

中分類 2 クリープ (Creep)

概要

材料は、常温（材料ごとに決まる一定温度以下）では半永久的に変形・破断しない応力でも、高温では徐々に変形が進み、一定時間後に破断する。この現象をクリープと呼ぶ。

対策

一定期間使用後、上記の検査、評価を実施し、破損の防止を行うことが必要。

中分類	損傷形態	対処方法		
	(モード)	検査	評価	対策
クリープ	き裂 (ポイド)	組織観察	材質、温度、応力およびポイド進展度合いなどから余寿命推定	判断基準（余寿命）を設けて、き裂の除去、補修、部品の交換、材質変更

1. クリープの概要

高温において、金属材料は一定荷重（応力）の下で時間とともに変形が進行し（クリープ変形）、最終的に破壊にいたる（クリープ破壊）。図 1 の模式的クリープ曲線（クリープひずみと時間の関係）に示すように、変形の進行（定常クリープ域では一定速度で進行）——空孔（キャビティーあるいはポイド）の発生（通常、定常クリープ域で発生）——クラックへの成長、進展（加速クリープ域）——破断の経路を辿る。この曲線の形状は、応力、温度および材料によって異なるが、同一材料の同一応力、温度条件でもかなりばらつくのが普通である。

クリープ破壊過程は、図 1 の模式図のように粒界における空孔の核生成、成長、合体、及び最終破断の一連の過程によって起こり、主として粒界破壊である。

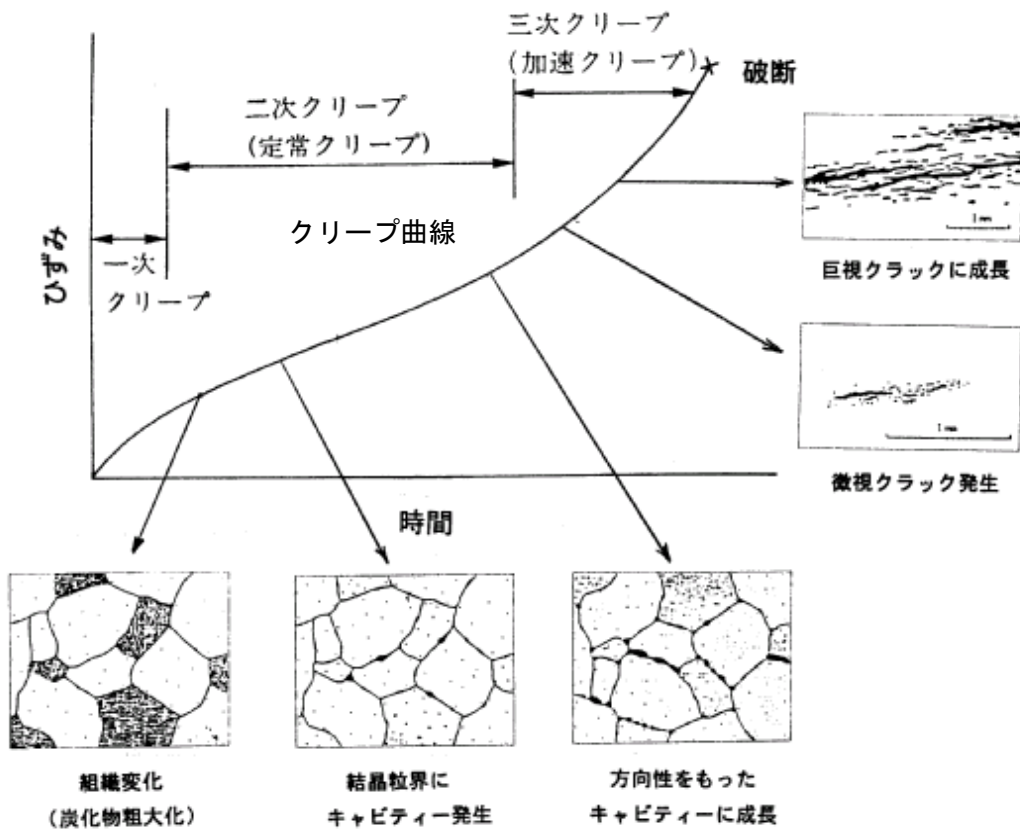


図1 クリープ曲線および破壊過程の模式図

2. クリープ発生条件

クリープは全ての金属材料で起こる。発生の温度条件は、絶対温度での材料の融点の約 1/2 以上とされている。

3. クリープ特性の表現方法

クリープ試験は、試験片を一定温度に加熱保持し、一定の荷重を掛け、伸びと破断時間を計測する方法で行われる。材料のクリープ特性は、一定温度、応力における伸び速度、一定時間後の伸び量、破断までの時間で表示される。一般的には、応力—破断時間曲線または応力—時間温度パラメータ曲線で表現されることが多い。

3. 1 応力—破断時間曲線

図2に応力—破断時間曲線の例を示す。

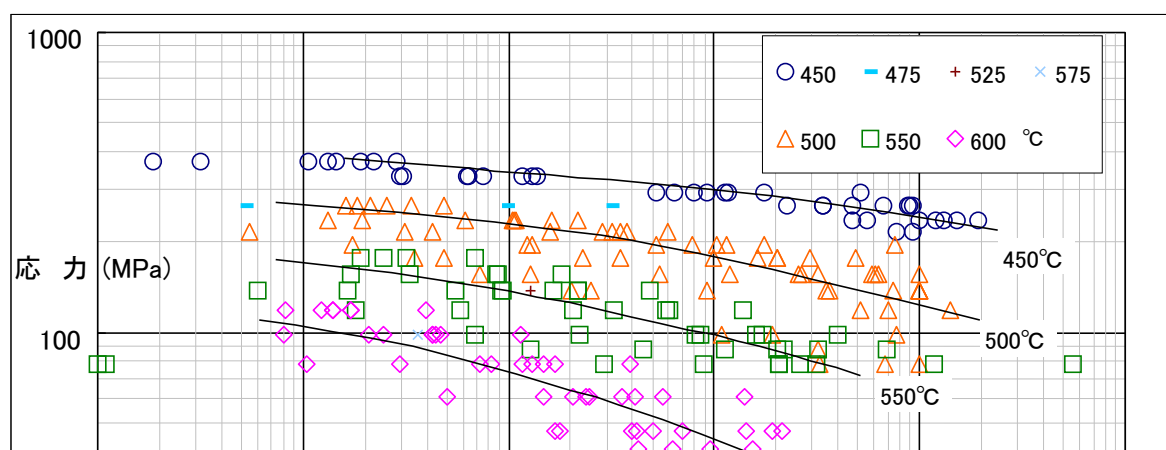


図2 応力－破断時間曲線（例：12Cr ステンレス鋼）
NIMS クリープデータシート No.13B（1994）より

3. 2 応力－時間温度パラメータ曲線

ボイラ、加熱炉、タービンなどの高温設備・機器は高温で長時間運転されるので、長時間クリープ破断強さを基準に設計される。例えば 10 万時間破断強さが使われることが多いが、10 万時間は 12 年に相当し、実際に試験をするには長すぎる。そこで、長時間強度の推定方法が不可欠である。長時間強度の推定方法としては、時間温度パラメータ法が使われる。パラメータとしては、下式に示すラーソン・ミラーパラメータが最もよく使用される。

$$P = T (C + \text{Log } t_r)$$

ここで、P：ラーソン・ミラーパラメータ、T:温度(K)、C：材料定数、tr：破断時間(hr)

4. 余寿命予測

高温で使用される設備・機器においてクリープは不可避であり、疲労、応力腐食割れなどの他の時間依存型破壊と異なり、設計（材料選定を含めて）で回避することはできない。従って、余寿命評価を行って、寿命を管理しながら、使用しなければならない。余寿命評価方法には、使用履歴（温度、応力、時間）から線形損傷則などを用いて算出する方法、試験材をサンプリングしてクリープ試験、組織（ボイド、割れなどを含む）観察あるいは超音波などの非破壊試験を用いる方法が開発されている。使用材料、使用条件によって適切な方法を選択して用いることが必要である。

5. 小分類

小分類として、以下がある。

小分類	概要
クリープ変形	高温条件下(絶対温度で融点の約 1/2 以上)において、一定応力下でも進展する変形である。変形が進み、最終的にクリープ破壊にいたる。

クリープ破壊	高温条件下(絶対温度で金属の融点の 1/2 以上)において、一定応力のもとでひずみが時間的に増大し続け破壊に至る現象である。大きな変形を許容しない設計では、クリープ変形(クリープひずみ)を一定値に制限する。応力緩和(リラクゼーション)はクリープ変形によってもたらされる。破壊過程は、粒界における空孔の核生成、成長、合体、及び最終破断の一連の過程によって起こり、主として粒界破壊である。
長時間クリープ破壊	管温度が高くなる部分で、長時間経過後に発生するのが長時間クリープ破壊である。
短時間クリープ破壊	短時間クリープ破断は温度がクリープ域となる過熱器と再熱器において温度が上昇した場合、あるいは減肉して応力が上昇した場合に短時間で発生するものであり、水冷壁でも管の温度を上昇させるような条件になった場合に発生するクリープ現象である。
クリープ脆化	クリープ脆化は、高温条件下(絶対温度で融点の約 1/2 以上)でクリープ損傷が発生し、延性の低下する現象である。損傷の特徴はクリープ破壊に近い。
クリープ疲労破壊	クリープ疲労は、高温条件下でクリープと低サイクル疲労との重畳により生ずる現象である。低繰返し速度および保持時間を有する高温疲労試験、または繰返しクリープ試験によって現象を確認できる。破壊の特徴は、高温で低繰返し速度の場合はクリープ破壊に、低温で高繰返し速度の場合は疲労破壊に類似している。
異材溶接割れ(DMW)	高温運転されているオーステナイト系鋼－フェライト系鋼間の溶接部のフェライト側(炭素鋼、低合金鋼)で起こる。両鋼間の熱膨張差による熱応力を原因とするクリープ破壊である。
リラクゼーション	高温条件下(絶対温度で融点の約 1/2 以上)において、一定応力下でも進展する変形である。変形が進み、最終的にクリープ破壊にいたる。
Type IV クラッキング	溶接部の溶接熱影響部の細粒域のクリープ損傷を TypeIVと呼んでいる。この領域のクリープ強度は、周囲の母材や溶接熱影響部粗粒域より低いために生じる。