

トラックフレーム用熱延高張力鋼板の疲労強度改善

富田 邦和*・塩崎 毅*・占部 俊明*・大澤 紘一*²

Improvement of Fatigue Strength of High Strength Hot Rolled Steel Sheet for Truck Frame Use

Kunikazu TOMITA, Tsuyoshi SHIOZAKI, Toshiaki URABE and Koichi OSAWA

Synopsis : Weight reduction of a truck body brings about increase of load capacity and diminution of fuel consumption. The weight reduction is feasible in terms of the application of high strength steel sheet to body. Especially, the application to truck frame is important because it is heavy. The required properties of steel sheet for truck frame use are press formability and fatigue strength. However, investigations on fatigue strength are relatively few, and the value of fatigue strength is not sufficient. Therefore, the fatigue strength of high strength steel sheet for truck frame use was investigated in this study.

The fatigue strength of steel sheet with scale is significant for truck frame use. It increases with the decrease in the surface roughness of steel sheet. The fatigue strength of sheared edge is also important. It increases with the decrease in the roughness of sheared edge. In case of the microstructure including pearlite and coarse carbides, these phases increase the roughness of sheared edge through the connection of micro-voids arising around them. Accordingly, the reduction of these phases is significant for improving the fatigue strength of sheared edge. Based on these findings, three types of the 780 MPa grade high strength hot rolled steel sheet were manufactured. From this result, it was suggested that the effect of the roughness reduction on improving the fatigue strength was stable.

Key words : high strength low alloy steel; hot rolled product; fatigue; strength; truck frame.

1. 緒言

トラックの車体重量が減少すれば積載重量が増し、輸送コストの低下が期待できる。また、車体重量低減は燃費向上による排ガス量削減を可能とするため、地球環境問題からも重要といえる。車体重量の低減には高張力鋼板適用による部材の薄肉化が有効であるが、なかでも板厚が5~8 mmと厚く重量の大きいフレームの高張力鋼板化は効果が大きい。

トラックフレーム用鋼板には曲げ性や伸びフランジ性等のプレス成形性と疲労強度が求められる。プレス成形性については、比較的板厚の薄い乗用車部材の高張力鋼板化に際し種々検討されており¹⁻⁴⁾、その結果は板厚の厚いトラックフレーム用鋼板にも適用できる。一方、トラックフレームを高張力鋼板化した際の疲労強度については検討が少ない⁵⁻⁸⁾。このため、現状は鋼板が高張力化してもそれに見合った疲労強度の上昇が得られない、高張力化すると疲労強度のばらつきが増大するという問題があり、トラックフレームの高張力鋼板化を阻む原因となっている。そこで、本研究ではトラックフレーム用鋼板の疲労強度の支配因子を調査し、高張力化に見合った高い疲労強度が安定して得られるための条件について検討した。

2. 実験方法

2.1 供試材

440~780 MPa級の実機熱延板を供試材とした。板厚はトラックフレーム用を対象としたため4~6 mmの厚手としたが、一部の実験では2.3~2.8 mmのものも用いた。

2.2 疲労試験

トラックフレームの場合、鋼板はスケール付きの状態では塗装されるため、スケールが付いた状態での疲労強度が重要となる。このためスケール付きの平滑型疲労試験片を用いて母材疲労強度を測定した。また、トラックフレームにはブランキング時の剪断縁に加えてFig. 1に示すように打ち抜き穴が存在するため、打ち抜き端面の疲労強度も重要となる。そこで、スケール付きの鋼板から中央にクリアランス10%で直径10 mmの打ち抜き穴を空けた打ち抜き穴型試験片を作製し、打ち抜き穴の疲労強度を測定した。これ

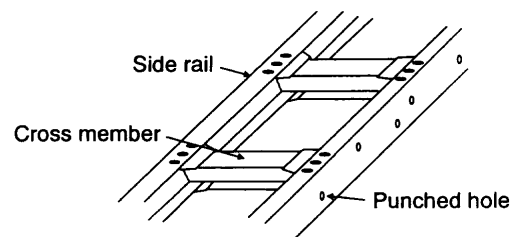


Fig. 1. Schematic illustration of truck frame.

平成13年1月31日受付 平成13年5月17日受理 (Received on Jan. 31, 2001; Accepted on May 17, 2001)

* NKK 総合材料技術研究所 (Materials & Processing Research Center, NKK Corp., 1-1 Minamiwarida-cho Kawasaki-ku Kawasaki 210-0855)

* 2 日本大学生産工学部 (College of Industrial Technology, Nihon University)

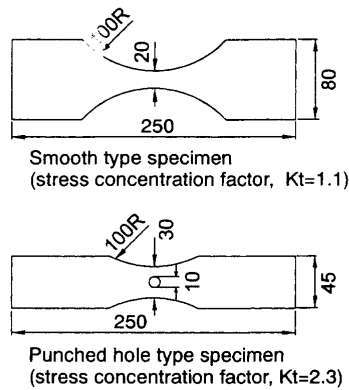


Fig. 2. Configuration of fatigue test specimen (mm).

らの試験片の形状、寸法をFig. 2に示す。

疲労試験は応力比0.1、繰り返しサイクル数20 Hz、圧延方向負荷の軸引張りモードで行った。疲労強度は疲労寿命が 10^7 回以上となる最大負荷応力とした。

2.3 疲労強度の支配因子の調査

疲労強度の支配因子を明らかにするために、JIS5号試験片を用いて供試材の圧延方向の引張試験値を測定した。また、断面組織と疲労破面および打ち抜き穴型試験片の打ち抜き穴の端面を光学顕微鏡とSEMで観察した。さらに触針式の粗さ計で鋼板の表面粗さと打ち抜き穴の端面の粗さを測定した。打ち抜き穴の端面については荷重25 gでピッカース硬度も測定した。

疲労強度に影響を及ぼすものとしては残留応力も考えられる。そこで、微少部X線回折装置を用いて母材部と打ち抜き穴の端面について残留応力を測定した。用いた回折線は Co の K_{α} 線（管電圧40 kV、管電流25 mA、ビーム径0.5 mm）の(211)反射であり、傾斜法により残留応力を求めた。回折角度の変化を残留応力に換算する際の応力定数としては α 鉄の標準値 $-32.44 \text{ kg/mm}^2 \cdot \text{deg.}^9$)を用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 現行材の疲労強度

実機生産材から440, 540, 590および780 MPa級の熱延板（板厚4~6 mm）を各強度レベルごとに6~8コイル選び疲労強度を測定した。コイルを選択する際には、成分、製造条件、強化機構、組織等を変え、疲労強度の分布全体を代表するよう配慮した。得られた疲労強度を引張強度(TS)との関係で整理した結果をFig. 3に示す。

母材疲労強度の平均値は引張強度が440 MPaから780 MPaへと340 MPa上昇しても130 MPa弱しか上昇しない。下限値は50 MPa程度しか上昇せず、平均値、下限値とも引張強度の上昇に見合った強度上昇を示していない。また、鋼板が高張力化するにつれ疲労強度のばらつきが増大している。打ち抜き穴の疲労強度については、590 MPa級で1コイルのみ高い値を示すものがあったため、590 MPa級の

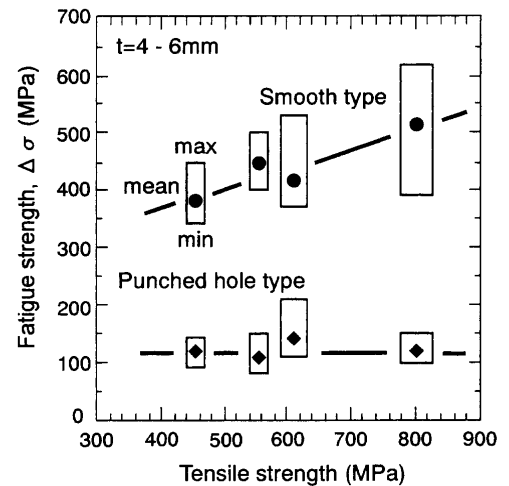


Fig. 3. Relationship between tensile strength and fatigue strength of steel sheet now in use.

疲労強度の平均値はやや高い。ただし、それを除くと引張強度が上昇しても疲労強度は上昇せず、780 MPa級と440 MPa級の間で疲労強度に差を認めることができない。トラックフレームの高張力鋼板化を進めるには、これらの疲労強度を改善し、引張強度の上昇に見合った高い疲労強度が安定して得られるようにする必要がある。

現状トラックフレーム用鋼板の主流は540 MPa級と考えられる。高張力化を図る場合、引張強度を1.5倍程度に上げる必要があると思われ、本研究では780 MPa級を疲労強度改善の対象とした。疲労強度の目標は現行材の最大値相当とし、母材で600 MPa、打ち抜き穴で200 MPaの値が得られることにした。

3.2 母材疲労強度の支配因子

疲労強度を改善するには疲労強度の支配因子を明らかにする必要がある。疲労強度の支配因子としては鋼板の引張強度が考えられるが、母材および打ち抜き穴とも引張強度が上昇しても疲労強度はそれに見合って上昇しないため、他の支配因子を考える必要がある。ここでは引張強度以外に考慮すべき母材疲労強度の支配因子について検討した。

疲労破面をSEM観察したところ、疲労亀裂は試験片端部の鋼板表面を起点に発生していた。そこで、疲労強度に及ぼす鋼板表面性状の影響を調査した。Fig. 4の(a)は780 MPa級析出強化鋼の母材疲労強度をスケール付きで測定した結果であり、(b)は比較として酸洗によりスケールを除去した後、さらに電解研磨を施して母材疲労強度を測定した結果である。疲労強度はスケール付きに比べてスケール除去後電解研磨を施したものの方が100 MPa程度高い。この差は表面粗さの違いに起因するものと考えられる。そこで、現行材の疲労強度を表面粗さで再整理した。なお、疲労強度には粗さの最も大きな箇所が支配的影響を及ぼすと仮定し、粗さの評価には粗さ曲線の最大山高さ $Ry^{10)}$ を用いた。

母材疲労強度に及ぼす鋼板表面粗さの影響をFig. 5に示

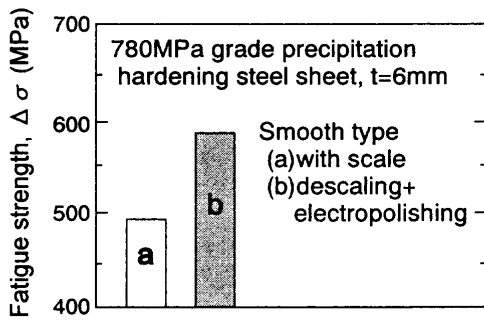


Fig. 4. Effect of descaling and electropolishing on fatigue strength of 780MPa grade precipitation hardening steel sheet (smooth type specimen).

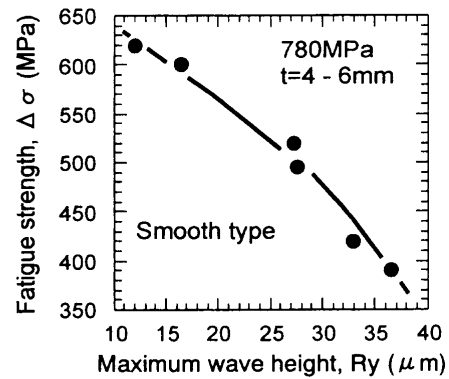


Fig. 5. Effect of maximum wave height of roughness curve, R_y , on fatigue strength (smooth type specimen).

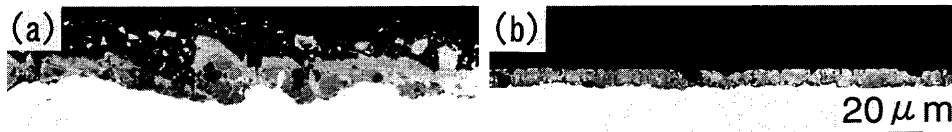


Fig. 6. Surfaces of the steel sheets having different scale roughness. (a): $R_y = 37 \mu\text{m}$ and (b): $R_y = 12 \mu\text{m}$.

す。ここでは疲労強度のばらつきが最も大きかった780MPa級の結果を例として示す。供試材の間では成分、製造条件、強化機構、組織等が異なるが、強度レベルが780MPa級と同一であれば疲労強度は鋼板の表面粗さでほぼ整理でき、表面粗さが小さい程疲労強度は上昇する。これより、強度レベルが同一であっても疲労強度がばらつくのは表面粗さが異なることが原因と考えられる。また、高い疲労強度を安定して得るには表面粗さを小さな値に制御することが重要といえる。本研究では母材疲労強度の目標値を600MPaとしたため、具体的には表面粗さをおよそ15 μm 以下に抑える必要がある。

780MPa級のうち表面粗さが12 μm と37 μm ものの鋼板表層部の光学顕微鏡写真(研磨まま)をFig. 6に示す。表面粗さが12 μm と小さなものではスケールと地鉄の界面は平滑であるが、表面粗さが37 μm と大きなものでは界面の凹凸が激しい。表面粗さの大きなものでは、このようにスケール/地鉄界面の凹凸が激しく、これが一種の切り欠きとなって疲労強度を低下させるものと思われる。

母材疲労強度の支配因子としては鋼板の残留応力も考えらる。そこで、残留応力を測定し疲労強度との相関を調査したが、両者の間には有意な関係は認められなかった。

3.3 打ち抜き端面の疲労強度の支配因子

3.3.1 打ち抜き穴と機械加工穴の比較

打ち抜き端面の疲労強度に対する打ち抜きの影響を明らかにするために、540MPa級析出強化鋼(540PH)、590MPa級Dual Phase鋼(590DP)並びに780MPa級析出強化鋼(780PH)を用いて機械加工穴の疲労試験を行い、打ち抜き穴の結果と比較した。これらの鋼板の明細をTable 1に示す。なお、現行材の打ち抜き穴の疲労強度を調査した際、

Table 1. Steel sheets used in fatigue test using machined hole type specimen.

Steel	Micro-structure	Thickness (mm)	Tensile properties		
			YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)
540PH	F+P	6.0	458	569	31
590DP	F+M	4.0	376	608	34
780PH	F+P	4.5	749	832	19

F: Ferrite P: Pearlite M: Martensite

Table 2. Fatigue strength and crack initiation site (machined hole type specimen and punched hole type specimen).

Steel	Fatigue strength, $\Delta\sigma$ (MPa)		Crack initiation site	
	Machined hole	Punched hole	Machined hole	Punched hole
540PH	269	123	Surface, 1/4t	Center
590DP	311	212	"	"
780PH	362	126	"	"

590MPa級で1コイルのみ高い疲労強度を示すことを述べたが、590MPa級Dual Phase鋼がこれにあたる。試験片としてはFig. 2に示した打ち抜き穴型試験片と同一形状、寸法で穴を切削加工で空けたものを用いた。試験条件も打ち抜き穴の場合と同じにした。

Table 2に疲労強度と亀裂発生位置を打ち抜き穴の場合と比較して示す。例外的に高い疲労強度を示す590MPa級Dual Phase鋼を除くと、打ち抜き穴の疲労強度は引張強度が上昇してもほとんど上昇しないのに対し、機械加工穴では590MPa級Dual Phase鋼も含めて疲労強度は引張強度の順に上昇している。また、亀裂の発生位置も、打ち抜き穴では板厚中央のみ、機械加工穴では板厚表層か板厚の1/4近傍と両者で差がある。このような差は穴端面の特性の違いに起因すると予想されたため、機械加工穴の疲労試験を行った3種類の鋼板について打ち抜き穴の端面の特性を調査した。

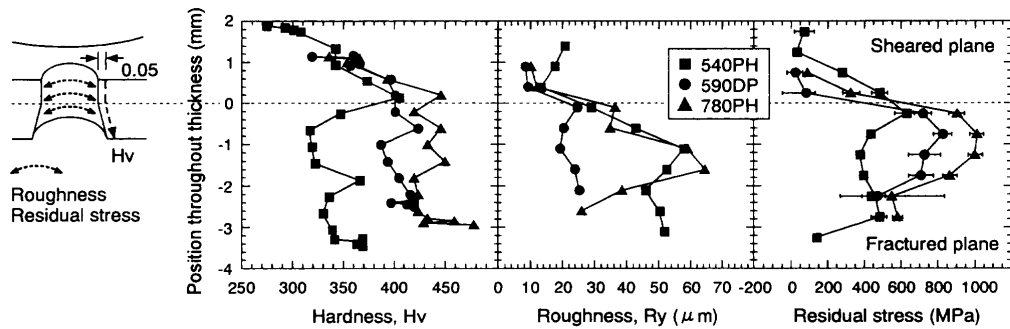


Fig. 7. Hardness, roughness and residual stress distribution throughout thickness on edge of punched hole.

3・3・2 硬度、粗さ、残留応力

打ち抜き穴型試験片の打ち抜き穴を半分に切断し、穴端面の硬度、粗さ、残留応力の板厚方向分布を求めた。硬度は穴端面から0.05 mmの位置で測定した。粗さの測定では粗さ試験機の触針子を穴端面に当て、測定長4 mmで周方向の粗さ曲線を測定した。その際、穴の曲率分はカットオフした。粗さの指標としては、母材疲労強度と同様、粗さの最も大きな箇所の影響が支配的と仮定し、粗さ曲線の最大山高さ R_y を用いた。残留応力についてはX線回折により応力の周方向成分を求めた。なお、残留応力は穴の切断により変化する可能性がある。そこで、穴端面直近の表裏面2ヶ所で穴切断前後の残留応力を比較し、切断の影響が小さいことを確認した。

Fig. 7に板厚方向の各位置における硬度、粗さ、残留応力の値を示す。板厚方向の位置は打ち抜き穴端面の剪断面と破断面の境界を原点にとり、そこからの距離で表した。打ち抜き穴の疲労強度はTable 2に示すように540 MPa級析出強化鋼と780 MPa級析出強化鋼がほぼ同じ値、590 MPa級Dual Phase鋼が両者の約2倍の値となっている。これに対し、硬度と残留応力は引張強度の順に上昇しており疲労強度の材料順とは一致しない。一方粗さは、板厚方向の最大値で比較すると540 MPa級析出強化鋼と780 MPa級析出強化鋼がほぼ同じ値、590 MPa級Dual Phase鋼が両者の約1/3の値となっており、疲労強度の材料順と良い一致を示している。これより、打ち抜き端面の粗さの最大値が疲労強度に強い影響を及ぼすことが示唆される。打ち抜き穴では疲労亀裂は板厚中央のみに発生していたが、粗さは板厚の中央で最も大きくなる傾向にあり、亀裂の発生位置と粗さの間にも相関がみられる。

3・3・3 組織

引張強度の差は小さいものの疲労強度に大きな差を生じた540 MPa級析出強化鋼と590 MPa級Dual Phase鋼を用いて組織の影響を調査した。Fig. 8に打ち抜き穴の端面を断面からSEM観察した結果を示す。

打ち抜き穴の端面粗さが大きく疲労強度が低かった540 MPa級析出強化鋼では端面近傍に打ち抜き時に発生したと思われるボイドが多数観察され、これが連結して端面が鋸

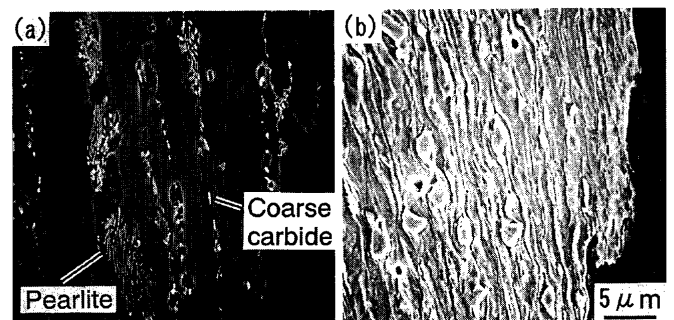


Fig. 8. Shapes of sheared edge and void distribution of the punched holes. (a): 540 MPa grade precipitation hardening steel sheet (t 6 mm, R_y 58 μm , fatigue strength 123 MPa) and (b): 590 MPa grade dual phase steel sheet (t 4 mm, R_y 22 μm , fatigue strength 212 MPa).

歯状を呈している。一方、端面粗さが小さく高い疲労強度を示した590 MPa級Dual Phase鋼ではボイドの発生は少なく、端面は比較的平滑である。両者の打ち抜き端面の粗さの差はこの端面形状の違いに起因する。また、端面の鋸歯状化は板厚中央部で最も顕著となっていた。このため端面の粗さも板厚中央部で最大値を示すことになる。打ち抜き穴の端面が鋸歯状を呈すと、これが切り欠きとなって疲労強度の低下を招く。端面の粗さはこの切り欠き効果の大小を通じて疲労強度に影響を及ぼすと思われる。打ち抜き穴では疲労亀裂は板厚中央のみに発生していた。これは端面の鋸歯状化の程度に対応して、切り欠き効果も板厚中央部で最も大きくなるためと推察される。なお、ボイドの連結に起因して780 MPa級析出強化鋼の端面も鋸歯状を呈していた。

540 MPa級析出強化鋼の組織はフェライトとパーライトと粗大炭化物からなり、ボイドはパーライトと粗大炭化物の周辺に発生している。780 MPa級析出強化鋼の組織にも粗大炭化物が観察され、ボイドは粗大炭化物の周辺に発生していた。このように組織にパーライトや粗大炭化物が存在すると、これらを起点にボイドが多数発生し、それらが連結して端面の粗さを増大させ疲労強度の低下を招く。したがって、疲労強度を改善するには、ボイドの発生起点となるパーライトおよび粗大炭化物の生成を抑制することが重要となる。なお、ボイドの発生の少ない590 MPa級Dual

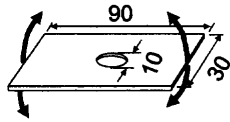
stress concentration factor, $K_t=1.6$

Fig. 9. Configuration of bending fatigue test specimen (mm).

Phase鋼の組織はフェライトとマルテンサイトからなり、ポイドの発生起点となるパーライトと粗大炭化物を含まない。

3.3.4 疲労強度と打ち抜き端面の粗さの関係

打ち抜き端面の疲労強度に打ち抜き端面の粗さの最大値が強い影響を及ぼすことが示唆されたため、実際に打ち抜き穴の端面粗さが変化した試験片を用意し疲労試験を行った。打ち抜き穴の端面粗さは穴を打ち抜く際のクリアランスを5~30%の範囲で調整することで変化させた。また、機械加工穴の試験片も用意した。供試材としては440, 590 および 780 MPa級の実機熱延板を用いたが、板厚が厚い場合、ポンチとダイスの組み合わせの関係でクリアランスの調整に制約が生じたため、ここでは板厚の薄いものを用いた。なお、板厚の薄いものを用いることで供試材の板厚を2.3~2.8mmの範囲に揃えることができた。ただし、板厚が薄い場合、軸引張りでは座屈を生じる恐れがあり、本試験のみ Fig. 9 に示す試験片を用いて平面曲げで疲労強度を求めた。打ち抜き穴の端面粗さは板厚中央で最大となるため、粗さの測定位置は板厚中央の破断面とした。粗さの評価には、これまでと同様、周方向に測定した粗さ曲線の最大山高さ R_y を用いた。

打ち抜き穴の端面粗さの最大値と疲労強度の関係を Fig. 10 に示す。疲労強度はいずれの強度レベルでも粗さの最大値と良い相関を示し、粗さが小さい程疲労強度は上昇する。また、粗さが大きい場合には疲労強度の引張強度依存性は小さいが、粗さが小さくなると疲労強度は引張強度の上昇に対応して上昇するようになる。平面曲げの結果ではあるが、打ち抜き端面の粗さはこのように疲労強度に強い影響を及ぼし、端面の粗さを低減することで疲労強度は改善される。

Fig. 3 に示したように、現行材では引張強度が上昇しても疲労強度はほとんど上昇しない。これは打ち抜き穴の端面粗さが大きいためと考えられる。現行材の疲労強度はクリアランス10%の穴で軸引張りにより評価したが、クリアランス10%の場合、 R_y は50~70 μm の値となる。Fig. 10 は板厚2.3~2.8mmを対象にした平面曲げの結果であり、負荷モードと板厚が異なるため絶対値の議論は難しいが、粗さが大きい場合には疲労強度の引張強度依存性が小さくなるのがわかる。これと同じ理由で、現行材の疲労強度は引張強度が上昇してもほとんど上昇しないものと推定される。

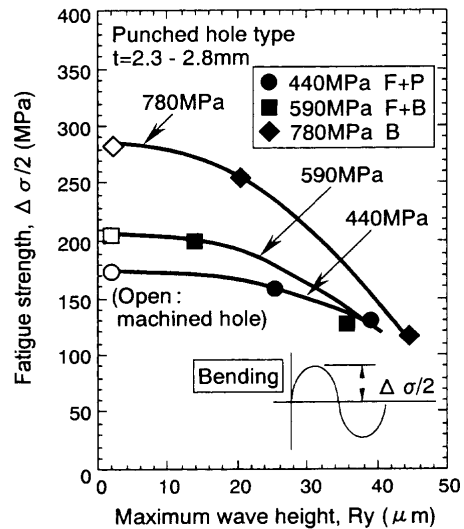


Fig. 10. Effect of maximum wave height of roughness curve, R_y , on fatigue strength (punched hole type specimen, bending fatigue test, F: ferrite, P: pearlite, B: bainite).

Table 3. Chemical compositions and hot rolling conditions of manufactured steel sheets.

Steel	Chemical compositions (wt%)				Hot rolling conditions	
	C	Si	Mn	Others	FT (°C)	CT (°C)
PH	0.11	0.1	1.9	Cr,Nb,Ti	860	550
DP	0.05	0.7	1.6	P,Cu,Ni,Ti	830	≤100
BS	0.09	0.2	1.6	Cr,Mo,Nb,V	850	470

FT: Finishing temperature CT: Coiling temperature

4. 疲労強度改善材の試作

4.1 試作材の種類と試作条件

母材疲労強度の改善には鋼板の表面粗さの低減が、打ち抜き端面の疲労強度の改善には打ち抜き端面の粗さの低減が有効なことが明らかとなった。そこで、780 MPa級を対象に表面粗さと打ち抜き端面の粗さを低減した鋼板を試作し、粗さ低減の効果を検証した。試作材の板厚は用途がトラックフレームであるため厚手の6mmとした。疲労強度の改善では高い疲労強度が安定して得られることが重要であり、安定性の確認にはn数を重ねる必要があるが、徒に試作を重ねることは不経済である。このため組織も強化機構も異なる鋼板を試作し、組織と強化機構が異なっても同じように粗さ低減の効果が得られるかどうかで安定性を確認した。ここでは、母相ベイナイト（一部マルテンサイト）に微細炭化物が分散した析出強化鋼（PH型）、フェライトとマルテンサイトの二相組織からなるDual Phase鋼（DP型）およびベイナイト単相組織からなるベイナイト単相鋼（BS型）の3種類を試作した。

試作材の化学成分と熱延条件を Table 3 に示す。化学成分のうち、Siは赤スケールの生成を促進し鋼板の表面粗さを増大させるため母材疲労強度にとっては好ましくない。このためPH型とBS型ではSi量を赤スケールが発生しないレベルまで下げた。DP型では適正な二相組織を得るた

Table 4. Properties of manufactured steel sheets.

Steel	Tensile properties			Roughness, Ry (μm)	
	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	Surface	Punched hole
PH	730	822	23	12	34
DP	654	813	24	16	13
BS	693	790	20	12	30

Steel	Fatigue strength, $\Delta\sigma$ (MPa)	
	Smooth type	Punched hole type
PH	640	210
DP	600	230
BS	640	210

めにはSi添加が不可欠となるが、赤スケールの問題から添加量は最低限に留めた。併せて赤スケール抑制効果をもつP¹¹⁾を添加した。熱間圧延ではデスクレーン時の水圧を上げ、スケールを極力除去することで表面粗さの低減を図った。

組織にパーライトや粗大炭化物が存在するとボイドの発生起点となって打ち抜き端面の粗さを増大させる。PH型では炭化物形成元素であるNbとTiを添加し、Cを微細炭化物として析出させることでこれらの生成を防いだ。また、パーライトの生成を避けるため巻取温度は比較的低温とした。フェライトとマルテンサイトの二相からなるDP型とベイナイト単相からなるBS型では、組織構成自体をパーライトや粗大炭化物を含まないものにした。

4.2 試作材の疲労強度

試作結果をTable 4に示す。鋼板の表面粗さと打ち抜き穴の端面粗さはいずれの試作材とも小さい。これに対応して疲労強度も試作材の種類によらず良好であり、母材疲労強度と打ち抜き穴の疲労強度のそれぞれが目標値である600 MPaと200 MPaを越えている。試作材の間では組織も強化機構も異なるが疲労強度は等しく上昇している。これは粗さ低減の効果の安定性を裏付けるものである。すなわち、鋼板の表面粗さと打ち抜き端面の粗さを低減すれば高い疲労強度が安定して得られることになる。

打ち抜き穴の疲労強度と打ち抜き穴の端面粗さの関係を調べた際には、疲労試験の負荷モードは平面曲げとした。しかしながら、疲労強度の評価は軸引張りで行っているため、軸引張りでも同様の結果が得られることを確認しておく必要がある。そこで、軸引張りでも試作材と現行材の疲労強度を比較した。試作材の打ち抜き穴の端面粗さは現行材に比べて小さく、両者の疲労強度を比較すれば疲労強度に対する端面粗さの影響を軸引張りで検証できる。また、粗さが著しく小さい場合として、Table 2に示した780 MPa級析出強化鋼(780PH)の機械加工穴の軸引張りでの疲労強度も比較に供した。

これらのデータを用いて打ち抜き穴の端面粗さの最大値と疲労強度の関係を整理した結果をFig.11に示す。平面曲げの場合と同様に疲労強度は粗さの最大値と良い相関を示し、粗さが小さい程疲労強度は上昇している。本研究では780 MPa級の疲労強度の目標値を200 MPaとしたが、こ

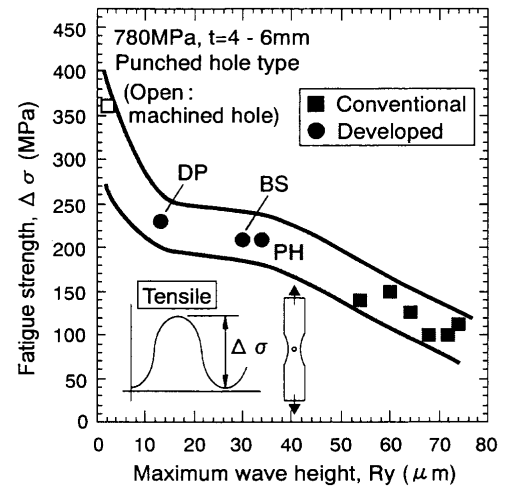


Fig. 11. Relationship between maximum wave height of roughness curve, Ry, and fatigue strength (punched hole type specimen, tensile fatigue test).

れは打ち抜き穴の端面粗さの最大値をおよそ40 μm 以下にすることで達成される。

平面曲げの結果であるFig.10と軸引張りの結果であるFig.11を比べると、粗さの増加に伴う疲労強度の低下は軸引張りの方が大きい。780 MPa級で比較した場合、平面曲げでは機械加工穴から粗さが増加してもRy=20 μm までは疲労強度の低下が小さいのに対し、軸引張りでは粗さがRy=10 μm まで増加しただけで疲労強度は大きく低下している。これについては、軸引張りの方が負荷モードの違いに起因して板厚中央の局所的な負荷応力が大きく、このため粗さの影響がより顕著に現れるためと考えられる。

5. 結言

トラックフレームへの高張力鋼板適用を目的に疲労強度について検討し、以下の点を明らかにした。

- (1) 母材疲労強度(スケール付き)は鋼板の表面粗さの影響を強く受け、表面粗さが小さい程疲労強度は上昇する。
- (2) 打ち抜き端面の疲労強度は打ち抜き端面の粗さの最大値と良い相関をもち、粗さが小さい程疲労強度は上昇する。
- (3) 組織にパーライトや粗大炭化物が存在するとボイドの発生起点となって打ち抜き端面の粗さを増大させる。このため、打ち抜き端面の疲労強度の改善にはこれらの生成を抑制することが重要となる。
- (4) 組織と強化機構が異なる場合でも、鋼板の表面粗さと打ち抜き端面の粗さを低減すれば疲労強度は等しく上昇する。これは疲労強度に対する粗さ低減効果の安定性を示すものといえる。

文 献

- 1) N.Komatsubara, Y.Hirose, H.Fukuyama, S.Nomura and S.Nakai: *Sumitomo Met.*, **45** (1993) May, 41.
- 2) M.Kinoshita: *J. Jpn. Soc. Technol. Plast.*, **35** (1994), 1048.
- 3) K.Kunishige: *Materia Jpn.*, **35** (1996), 32.
- 4) K.Kishida: *Shinmittetsu Giho*, **371** (1999), 13.
- 5) P.Korsgren, J.O.Sperle and H.Trogen: *Scand. J. Metall.*, **18** (1989), 203.
- 6) S.Magara and H.Kimoto: *PK Tech. Rep.*, **4** (1993), 2.
- 7) T.Tatsumi, K.Hara, K.Nakagome and T.Matsui: *JSAE Tech. Pap.*, 9839173, (Oct., 1998).
- 8) C.Tomita, S.Nishizaki and T.Kuwata: *PK Tech. Rep.*, **10** (1999), 31.
- 9) X線応力測定法標準, 日本材料学会材料強度部門委員会編, 日本材料学会, 京都, (1973).
- 10) JIS B 0601: 表面粗さ—定義及び表示, 日本規格協会, 東京, (1994).
- 11) T.Fukagawa, H.Okada and H.Fujikawa: *Tetsu-to-Hagané*, **83** (1997), 305.