平板試験片の縁形状が疲労強度に及ぼす影響*

犬 養 健** 矢 畑 昇** 穴 沢 洋***

The Effect of Edge Shape of Flat-Plate Specimens on the Fatigue Strength

by

Takeshi INUKAI, Noboru YAHATA

(Faculty of Technology, Tokyo University of Agriculture, Koganei)

and Hiroshi ANAZAWA

(Tokushuseiko Co., Ltd., Asaka)

Experiments were made with flat plate 13 Cr stainless steel specimens for their fatigue test in the reverse plane-bending, to study the effect of their edge shapes on their fatigue strength. The specimens had been heat treated to Rockwell hardness of C 45, and their edges were formed either by machining the specimens or by punching them. Some of the machined specimens were further machined to be rounded to various sizes of radius.

The experimental result shows : (1) that the fatigue limit of machined specimens has risen about 10 per cent as the result of rounding their edges even slightly ; (2) that the fatigue limit of punched specimens has remained about 26 per cent lower than that of machined specimens of right angular edges.

(Received July 31, 1970)

1 ま え が き

板材が疲労破壊する場合、多くは縁から疲労き裂が発生伝播することが知られている。一方、繰返し荷重を受ける板状製品、たとえば板ばね、圧縮機弁板などの縁は円弧状に加工したり、面取りを行なって疲労強度の上昇を計り、かつ鋭い縁は人体に危険であるほか、その部分は大変損傷を受け易いことなども防止できる。また、たいていの板状機械部品の製作工程には、なんらかの切断作業が含まれており、そのうちで最も能率よく生産性の高いのがせん断加工で、大量生産には欠くことができないものである。

上述のような現状であるにもかかわらず、これらの加工をしたときの疲労強度に関する研究報告はきわめて少ない。そこで筆者らは、マルテンサイト系ステンレス鋼の代表的な 13 Cr 鋼の標準平板試験片の中央円弧部を機械加工と打抜き^{1)~3)}の2種で製作し、機械加工材のものはさらに縁を種々の形状に仕上げ、これらが疲労強度に及ぼす影響について調べた。その実験結果について報告する。

2 供試材料と実験方法

実験に用いた材料は 13 Cr ステンレス鋼の厚さ 3.4 mm の冷間圧延鋼板 (納入状態のかたさ H_B 230) で、その化学成分は Table I に示す。Fig. 1 に示すような疲労試験片を製作する工程は、まず長手方向が圧延方向と一致するよう 50×120 mm 長方形に機械加工し、中央円弧部を機械加工と打抜き (クリアランス : 3%, ダイス逃げ角 : 約 2°) で製作した後、焼入れ (980°C × 15 min, air press quenching), 焼もどし (350°C × 3 hr, air cooling) の熱処理を施した。このときの機械的性質を Table II に示す。また顕微鏡組織は Fig. 2 のように微細な炭化物を含む焼もどしマルテンサイトである。次に、表面は荒研削と仕上げ研削を行ない、さらにエメリー紙で 400 番まで研摩仕上げをした。最終の研摩方向は試験片長手方向であり、その表面あらさは $H_{\max} 0.2 \mu$ である。円弧部側面は打抜きのものは熱処理したままであるが、機械加工のものはエメリ

Table I. Chemical composition (%).

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.14	0.42	0.72	0.025	0.016	12.53

* 原稿受理 昭和45年7月31日

** 正 会 員 東京農工大学工学部 小金井市中町

*** 正 会 員 特殊精工株式会社 朝霞市浜崎

Fig. 1. Pane-bending fatigue test specimen (mm).

Table II. Mechanical properties.

Yield strength $\sigma_{0.2}$ (kg/mm ²)	Tensile strength σ_B (kg/mm ²)	Elongation δ (%)	Hardness HRC
105.5	140.6	12.4	45

一紙で研摩した。機械加工材の縁，すなわち板面と側面の稜線の丸味づけは，(1) 0.2^R は手やすりにより，(2) 0.5^R，1.5^R (半円) は成形バイトで旋盤加工し，いずれもその後エメリー紙で仕上げて実験に用いた。なお，打抜ききのせん断面状態 (熱処理前) を Fig. 3 に示

Fig. 2. Microstructure of the tested material. ($\times 1000 \times 2/5$)

Fig. 3. The sheared surface of punched specimen.

すが，だれおよびバリはその後の研削加工で完全に除去 (Fig. 6 参照) した。疲労はシェンク式疲労試験機 (容量 10 kgm，回転数 1500 rpm) を用いて両振平面曲げを行ない，繰返し数 10^7 で破断しない最大応力振幅値を疲労限度とした。

3 実験結果と考察

機械加工の各種縁形状と打抜きの試験片について疲

Fig. 4. S-N curves for the specimens with various edges.

Table III. Influence of edge on plane-bending fatigue limit.

Condition of edge	Fatigue limit (kg/mm ²)	Change in fatigue limit (%)
Machined square edge	54.5	0
Machined 0.2R edge	60.0 *(60.1)	+10.1 *(+10.3)
Machined 0.5R edge	54.0 (54.3)	- 0.9 (- 0.4)
Machined 1.5R (Semicircular) edge	57.5 (60.0)	+ 5.5 (+10.1)
Punched square edge	40.5	-25.7

* The values in parentheses are calculated by using the actual section modulus

劣試験を行なって求めた $S-N$ 曲線を Fig. 4 に, その疲労限度を Table III にそれぞれ示す. Fig. 4 の実線 (プロット点) は公称断面係数 (丸味部分の除去を考慮しない) に, 破線は真断面係数におおの基づいて計算したものであり, Table III の弧内のものは後者に該当するものである.

機械加工した試験片の縁に丸味をつけることで, 約 10% ほどの疲労限度上昇が $0.2R$, $1.5R$ などに見られる. この上昇のおもな原因として, (1) 縁にある結晶粒は他の部分のものに比べて周囲からの拘束の受け方が少ないので変形量が大きく, この部分が縁に丸味をつけることで除かれる. (2) 実験に用いた円弧状試験片の曲げ形状係数は直角のとき約 1.045⁴⁾ であり, 縁取りを行なうことによりこの値が減少するなどが考えられる. これらに関して二つの実験報告がある. Stulen は Ni-Cr-Mo 鋼 (約 HRC 30) の厚さ 4.8 mm 均等応力片持板の縁を $0.8R$, $2.4R$ (半円) に仕上げることで, それぞれ 7.3, 36.6% 疲労限度が増加した結果を得ている. Burnheim も中央に孔を有する Cr-Mn-V 鋼板の孔縁をプレスで面取り, すなわちコーナプレスすることで, 繰返し数 2×10^6 の疲労強度が 25~33% 上昇したと報じている. 一方, $0.5R$ のように疲労限度がほとんど上昇しない場合がある. これは縁加工が熱処理後, しかも HRC 45 と比較的かたいものを成形バイトで旋盤加工したため, その部分に引張残留応力が生じたか, 過度の加工のため弱化したものと考えられる. したがって, この実験での $0.5R$, $1.5R$ では上述の強化と弱化の両効果が作用した結果が現われていると思われる. 以上のように, 適当な加工法で縁取りを行えば疲労強度を上昇させるほかに, 次のことが防止できる. すなわち, sharpe edge は人体に大変危険であるばかりでなく, その部分は損傷を受け易い. もし傷つけばそれが応力集中源となり疲労強度は著しく低下する.

打抜きのままの疲労限度は 40.5 kg/mm^2 で機械加

工の縁直角の 54.5 kg/mm^2 に比べて約 26% ほど低下している. この原因としては次のようなものが考えられる. (1) 打抜きにより, 縁に深さ $0.01 \sim 0.02 \text{ mm}$ 程度の微視的な切欠き (Fig. 3 から想像できる) とみなすものが作られ, そこに応力集中が生じている. これは疲労限度近くで破損した大部分のものが Fig. 5 に示すように, 微視的な切欠き底から疲労き裂が発生伝播していることから裏づけられる. なお, 打抜きによるき裂は全く認められなかった. (2) 側面は熱処理のまま, すなわち酸化スケールの付着した状態なので, その表面層で脱炭, 脱クロムが起り材料そのものの強度が減少している. (3) 打抜き材の断面が Fig. 6 のように凹形をしているため, 特に縁部分の変形量が大きい. しかし, これらの原因はわずかな縁取りでほとんど除去できる. これに関して, 筆者らは種々の打抜き条件およびその後処理と疲労強度との関係について現在研究中である. George らの報告でもアルミニウム合金 (2023 T3) 板の打抜き材の片持曲げ疲労強度が機械加工材に比べて低いと述べている.

Fig. 5. Fatigue crack in punched specimen.

Fig. 6. The cross section of punched specimen.

4 結 言

以上, 焼入焼もどしの 13Cr ステンレス鋼の平板試験片の縁形状が両振平面曲げ疲労強度に及ぼす影響について実験した結果は次のようになる.

(1) 平板試験片の縁をわずかに丸味つけることで, 疲労限度が約 10% ほど上昇する.

(2) 打抜き材の疲労限度は機械加工した縁直角材に比べて, 約 26% ほど低下している.

なお, 当学会の疲労部門委員会による JIS 疲労試験規格案では, 縁を 0.1 mm 程度の丸味をつけることになっている.

終わりに、本実験の遂行にあたり協力された当時早稲田大学生町井富士雄、山本雅典両君に厚く謝意を表する。

(昭和44年5月20日 日本材料学会第18期総会学術講演会にて講演)

参 考 文 献

- 1) Stulen, F.B., ASTM Spec. Publ., No.121, **23** (1952).
- 2) Burnheim, H., Luftfahrt-forsch, 20, 1, **16** (1943).
- 3) Goerge, R.E., and J.B. Mantle, Mat. Res. & Standards, 2, 12, **1 000** (1962).
- 4) 日本材料学会編, “疲れ試験便覧”, p.30 (1968) 養賢堂
- 5) 日本材料学会編, “疲れ試験便覧”, p.97 (1968) 養賢堂