

力学機能のナノエンジニアリング
2020年度採択研究代表者

2022年度
年次報告書

菊池 将一

静岡大学 工学部
准教授

周期マイクロ強度勾配制御による多機能材料設計

研究成果の概要

今年度は、周期マイクロ強度勾配制御金属を対象にした(1)切欠きによる疲労特性変化メカニズムの解明、(2)疲労き裂進展抵抗を高める手法の検討、(3)高輝度放射光による周期構造金属の損傷計測を行った。

マイクロ強度(結晶粒径)を周期制御したステンレス鋼に注目し、疲労限度に及ぼす応力集中係数 K_t の影響について検討を加えた。 K_t の増加に伴い、周期構造ステンレス鋼の疲労限度は一旦低下した後に増加し、再び低下する傾向を示した。疲労破壊組織を観察した結果、 $K_t < 1.10$ では粗大粒組織が、 $K_t > 1.25$ では微細粒組織が破壊起点であった。また、FEM解析によって微細粒組織に高い応力が分配されることを明らかにし、結晶粒径の周期制御による切欠材の疲労特性向上は、疲労破壊組織の切り替わりに起因することを明らかにした。

しかし、切欠きを有する周期構造ステンレス鋼に停留き裂は観察されず、微細結晶粒の形成割合を増加させても疲労限度に及ぼす影響は小さかった¹⁾。そのため、疲労き裂進展の観点からは、元素濃度の周期制御によってマイクロ強度差をより大きくする手法²⁾や、疲労き裂進展経路を屈曲させる手法³⁾、さらに下限界有効応力拡大係数範囲 $\Delta K_{eff,th}$ を増加させる手法⁴⁾の確立が重要と考え、それらの検討にも着手して一定の成果を得た。

次に、周期構造ステンレス鋼の損傷挙動に着目し、高輝度放射光施設 SPring-8 にてミスオリエンテーションの負荷応力依存性について検討を加えた。その際、本システムの検出限界(2.4 μm)を考慮し、微細粒と粗大粒を相似的に大きくした周期構造ステンレス鋼を作製した。その結果、粗大粒組織と比較して、周期構造ステンレス鋼の微細粒における転位密度変化は大きいことが明らかとなった。このことは、周期構造において降伏強度の高い微細粒組織が損傷しやすいことを示す結果である。また、均質粗大粒材と比較して、周期構造内の粗大粒におけるミスオリエンテーションの変化量が小さいことも明らかにした⁵⁾。

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Analysis of Fatigue Performance of Austenitic Stainless Steels with Bimodal Harmonic Structures Based on Multiscale Model Simulations”, *Materials & Design*, Vol. 226, pp.111657, (2023).
- 2) “Effect of a Heterogeneous Nitrogen Diffusion Phase on Four-point Bending Fatigue Properties in Commercially Pure Titanium”, *Materials Transactions*, Vol. 63, No. 7, pp.1046-1054, (2022).
- 3) “粉末冶金を用いた周期 TiB 析出制御チタンの創製とその下限界近傍における疲労き裂伝ば特性”, *材料*, Vol. 71, No. 12, pp.953-960, (2022).
- 4) “バイモーダル構造を有するハイエントロピー合金 CrMnFeCoNi の創製とその疲労き裂伝ば特性”, *材料*, Vol. 71, No. 12, pp.961-968, (2022).
- 5) “Misorientation Measurement in Tensile Test of Bimodal Harmonic Structured Stainless Steel by Diffraction Contrast Tomography using Ultrabright Synchrotron Radiation X-ray”, *Procedia Structural Integrity*, Vol. 43, pp.221-227, (2023).