

レーザピーニングによる突合せ溶接継手の疲労強度向上効果と応力除去焼鈍の影響

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、材料の表面に高い圧縮残留応力が形成されるため、応力腐食割れの防止に有効であることが知られている。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、リブを隅肉溶接した試験体の止端部にレーザピーニングを施し疲労試験を行った。その結果、隅肉溶接継手の疲労寿命向上に効果が大きいことが確かめられた。しかし、レーザピーニングを施した試験体は止端以外から疲労き裂が発生したため、疲労強度の定量的な把握はできなかった。

本報では、突合せ溶接継手試験体の止端部にレーザピーニングを施した試験体を疲労試験に供することにより、突合せ溶接試験体でのレーザピーニングの疲労寿命向上効果を検討した。さらに、レーザピーニングを行った後に応力除去焼鈍を行った試験体を疲労試験に供し、応力除去焼鈍による残留応力の変化がレーザピーニングによる疲労強度向上効果に及ぼす影響を検討した。

2. 試験体形状と実験方法

試験体は厚さ 9mm の SM490 ($\sigma_Y=365\text{MPa}$, $\sigma_U=524\text{Pa}$) を V 開先突合せ溶接したものである。裏当て金には銅板を用い、溶接後取り外した。溶接材料は YGW18 を用いた。形状・寸法を Fig. 1 に示す。表裏の溶接

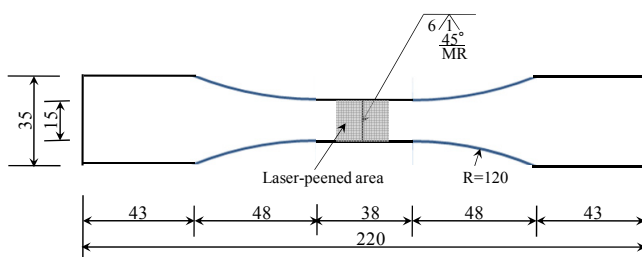


Fig.1 Butt welding specimen

止端部を含む長さ 20mm の範囲にレーザピーニングを施した。レーザは小型 Nd:YAG レーザ(波長 $532\mu\text{m}$)であり、照射条件はパルスエネルギー200mJ, スポット径 0.8mm, 照射密度 $3,600\text{Pulse}/\text{cm}^2$, 照射周波数 60Hz である。レーザピーニング後の溶接部の写真を Fig. 2 に示す。焼鈍有り試験片はレーザピーニング後電気炉に入れ $600^\circ\text{C}\cdot 8$ 時間の焼鈍熱処理を行った。なお、比較のためレーザピーニングを施していない試験体にも焼鈍を行った。これらの試験片を用い、まず X 線源に Cr-K α (17kV, 2.0mA) を使用した X 線回折法 ($\sin^2\phi$ 法, 図中では XRD と称す) を用いて溶接止端部近傍表面の残留応力を計測し、焼鈍による残留応力の変化を明らかにした。その上で、これらの試験体を応力範囲 $\Delta\sigma$ が 175, 200, 250, 300, 350MPa の完全片振り疲労試験に供し、レーザピーニングの有無および焼鈍の有無による疲労強度の違いを検討した。

3. 応力除去焼鈍による残留応力の変化

Fig. 3, 4 に、溶接止端から溶接線直角方向に 1mm、板幅方向中央と $\pm 6\text{mm}$ の計 6 箇所 (Fig. 2) の溶接線直角方向の残留応力の計測結果を示す。レーザピーニングを施していない場合 (Fig. 3)、焼鈍有り試験体 (UP) は 1 点を除いて残留応力が 0MPa 付近と小さかった。焼鈍無し試験体 (UP-NR) は今回の結果では、焼鈍により残留応力の絶対値は小さくならず、6 点とも引張り残留応力が計測された。これに対し、レーザピ

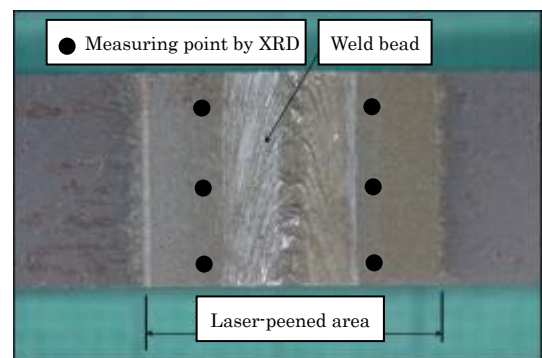


Fig.2 Photo of laser-peened area

キーワード レーザピーニング 疲労強度 突合せ溶接 応力除去焼鈍 残留応力

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

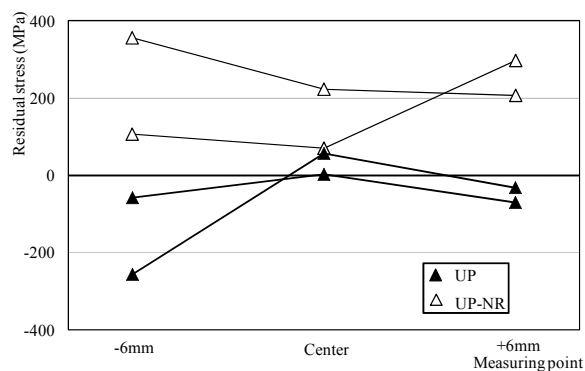


Fig. 3 Residual stress distribution (Unpeened)

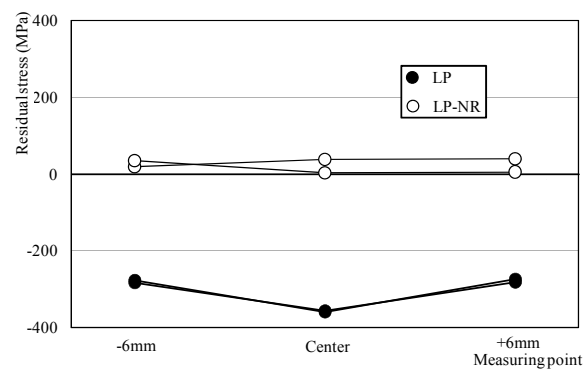


Fig. 4 Residual stress distribution (Laser-peened)

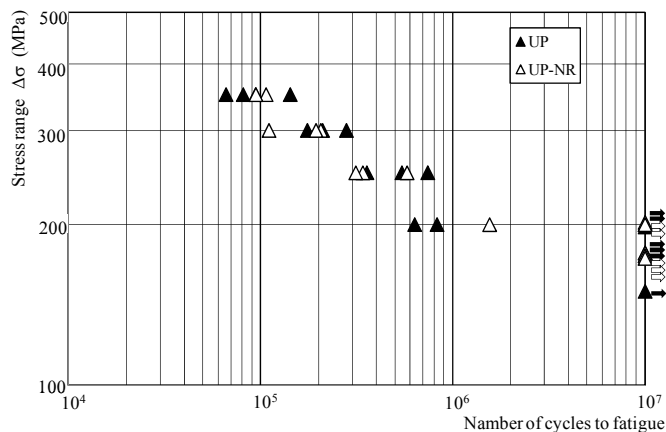


Fig. 5 Results of fatigue test (Unpeened)

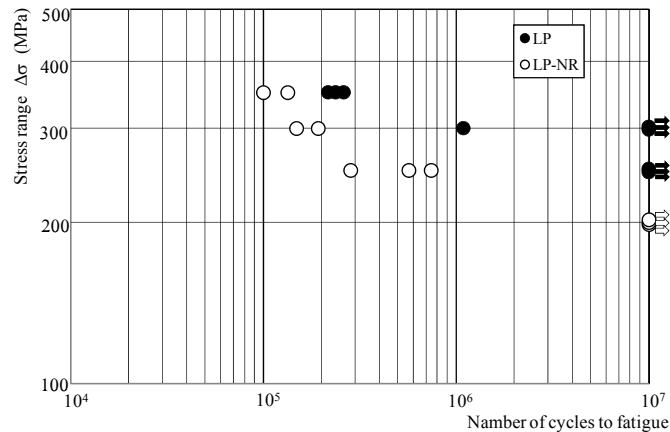


Fig. 6 Results of fatigue test (Laser-peened)

ーニングを施した場合 (Fig. 4)、焼鈍無し試験体 (LP) は 6 点ともに 300MPa 程度の大きな圧縮の残留応力であったのに対し、焼鈍有り試験体 (LP-NR) は 6 点とも残留応力がほとんど 0MPa であった。

4. 応力除去焼鈍による疲労強度の変化

Fig. 5, 6 に、疲労試験から得た S-N 曲線を示す。疲労き裂は全て表面の溶接止端部から発生した。レーザピーニングを施していない場合 (Fig. 5)、焼鈍の有無による違いは見られず、 $\Delta\sigma=175\text{MPa}$ では 3 体とも破壊せず 10^7 回に達し、 $\Delta\sigma=200\text{MPa}$ では焼鈍無し試験体が 2 体、焼鈍有り試験体が 1 体 10^6 回以下で疲労破壊し、 $\Delta\sigma=250\text{MPa}$ 以上ではすべて疲労破壊した。

これに対し、レーザピーニングを施した場合 (Fig. 6)、焼鈍無し試験体が $\Delta\sigma=250\text{MPa}$ でも 3 体とも破壊せず 10^7 回に達し、 $\Delta\sigma=300\text{MPa}$ でも 4 体のうち 1 体のみが 10^6 回程度で破壊したが 3 体は 10^7 回に達した。母材の降伏点に近い $\Delta\sigma=350\text{MPa}$ では 3 体とも疲労破壊したが、レーザピーニングを施していない場合に比べ疲労寿命は約 2.5 倍になっている。このように、突合せ溶接試験体でもレーザピーニングによる疲労強度向上効果が大きいことが明らかとなった。しかし、焼鈍有り試験体では、 $\Delta\sigma=200\text{MPa}$ では 3 体とも破壊せず 10^7 回に達したものの、

$\Delta\sigma=250\text{MPa}$ 以上ではすべて疲労破壊し、疲労寿命もレーザピーニングを施していない場合と同程度まで低下した。これらは焼鈍による圧縮残留応力の減少によるものと考えられる。

5. まとめ

突合せ溶接試験体でもレーザピーニングによる疲労寿命向上効果が確認された。また、レーザピーニングを施していない突合せ溶接継手の疲労強度は、応力除去焼鈍の影響を受けなかったが、レーザピーニングを施した突合せ溶接継手の疲労強度は、応力除去焼鈍による圧縮残留応力の減少によりレーザピーニングを施さない場合と同程度まで低下した。よって、レーザピーニングによる疲労強度向上の主要因は、圧縮残留応力の形成であると考えられる。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金「若手研究 (B)」(課題番号 15760352) および日本鉄鋼連盟「鋼構造研究・教育助成事業」の補助を受けた。

参考文献 ・SAKINO Yoshihiro, SANO Yuji and KIM You-Chul : Improving Fatigue Strength with Laser Peening, Proceedings of National Symposium on Welding Mechanics and Design 2006, 2, (2006), 605-608 ・SAKINO Yoshihiro, SANO Yuji and KIM You-Chul : Improving Fatigue Strength of Butt Joint by Laser Peening, Preprints of the National Meeting of J.W.S, No.82, (2008), 206-207.