

加熱・冷却処理をした溶接継手の残留応力と疲れ強さ

名古屋大学 学生員 ◎大野 貴史、三ッ木幸子、 正員 山田健太郎
トビー工業 正員 青木 尚夫、酒井 吉永

1 はじめに

噴流液体窒素ガス冷却法は、切欠きや溶接止端部といったき裂の生じやすい部分を加熱すると同時に液体窒素を噴霧状に吹きつけて冷却することによって、大きな温度差を与え、それが常温に戻る過程において、¹⁾圧縮の残留応力を発生させる方法である。局部的に²⁾圧縮の残留応力を付加できることから、応力腐食割れの防止や、円孔切欠き試験片に対する疲れき裂進展速度の減速効果が認められている。

今回はこの処理法を溶接継手の止端部に適用し、残留圧縮応力を付加し、疲れ寿命の改善効果を調べた。

2 試験体の残留応力処理

試験体は図1に示すように、長さ900mm、幅200mm、厚さ10mmのプレートに長さ200mm、幅50mm、厚さ10mmのガセットを溶接したもので、溶接止端部は仕上げていない。なお材質はSM50Aで、降伏点 $\sigma_y = 372 \text{ MPa}$ である。

残留応力処理は、図2に示すように溶接止端部を中心として半径55mmのところに12本のガストーチを配し、まず30秒ほど加熱を行ない、表面温度が350℃～400℃に上昇した時点で、溶接止端部に配した冷却ガストーチから液体窒素の噴流を開始し、加熱・冷却を60秒ほど同時に行なった。1つの試験体に対し4箇所この処理を行なったが、処理順序は始めに対角線上の2箇所について行ない、常温に戻ったところで次の2箇所について行なった。

図3に止端部から板幅方向の断面（図1のT-T断面）の残留応力分布を、未処理（実線）および処理済み（破線）の場合について示す。これらの分布は実測値をもとにモデル化したものである。2つの分布を比較すると、噴流液体窒素ガス冷却処理を行なうと残留応力状態が変化し、止端部近傍では圧縮の残留応力状態となることがわかる。

3 疲れ試験

このように残留応力処理された試験体合計6体について、応力範囲 $\sigma_r = 78 \text{ MPa}, 98 \text{ MPa}, 118 \text{ MPa}$ で疲れ試験を実施した。なお、き裂発生後、その進展状況を把握するため必要と思われたときにビーチマーク試験を行なった。

4 試験結果

疲れ試験の結果を表1に示す。表中の σ_r は応力範囲を表わし、 N_f はき裂長さが10mm～15mmに達したときの繰り返し数である。図4はこの $\sigma_r - N_f$ 関係をプロットしたもので、シンボルに付した数字は試験体番号を表わし、図中の破線および実線は、それぞれ未処理の試験体の場合について求められた50%破壊確率線および95%信頼区間であ

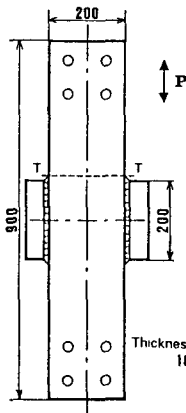


図1 試験体

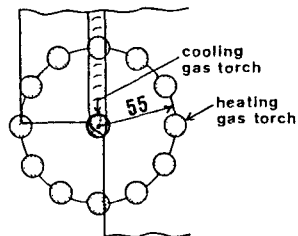


図2 ガストーチの位置

表1 試験結果

NO.	σ_r (MPa)	$N_f \times 10^3$
1	118	206
2	98	317
3	98	390
4	78	653
5	78	1041
6	78	1406

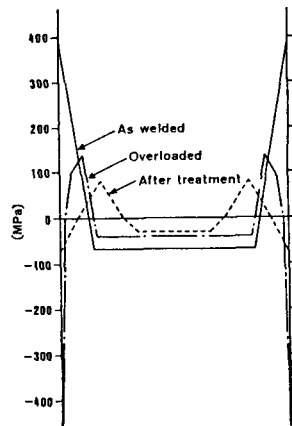


図3 残留応力分布

る。³⁾これによると今回行った処理では、際だった N_f の改善は認められなかった。

5 考察

図3に示した残留応力分布を考慮し、実験を行った3レベルの応力範囲について、疲れ試験時の応力状態を求めた。例として $\sigma_r = 98 \text{ MPa}$ の場合について図5に示す。最大応力は $\sigma_{\max} = 113 \text{ MPa}$ 、最小応力は $\sigma_{\min} = 15 \text{ MPa}$ である。さらに、このうち σ_r の正のみ(図5の影の部分)がき裂の開口に寄与するものと仮定して、これを有効応力範囲 σ_{re} として、その分布を求め、比較した。このうち $\sigma_r = 98 \text{ MPa}$ の場合について図6に示す。これによると、窒素処理をした場合の分布(破線)は、未処理の場合(実線)と比較して、止端部からやや離れたところで若干の σ_{re} の低減があるものの、とくに、き裂の発生する止端部およびその近傍での σ_{re} の大幅な変化はみられなかった。

これに対して、未処理の試験体に過応力 $\sigma_{ol} = 294 \text{ MPa}$ を疲れ試験の前に与えた場合の分布は、図6の一点鎖線のようになり、この場合は繰り返し数が300万回を超えてもき裂の発生がみられず、疲れ寿命の改善効果があった。この分布の特徴は、止端部近傍に σ_{re} が急激に減少する部分がみられることで、この σ_{re} の最小値を σ_p (ポイントストレス)とすると $\sigma_p < 0.25 \sigma_y$ で改善効果が現われ、 $\sigma_p = 0$ では300万回以上の疲れ寿命となることが実験により確認されている⁴⁾。このように過応力を付加することによって得られる残留応力分布(図3の一点鎖線)は、止端部近傍に降伏点に近い大きさの圧縮応力が付加され、これによって σ_{re} の急減が起こると思われる。

以上のことから、今回行った処理では、止端部およびその近傍に付加される残留圧縮応力の絶対値が小さく、その結果明白な疲れ寿命改善効果が得られなかったと思われる。

この方法を用いてガセット継手のような溶接継手の疲れ寿命を改善するためには、溶接止端部およびその近傍に降伏に近い残留圧縮応力を付加できるように処理法を改良する必要があると思われる。

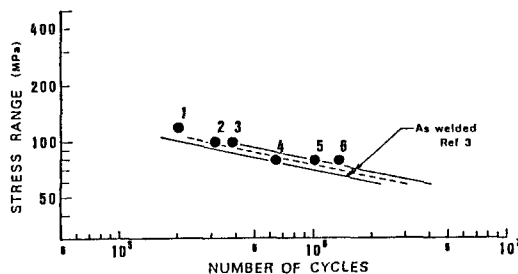


図4 S-N f プロット

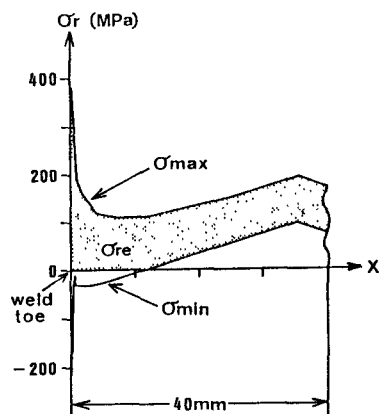


図5 疲れ試験時の応力分布

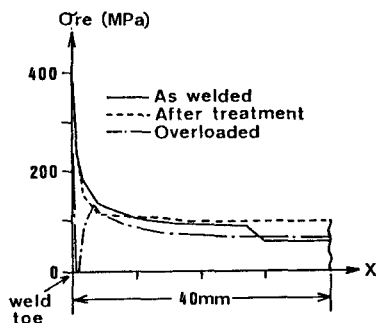


図6 σ_{re} の分布

参考文献

- 1) 渡辺正紀、青木尚夫、津沢 稔、藤枝幸二 「噴流液体窒素ガス冷却による残留応力制御とSCC対策への応用」 溶接学会全国大会講演概要 第35集、1984、10
- 2) 藤枝幸二、青木尚夫、沖村美津雄、渡辺正紀 「噴流液体窒素ガス冷却による残留応力制御とき裂進展速度遅延化の研究」 土木学会第39回講演概要集第1部、1984、10
- 3) 山田健太郎、酒井吉永、菊池洋一 「ガセットを溶接した引張部材の疲れ強さとストップホールの効果」 土木学会論文報告集第341号、1984、1
- 4) 三ッ木幸子、大野貴史、山田健太郎 「過荷重を受けた応力集中のある部材の疲れ特性」 土木学会論文報告集投稿中