

論文の要旨

題 目 軸応力を受ける酸化物分散強化白金ロジウム合金の高温曲げ疲労特性と
寿命予測に関する研究
(Study on High-Temperature Bending Fatigue Properties and Life Prediction of Oxide
Dispersion-Strengthened Platinum-Rhodium Alloy Subjected to Axial Stress)

氏 名 丹羽 章文

白金合金は、溶融ガラスに対して欠陥を与えにくいことなどからガラス製造において構造部材として多用されているが、このように構造部材として使用される場合、その部材の機械的特性を把握し、使用条件における寿命予測を正確に行うことは設備設計上重要である。特に、白金合金は非常に貴重であり高価であるため、資源の有効利用および設備投資の削減という点においても、正確な寿命予測を行なうことでその使用量を最適化していく意義は大きい。しかしながら、このような白金合金の機械的特性データは少ないため、ガラス製造における使用条件、例えばスターラーを有する白金合金製容器において、溶融ガラスによる内圧やスターラーによる圧力変動を加味した寿命予測を行うためのデータは不十分である。そこで本研究では、ガラス製造で使用される白金合金の高温における機械的特性に着目し、特に、軸応力を受ける酸化物分散強化白金ロジウム合金の 1400°Cにおける高温曲げ疲労特性とその寿命予測について検討を行なった。

本論文は 7 章から構成されており、第 1 章では本研究の背景および従来の研究事例、研究目的について述べた。

第 2 章では、独自に構築した軸応力を付与可能な高温曲げ疲労試験装置の概要と実験方法、および試験片の応力状態の解析に用いた有限要素法解析について詳細を述べた。

第 3 章では、酸化物分散強化白金ロジウム合金の 1400°Cにおける高温曲げ疲労試験結果を示し、およびその破壊メカニズムについて検討を加えた。その結果、破壊メカニズムについては、応力振幅や試験周波数によらず、表面のすべり運動により発生した入込み・突き出しに起因する凹凸により粒内に発生したき裂が、試験片内部方向に進展して破断に至る疲労破壊であることを明らかにした。

第 4 章では、1400°Cにおける比較的高い軸応力を受ける高温曲げ疲労試験結果を示し、その破壊メカニズムについて有限要素法解析を用いて考察を行なった。また、比較的高い軸応力を受ける高温曲げ疲労における寿命予測法についても検討を加えた。その結果、比較的高い軸応力を受ける高温曲げ疲労においては、低応力振幅の場合は軸応力の影響で板厚方向の断面全域でクリープ損傷が進行するが、高応力振幅では板厚中央部付近のみでクリープ損傷が進行し、内部からクリープ破壊が生じることを明らかにした。

第 5 章では、1400°Cにおける高温曲げ疲労試験において異なる軸応力を付与して実施した実験結果を示し、高温曲げ疲労特性に及ぼす軸応力依存性について検討した。その結果、軸応力が増加するにしたがって、同じ仮想弾性応力振幅における破断寿命は短くなり、破壊メカニズムは疲労破壊からクリーブ破壊へと遷移することが認められた。このことから、破壊メカニズムは、板厚方向中央部のクリーブ破断寿命と、表面の疲労破壊寿命とを比較し、短いほうが主要因になることが示唆された。さらに、軸応力が比較的高い場合の主な破壊メカニズムは内部からのクリーブ破壊であり、板厚方向の中央部 25%の領域の平均応力から推定したクリーブ破断時間により、寿命を精度良く予測することが可能であることを示した。一方で、軸応力が低い場合の破壊メカニズムは表面からの疲労破壊が主要因となるため、疲労寿命から寿命予測すべきであることも明らかにした。ただし、軸応力が低い場合でも、応力振幅が十分に小さい場合は内部からのクリーブ破壊が主要因となるため、実際の設備のように応力振幅が小さい場合は、板厚方向中央部に発生する応力におけるクリーブ破断寿命から寿命予測すべきであることを示した。

第 6 章では、第 5 章で提案した寿命予測法の妥当性および精度向上手法について検討するため、高温疲労による予損傷がクリーブ寿命に及ぼす影響、およびクリーブによる予損傷が高温疲労寿命に及ぼす影響について評価した結果を示し、考察を述べた。その結果、高温曲げ疲労あるいはクリーブのどちらかが破壊の主要因であり、そうではない方による損傷が 50%以下である場合は、破壊の主要因における寿命への影響はほとんどないことが示唆された。一方で、破壊の主要因ではないメカニズムにおける損傷量が 50%を超える場合には、その影響により数十%の寿命低下が生じ得ることを明らかにした。そのため、軸応力を受ける酸化物分散強化白金ロジウム合金の高温曲げ疲労においては、材料の板厚方向中央部のクリーブ破断寿命と、表面からの疲労破壊寿命とを比較し、破壊の主要因となる短いほうの寿命から寿命予測が可能であるが、さらに破壊の主要因ではない方の影響を考慮することで寿命予測の精度を向上させることが示された。

第 7 章では、本研究で得られた内容を総括し、結論を示した。