

# ガスタービン用耐熱超合金のエロージョン損傷

輸送高度化研究領域新材料利用研究グループ \*千田 哲也、古谷 典ゆき  
法政大学 佐々木 康裕、新井 和吉  
物質・材料研究機構 原田 広史

## 1. 緒言

スーパーエコシップ等の新形式船舶用の主機関として、ガスタービンが注目されている。船舶用ガスタービンでは、既存の航空用または産業用ガスタービンに比較して低質の燃料を使用することから、未燃炭素等の固体粒子の衝突による高温部材の損傷が懸念される。そこでガスタービンの高温燃焼ガス流路に使用されるニッケル基単結晶超合金を対象として、微細な固体粒子の繰り返し衝突による材料損傷であるエロージョン特性を調べた。

## 2. 実験方法

試験材料として、物質・材料研究機構で開発された単結晶超合金 TMS-75、及び同じく第3世代（高 Re 含有）の単結晶超合金である CMSX-10 を

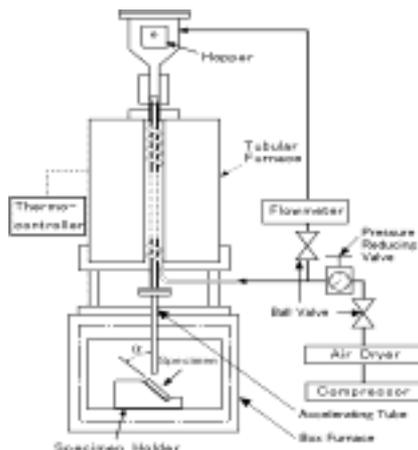


図1 エロージョン試験装置

対象とし、直径 12.7mm(一部は 10mm)、厚さ 3mm の円板試験片を作製した。試験面は結晶成長方向に直角の(001)面である。超合金の組成を表1に示す。

試験に用いた高温エロージョン試験装置の概要を図1に示す。コンプレッサからの圧縮空気とホッパーから供給される固体粒子の混相流を管状炉によって昇温して、下部の箱型炉内のノズル直下に置いた試験片に粒子群として衝突させエロージョンを発生させる。ノズル先端と試験片までの距離は 10mm とした。

試験温度は試験片温度で定義し、空気を流した状態で試験片の平均温度が試験温度に保たれるよう二つの電気炉の温度を設定した。試験温度は室温から 900 の範囲で変化させ、粒子衝突速度は 65 m/s とした。衝突固体粒子としてアルミナ研磨剤(#46)を使用した。試験片表面に対する粒子の衝突角度は 75° で一定とした。

温度設定後、コンプレッサからの圧縮空気により約 25g の固体粒子を試験片に衝突させた。試験片の重量減少量を体積に換算し、単位衝突粒子量当りの体積減少量を損傷速度 ( $m^3/kg$ ) と定義し、エロージョン特性の評価に用いた。試験後には走査電子顕微鏡 (SEM) と透過電子顕微鏡 (TEM) 等を用いて損傷面の観察を行った。

## 3. 実験結果と考察

図2に Ni 基超合金 (TMS-75 及び CMSX-10)

表1 単結晶 Ni 基超合金の組成 (質量%)

	Co	Cr	Mo	W	Al	Ti	Nb	Ta	Hf	Re	Ni
TMS-75	12.0	3.0	2.0	6.0	6.0			6.0	0.1	5.0	bal
CMSX-10	3.0	2.0	0.4	5.0	5.7	0.2	0.1	8.0	0.03	6.0	bal

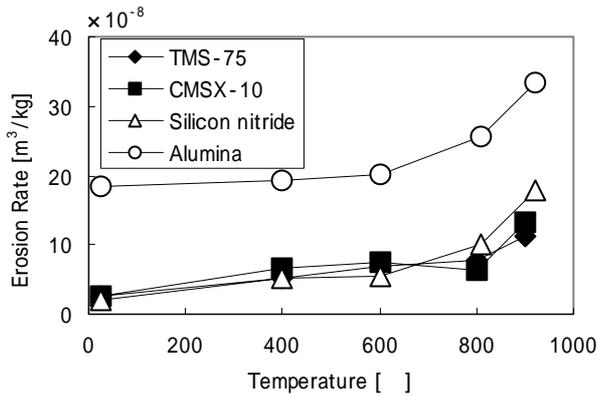


図2 エロージョン損傷速度と温度の関係

の損傷速度と温度の関係を、アルミナ<sup>1)</sup>および窒化ケイ素<sup>2)</sup>の結果と比較して示す。セラミックスほど顕著ではなかったが、損傷速度は増温度上昇とともに加する傾向を示した。損傷速度は、窒化ケイ素(京セラ SN-220)とほぼ同様で、アルミナ(ニッカトー SSA-S)よりは低く、高温での耐エロージョン性は比較的良好との結果が得られた。

図3にNi基超合金の高温損傷面近傍の断面SEM写真を示す。表面付近ではNi基超合金で特徴的な $\gamma$ 相と $\gamma'$ 相がつくる格子状の構造が変形または消失しており、塑性変形を伴うマイクロ破壊が起きていた。この変形は高温の方がより強くかつ広い範囲で見られ、800°Cでは輝点として観察される析出物が観察された。き裂が変形部から発生していることから、塑性変形をとともうき裂の発生・進展が、損傷の主なメカニズムと考えられる。

図4に析出物近傍のTEM写真を示す。転位網の形成とセル構造化がみられる。析出物は、EDS分析によりReを多量に含むことが、また電子線回折からTCP相として知られる金属間化合物であることがわかった。試験温度は、クリーブ環境下でのTCP相の析出温度より少し低いですが、粒子衝突の繰り返しによる表面の局所的な温度上昇と過大な応力のために析出が促進されたと考えられる。TCP相は高温強度に有害な相とされる<sup>3)</sup>ことから、格子状構造の消失とともに高温での損傷速度増大の一因と考えられる。

#### 4. 結 言

第3世代Ni基単結晶超合金TMS-75及びCMSX-10について、室温から900°Cまでの範囲で

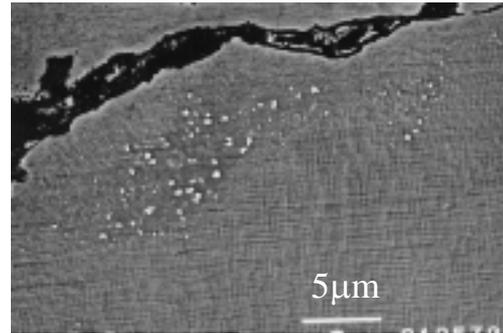


図3 高温エロージョン損傷面近傍のSEM写真 (TMS-75、800°C)

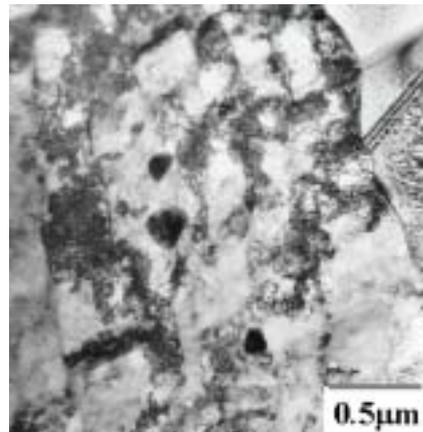


図4 エロージョン損傷部のTEM写真 (TMS-75、800°C)

エロージョン試験を行った。損傷量は、温度の上昇とともに増加し、高温の損傷面では塑性変形が顕著にみられ、TCP相が観察された。これらの結果から、塑性変形を伴うき裂発生により高温で損傷が進行したと推測された。

**謝辞** TEM観察で有益な討論をいただいた村雲岳郎氏(物質・材料研究機構)、TEM観察についてご協力をいただいた日本電子(株)及びエロージョン実験に協力をいただいた安田雄治氏、吉川健一氏(法政大学)に感謝致します。

#### 参考文献

- 1) 千田哲也, 新井和吉, 安嶋賢哲, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 109 [3] 254-259 (2000).
- 2) 佐々木康裕, 松原暁雄, 新井和吉, 千田哲也, 日本機械学会第8回機械材料・材料加工技術講演会講演論文集, No.00-36, 99-100 (2000).
- 3) C.T. Sims, *Superalloys II* (Ed. C.T.Sims, et al.), pp. 217-239, John Wiley, 1987.