

図71 疲れき裂伝播特性の一例

2) 溶接継手部の疲れ

母材の疲れ限度は、引張強さに比例して高くなるが、溶接継手部では必ずしもこの関係は成立しない。図72は各種継手の疲れ限度を母材と対比して示したものである。この図から継手の疲れ限度が母材のそれに比べて低くなるのは、主に溶接止端部の形状の不連続が原因となっている。止端部のフランク角（余盛立上り角度の余角）と止端部の半径 r の影響を調べた結果を図73に示す。フランク角および

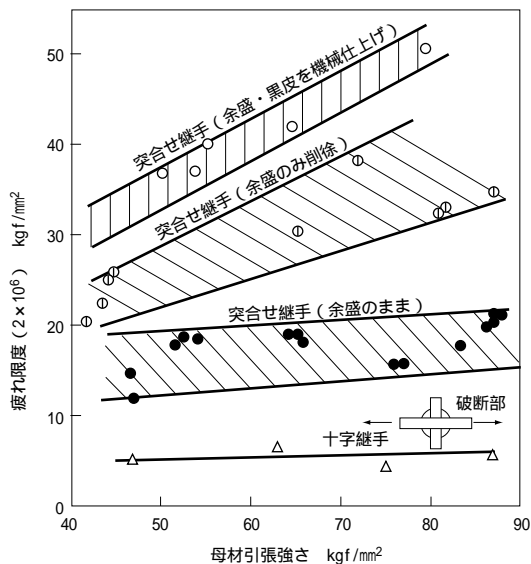


図72 溶接継手の片振引張疲れ限度と母材引張強さとの関係⁶⁸⁾

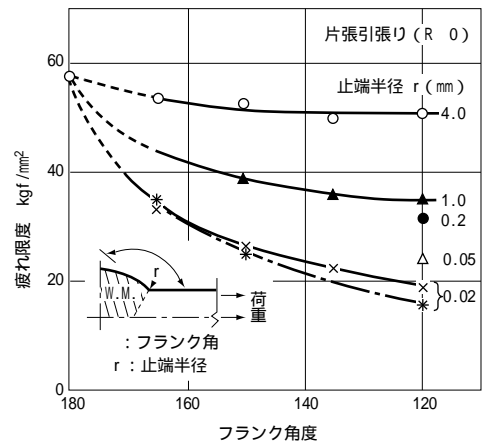


図73 突合せ継手模擬の母材試験片によるフランク角度と疲れ限度との関係⁶⁹⁾

止端部半径が小さくなると疲れ限度は母材の $1/3$ 程度まで小さくなる。

したがって、高張力鋼板の溶接施工時には、最終ビードの形状に十分注意することが必要であり、止端部の形状のよい特殊な被覆アーク溶接棒の使用、TIG溶接による形状修正またはグラインダなどによる研削仕上げ処理なども必要に応じて実施されている。

7・3・2 使用環境による割れ

広義には、液体金属脆化割れ、応力腐食割れ、水素脆化割れ、苛性脆化割れ、腐食割れによる割れなどがあり、非常に多くの割れが使用環境によって生じるが、ここでは、そのなかで代表的な応力腐食割れと水素脆化割れについて述べる。

1) 応力腐食割れ

応力腐食割れ (Stress Corrosion Cracking: SCC) は、鋼構造物に腐食環境下で応力を負荷したときに生じる割れで、応力を除くと一般の腐食となり、割れは停止する。

割れには、環境因子 (電位、化学種、pH、酸素、温度など)、冶金因子 (化学成分、熱処理、加工、析出など) および応力因子が複雑に関与している。その機構はまだ十分解明されていないが、SCCは応力と腐食との相乗作用によっておこることから、次のような対策が採用されている。

(1) 環境因子

陰極防食法の適用

低電圧直流電源を用い、補助電極を陽極に、被防食金属を陰極として通電するか、または被防食金属に低電位金属体を陽極として接続し、その電位差を利用して電流を発生させ、防食する。

たとえば、Feに対しZnなどを適用する。

腐食抑制剤の添加

一般にインヒビタ (Inhibitor) と称し、腐食が水に関係している場合に主として用いられる。

古くはボイラのスケール（缶石）防止剤などがあり、化学工業の発達とともに種々の目的、用途のインヒビタが開発されている。

(2) 冶金因子

添加元素の制限

一般に純金属ほど割れが生じにくい。合金を添加すると異相の析出などによって局部電位を生じ腐食が促進する。また、局部硬度差にともなう応力集中度合の変化などによっても割れを生じる。したがって、なるべく合金元素を添加していない単純な成分系がよい。

熱処理の適用

き裂先端の応力集中を軽減する。しかし、異相の析出があると逆効果となる場合がある。

ショットピーニングの適用

表面に圧縮応力を与えるため、SCC防止に効果がある。

2) 水素脆化割れ

鋼板に水素が関与して脆化し、割れに至る現象として水素侵食 (Hydrogen Attack : HA) と水素誘起割れ (Hydrogen Induced Cracking : HIC) がある。前者は、石油精製装置などに高温高圧水素環境下で生じ、後者は、サワーガスなどの硫化水素 (H₂S) を含むガスのパイプラインなどに150以下の状態で生じる。いずれも材料表面に局部的なふくれ (Blister) をともなうことが多い。

(1) 水素侵食

水素侵食には脱炭とミクロ割れが認められる。割れは、主として粒界に生じ、鋼中の非金属介在物にそって発達する。水素侵食に影響する主要環境因子は温度と水素であり、一般に温度が高いほど、また、水素分圧が高いほど脆化し、割れやすくなる。一方、材料因子としては、安定な炭化物を生成する元素の添加は脆化を防ぐのに有効であり、Cr < Mo < W < V < Ti < Zr < Nbの順に耐水素侵食性の向上に寄与するといわれている。

水素侵食の防止には、鋼板の使用環境下の温度、水素分圧に応じて、前出のNelson's Curveをもとに、鋼板を選択することが必要である。

(2) 水素誘起割れ

水素誘起割れは、腐食などの電気化学的過程で発生した水素が鋼中に侵入し、内在する介在物などの界面で原子状水素から分子状水素に転換し、割れに至るものと考えられている。

HICにおよぼす環境因子としては、H₂S濃度、pH、水分、応力などがあり、また、材料因子としては、非金属介在物、偏析、化学成分などがある。

これらの各種要因に対する系統的な研究は少なく、また、その影響の程度も不明な点が多いが、HICの防止対策は環境条件の制御、材料の改善の両面から行われている。

環境条件の制御には、脱水、脱硫、液相pHの上昇などが効果があるが、インヒビタの添加も広く用いられている。また、材料面からの改善では、介在物の低減がもっとも効果がある。

7・3・3 脆性破壊

脆性破壊は、文字が示すとおり、ほとんど塑性変形をともなわず弾性限以下の低荷重で破壊する現象をいい、鋼構造部材に切欠きなどの応力集中源がある低温に冷却されている荷重が加わるなどの条件が重なった場合に生じる。

この問題が大きく取り上げられはじめたのは、1940年ごろヨーロッパで冬期に溶接橋が脆性破壊したことが発端といえる。その後第二次世界大戦中に、アメリカのリバティ型船の事故をはじめとする各国での溶接船の事故でその原因究明が進められ、溶接欠陥を主体とする切欠きと低温が主要因であることが判明し、これらの研究をベースに脆性破壊特性評価のための試験法が次々と開発された。

その代表的な試験法が2mmVノッチシャルピー衝撃試験であり、簡便な方法であることから、材料の靱性を評価するためのもっとも一般的な試験法として現在広く用いられており、データの蓄積も多い。

また、破壊力学にもとづき、材料の破壊靱性を評価するためのより実構造物に近い試験法として、ディーブノッチ試験、二重引張試験、ESSO試験、CTOD試験などが開発され、さらに、溶接継手部については、残留応力の効果も考慮した十字継手中央切欠き付広幅引張試験、角変形や目違いを付与した表面切欠き付広幅引張試験なども開発された。

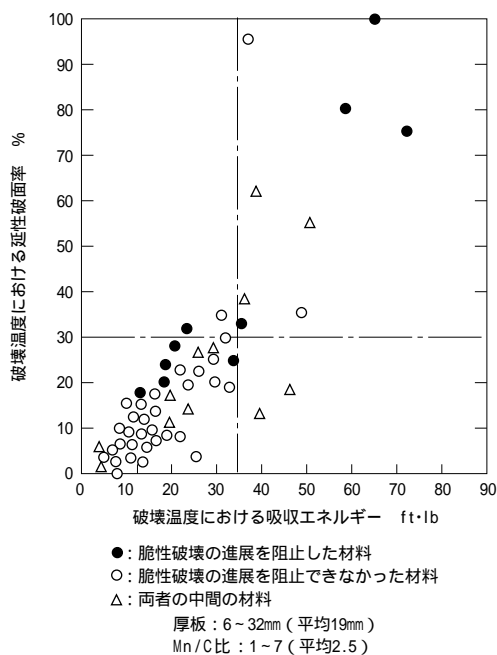


図74 破壊温度における延性破面率とVノッチシャルピー吸収エネルギーとの関係⁷⁰⁾

一方、各種規格の2mmVノッチシャルピー衝撃試験における評価基準値は、上記リパティ型船の事故にもとづいて実施された使用鋼板の靱性調査結果から、吸収エネルギー（vE）が21J（15ft-lbf）以下の場合に損傷が多いこと、また、1955年、IIWがフランス船の事故例を調査した結果から27J（20ft-lbf）の値が得られたこと、さらに、1958年にロイド船級協会が行った損傷船の調査結果から、図74に示すように、47J（35ft-lbf）が脆性破壊発生防止の目安となることが判明したことなどを参考に決められているものが多い。

破壊靱性の評価は、「き裂発生特性」と「き裂伝播停止特性」の二つの要素に分けられるが、これらの特性は、構造物の製作、使用条件によって異なるため、より構造物に近い条件での材料特性を詳しく調べる場合には、簡便なシャルピー試験に加えて、実構造物に近い大形試験を実施することが望ましい。

大形試験の代表的なディープノッチ試験および表面切欠き付広幅引張試験における温度と応力拡大係数(K_{1c})との関係を図75に示す。

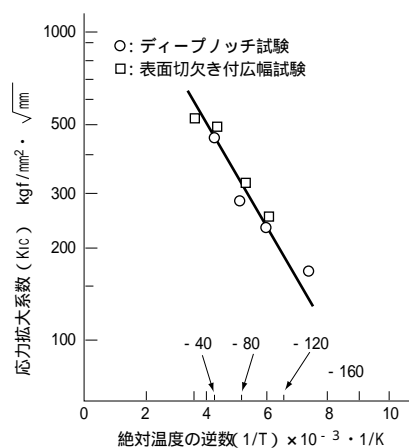


図75 大形脆性破壊試験の結果⁷¹⁾

図中のK_{1c}は次式で整理している。

$$K_{1c} = K_0 \exp(-kT)$$

K₀およびkを求めることにより、任意の温度におけるK_{1c}を計算により求めることができる。

K₀およびkは、材料定数であるが、製作時の加工履歴、熱履歴および使用中の環境条件によって異なるので、いずれの試験を採用するにあたってはその鋼板の受ける各種履歴を考慮し、供試材にあらかじめ、これらの履歴を加味したもので試験される場合が多い。