

### 主論文審査の要旨

疲労破壊はき裂先端の繰り返し塑性変形に基づいて起こる現象である。hcp 金属では金属ごとに活動すべり系が異なり、結晶方位によっては双晶変形を起こしやすい。そのため、結晶方位により疲労破壊挙動が異なることが予想される。しかしながら、hcp 金属の疲労破壊機構やその結晶方位依存性などに関する研究は少ない。そこで本研究では、hcp 金属の中でも実用構造材料として重要なマグネシウム、チタンについて、その単結晶における疲労破壊挙動の結晶方位依存性を明らかにし、多結晶マグネシウム合金においても、単結晶の結果を基にその疲労破壊機構を明らかにすることを目的とした。また、そのための疲労試験機の開発を行っている。

以下に、本論文における各章のまとめを示す。

第1章では、hcp 金属の塑性変形および hcp 金属単結晶の疲労破壊について概説し、本論文の目的を示した。

第2章では、本研究において開発した薄片曲げ小型疲労試験機の構造と、その応力振幅の評価方法について示した。

第3章では、純マグネシウム単結晶を用いて、疲労破壊挙動における結晶方位依存性を調査した。準備した試験片は、試験片の板面ならびに荷重軸方向により A 試験片： $(0001)[11\bar{2}0]$ 、C 試験片： $(11\bar{2}0)[1100]$ とした。A 試験片では、高い応力振幅においてき裂は幅方向の $[1100]$ へ進展し、その疲労破面からは2次錐面すべりに起因するすじ模様が観察された。一方、低い応力振幅では、き裂は $\{10\bar{1}2\}$ 双晶のトレースに沿って進展した。C 試験片では、き裂は部分的に $\{10\bar{1}2\}$ 双晶のトレースに沿って進展したが、大部分は底面すべりを伴って進展した。疲労寿命は C 試験片が A 試験片よりも長く、疲労破壊挙動に強い結晶方位依存性があることを示した。

第4章では、純チタン単結晶を用いて疲労破壊挙動における結晶方位依存性を調査した。準備した試験片は、試験片の板面ならびに荷重軸方向により A 試験片： $(0001)[1\bar{1}20]$ 、B 試験片： $(0001)[1\bar{1}00]$ 、D 試験片： $(1\bar{1}00)[1\bar{1}20]$ 、E 試験片： $(11\bar{2}0)[0001]$ 、F 試験片： $(1\bar{1}00)[0001]$ とした。A と B 試験片では、き裂は、き裂先端における柱面すべりの slip-off により、 $\{1\bar{1}00\}$ に沿って $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ へと進展した。D 試験片では、き裂進展に伴って柱面すべりが活動し、き裂は $(11\bar{2}0)$ に沿って進展した。E と F 試験片では、き裂は底面に平行に進展し、いずれの場合もき裂進展に伴って $\{10\bar{1}2\}$ 双晶が発生していた。双晶以外の母相のき裂進展に関しては、TEM 観察結果より、1次錐面すべりの活動によりき裂が進展すると結論づけた。S-N プロットより、E と F 試験片の疲労限は、A、B および D 試験片の疲労限の1.5倍以上高い値を示し、疲労破壊挙動に強い結晶方位依存性があることを示した。

第5章では、マグネシウム合金 (AZ31合金) 押出し材の疲労破壊試験により、結晶粒径の違いによる疲労破壊機構を調査した。平均結晶粒径が約 $4.7\mu\text{m}$ 、 $15\mu\text{m}$ および $23\mu\text{m}$ である試験片を準備し、疲労限はそれぞれ、 $160\text{MPa}$ 、 $150\text{MPa}$ および $150\text{MPa}$ であった。この値はそれぞれの引張における0.2%耐力に対応した結果となった。粒径による疲労破面形態の違いは少なく、その破面からいずれも底面すべりによる疲労破壊機構であると結論づけた。しかし、S-Nプロットの傾斜部の傾向を比較すると、結晶粒径が $23\mu\text{m}$ から $15\mu\text{m}$ へと減少すると疲労寿命はわずかに長くなったが、 $15\mu\text{m}$ から $4.7\mu\text{m}$ へとさらに減少すると疲労寿命は短くなることが分かった。き裂近傍において、結晶粒径が $23\mu\text{m}$ の試験片からは双晶が観察され、結晶粒径が $4.7\mu\text{m}$ の試験片からは観察されなかった。そこで双晶変形がき裂進展に及ぼす影響を考察し、結晶粒径と疲労寿命の関係を明らかにした。

第6章では長周期積層構造相を有するMg-Zn-Y合金の疲労破壊挙動を調査した。Mg<sub>96</sub>-Zn<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>合金押出材は $10^6$ 回で疲労限を示し、その値は $180\text{MPa}$ であった。これは本合金の0.2%耐力の45%に相当した。長周期積層構造相および $\alpha$ -Mg 母相の単相合金の疲労限を調査した結果、それぞれ $220\text{MPa}$ および $140\text{MPa}$ であり、長周期積層構造相が存在することで疲労限が向上することが分かった。また破面形態から、いずれの合金においてもき裂先端で底面すべりを伴うき裂進展機構により疲

劣破壊すると結論づけた。

第7章では本研究で得られた結果を総括した。

上記の論文について、論文発表会において、論文の内容および関連事項に関する諮問を行った。その結果、明確かつ適切な解答が得られ、研究者として十分な能力を有すると認められた。よって、本審査委員会は最終試験結果を合格と判定した。

審査委員	産業創造工学専攻マテリアル工学講座教授	安藤新二
審査委員	産業創造工学専攻マテリアル工学講座教授	高島和希
審査委員	産業創造工学専攻機械知能システム講座教授	坂本英俊
審査協力委員	産業創造工学専マテリアル工学講座助教	北原弘基