



HAL
open science

Caractérisation thermomécanique en compression du revêtement abradable AlSi-PE : Identification par une loi de comportement thermoelastoviscoplastique de type Johnson-Cook

Laurent Faure, Boris Chevrier, Julien Vincent, Sylvain Philippon

► To cite this version:

Laurent Faure, Boris Chevrier, Julien Vincent, Sylvain Philippon. Caractérisation thermomécanique en compression du revêtement abradable AlSi-PE : Identification par une loi de comportement thermoelastoviscoplastique de type Johnson-Cook. Congrès National de la Recherche des IUT : CN-RIUT'2024, Université de Haute-Alsace (UHA) Mulhouse - Colmar [Université de Haute-Alsace (UHA)], Mar 2024, Mulhouse, France. hal-04619718

HAL Id: hal-04619718

<https://hal.science/hal-04619718v1>

Submitted on 21 Jun 2024

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.

Caractérisation thermomécanique en compression du revêtement abradable AlSi-PE : Identification par une loi de comportement thermoelastoviscoplastique de type Johnson-Cook

Laurent Faure¹ Boris Chevrier² Julien Vincent³ Sylvain Philippon³

laurent.faure@univ-lorraine.fr boris.chevrier@univ-lorraine.fr julien.vincent@univ-lorraine.fr

sylvain.philippon@univ-lorraine.fr

¹ IUT de Metz, Université de Lorraine, F-57000 Metz, France
Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux (LEM3), UMR 7313

² Safran Aircraft Engines, Réau,
Rond-Point René Ravaud, 77551 Moissy-Cramayel, France

³ École Nationale d'Ingénieurs de Metz (ENIM), Université de Lorraine, F-57000 Metz, France
Laboratoire d'Etude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux (LEM3), UMR 7313

THÈMES – *Matériaux - Mécanique, Productique*

RÉSUMÉ – *Les revêtements abrasables sont utilisés dans les moteurs d'avion pour diminuer les fuites entre étages en réduisant les jeux rotor/stator des compresseurs basse et haute pression. En raison de la complexité de la reproduction expérimentale des interactions rotor/stator rendues possibles par cette diminution des jeux fonctionnels, des approches par modélisations numériques sont utilisées pour optimiser le choix du revêtement abradable. Néanmoins ces modèles utilisent le comportement dynamique thermomécanique de l'abradable comme donnée d'entrée. Dans ce cadre, une formulation originale d'une loi de comportement de type Johnson-Cook est proposée pour mieux prédire le comportement thermomécanique du matériau abradable AlSi-PE aux hautes températures et aux vitesses de déformation représentatives des conditions de fonctionnement du moteur.*

MOTS-CLÉS – *Revêtements abrasables, Dynamique, Barres d'Hopkinson, Température, Lois de comportement*

1 Introduction

L'efficacité d'un turboréacteur est fonction du taux de compression de l'air passant par la turbomachine. Pour que celui-ci soit le plus élevé possible, il est important que le débit de fuite inter-étages du compresseur et de la turbine soit quant à lui le plus faible possible. Une solution est de diminuer le jeu entre le rotor et le stator. Néanmoins, la réduction de ces jeux fonctionnels augmente fortement la probabilité de créer un contact indésirable entre les aubes et le carter. Pour éviter que ces pièces ne soient endommagées des revêtements abrasables sont introduits comme couche sacrificielle sur la surface interne du carter. En cas d'interaction, leur nature hétérogène et poreuse leur permet de s'user préférentiellement sans engendrer d'efforts excessifs aboutissant à l'endommagement des aubes, Fig. 1.

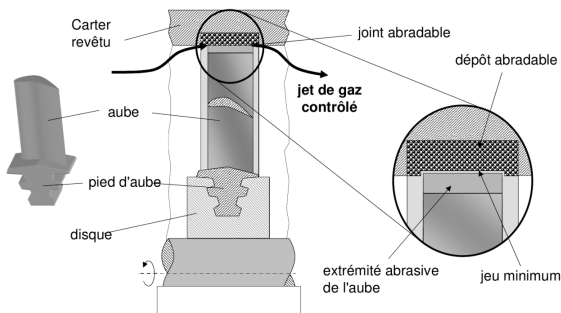


FIGURE 1 – Joint abrasable

Afin de mieux appréhender le comportement de ces revêtements, de nombreux bancs d'essais ont été mis au point au cours des dernières décennies, recréant des conditions d'interactions spécifiques entre des aubes simplifiées et des revêtements abrasables [1]. Néanmoins, en raison de la complexité à reproduire expérimentalement des conditions d'interaction rotor/stator (vitesses relatives proches de 300 ms^{-1} , températures avoisinant 350 °C , profondeur d'incursion de quelques μm) des approches par modélisation sont parfois utilisées pour optimiser le choix du revêtement abrasable [2]. Même s'il semble que ces simulations numériques soient un bon moyen de les caractériser, cette stratégie nécessite une bonne connaissance du comportement thermomécanique des matériaux abrasables en conditions représentatives du fonctionnement des moteurs d'avions. Skiba et al [3] ont ainsi récemment proposé une loi de comportement bilinéaire thermoélastoviscoplastique pour des conditions de chargement dynamiques. L'objectif de la présente étude consiste à proposer une nouvelle loi de comportement utilisant le formalisme de Johnson-Cook.

2 Techniques expérimentales

Le revêtement abrasable de type AISi-PE étudié ici est constitué d'une matrice métallique Aluminium-Silicium (88% Al; 12% Si). Il est principalement utilisé dans le compresseur basse pression d'un turboréacteur et soumis

à des températures allant jusqu'à 360 °C . Tous les essais dynamiques présentés dans cette étude ont été réalisés en compression à l'aide d'un dispositif de barres de Hopkinson (SHPB) en Inconel 718, pour deux vitesses de déformation 1200 s^{-1} et 2000 s^{-1} et pour une gamme de températures s'étendant de l'ambiante à 360 °C ; ces paramètres expérimentaux étant représentatifs d'une incurSION radiale d'une aube au sein du revêtement abrasable en cours de fonctionnement. La technique du pulse shaping a également été utilisée afin d'imposer un taux de déformation quasi-constant à l'échantillon et ainsi contribuer à un meilleur état d'équilibre pendant sa mise en charge. En complément, des essais quasi-statiques ont été effectués à l'aide d'une machine Instron 5585H à $17 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ pour la même gamme de températures que celle citée auparavant.

3 Résultats et discussion

La corrélation des résultats des essais SHPB avec une loi de comportement type Johnson-Cook, impose que la déformation et la contrainte conventionnelles ε et σ soient exprimées en valeurs réelles suivant les relations suivantes :

$$\varepsilon_V = \ln(1 + \varepsilon) \quad (1)$$

$$\sigma_V = \sigma(1 + \varepsilon) \quad (2)$$

Selon l'eq. (2), afin de vérifier les hypothèses de conservation de volume et de déformation homogène des échantillons d'AISI-PE sous chargement, des essais préliminaires ont été réalisés avec une caméra haute vitesse (Shimadzu HPV2 - résolution de 312×260 pixels) à une fréquence de 500 images/sec pour être soumis à une analyse par corrélation d'images numériques (DIC) avec le logiciel libre Ncorr sous Matlab. Les résultats présentés à la Fig. 2

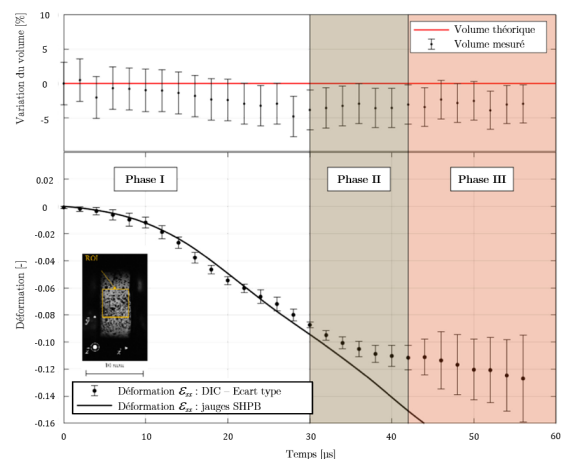


FIGURE 2 – Analyse par corrélation d'images (DIC)

montrent une variation maximale du volume estimée à 6%, soulignant ainsi une conservation satisfaisante du volume des éprouvettes. De plus cette analyse montre que malgré la nature poreuse et hétérogène de l'abrasable AISi-PE, la déformation ε_{xx} mesurée par les jauges SHPB correspond à la

déformation ε_{xx} issue de la corrélation DIC et tend à rester homogène au cours de la première période de chargement par les barres (Phase I), rendant par conséquent la modélisation par Johnson-Cook pertinente. La loi de Johnson-Cook peut s'exprimer sous la forme eq. (3) :

$$\sigma_T = \left[A + B\varepsilon_T^n \right] \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_0}{T_f - T_0} \right)^m \right] \quad (3)$$

où A , B et n décrivent l'écrouissage, C la sensibilité à la vitesse de déformation et m la sensibilité à la température du matériau. La température de fusion T_m , n'étant pas adaptée au revêtement AISi-PE multiphasique a été remplacée ici par la température T_f à laquelle le matériau se déforme plastiquement sans contrainte. Une étude préliminaire [3] a montré que cette formulation ne permettait pas de reproduire de façon satisfaisante les résultats issus des essais réalisés à des températures supérieures à 250 °C et des vitesses de déformation supérieures à 1200 s⁻¹.

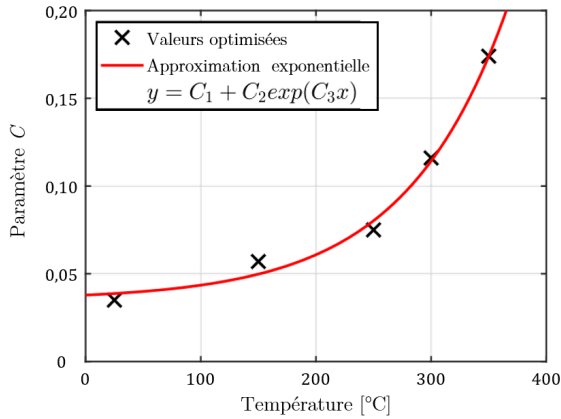


FIGURE 3 – Évolution du paramètre de sensibilité C

Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces divergences, comme la nature fortement hétérogène de l'AISI-PE par exemple. Cependant, la dépendance d'autres paramètres à la température a été particulièrement étudiée du fait de sa forte influence sur la réponse mécanique du matériau. L'illustration de la dépendance du paramètre C à la température est présentée Fig. 3, suggérant une corrélation de type exponentielle entre ces deux paramètres. Une formulation du paramètre C en fonction de la température est alors proposée en eq. (4) :

$$C = C_1 + C_2 \exp(C_3 T) \quad (4)$$

Cette formulation introduit trois nouveaux paramètres, C_1 , C_2 et C_3 , qui ont été déterminés à partir des données issues des essais. Grâce à cette correction de C , une meilleure correspondance entre les résultats expérimentaux et la loi de comportement de l'AISI-PE à des températures et des taux de déformation élevés (1200 s⁻¹) est visible sur la Fig. 4. Les paramètres d'identification de la loi sont proposés à la table 1. L'erreur moyenne d'approximation calculée reste

inférieure à 10% pour des températures allant de 25 °C à 360 °C. Bien que les résultats ne soient pas présentés ici, une étude similaire a été réalisée pour différentes vitesses de déformation et a montré une faible influence du taux de déformation pour un niveau de température donné.

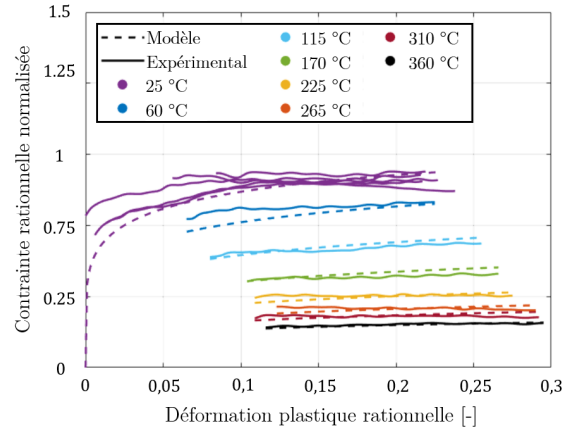


FIGURE 4 – Expérimental vs modélisation (normalisé)

A	B	n	m
0.012	0.736	0.181	0.688
C_1	C_2	C_3	T_f (°C)
0.06	3.39×10^6	0.033	380.47

TABLE 1 – Identification des paramètres

4 Conclusion

Une loi originale capable de décrire le comportement thermomécanique du revêtement abrasable AISi-PE a été proposée révélant dans un premier temps la faible influence de la vitesse de déformation à température constante et dans un second temps une dépendance de type exponentielle entre la température et le paramètre de sensibilité à la vitesse de déformation.

Références

- [1] B. Martinet, A. Cappella, S. Philippon, C. Montebello, *Effect of temperature on wear mechanisms of an aluminium - Based abrasable coating for aircraft engines after a dynamic interaction with a Ti6Al4v blade*, Wear 446–447 (2020)
- [2] A. Batailly, M. Cuny, M. Legrand, S. Philippon, *Numerical-experimental confrontation in the simulation of tool/ abrasable material interaction*, hal-00826981 (2014) 0-19
- [3] S. Skiba, L. Faure, S. Philippon, J. Papisidero, *Experimental Investigation of the Mechanical Behavior of an AISi-PE Abradable Coating at High Strain Rates for a Large Range of Temperatures*, J. Dynamic Behavior Mater. (2020).