

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

FR 9.10.15.11

CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE SACLAY  
Service de Documentation  
F91191 GIF SUR YVETTE CEDEX

CEA-CONF-10453

M2

PROPRIETES MECANIQUES GENERALES: SPECIFICITES DU Zr

LEMOINE P.- FORGERON T.

CEA Centre d'Etudes Nucleaires de Saclay, 91 - Gif-sur-Yvette (FR).  
Service de Recherches Metallurgiques Appliquees

Communication présentée à : Symposium on Zirconium New Material for the Chemical Industry

Lyon (FR)  
10-11 Oct 1990

## PROPRIETES MECANIKES GENERALES SPECIFICITES DU Zr

P. Lemoine, T. Forgeron

CEA/DTA - CEREM/DTM  
Service de Recherches Métallurgiques Appliquées  
CEN.Saclay 91191 Gif-sur-Yvette Cedex

### RESUME

Le Zr 702 a été choisi comme matériau constitutif des appareils chaudronnés de l'usine UP3 de la Hague pour son excellente tenue à la corrosion en milieu nitrique. la justification de la tenue mécanique de ces appareils sur la durée de vie envisagée (~30 ans) a conduit le CEA à lancer un programme complet de caractérisation du matériau et de ses soudures en traction, fatigue, fluage et rupture.

Les principaux résultats obtenus à ce jour l'ont été dans le domaine (20-200°C), domaine de fonctionnement de l'usine UP3 sur des tôles Zr $\alpha$ , laminées à chaud, représentatives des fabrications industrielles actuelles.

Quelques résultats ont cependant été obtenus sur matériau traité B ou même directement sur joints soudés.

Dans la mesure du possible la comparaison Sens Long (SL), Sens Travers (ST) a été faite.

#### 1. Comportement en traction

En terme de résistance mécanique instantanée (limite élastique conventionnelle  $R_{p0,2}$ , charge à rupture  $R_m$ ), et dans la plage de température étudiée, le Zr $\alpha$  se caractérise par :

- une sensibilité modérée mais réelle à la vitesse de déformation même à 20°C (augmentation de 100MPa environ de chacune de ces caractéristiques pour 5 décades de vitesse de déformation),

- . une forte dépendance vis à vis de la température : division par un facteur 2 environ lorsqu'on passe de 20 à 200°C, tant en sens long qu'en sens travers,
- . une anisotropie peu marquée en terme de  $R_m$  dans le cas d'un laminage croisé mais une meilleure résistance du sens travers en terme de  $R_{p0,2}$ ,
- . une faible capacité à la consolidation par écrouissage notamment en sens travers.

## 2. Comportement en fluage

Le  $Zr\alpha$  flue et peut même rompre par fluage même à 20°C sous fortes contraintes. La dépendance en température est inhabituelle.

Les principales caractéristiques du phénomène peuvent être résumées ainsi :

- . fluage important entre  $R_{p0,2}$  et  $R_m$  même à 20°C
- . forte dépendance vis à vis de la contrainte ( $t_R \propto \sigma^n$  et  $\dot{\epsilon}_3 \propto \sigma^n$  avec  $n = 30$  à  $40$ ),
- . dépendance singulière vis à vis de la température : à 200°C et sous 130 MPa ( $\sim R_{p0,2}$  ou  $0,5 R_m$ ) le  $Zr\alpha$  testé en sens long flue moins qu'à 100 ou 150°C sous la même contrainte,
- . lors des essais conduisant à rupture, fin de primaire, fin de secondaire et rupture se produisent à des niveaux de déformation identiques
- . la part du fluage primaire est alors importante ( $> 10\%$ ),
- . en dessous d'une certaine valeur de contrainte (fonction de la température) le fluage du matériau semble se stabiliser (fluage logarithmique),
- . en sens travers, le matériau est d'abord plus résistant au fluage qu'en sens long ; une fois atteint la limite d'instabilité (beaucoup plus faible en sens travers qu'en sens long) l'ordre s'inverse,
- . les soudures ne semblent pas apporter de pénalités supplémentaires au comportement du matériau de base

### 3. Comportement en fatigue

Les essais ont été menés en fatigue continue, à 200°C uniquement, sur du Zr $\alpha$  et traité  $\beta$  (20 mn, 1250°C) pour des niveaux de déformation compris entre  $\pm 0,2$  et  $\pm 0,8$  % de déformation totale.

Les principales caractéristiques du comportement en fatigue sont :

- . peu d'influence du sens de prélèvement permettant pour chacun des deux matériaux (Zr $\alpha$  et traité  $\beta$ ), l'établissement d'une courbe d'endurance unique,
- . moins bon comportement en endurance du matériau traité  $\beta$  du fait d'une plus grande dissipation d'énergie de déformation plastique à chaque cycle,
- . évolution des contraintes pouvant être schématisée comme suit : tendance générale à la déconsolidation après une phase de légère consolidation lors des quelques premières dizaines de cycles,
- . suivi dans certaines conditions d'une phase de consolidation secondaire : l'amplitude de la déconsolidation semble cependant dépendre fortement de la vitesse de déformation.

### 4. Rupture

Différentes structures métallurgiques (Zr $\alpha$ , Zr traité  $\alpha\beta$  et  $\beta$ , soudures à différentes teneurs en O<sub>2</sub> 150 à 3600 ppm) ont été testées en résilience (20 et 200°C) et en ténacité (20°C).

Bien que les résultats obtenus à ce jour ne soient pas parfaitement homogène (tôles différentes) les tendances suivantes peuvent être retenues :

- . les microstructures de type  $\beta$  ou  $\alpha+\beta$  conduisent à des caractéristiques à rupture (résilience, ténacité) nettement plus faibles que les microstructures de type  $\alpha$ ,
- . à 200°C le niveau de résilience est environ deux fois plus grand qu'à 20°C,
- . la teneur en oxygène joue un rôle très important sur les niveaux de résilience, très faibles pour les teneurs les plus élevées.

L'ensemble de ces résultats sera complété par la réalisation complète du programme en cours.

Ils permettent d'ores et déjà de confirmer un certain nombre de spécificités du comportement mécanique du zirconium :

- caractéristiques fortement influencées par la pureté et en particulier par la teneur en azote, carbone, oxygène en solution solide d'insertion nécessitant d'éviter toute pollution lors du soudage et des traitements thermomécaniques,
- et dépendant largement de l'état microstructural et de la texture cristallographique du produit étudié.

Au niveau microscopique, bien que cela reste à clairement démontrer, un certain nombre de phénomènes doivent résulter des mécanismes suivants :

- interaction dislocations-impuretés (oxygène notamment) contrôlant la vitesse de déformation plastique,
- remise en solution de l'hydrogène avec l'élévation de la température.