



**HAL**  
open science

# Comportements au fluage et à l'oxydation à 1100°C d'alliages base nickel-chrome renforcés par des carbures ZrC

Safa Tlili, Patrice Berthod

► **To cite this version:**

Safa Tlili, Patrice Berthod. Comportements au fluage et à l'oxydation à 1100°C d'alliages base nickel-chrome renforcés par des carbures ZrC. *Matériaux* 2022, Oct 2022, Lille, France. . hal-03841081

**HAL Id: hal-03841081**

**<https://hal.science/hal-03841081>**

Submitted on 6 Nov 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



## Comportements au fluage et à l'oxydation à 1100°C d'alliages base nickel-chrome renforcés par des carbures ZrC

Safa Tlili, Patrice Berthod

Faculté des Sciences et Technologies, Campus Victor Grignard, F-54500 VANDEUVRE-LES-NANCY  
Institut Jean Lamour, CNRS (UMR 7198), 2 allée André Guinier, Campus Artem, F-54000 NANCY  
[patrice.berthod@univ-lorraine.fr](mailto:patrice.berthod@univ-lorraine.fr)

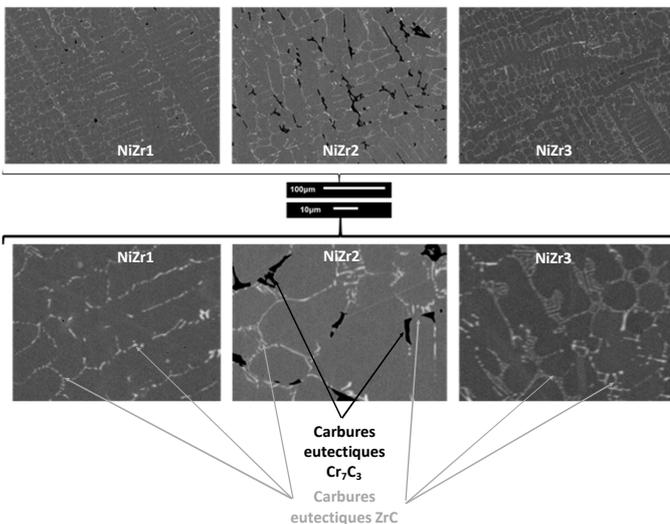
### Introduction / Résumé / Conclusions

Une alternative au tantale et au hafnium (ce dernier étant considéré comme « critique » pour son coût et sa faible disponibilité) pour former des carbures MC à destination du renfort mécanique à haute température de certains superalliages polycristallins de fonderie, peut être apportée par le zirconium. Trois alliages à base de nickel, riches en chrome pour leur résistance à l'oxydation à haute température et contenant des carbures ZrC pour leur renforcement mécanique contre la déformation par fluage, ont été élaborés en fonderie. Après contrôle de leurs microstructures brutes de coulée, ces alliages ont été soumis, à 1100°C, à un test de fluage flexion sous 20 MPa et à l'oxydation par l'air pendant 46 heures. Des carbures ZrC en écriture chinoise (« script ») ont été obtenus dans les espaces inter-dendritiques des alliages, formant un composé eutectique avec une partie de matrice. L'un des alliages contient en outre des carbures eutectiques Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>. Par comparaison avec un alliage de référence Ni-Cr-C avec des teneurs similaires en Cr et C, les trois alliages ont démontré une bien meilleure résistance au fluage pour les mêmes conditions de contrainte et de température. Cependant, leur détérioration par oxydation était beaucoup plus marquée. Contrairement à l'alliage de référence à comportement chromino-formeur, plusieurs types d'oxydes se sont formés dans le cas des trois alliages, comme la spinelle NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> et les oxydes impliquant le zirconium. Une progression significative vers l'intérieur de l'oxydation interdendritique a été notée pour les trois alliages étudiés. Pour bénéficier de l'intéressante résistance au fluage de ces alliages pour une longue durée de vie en service, il apparaît nécessaire d'améliorer significativement leur comportement à l'oxydation.

### Microstructures des trois alliages à l'état brut de coulée

Trois alliages élaborés, à partir d'éléments purs à 99,9%, à l'aide d'un four à induction haute fréquence 50kW – 110kHz, 4 à 5 kV, sous 300 mbars d'argon pur, et obtenus sous la forme de lingots ovoïdes pesant environ 40 chacun.

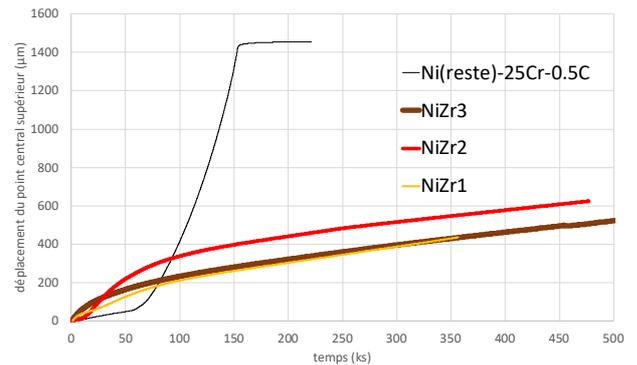
- NiZr1 : de composition chimique Ni-25Cr-0.25C-1.9Zr (pds.%), biphasé, matrice dendritique base Ni – Cr, espaces interdendritiques et joints de grains peuplés de carbures ZrC « script » de nature eutectique
- NiZr2 : de composition chimique Ni-25Cr-0.50C-1.9Zr (pds.%), triphasé, matrice dendritique base Ni – Cr, espaces interdendritiques et joints de grains peuplés de carbures eutectiques ZrC en même quantité que NiZr1, mais aussi de carbures de chrome Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>
- NiZr3 : de composition chimique Ni-25Cr-0.50C-3.8Zr (pds.%), biphasé, matrice dendritique base Ni – Cr, espaces interdendritiques et joints de grains peuplés de carbures eutectiques ZrC en quantité double par rapport à NiZr1



### Comportement en fluage à 1100°C sous balayage d'argon pur

Fluage flexion 3 points centré, échantillons parallélépipédiques de dimensions approximatives 2mm (l) × 1,5mm (e) × 15mm (L), écarts entre appuis inférieurs = 12 mm, appui supérieur en position centrale, charge (g) calculée pour produire une contrainte de traction de 20MPa (dans l'hypothèse d'élasticité) au centre de la face inférieure de l'échantillon (lieu de traction maximale), mesure du déplacement vers le bas du point central supérieur en fonction du temps.

- Tous alliages NiZr : après l'atteinte de la température de palier le fluage primaire n'est pas fini ; la transition stade I → stade II prend de 15 à 30 heures ; après 100 – 150 heures, le fluage tertiaire ne s'est toujours pas produit ; la vitesse de déformation en fluage secondaire est lente, de 2,5 – 3 µm / h (déplacement du point central)
- Par rapport à l'alliage Ni-25Cr-0,5C renforcé par carbures de chrome Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> testé dans les mêmes conditions, les trois alliages renforcés par ZrC sont incommensurablement plus résistants



### Comportement en oxydation à 1100°C en air de synthèse

- Couche d'oxyde externe couvrante mais composée majoritairement d'oxydes non protecteurs (NiO, spinelle NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) ; chrome (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) minoritaire, cantonnée à l'interface alliage – couche d'oxydes
- Croissance de l'oxyde vers l'intérieur (du moins en partie) ; progression interdendritique
- Oxydes de zirconium présents au sein de la couche d'oxyde externe (oxydation progressant vers l'intérieur → certains ZrC semblent avoir été oxydés sur place)
- Existence d'une zone décarburée entre la zone d'oxydation interne et de l'alliage non affecté par l'oxydation → existence d'une décomposition des ZrC suivie de la diffusion de Zr (et C ?) vers l'interface
- Oxydation interdendritique proche de la surface → probables effets de concentration de contrainte ; bons résultats en fluage car essais réalisés sous atmosphère neutre (Ar) ?

