708 TRIP 鋼板の塑性加工における組織変態と疲労信頼性の関係

Relationship between Fatigue reliability of TRIP steel and microstructure transformation after plastic working

正 鈴木秀人 (茨城大) ○学 佐川大輔 (茨城大) 正 大屋邦雄 (PSG)
正 西野創一郎 (茨城大) 正 友田陽 (茨城大) 学 森健郎 (茨城大・院)

Hideto SUZUKI, Ibaraki University, 4-12-1, Nakanarusawa-cho, Hitachi
Daisuke SAGAWA, Ibaraki University, 4-12-1, Nakanarusawa-cho, Hitachi
Kunio OYA, PSG.CO.LTD, 143, Hagadai, haga-cho, haga-country, Tochigi
Soichiro NISHINO, Ibaraki University, 4-12-1, Nakanarusawa-cho, Hitachi
Yo TOMODA, Ibaraki University, 4-12-1, Nakanarusawa-cho, Hitachi
Takero MORI, Ibaraki University, 4-12-1, Nakanarusawa-cho, Hitachi

Recently, the TRIP (Transformation Induced Plasticity) steel is developed as lightening countermeasure of the car. In the present, the research of the formability is frequent. However, the research on fatigue characteristics is little. So, the systematic research is required. In this study the effect of Pre-Strain at the fatigue strength of TRIP steel is compared with Dual Phase steel. A result of this study, the effect of the TRIP steel is bigger than the DP steel. The fatigue strength of the product may increase.

Key words: lightening countermeasure, TRIP steel, Pre-Strain, DP steel

1. 緒 言

乗用車の軽量化対策として成形性に優れ、かつ高強度を有する変態誘起塑性 (TRIP) 形複合組織鋼 (以後、TRIP 鋼と称す) が注目されている。バンパやドアインパクトビームなど衝撃吸収材をはじめとして、より複雑な形状を有する足回りの部品に使用されつつある。よって、TRIP 鋼の強度信頼性や成形性に関する研究は数多い。

一方、プレス加工製品は塑性変形を経た状態で使用されることから、強度信頼性に及ぼす予ひずみの影響について明らかにすることは重要な課題である。特に TRIP は塑性加工中に組織変態するために、予ひずみの影響が無視できないと考えられる。しかしながら、TRIP 鋼の予ひずみ疲労に関する文献は皆無である。

そこで、本研究では加工誘起型マルテンサイト変態の影響に焦点を絞り TRIP 鋼の疲労強度における予ひずみの効果を同じ複合組織鋼である DP 鋼との比較により検討した。

2. 供試材および実験方法

2.1 供試材

TRIP 鋼板および DP 鋼板の機械的性質を Table 1 に示す。TRIP 鋼の組織はフェライト、ベイナイト、残留オーステナイトの三相からなっている。また、DP 鋼はフェライトとマルテンサイトの二相からなる複合組織鋼である。

この二種類の鋼板を引張試験片に機械加工し、引張試験機によって 10% の引張予ひずみを加えた。その後、引張試験片からさらに微小な試験片を切り出して予ひずみを与えた疲労試験片 (以下、予ひずみ材と称す) を作成した。なお、処女材は素材である鋼板から疲労試験片を機械加工した。疲労試験片の形状は Fig 1 に示すダンベル型である。

Table 1 Mechanical properties of TRIP steel and DP steel

Materials	Yong's modulus [Mpa]	Yield strength σ_y (Mpa)	Tensile strength σ_u (Mpa)	Work-hardening exponent	Elongation ϵ (%)	σ_y/σ_u (%)
DP	2.1×10^5	327	592	0.18	27	55
TRIP	2.1×10^5	424	613	0.209	38.7	69

2.2 実験方法

実験装置は、走査型電子顕微鏡 (SEM) と電気油圧式高温試験機とを組み合わせた複合計測システムである SEM サーボを用いた。この試験機によって荷重制御 (応力振幅 25.2 MPa 一定) の疲労試験を行った。試験温度は室温、試験雰囲気は真空中である。負荷波形は応力比 $R=0.1$ の正弦波による引張-引張疲労試験である。試験周波数はひずみ履歴を測定する際には 0.1 Hz で行い、通常の試験は 30 Hz 一定とした。なお、破面観察には SEM を用いた。

Fig. 1 Shape and size of Fatigue test specimen

Fig. 2 Comparison of fatigue strength in TRIP steel and DP steel

3. 実験結果

Fig 2に TRIP 鋼および DP 鋼の疲労寿命について示す。ただし、TRIP 鋼の予ひずみ材は $N=10^7$ 回で破断しなかったため試験を中止した。同図によるとパージン材、予ひずみ材ともに TRIP 鋼のほうが疲労寿命が長いことがわかる。すなわち、DP 鋼よりも TRIP 鋼のほうが疲労信頼性が高いことが判明した。特に、TRIP 鋼・予ひずみ材は未破断であることから、TRIP 鋼の疲労信頼性に対して予ひずみの効果は大きいことが理解される。

また、疲労試験で与えた最大応力は、引張強さの 90%以上であり、降伏応力を超えているにもかかわらず TRIP 鋼の予ひずみ材は破断しなかった。このような TRIP 鋼の疲労挙動における特異な様相について考察するために疲労過程における変形挙動を調べることとした。

4. 考 察

4.1 TRIP 鋼の疲労過程における繰返し変形挙動について

McEvily らは冷間加工材と焼きなまし材における繰返し軟化・硬化現象は、低サイクル疲労特性を支配する一つの因子である⁽¹⁾としている。本研究における TRIP 鋼についても繰返し変形過程が疲労寿命の支配因子であると考えられるので、繰返し負荷過程における試験片のひずみについて測定した。

このデータの測定方法は SEM サーボにより一定応力を負荷しつづけた場合のひずみ量を測定するというものである。一般に測定量は比較的わずかなサイクル数後に飽和に達するといわれている⁽²⁾が、今回の実験では破断に至るまで、または 10^7 回までひずみ量を測定することにした。始めのひずみ量を基準としてそのひずみ量が多くなっていく場合には軟化、少なくなっていく場合には硬化していることを示す。また、一定になった場合は繰返し軟化・硬化が飽和したことを示す。

Fig. 3 の結果から、TRIP 鋼はパージン材、予ひずみ材ともに繰返し硬化していることが分かる。特に注目すべき点は、10%のひずみを負荷された予ひずみ材についても硬化している点である。前述の McEvily らによると予ひずみ材（冷間加工材）は繰返し変形によって軟化し、処女材と同様の強度を示すとされている。一方、TRIP 鋼は予ひずみだけではなく、疲労負荷によってさらに硬化している。これは TRIP 特有の挙動であり、予ひずみ材の疲労寿命伸長の一因と考えられる。硬化挙動は加工誘起型マルテンサイト変態の影響によるものと考えられる。

4.2 TRIP 鋼と DP 鋼における繰返し変形挙動の相違

DP 鋼の繰返し変形挙動について検討するために、疲労試験前と疲労試験後のビッカース試験による硬度測定を行った。Fig. 5 に DP 鋼のビッカース試験の結果を示す。同図によると傾向に相違が認められるものの、予ひずみ材・パージン材ともに繰返し軟化していることが分かる。

さらに、TRIP 鋼と DP 鋼の破断時の試験片寸法を測定し、破壊に至るまでの伸びを測定した結果 (Fig. 4)、TRIP 鋼は DP 鋼に比べてパージン材、予ひずみ材ともに伸び量が小さい。特に予ひずみ材に関しては伸び量がパージン材の 10%以下になった。また、DP 鋼の予ひずみ材においては伸び量がパージン材の 50%程度となっている。このことから TRIP 鋼に関して DP 鋼よりも予ひずみによる効果が非常に大きいことが分かる。

以上の結果より、TRIP 鋼の疲労信頼性に及ぼす予ひずみの影響は DP 鋼に比べて大きいことが判明した。これは加工誘起型マルテンサイト変態に起因する硬化によるものと考えられる。

5. 結 言

本研究では、加工誘起型マルテンサイト変態の影響に焦点

を絞り TRIP 鋼の疲労強度における予ひずみ効果を同じ複合組織鋼である DP 鋼との比較により検討した。得られた主な結論は次のとおりである。

- (1) パージン材、予ひずみ材ともに TRIP 鋼のほうが疲労寿命が長い。DP 鋼よりも TRIP 鋼のほうが疲労信頼性が高いことが判明した。特に、TRIP 鋼の予ひずみ材は未破断のため TRIP 鋼の疲労信頼性に対して予ひずみ効果は大きいことが。
- (2) TRIP 鋼は予ひずみだけでなく疲労負荷によってさらに硬化している。一方、DP 鋼は予ひずみ材・パージン材ともに繰返し軟化している。このことから、TRIP 鋼の疲労信頼性に及ぼす予ひずみの影響は DP 鋼に比べて大きいことが判明した。これは加工誘起型マルテンサイト変態に起因する効果に起因していると考えられる

参考文献

- (1) Telerman, A. S and McEvily, A. J. Fracture of Structural Materials, (1967), John Wiley & Sons, Inc.
- (2) 荒木 透、堀部 進、金属疲労の力学と組織学 (1984) 養賢堂

Fig. 3 Relationships between Strain and number of cycles.

Fig. 4 Elongation of the test piece at the each stress amplitude

Fig. 5 Bickers hardness