

Q

疲労き裂は部材の表面で発生する場合と内部で発生する場合がありますが、それぞれが発生する条件を教えてください。

参照 QNo.:FA-03, FA-04, FA-13

A

一般的に、疲労き裂は、実機の部材または疲労試験の試験片の表面を起点として発生する(以下、表面起点という)。以下では、試験片の場合に、疲労き裂が内部を起点として発生する(以下、内部起点という)条件を示す。実機の部材の例は、知見が少ない。

最初の支配的な条件は、破壊までの繰返し数(疲労寿命)である。S-N曲線の低サイクル疲労の領域では表面起点でも、高サイクル疲労の領域では内部起点となることがある。さらに、S-N曲線における $10^7$ 回の疲労強度(いわゆる疲労限度)以下の応力振幅で、超高サイクル疲労の特性を示す場合には、必ず内部起点となる。

次の支配的な条件は、材料の種類と強度である。鋼(フェライト鋼、マルテンサイト鋼、オーステナイト系ステンレス鋼)とチタン合金の場合に、内部起点となる試験結果が数多く報告されている。しかし、他の材料の場合にも、試験の条件次第では、内部起点となり得る。

室温の場合に限定すれば、内部起点を示す材料は高強度であることが必須条件となる。鋼の疲労限度は硬さ(または引張強さ)の上昇に伴い増大し、極大値を示した後に低下する。極大値以前が表面起点であり、極大値以後が内部起点となる。

高強度鋼と低強度鋼のS-N曲線を比較して図1に示す。高サイクル疲労の領域において、高強度鋼のS-N曲線は、低強度鋼のS-N曲線よりも上側に位置するが、超高サイクル疲労の特性を示す(内部起点、疲労限度なし)。したがって、高強度鋼のS-N曲線は、交差する二本のS-N曲線として表示することもある。

最後の支配的な条件が、試験温度である。室温の場合と比較して、極低温の場合と高温の場合のS-N曲線を図2に示す。室温において表面起点で、疲労限度があるチタン合金とオーステナイト系ステンレス鋼は、極低温において疲労強度が増大するが、超高サイクル疲労の特性(内部起点)を示すようになる。極低温では硬さ(または引張強さ)が増大するから、これは高強度材料の特性として理解できる。

一方、クリープ温度以下の $300\sim 500^{\circ}\text{C}$ の高温において、鋼(フェライト鋼、マルテンサイト鋼、オーステナイト系ステンレス鋼)の疲労強度は温度の上昇に伴い低下し、超高サイクル疲労の特性(内部起点)を示すようになる。すなわち、超高サイクル疲労の特性(内部起点)を示さない温度範囲は、極低温と高温の中間(室温を含み、境界は不明)という奇妙な結果である。

上記以外に、表面硬化という特殊な条件がある。塑性加工、ショットピーニング、熱処理などによって表面層を硬化すれば、疲労強度は増大する。疲労強度の向上には、表面硬化層が高強度材料とみなせることに加えて、圧縮残留応力の寄与が大きい。残留応力は内部で引張りとなるから、疲労強度が向上した結果として、硬化なしの内部が起点となる場合がある。

[参考文献]

- (1) 高サイクル疲労研究の現状と疲労損傷防止法に関する調査, 日本原子力研究所委託調査研究報告書, 日本機械学会, 平成 6 年 3 月.
- (2) 高サイクル疲労研究の現状と疲労損傷防止法に関する調査(Ⅱ), 日本原子力研究所委託調査研究報告書, 日本機械学会, 平成 7 年 3 月.
- (3) 高強度鋼の疲労破壊に関する調査, 金属材料技術研究所受託研究報告書 STX21, 日本高圧力技術協会, 平成 10 年 3 月.

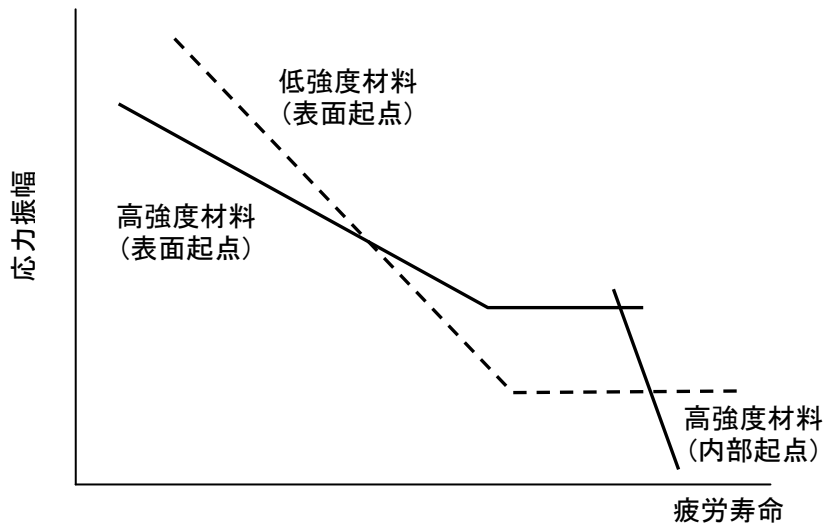


図 1 高強度材料と低強度材料の S-N 曲線

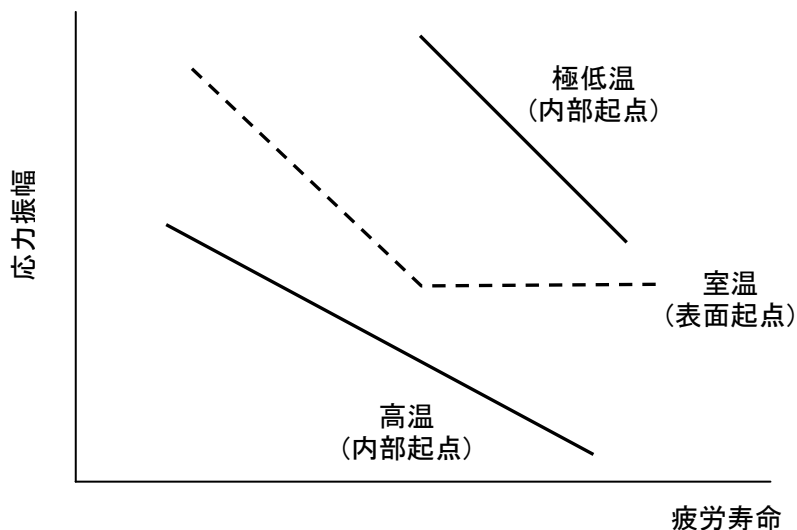


図 2 極低温, 室温, 高温における S-N 曲線