

金属は疲れる!

〈金属の劣化と寿命予測〉

総合技術研究所 機械研究室

昨年8月、日航のジャンボジェット機が墜落し、大惨事となったのは記憶に新しい。運輸省航空事故調査委員会の中間報告によると、圧力隔壁のき裂破断は、金属疲労が原因といわれている。このように金属内部で進む劣化には①繰り返し荷重による疲労劣化②高温、長時間使用による材質劣化③小さな荷重でも徐々に変形するクリープ劣化などがある。総合的な劣化診断・寿命予測技術の開発が今後の課題である。

1 金属の疲れ

あの巨大なジェット機の墜落も、金属疲労というミクロな電子顕微鏡の世界にその発端があるかと思うと、機器の安全性について改めて身の引き締まる思いがする。

第1図は、実験室で繰り返し荷重をかけ破断させた金属破断面の電子顕微鏡写真である。しま模様は金属疲労特有のストライエーションといわれ、繰り返し荷重により、き裂が進行した跡を示し、ちょうど樹木の年輪に似ている。しまの幅は1回当たりのき裂の進展量を表している。

人間は、運動や労働により疲労が蓄積する。しかし、適当な休息をとることにより、疲労が回復し、また新陳代謝によって新たな細胞が再生される。

金属も同様に、強い荷重を繰り返すと疲労が蓄積する。ところが金属疲労は回復せずに蓄積される一方であり、やがて破壊する点が人間と異なっている。



第1図 金属の疲労破断面(電子顕微鏡 1000倍)

2 金属の劣化機構

火力発電設備の部材は、経年化が進むと材質的に次のような劣化が予想される。

① 繰り返し荷重や温度変化による疲労劣化

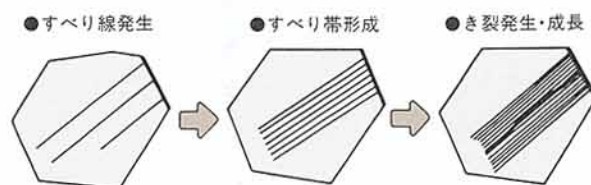
② 高温、長時間使用による材質劣化

③ クリープ劣化

(1) 疲労劣化

金属材料は、普通に使用している範囲では荷重に比例して微少な変形が起きる。荷重を取り去るとゴムが縮むときと同じように元に戻る。

しかし、局部的に応力が集中する部分があると、金属表面近くの一部の結晶に微細なすべり線が発生する。さらに荷重が繰り返されると、1カ所に集中したすべり帯が形成され、それが発達するとついには微視的なき裂が発生し、徐々に傷口を広げて成長する。疲労劣化は、回転機や圧力容器、クレーンなどに発生する場合がある。

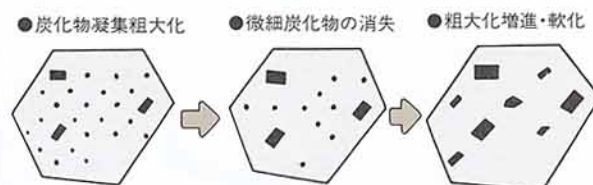


第2図 疲労劣化の組織変化

(2) 材質劣化

金属は、通常合金成分を十分に固溶させること、あるいは微細な炭化物等を分散析出させて金属の変形を防ぐことにより、強度をあげている。

しかし、高温ではこれらの成分が集まり、徐々に大きな析出物に成長し強度が低下する。



第3図 材質劣化の組織変化

(3) クリープ劣化

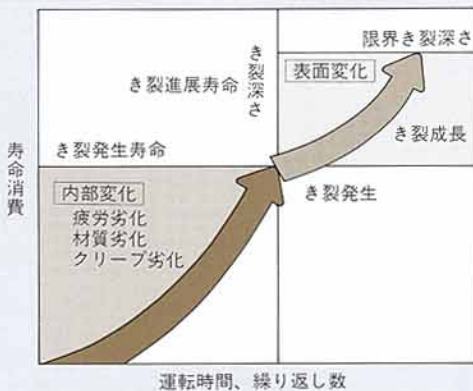
クリープ劣化は、高温下で小さな荷重でも徐々に変形が進み、その過程で金属組織の変化が生じ、また結晶粒界に微小なポイド（空洞）が生じ、それらが合体し強度が低下する。



第4図 クリープ劣化の組織変化

3 寿命予測技術の現状と今後の課題

劣化は、最初に金属内部で進み、それが飽和すると、き裂が表面に発生し、外観的に判別できるようになる。通常、この段階までをき裂発生寿命という。これ以降、き裂が成長するのをき裂進展寿命という。

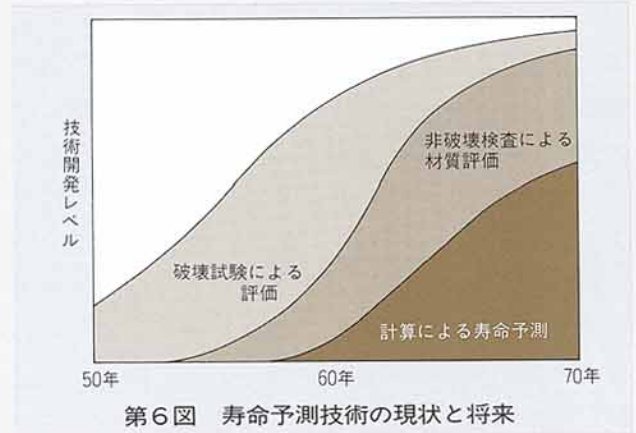


第5図 高温材料の劣化と寿命の消費

現在の寿命予測方法は、サンプルを抜き取り、破壊試験の強度から寿命を推定している。

しかし、压力容器などは簡単にサンプルを採取できないため、材料の強度を評価する上で十分なデータが得られない。

今後は、先に述べた材料内部で進む劣化の現象を使用状態のまま非破壊で検査する手法の確立や非破壊検査で得たデータ、機器の運転データおよび各部に働く応力計算結果などから総合的に寿命を予測するシステムが開発されるだろう。



第6図 寿命予測技術の現状と将来

4 総合技術研究所の研究状況

当所では、高温機器の経年劣化の調査や寿命予測技術の研究を行ってきており、これまでの技術開発の主なものとして次のものがあげられる。

- δ 相の定量によるボイラ過熱器管の余寿命予測

サンプルをエッチング処理し、クリープ劣化のパラメータである δ 相の面積比率により余寿命



第7図 ボイラ過熱器管の δ 相

を推定する。

- タービン主蒸気止め弁の余寿命評価

運転履歴および応力計算値から求めた熱疲労劣化とクリープ劣化の計算値から、線形累積損傷則を適用し、寿命を推定する。

5 あとがき

コストダウンの一方策として、電力設備の延命化を推進している。一方、社会の電力供給信頼度への要請はますます高くなっている。これらの相反するニーズに応えるために、既設電力機器の劣化診断や寿命予測の技術開発は非常に重要である。当研究所としても、これら技術開発を目指して学術関係者および各種研究機関とタイアップして積極的に取り組んでいる。