

平成 24 年度工学系共通経費による顕彰と研究助成 成果報告書

所 属	理工学研究科 機械制御システム専攻
研究者 (ふりがな)	阪口 基己 (さかぐち もとぎ)
タイトル	耐熱超合金の高温き裂進展に対する結晶破壊力学アプローチ
助 成 名	他機関から採用となった准教授 (講師) への研究推進のための助成
採択金額	1,200,000 円
研究の背景	<p>高温構造材に用いられる Ni 基耐熱超合金は優れた高温強度を誇るが、タービン稼働中には多くの損傷を受け、材料中には多数のき裂が発生する。材料の寿命管理や長寿命化には、発生したき裂の進展特性を正確に把握することが不可欠である。本研究では、Ni 基耐熱超合金の疲労き裂進展をターゲットにし、実機材と同程度の厚さを持つ小型サンプルを用いた実験により、疲労き裂進展特性に対する結晶方位やすべり、結晶粒界などの結晶学的因子が与える影響を明らかにすることを目的とした。</p>
結果と考察	<p>上述の目的達成のため、Ni 基超合金から実際のガスタービン翼と同程度の厚さを有する小型 CT 試験片を採取し、独自に設計・製作した試験系を用いて疲労き裂進展試験を行った。Ni 基超合金の単結晶材ならびに一方向凝固材から得られた結果を標準試験片のき裂進展特性と比較しながら、小型試験片のき裂進展に及ぼす結晶方位と結晶粒界の影響を検討した。</p> <p>まず、小型試験片の作成方法ならびにその試験片に対するき裂進展試験を可能にするための試験系の設計・製作を行った。具体的には、Ni 基超合金単結晶材 NKH-304 ならびに一方向凝固材 Mar-M247 から、縦 12mm、幅 10mm、板厚 0.5mm の小型試験片を採取し、疲労試験機に試験系を取り付けるための固定具、小型試験片に再現性の高い負荷を与えるための 2 種類の負荷用ピン、曲げモーメントが加わることを防ぐために小型試験片を挟む平板を設計・製作した。</p> <p>つぎに、Ni 基超合金単結晶材 NKH-304 から結晶方位に対して負荷方向が<100>、<110>方位となるように小型試験片を採取し、組み上げた試験系を用いて室温での疲労き裂進展特性に及ぼす結晶方位の影響について検討した。観察したき裂進展経路から、全ての試験片は負荷方向に依存せず、結晶学的 {111} すべり面に沿ってき裂が進展することが明らかとなった。また、負荷方向が<110>方位になる試験片は負荷方向が<100>方位になる試験片よりもき裂進展速度が低くなることが明らかになった。これは、負荷方向が<100>方位になる試験片ではノッチに対して 45 度方向にき裂が一直線に進展する一方で、負荷方向が<110>方位になる試験片ではき裂がノッチに平行な経路と垂直な経路を乗り換えながら進展し、この経路の屈曲に伴うき裂進展駆動力の低下によりき裂進展速度が低下したためと考えられる。また、小型試験片のき裂進展速度が標準試験片のそれよりも大きいことも明らかになった。小型試験片のき裂進展速度が速い理由として、薄い小型試験片においては板厚中央部の平面ひずみ領域が板厚に占める割合が小さいために平面応力状態が支配的となり、表面で生じたすべり変形が容易に試験片を貫通し、別のすべり系に阻害されることなくき裂が進展したためと考えられる。</p> <p>最後に、Ni 基超合金一方向凝固材 Mar-M247 から、負荷方向が鑄造方向に垂直となるよう小型試験片を採取し、その疲労き裂進展特性に及ぼす結晶粒界の影響について検討した。また、試験片は負荷方向がノッチ先端の結晶方位に対して<100>方位、<110>方位となるものを準備し、結晶粒の結晶方位が疲労き裂進展に及ぼす影響も検討した。その結果、<100>方位を配向した結晶粒内ではノッチ面か</p>

ら大きく傾いた単一のすべり面を一直線にき裂が進展するのに対し、 $\langle 110 \rangle$ 方位を配向した結晶粒内ではき裂は複数の $\{111\}$ すべり面を乗り換えながら進展し、前者の場合のき裂進展速度は後者の場合のそれよりも大きくなることが明らかとなった。これらの結晶粒の結晶方位とき裂進展経路ならびにき裂進展速度の関係は単結晶材試験片で見られたものと同様であった。また、一方向凝固材の小型試験片では、き裂が結晶粒界に接近するとき裂進展面は屈曲し、それにともなっとき裂進展速度が低下した。き裂進展速度の低下の度合いは粒界近傍でのき裂の屈曲角度の大きさに依存し、これには隣接する2つの結晶粒内の $\{111\}$ すべり面の幾何学的位置関係が影響を及ぼしていると推察された。

結論と今後の課題

今回の研究により室温での再現性の高い実験は可能になったが、現試験系に高周波加熱装置あるいは電気炉等を組み合わせ、 1000°C 超での高温疲労き裂進展試験が行うことが求められる。そのうえで、

- き裂進展における結晶粒界の役割が、(i) 試験片板厚 (0.5mm, 1mm, 2mm), (ii) 粒界を挟む2粒の結晶方位と方位差, (iii) き裂面と粒界の幾何学的配置 (tilt 角, twist 角) にどのように依存するかを精査する,
- 項目①で抽出した粒界の役割が、(iv) 試験温度 (室温, 650°C , 850°C), ならびに, (v) 時間依存型の組織変化や粒界脆化によりどのように変化するかを抽出する,
- 材料中の結晶粒の方位, 結晶粒界の形状・分布, ならびに, その中を進展したき裂の経路を再現した弾粘塑性解析を行い, DS 材小型サンプルの疲労き裂進展における結晶粒界の定量的役割を明らかにするとともに, 項目②および③で得られた実験結果に合理的解釈を与えるき裂進展モデルを構築する,

ことが必要になる。これらの検討を通し、耐熱超合金に対する信頼性の高い寿命予測法の確立を目指したい。

使用内訳書

費 目	内 訳	金 額
備品 1	超音波リニアアレイプローブ	420,000
備品 2		
消耗品		404,582
旅 費	長岡技術科学大学、バハマ	291,050
その他	シンポジウム参加費等	84,368
合 計		1,200,000

記入上の注意：

備品は、品名ごとに記入。

差額が生じた場合は、消耗品で調整。

消耗品を購入しなかった場合は、経費の差額と補填した予算科目名を合計額の内訳欄に記入。