

レーザピーニング施工された突合せ溶接継手の疲労寿命に及ぼす応力比の影響

大阪大学 接合科学研究所 正会員 ○崎野 良比呂
東芝 電力システム社 佐野 雄二
大阪大学 接合科学研究所 正会員 金 裕哲

1. 目的

レーザピーニングは、水等の透明媒質中に設置された材料に数 ns～数十 ns のパルス幅のレーザを照射して高圧のプラズマを発生させ、その衝撃力を利用して材料表面の強度上昇を図る技術である。レーザピーニングを行うと、材料の表面に大きな圧縮残留応力が生成されるため、応力腐食割れの防止に有効であることが知られている¹⁾。また、疲労強度の向上についてもその効果が期待される。そこで筆者らは、溶接継手試験体の止端部にレーザピーニングを施し、残留応力の変化と疲労強度の検討を行った。その結果、レーザピーニングを施すことにより止端部は大きな圧縮の残留応力となること、疲労強度はレーザピーニングを施すことにより大きく向上することを明らかにした^{2),3)}。さらに、その向上効果の主要因は圧縮残留応力の生成であることを明らかにした³⁾。本報では、応力比が大きくなった場合、レーザピーニング施工された突合せ溶接継手の疲労寿命がどのように変化するか検討した結果を報告する。

2. 実験概要

試験体は厚さ 9mm の鋼板を V 開先突合せ溶接したものから切り出した。高応力範囲・高応力比での疲労試験が可能なように、鋼板には降伏点の高い HT780 を用いた。ミルシートによる鋼材の機械的性質と成分分析結果を Table 1 に示す。裏当て金には銅板を用い、溶接後取り外した。よって裏面に裏当て金及び余盛りはない。溶接法はシールドガスとして炭酸ガスを用いたガスシールドアーク溶接、溶接材料は 780MPa 級鋼用ソリッドワイヤを用いた。試験体の形状・寸法を Fig. 1 に示す。この試験体の溶接止端部を含む幅 9mm、長さ 20mm の範囲にレーザピーニングを施した。使用したレーザは Nd:YAG レーザ(波長 532nm)であり、レーザピーニングの条件は、パルスエネルギー 200mJ、スポット径 0.8mm、照射密度 36Pulse/mm²とした。照射時には、試験体を載せたステージを溶接線方向に移動させながら 1/60mm ピッチでパルスレーザを照射し、9mm を照射し終わった後に折り返して 1/60mm 下のラインを照射した。これを繰返すことによって 9mm×20mm の範囲を照射した。また、余盛のある表面のみならず、余盛のない裏面にも同じ範囲を照射した。照射周波数は 60Hz であり、1 面の照射に要する時間は約 2 分である。

応力比の影響を明らかにするため、試験体を応力範囲 Δσ=200, 250, 300MPa、応力比 R=0.1, 0.33, 0.5 の疲労試験に供した。試験機には 50kN 一軸疲労試験機を用い、試験体数は各応力振幅・応力比あたり 2 体もしくは 3 体とした。また、試験の打ち切り限界は 10⁷ 回とした。

比較のため、レーザピーニングを施していない試験体も同様の疲労試験に供した。

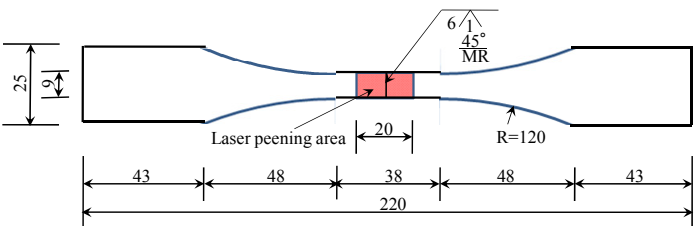


Fig.1 Butt welded specimen

Table 1 Mechanical properties and chemical compositions

	Mechanical property				Chemical composition (%)												
	σ _Y (MPa)	σ _U (MPa)	δ (%)	YR (%)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	Ti	Ceq
HT780	804	823	21	95	15	36	120	12	1	1	1	10	12	0	1	-	42
Welding wire*	710	830	24	-	8	38	125	9	11	-	222	-	63	-	-	-	-

Ceq=C+Si/24+Mn/6+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14

* : catalogue value

キーワード レーザピーニング 疲労寿命 応力比 突合せ溶接部 HT780

連絡先 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 1 1 - 1 大阪大学 接合科学研究所 TEL:06-6879-8667

3. 実験結果

試験結果から得られたレーザピーニングを施していない試験体(NP)のS-N曲線をFig. 2に、レーザピーニングを施した試験体(LP)のS-N曲線をFig. 3に示す。

NPの場合、 $\Delta\sigma=200\text{MPa}$ - $R=0.1$ で2体中1体が打ち切り限界の 10^7 回に達したが、それ以外はすべて溶接止端部から疲労破壊した。いずれの応力範囲でも、応力比が大きくなると疲労寿命は短くなっている。

LPの場合、 $\Delta\sigma=200\text{MPa}$ では $R=0.5$ の2体中1体が200万回程度で疲労破壊したが、他の試験体はすべて 10^7 回に達した。 $\Delta\sigma=250\text{MPa}$ では、 $R=0.1$ の2体と $R=0.33$ の2体中1体は 10^7 回に達したが、 $R=0.33$ のもう1体と $R=0.5$ の2体が 10^6 回以下で疲労破壊した。 $\Delta\sigma=300\text{MPa}$ ではすべての試験体が疲労破壊し、NPと同様に応力比が大きくなると寿命は短くなった。これらより、 $R=0.1$ での疲労限は 250MPa 程度、 $R=0.33$ での疲労限は 200MPa 程度、 $R=0.5$ での疲労限は 200MPa 未満であると言える。この様にLPの場合、応力比が小さい場合に打ち切り限界に達した応力振幅でも、応力比が大きくなると疲労破壊し、疲労限が低下する事が分かる。

Fig. 4に $\Delta\sigma=300\text{MPa}$ でのLP各2体の疲労寿命を示す。縦軸は、各試験体の疲労寿命を $R=0.1$ の試験体の疲労寿命の平均値 $LP_{0.1\text{ave}}$ で無次元化している。 $R=0.33$ の場合には疲労寿命が $R=0.1$ の場合の40%程度に、 $R=0.5$ では10%程度に短くなっている。

Fig. 5にすべての試験体が疲労破壊した $\Delta\sigma=300\text{MPa}$ でのLPの疲労寿命を示す。縦軸は、疲労寿命を同じ応力比のNPの疲労寿命の平均値 NP_{ave} で無次元化している。応力振幅が 300MPa と大きくても、 $R=0.1$ の場合にはLPはNPの4倍以上の疲労寿命を有している。 $R=0.33$ の場合には、3倍程度と低下し、応力比0.5ではNPと同程度の疲労寿命となっている。このことは、NPよりもLPの方が応力比の影響を強く受けることを表している。

4. まとめ

- (1) レーザピーニングを施した突合せ溶接継手でも、疲労寿命は応力比の影響を受け、応力比が大きくなると疲労寿命が短くなり、疲労限が低下する。
- (2) レーザピーニングによる疲労寿命向上効果は、応力比が大きくなるほど低下し、応力振幅・応力比共に非常に大きい $\Delta\sigma=300\text{MPa}$ - $R=0.5$ では効果が見られなくなる。
- (3) レーザピーニングを施した突合せ溶接継手の疲労寿命は、施していない場合よりも応力比の影響を強く受ける。

参考文献 1) Yuji SANO: Residual Stress Improvement on Metal Surface by Underwater Irradiation of High-Intensity Laser, Journal of Japan Laser Processing Society, 9, (2002), 163-170. 2) Yoshihiro SAKINO, Yuji SANO and You-Chul KIM : Application of laser peening without coating on steel welded joints, International Journal of Structural Integrity, 2-3, (2011), 332-344. 3) Yoshihiro SAKINO, Yuji SANO, Rie SUMIYA and You-Chul KIM : Improving Fatigue Strength of Butt Welded Joints by Laser Peening and Its Main Factor, Quarterly J. Japan Welding Soc., 29-3, (2011), 146-153.

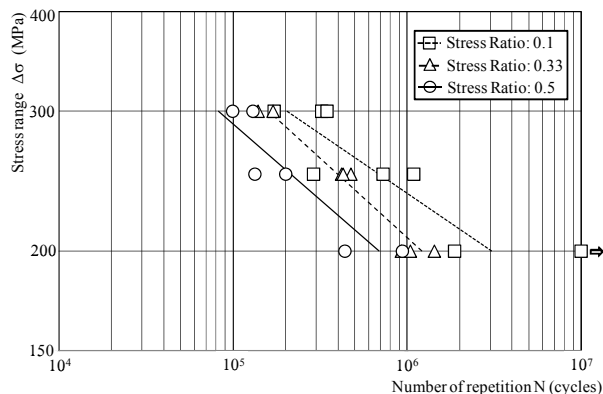


Fig.2 S-N diagram (NP)

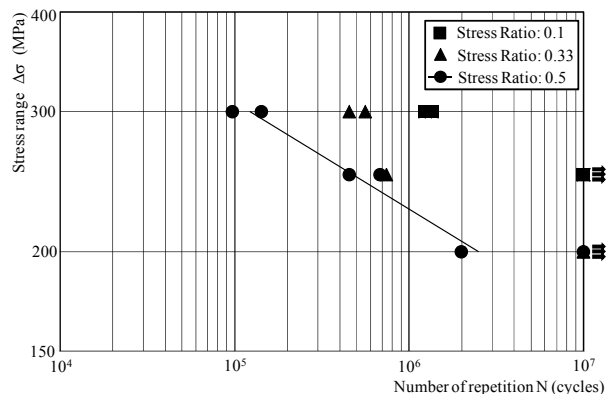


Fig.3 S-N diagram (LP)

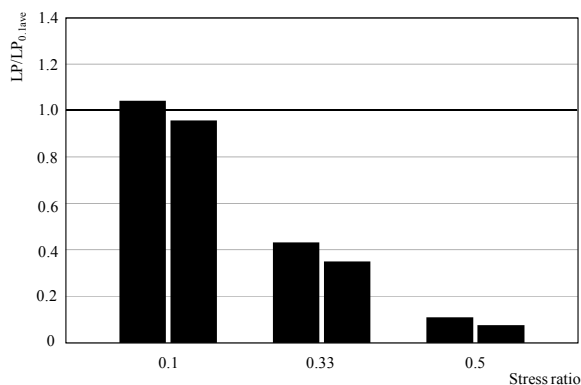


Fig.4 Fatigue lives of LP specimens with different stress ratio ($\Delta\sigma=300\text{MPa}$)

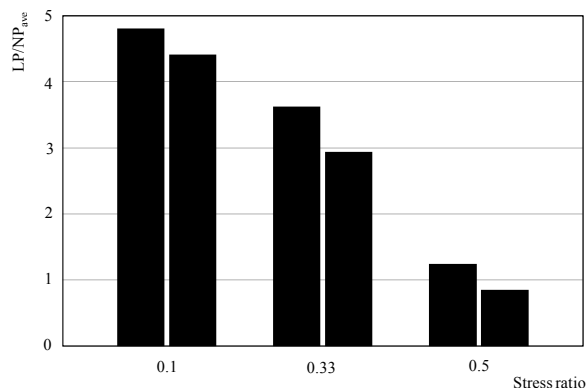


Fig.5 Magnification of fatigue lives with laser peening at each stress ratio ($\Delta\sigma=300\text{MPa}$)