tives sur E étant bien entendu connues avec une précision bien meilleure (fig. 8).

Nous retrouvons enfin le fait que E augmente quand la température diminue (fig. 8). Les températures indiquées sur la figure 8 sont celles des bains cryogéniques dans lesquels le dispositif est introduit. Sur le tableau suivant, nous avons porté les valeurs de E et de $\frac{1}{E} \frac{dE}{dT}$ trouvées avec notre dispositif à la température ordinaire (colonne I) ainsi que celles données dans la littérature (colonne II) pour l'or [9], [10].

	I	II
E (kg/mm ²)	4 200	8 000
$\frac{1}{E} \frac{dE}{dT}$ (°K ⁻¹)	4×10^{-4}	$2,4 \times 10^{-4}$

D'autre part, nous avons pu effectuer des mesures de résistance électrique sur les échantillons durant la traction. Ces mesures ont été faites à l'aide d'un potentiomètre Diesselhorst. Ainsi, pour un fil d'or brut de tréfilage, nous avons obtenu une variation de résistance δR telle que $\frac{1}{\epsilon} \frac{\delta R}{R} = 1 \pm 0,05$ ⁽²⁾. Ces mesures, actuellement préliminaires, seront présentées plus en détail ailleurs [11].

IV Conclusion. — L'appareillage décrit fonctionne parfaitement aux basses températures et présente une grande facilité d'emploi. Les résultats sont en bon accord avec ceux obtenus par une machine Instron. Il est facile d'obtenir des allongements très petits (1 à 2 μ) sur un échantillon de 30 mm de long, ce qui favorise les études d'un matériau dans la région élastique.

Enfin, nous avons vu qu'il est possible d'obtenir avec une bonne précision les valeurs de la charge de rupture, ainsi que les variations de résistance électrique sous traction.

⁽²⁾ $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$ est la déformation.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] TOMLINSON (H.), *Phil. Trans.*, 1883, **174**, 1-172.
- [2] BRIDGMAN (P. W.), *Proc. Am. Acad.*, 1922, **57**, 39-66 ; 1923, **59**, 117-137 ; 1925, **60**, 423-444.
- [3] ROINICK (H.), *Phys. Rev.*, 1936, **36**, 506.
- [4] DRUYVENSTEYN (M. J.), *Physica*, 1951, **17**, 8, 748-760.
- [5] KANZIG (W.), *Physical Review Letters*, 1961, **7**, 8, 308 ; *J. Phys. Chem. Solids*, 1962, **23**, 479-499.
- [6] CONTE (R. R.) et DURAL (J.), *Rev. Phys. Appl.*, 1967, **2**, 1.
- [7] KLANK (A. C.), BLEWITT (H.), MINARIK (J. J.) et SCOTT (T. L.), *Liquid Helium Technology*, IIR COM I Boulder, 1966, Pergamon Press.
- [8] WEINBERG (C.), DURAL (J.) et CONTE (R. R.), *Physics Letters*, 1968, **27 A**, 690.
- [9] LANDOLT-BORNSTEIN, New Series IV, 2b, Editor K. H. Hellewege, Springer Verlag, 1964.
- [10] FRIEDEL (J.), *Dislocations*, 457, Pergamon Press, 1964.
- [11] VON STEBUT (J.) et CONTE (R. R.), *Physics Letters*, à paraître.