

I - A244

溶接継手部の疲労強度向上メカニズム

○東京工業大学 正会員 穴見 健吾 三菱重工 谷 秀樹
東京工業大学 フェロー 三木 千寿 J R 総研 正会員 杉本 一郎

1, はじめに

溶接継手止端部の疲労強度を向上させるためには、止端部の応力集中、及び溶接残留応力を低減させることが効果的であり、これらの効果を目的として、TIG 処理、グラインディング、及びピーニング処理などが研究され、また実用化されようとしている。しかし、これらの処理手法による疲労強度改善効果は、未だ処理手法が明確に定められていないこともあり、非常にばらつきが大きく、定量的に評価することが非常に困難である。そこで、本研究では、これらの疲労強度向上手法により、どのような点が改善され、疲労寿命のどの領域で効果があるかに注目して、これらの向上手法の比較検討を行った。

2, 疲労試験, 及びその結果

図-1 に疲労試験に供した試験体を示す T 字継手試験体とし、4 点曲げ繰り返し载荷 (応力比はほぼ 0) により疲労試験を行った。表-1 には供試材の機械的性質、表-2 には本研究で行った TIG 処理、グラインダー処理、ハンマーピーニング処理条件を示す。図-2 に疲労試験結果を公称応力範囲と破断寿命 N_f の関係で示す。各処理による疲労強度向上効果が見受けられる。特に、グラインダー処理では応力範囲によらず、疲労強度の向上効果が非常に大きい。一方ハンマーピーニング処理の向上効果は、応力範囲によるばらつきが大きく、低応力範囲では非常に大きな改善効果が得られるが、高応力範囲では、改善効果が殆ど見受けられない。図-3 には、図-2 に示した疲労試験結果を、亀裂発生寿命 N_c 及び亀裂進展寿命 N_p で整理した結果を示す。ここに、 N_c は亀裂深さが 1mm になったとき、もしくは止端部から 5mm 位置に貼付した歪みゲージの読みが载荷初期より 5%低下した時の载荷回数と定義した。また N_p は $N_f - N_c$ である。各処理による N_c の向上効果を比較すると、グラインダー処理、TIG 処理により大きな効果が得られるのに対して、ハンマーピーニング処理では殆ど効果が得られないことが分かる。一方、 N_p に対する効果について検討してみると、 N_c の場合とは逆に、ハンマーピーニング処理により大きな効果が得られているのに対して、TIG 処理、グラインダー処理による効果は殆ど得られないことが分かる。

表-1 供試材の機械的性質

鋼種: Weldox420steel-TMCP

降伏点: 431, 引張強度: 533 [MPa]

表-2 各処理条件 (一部)

TIG 処理

電圧: 30V, 電流: 300A

処理速度: 150mm/min

予熱温度: 50 度

ハンマーピーニング処理

先端直径: 12mm

打撃回数: 43 打/秒, パス数: 4

移動速度: 20mm/min

グラインダー処理

回転数: 1400rpm, 先端直径: 10mm

処理速度: 20mm/min

T字継手試験体

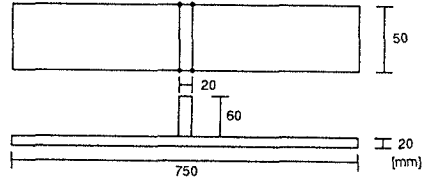


図-1 試験体形状

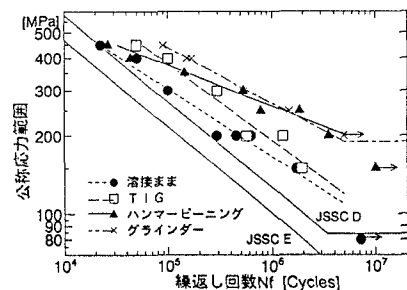
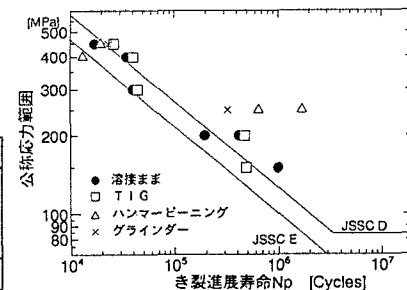
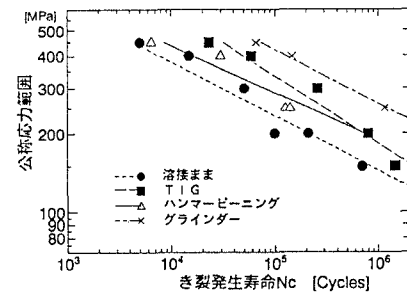


図-2 疲労試験結果

図-3 き裂発生寿命 N_c , き裂進展寿命 N_p で整理した疲労試験結果

キーワード: 疲労強度向上, ハンマーピーニング, TIG 処理, グラインダー処理

〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1

3, 考察

＜止端部改良による応力集中低減効果＞・・・止端部形状改善による止端部における応力集中低減効果を検討するために、まず、印象材を用いて溶接止端部形状（ ρ, θ , 及び母材の窪み深さ）を測定し、測定結果を用いてFEM解析を行った。図-4に解析結果を示す。全ての処理に応力集中低減効果が見られるが、特に、グラインダー処理の低減効果が大きいことが分かる。この応力集中の低減効果は、表面から深さ方向に1mm程度で殆ど消えている。そのために応力集中の低減を目的としたグラインダー処理、TIG処理の疲労強度改善効果は、き裂の短い領域（本研究ではNc）にしか現れず、き裂が長い領域（Np）では殆ど現れないと考えられる。

＜ハンマーピーニング処理による圧縮残留応力導入効果＞・・・図-5にはハンマーピーニング処理試験体の処理面を含んだ断面での残留応力の板厚方向分布を板厚方向にスライスしながら切断法により測定した結果を示す。同図には溶接まま試験体の溶接止端部近傍の溶接残留応力測定結果も併せてプロットした。図よりハンマーピーニングにより表面から5mm程度の深さまで圧縮残留応力が導入されていることが分かる。この圧縮残留応力がハンマーピーニングによる疲労強度改善効果がNpの領域に現れる原因であると考えられる。しかしながら、圧縮残留応力が高く、また応力集中の低減効果のあるき裂の短い領域で向上効果が殆ど得られていない。これは、図-6に見られるように、ハンマーピーニング処理を施すことにより巻き込まれた溶接止端部が鋭いノッチ（深さ0.3～0.5mm程度）として応力集中源になるためであると考えられる。

＜き裂進展速度による検討＞・・・上述の板厚方向の応力分布の解析値、及び残留応力の測定値を用いて応力拡大係数を求め、ビーチマーク試験により求めたき裂進展速度を整理した結果を図-7に示す。図-7上図は、 F_g のみを考慮したもの、下図は残留応力を併せて考慮したものである。残留応力に関しては、ハンマーピーニング処理についてのみ、板厚方向の応力分布を（作用応力+残留応力）として応力拡大係数を求めた。その結果、各処理試験体のき裂進展速度が殆ど等しくなることから、応力集中、圧縮残留応力を考慮すれば、それぞれの処理効果を説明できることが分かった。

4, 結言

- 1) グラインダー処理、TIG処理による止端部形状改善により、応力集中が低減される。しかしながら、その効果は、応力集中の低減が見られる板厚方向深さ約1mm（未満）までしか現れず、き裂の短い領域でのみ効果がある。
- 2) ハンマーピーニング処理により、板厚方向に約5mm程度の深さまで圧縮残留応力が導入される。ハンマーピーニングによる疲労強度改善効果はこの圧縮残留応力によるものであるが、き裂の短い領域では、処理による止端部の巻き込みにより殆ど効果が見られなかった。

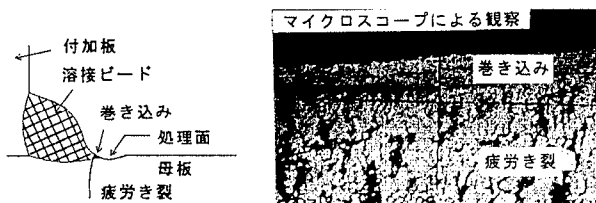


図-6 ハンマーピーニングによる溶接止端部の巻き込み

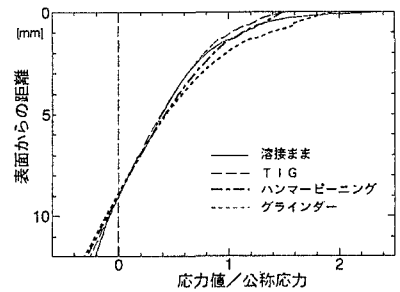


図-4 FEM解析結果

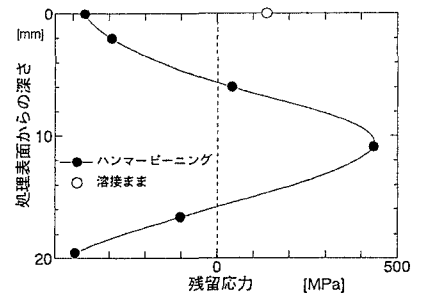


図-5 残留応力測定結果

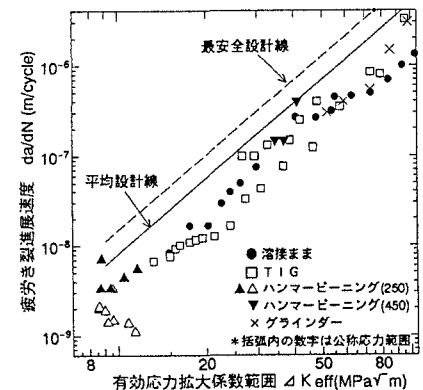
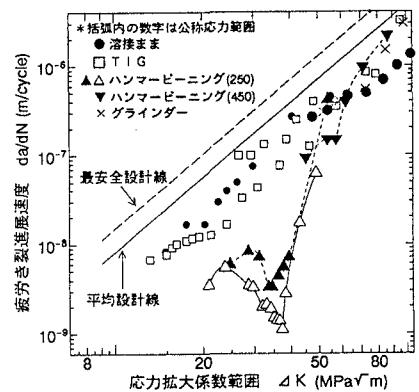


図-7 応力拡大係数と
き裂進展速度の関係