

Q

疲労強度, 疲労寿命を低下させる要因としてどのような因子がありますか。

参照 QNo. :FA-20, FA-26

A

高サイクル疲労における疲労強度, 低サイクル疲労における疲労寿命を低下させる要因は, 大別すると形状因子, 力学的因子, 材料因子, 表面性状因子, 環境因子などがある。以下, 各因子について簡単に解説する。

<形状因子>

・切欠き

機械と構造物の段付き部, 孔, ねじ部などは構造不連続であり, 切欠きと総称される。切欠きがあると断面形状が変化するため, 局部的に応力が高くなり, 応力集中が生じる。応力集中があると, 疲労強度および疲労寿命は低下する。

・寸法(厚さ, 直径)

曲げ応力を受ける際に寸法の影響が顕著に現れる。直径の大きな試験片と小さな試験片が同じ最大曲げ応力を受ける場合, 前者は後者よりも応力勾配は緩くなる(表面からの応力が緩やかに低下する)。その結果, 前者は表面近傍(表層)で最大応力に近い大きさの応力を受ける体積が増加するため, 疲労強度および疲労寿命は低下する。また, 介在物, 微小欠陥などを起点として疲労破壊する場合は, 前者は最大欠陥寸法の存在確率が増加するため, 疲労強度および疲労寿命は低下する。

<力学的因子>

・平均応力

一般に, 引張りの平均応力は, 疲労強度および疲労寿命を低下させ, 圧縮の平均応力は疲労寿命を増加させる。

低サイクル疲労では負荷されるひずみ範囲は大きく, シェークダウンが生じるため, 平均応力がほぼゼロである応力-ひずみ関係となり, この影響を考慮する必要は一般的にない。

・残留応力

残留応力は平均応力として作用すると考えられるので, 引張りの残留応力は疲労強度および疲労寿命を低下させる。熱処理, ショットピーニング, 曲げ加工などで表面に圧縮残留応力を導入すれば, 疲労強度および疲労寿命を著しく増大できる。残留応力は塑性ひずみが生じると緩和する可能性がある。このような場合は, 緩和後の残留応力を平均応力とみなす。

・多軸応力

一般に多軸応力場では、Mises 応力に代表されるような相当応力で疲労強度および疲労寿命の評価が可能である。しかし、軸力とねじりが同時に作用する場合、両者の繰返し負荷波形の位相差が大きくなると疲労寿命は低下する。このような負荷は非比例負荷という。

<材料因子>

・金属組織

疲労き裂の発生は局所的で、金属組織に敏感である。例えば、一般的には結晶粒径が大きくなると疲労強度および疲労寿命は低下する。しかし、影響するのは平均的な結晶粒径ではなく、最大の結晶粒径である。このように金属組織に関してはその均一性が重要である。

・材料強度

高サイクル疲労の疲労強度(疲労限度)は、引張強さの上昇に伴い増加する。また、低サイクル疲労の疲労寿命は破断延性(絞り)の減少に伴い低下する。一般に引張強さが上昇すると破断延性(絞り)が減少する。すなわち、高サイクル疲労と低サイクル疲労は材料強度に関して相反する特性を示す。

・介在物と微小欠陥

介在物と微小欠陥は応力集中源となるため、疲労強度および疲労寿命を低下させる因子である。介在物と微小欠陥を起点とする疲労の評価では、これらを初期き裂と見なして破壊力学的手法を用いることもある。

<表面状態>

・表面粗さ

表面の肌が粗くなると、高サイクル疲労の疲労強度は低下する。表面の小さな凹凸が応力集中源になると考えられている。一方、表面の肌が粗くなっても、低サイクル疲労の疲労寿命の低下は顕著ではない。塑性変形によって応力集中が低減すると考えられている。

・加工層

塑性加工を表面に施すと、表層に加工変質層ができる。一般に、加工変質層は硬化層であり、圧縮の残留応力分布を誘起するため、高サイクル疲労の疲労強度は上昇する。また、機械加工などの表面仕上げの場合、表面硬化が、疲労強度の上昇に寄与する。ただし、グラインダー加工のように発熱が大きな表面仕上げの場合、熱変形により引張残留応力が生じるため、疲労強度は低下する。低サイクル疲労の疲労寿命は、加工層の影響を受けない場合が多い。

<環境因子>

・腐食

金属材料が活性環境にさらされると表面が腐食する。腐食は疲労き裂の発生と進展を助長する

ため、腐食環境では疲労強度および疲労寿命が低下する。

・高温

金属材料は高温になると、材料強度が変化するので、疲労強度および疲労寿命はその影響を受ける。また、高温では、高温酸化とクリープの影響があり、ひずみ速度が遅くなり、ひずみ保持時間が長くなると、低サイクル疲労の疲労寿命は低下する。なお、金属材料では絶対温度で表示した融点の 1/2 近傍以上の温度から、クリープの影響が顕著になる。