

# 高温材料Co基合金の特性回復熱処理条件の検討

ガスタービン燃焼器ライナの延命化を目指して

## Study of Characteristic Recovery Heat Treatment Conditions for Co-based Alloy, a High-Temperature Material

Aiming to extend the life of gas turbine combustor liners

(電力技術研究所 材料技術G 材料T)

ガスタービン高温部品であるCo基合金製の燃焼器ライナはユニットの起動・停止に伴う熱疲労により材料劣化が生じ、6～8年程度の使用で新製取替が必要となる。本研究ではCo基合金の新材に熱疲労による材料劣化を与え、その後様々な条件で熱処理を行った。室温での引張試験の伸び等の回復結果から、材料特性を回復し延命化が期待できる熱処理条件を見出した。

(Materials Technology Team, Materials Engineering Group, Electric Power Research and Development Center)

Combustor liners made of the Co-based alloy, which are a high-temperature component of gas turbines, deteriorate due to thermal fatigue related to the starting and stopping of the unit, and it is necessary for these to be replaced with a new product after about 6 to 8 years of use. In this study, material deterioration due to thermal fatigue was applied to new Co-based alloy material, and then a heat treatment was applied under various conditions. From the recovery results such as tensile test elongation at room temperature, a heat treatment condition that can restore the material properties and prolong life was found.

### 1 背景および目的

ガスタービン高温部品の燃焼器(第1図)は、高温の燃焼ガスに曝されるため、ユニットの起動・停止の繰り返しにより熱膨張と熱収縮が生じ、熱応力が発生する。燃焼器部品のひとつである燃焼器ライナ(第2図)は、高温の燃焼ガスに曝される内面側に遮熱コーティングが施され、外面側は冷却空気により冷却する構造となっている。また、複雑構造(第6図参照)であるため、局部的に冷却空気や燃焼ガスの温度不均一によって熱応力が発生する。このような熱応力が繰り返し作用して熱疲労による材料劣化が生じ、特に冷却孔等の微小領域に集中してき裂が発生することが多く、定期的な補修を行っている。しかし、定期的な補修を行っても材料劣化は進行し、6～8年程度の短寿命で新製取替が必要となっている。

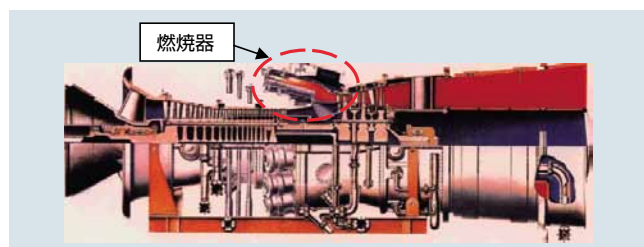
そこで、本研究では、燃焼器ライナに使用されるCo基合金を対象として、熱疲労により劣化した材料特性を回復できる熱処理条件を検討した。

### 2 研究の概要

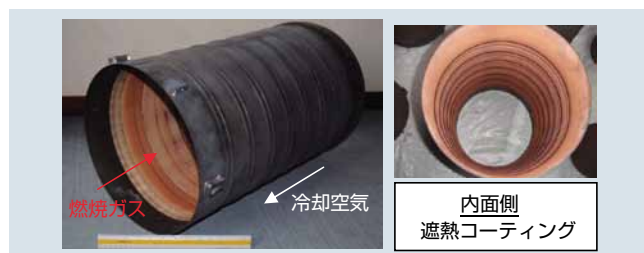
#### 2.1 熱疲労による劣化の影響

燃焼器ライナに使用されるCo基合金相当材(新材)を用いて、熱疲労による機械的強度低下等の影響を調査した。

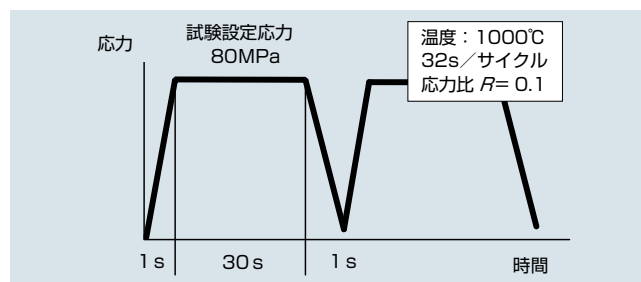
まず、熱疲労を付与する試験条件(第3図)は温度一定・応力変動条件とし、実機の使用条件から熱疲労試験での破断寿命を1000℃、最大80MPa(30秒保持の台形波)の条件で、720サイクルとした。次に、破断寿命720サイクルの25%(180サイクル)、50%(360サイクル)、75%(540サイクル)を付与した熱疲労試験後、引張試験を実施した。第4図に室温での引張試験の伸びと絞りを示す。引張強さと0.2%耐力の低下は認められなかったが、伸びと絞りは熱疲労サイクル数の増加とともに低下し、熱疲労によって脆化する傾向が認められた。このように熱疲労による劣化は、室温での引張伸びと絞りに影響を及ぼすことが分かった。



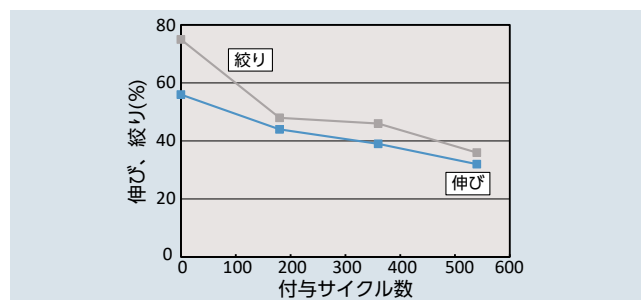
第1図 ガスタービン断面図



第2図 燃焼器ライナの外觀



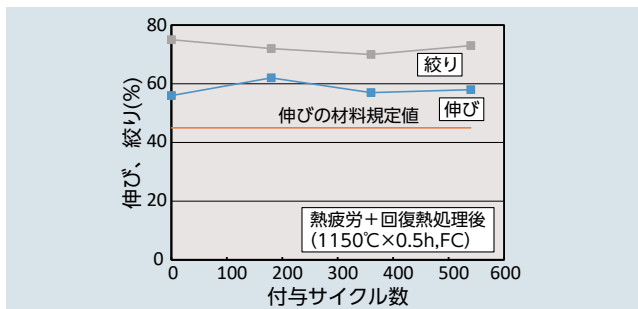
第3図 熱疲労試験サイクル



第4図 熱疲労材の引張試験結果(室温)

## 2.2 熱疲労による材料特性の回復

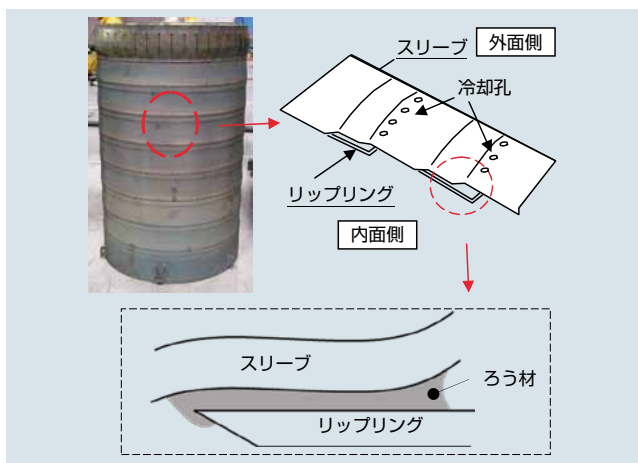
Co基合金（新材）を用いて、熱疲労による材料劣化を与え、その後熱処理を行い引張特性の回復状況を確認した。熱処理条件は、材料製造時の熱処理条件に近い1180℃または1150℃×0.5時間の高温保持とし、その後の冷却は水冷（WQ）またはファン冷却（FC）とした。熱疲労による材料劣化を与え、1150℃×0.5時間保持、FC後における室温での引張試験の伸びと絞りを第5図に示す。WQ、FCのどちらも、熱疲労劣化により低下した引張特性は回復することを確認したが、0.2%耐力は材料製造時の規定値379MPaをわずかに下回った。



第5図 熱処理後の熱疲労材の引張試験結果(室温)

## 2.3 ろう材への熱影響

第6図に燃焼器ライナの構造を示す。冷却孔を通り外面側から流入した冷却空気を整流するため、リップリングが設置されており、このリップリングはスポット溶接とろう付けによりスリーブに固定されている。そこで、ろう材の材料特性を把握して熱処理の影響を調査した。



第6図 燃焼器ライナの構造

実機の燃焼器ライナを用いた破壊調査により、ろう材の仕様は約19%のCrと約10%のSiを含む高温用Ni系ろう材と想定された。また、実機の燃焼器ライナを用いた加熱試験では、このろう材の溶融が1100～1150℃の温度域で発生した。

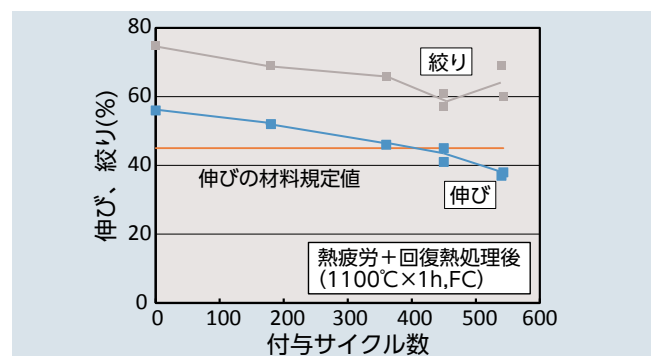
これらの調査結果から、燃焼器ライナへ熱処理を施す場合には、ろう材の溶融を避けて1100℃以下とする必

要があることが分った。

## 2.4 回復熱処理条件の検討

Co基合金（新材）を用いて、熱疲労による材料劣化を与え、1100℃×0.5時間保持、FC後における室温での引張試験では0.2%耐力は向上し、材料製造時の規定値を満足できたが、引張伸びは1150℃での熱処理に比べて低下し、360サイクル以上の熱疲労で規定値をわずかに下回った。そこで、熱処理時間の影響を調査し、熱処理時間を長くすることにより回復熱処理条件1100℃×1時間保持、FCを見出した。この回復熱処理の効果は、360サイクルの時点において、高温での引張試験やクリープ試験、硬さの観点でも調査し、新材と同等レベルであることを確認している。なお、肉厚が1mm程度と薄い実機の燃焼器ライナの場合、WQは不適と考えられる。

熱疲労による材料劣化を与え、1100℃×1時間保持、FC後における室温での引張試験の伸びと絞りを第7図に示す。なお、熱処理により回復する引張伸びの規定値境界を確認するため、450サイクルの熱疲労を付与した試験を2点追加した。引張伸びは熱疲労サイクル数の増加とともに低下傾向を示すことから、熱疲労寿命の50%（360サイクル）消費する時期までに回復熱処理を行う必要があることが分った。



第7図 回復熱処理後の熱疲労材の引張試験結果(室温)

## 3 研究の成果

高温材料Co基合金の材料特性回復限界およびろう材への熱影響抑制を含めた材料特性を回復できる熱処理条件を見出すことができた。すなわち、熱疲労寿命の50%消費する時期までに、1100℃×1時間保持、FC条件で熱処理を施せば、燃焼器ライナの材料特性を新材レベルまで回復できると考えられる。

## 4 今後の展開

今回明らかにしたCo基合金の特性回復熱処理技術は、回復熱処理の最適な適用時期の選定など、高温材料の特性回復技術の向上に活用していきたい。



執筆者／高山広司