

3401 塑性変形を与えた軟鋼板 SPCC の曲げ疲労強度

Bending Fatigue Strength of Plastically Deformed Mild Steel Sheet SPCC

学○ 菅井一允(岐阜大院) 正 山下実(岐阜大工) 正 服部敏雄(岐阜大工) 正 西村尚哉(岐阜大工)
Kazumasa SUGAI, Minoru YAMASHITA, Toshio HATTORI, Naoya NISHIMURA, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu

The effect of the plastic deformation on the fatigue property was investigated with consideration of the pre-strain level, the surface roughness and the residual stress. The test materials were a mild steel sheet SPCC, that nominal thickness was 3mm. Bending fatigue test was carried out using a Schenk-type bending fatigue apparatus at room temperature, where the sine stress wave was imposed on the specimen with 30 Hz. The plastically deformed sheet with several strain levels were prepared, which underwent the simple tension. The fatigue strength elevates in accordance with the magnitude of the plastic strain, however, the effect of surface roughness was not prominent.

Key Words : Fatigue Strength, Bending test, Prestrained Material, SPCC

1 緒言

金属工業製品は、その多くが塑性加工で製造されている。我国では、自動車部品等の大量生産品における塑性加工法および工程全般の最適化が、国際競争力の向上等に対して重要で、これらに関連した研究が盛んである。特に、薄板の塑性加工品は生産量が多く、その大半は冷間板プレス成形で作られている。

一般に、この種の部品・製品は、材料の加工硬化によってそれ自体の静的強度の向上も自ずと図られることになるが、ほとんどの製品はその運用期間中、繰返し応力負荷を受けるため、むしろ疲労強度への影響が重要である^{1,2)}。しかし、板プレス成形品は頻用されているにもかかわらず、加工量や加工履歴が疲労強度に及ぼす影響に関する研究はほとんどない。

そこで、本研究では、これに関する基礎的な研究として、金属板に単軸引張で予ひずみを与えた場合の曲げ疲労強度について、実験的に検討した。また、予ひずみを与えると表面粗さに変化が見られたため、表面粗さが曲げ疲労強度に与える影響にも注目した。材料には、塑性加工用冷間圧延鋼板 SPCC を用いた。

2 供試材および実験方法

市販の公称板厚 3 mm の冷間圧延鋼板 SPCC を供試材に用いた。Table 1 に機械的特性値を示す。これは加工性や溶接性に優れ、価格も安価であるので板成形用の鋼板として、代表的なものである。

Table1 Mechanical properties of SPCC tested.

<i>n</i>	<i>c</i> (MPa)	U.T.S. (MPa)
0.202	486.3	289.8

Plastic property: $\sigma = c \epsilon^n$

U.T.S. : Ultimate tensile strength

本研究では、単軸引張により塑性変形を与えたものについて、曲げ疲労試験を行った。まず、平行部長さ 240 mm、幅 48 mm の短冊状試験片(全長 400 mm)を製作し、板材の圧延方向に単軸引張して予ひずみを与えた。この作業には油圧式 300 kN 万能試験機を用い、準静的に変形させた。Fig.1 に引張試験の結果を示す。

曲げ疲労試験片は、Fig.2 に示すように単軸引張した短冊状試験片 1 個からワイヤー放電加工で 2 個取りして製作した。試験片の形状寸法は、試験片中央部で最小幅が 20 mm になるように半径 30 mm の円弧で切り欠いたものである。

予ひずみ ϵ_p の大きさは、引張方向の真ひずみで表し、(i) $\epsilon_p = 0$ (予ひずみ無し)、(ii) 塑性ひずみ $\epsilon_p = 0.06$ 、(iii) 塑

性ひずみ $\epsilon_p = 0.21$ の三様である。また、表面粗さの影響を調べるために、エメリー紙 #400 にて平滑仕上げを施したものも用意した。

曲げ疲労試験には、回転偏心重錘の発生する遠心力によって試験片に動的モーメントを負荷させるねじり曲げ疲労試験機を使用した。試験片に与えた応力はひずみゲージで検出し PC に記録した。繰返し回数の上限は 10^7 回程度とした。また、曲げ試験中に負荷する最大応力値については、種々変化させた。各応力値は比例限度以下で設定し、いわゆる高サイクル疲労試験である。

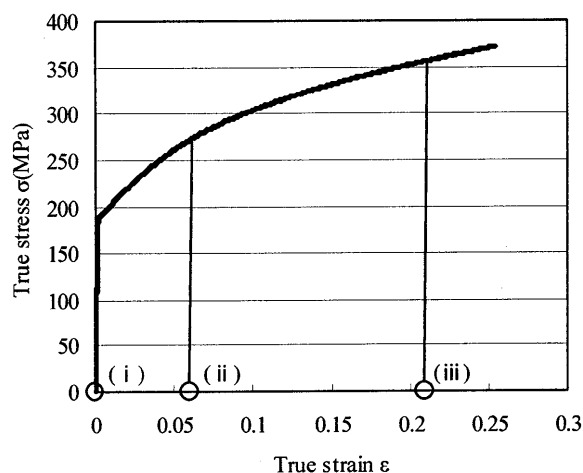


Fig.1 True stress-true strain curve of SPCC.

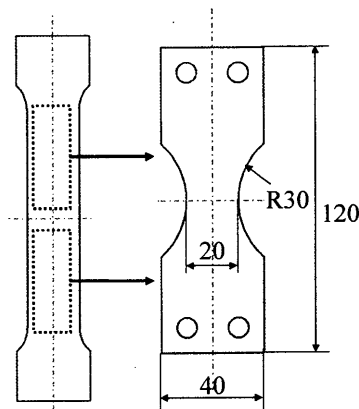


Fig.2 Dimensions of specimen for bending fatigue test. (Specimen is cut from pre-strained rectangular sheet.)

3 実験結果および考察

各予ひずみを与えた試験片について曲げ疲労試験で得られた S-N 線図を Fig.3 に、予ひずみを与えた後エメリー紙#400 で平滑仕上げを施した試験片の曲げ疲労試験の結果を Fig.4 に示す。まず、予ひずみ $\varepsilon_p = 0.21$ を与えた試験片の疲労強度は、 $\varepsilon_p = 0$ のもの(予ひずみ無し)と比べて大きいことがわかる。

つぎに、表面粗さの影響を検討する。金属の塑性加工において工具拘束の無い自由表面では、塑性変形により一般に表面粗さが増加する。各予ひずみを与えた試験片および予ひずみを与えた後、エメリー紙#400 で平滑仕上げを施したものについて、表面粗さ Ra (算術平均粗さ)を Fig.5 に示す。表面粗さの測定は、表面構造解析顕微鏡 Newview 200CHR(Zygo 社製)を用い、測定範囲は $1.28 \times 0.96 \text{ mm}^2$ の領域である。 Ra の値は平滑仕上げを施すことにより $\varepsilon_p = 0$ では約 $1.3 \mu\text{m}$ から約 $0.4 \mu\text{m}$ に、 $\varepsilon_p = 0.21$ では約 $1.7 \mu\text{m}$ から約 $0.4 \mu\text{m}$ に減少したが、疲労強度の上昇割合は、 $\varepsilon_p = 0$ では約 5%、 $\varepsilon_p = 0.21$ では約 8% 程度の上昇にとどまった。

最後に、降伏応力の初期降伏応力に対する増加割合と疲労強度の関係に注目した。予ひずみを与えない材料の疲労強度に対する相対変化を 10^7 サイクルについて Fig.6 に示す。ここでは表面粗さの影響を無視するため、予ひずみを付与した後に平滑仕上げを施し、 Ra の値を約 $0.4 \mu\text{m}$ にそろえたものを用いた。同図から、材料の降伏応力が高くなると、疲労強度も高くなる傾向があり、降伏応力増加率と疲労強度増加率の関係には強い線形性がみられる。しかし、予ひずみを付与することによる降伏応力の増加割合ほど疲労強度の増加は見られなかった。

4 結 言

本報では、単軸引張で予ひずみを与えた冷間圧延鋼板 SPCC の曲げ疲労強度試験を行い以下の結論を得た。

- 1) 単軸引張により一様伸び限界付近での塑性ひずみ ($\varepsilon_p = 0.21$) を付与した場合、疲労強度は増加したものの、加工硬化による降伏応力の増加分ほどの疲労強度の増加はみられなかった。
- 2) 塑性ひずみを付与したものに平滑仕上げを施したところ、疲労強度は約 24% 向上した。平滑仕上げを施す前では約 16% 増加であった。
- 3) 異なるひずみレベル($\varepsilon_p = 0, 0.06, 0.21$)での平滑仕上げを施した試験片についての疲労強度増加率と降伏応力増加率の関係には線形性がみられた。

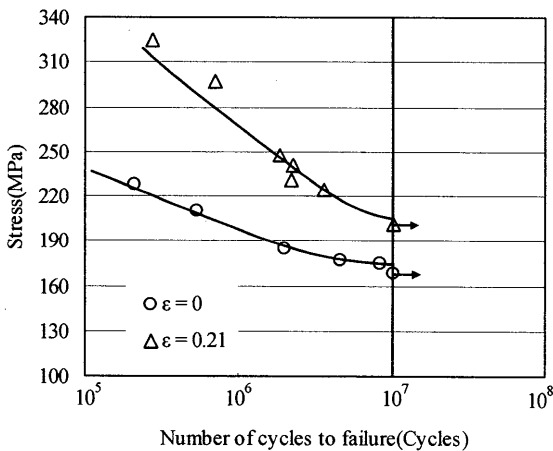


Fig.4 S - N relationship in bending fatigue test.

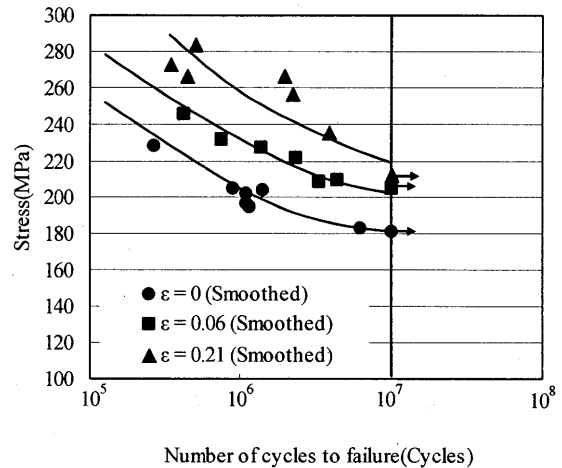


Fig.4 S - N relationship in bending fatigue test for specimen with smooth finishing.

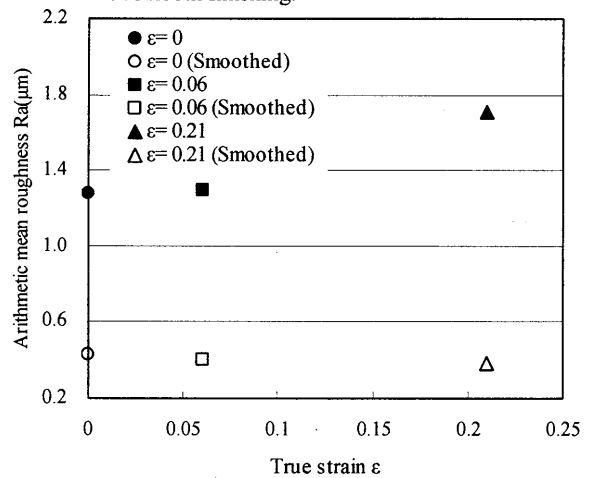


Fig.5 Relationship between surface roughness (Ra) and pre-strain ε_p , where the Ra after smoothing by emery paper is also plotted.

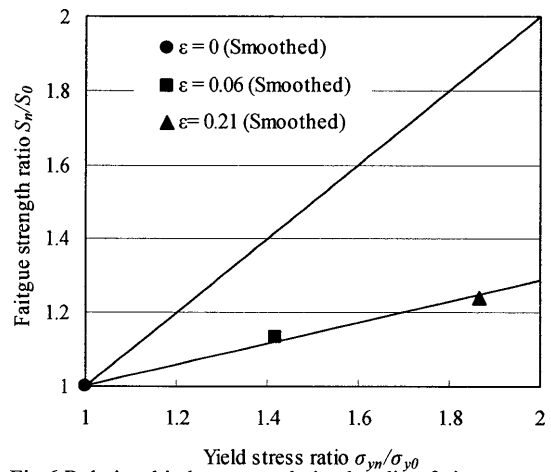


Fig.6 Relationship between relative bending fatigue strength S_n / S_0 and relative yield stress $\sigma_{yn} / \sigma_{y0}$ of the material.

参考文献

- 1) 小寺沢良一：フラクトグラフィとその応用，(1981)。
- 2) 船久保熙康・西島敏：金属の疲れ，(1973)。
- 3) 鯉淵興二・小久保邦雄：製品開発の材料力学と強度設計ノウハウ，(2002)。