

Fig. 3. Results of tapered hardness test for steel E.

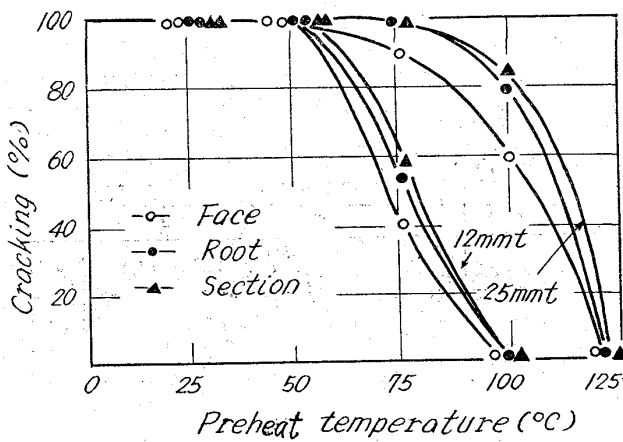


Fig. 4. Results of small tekken cracking test for steels E.

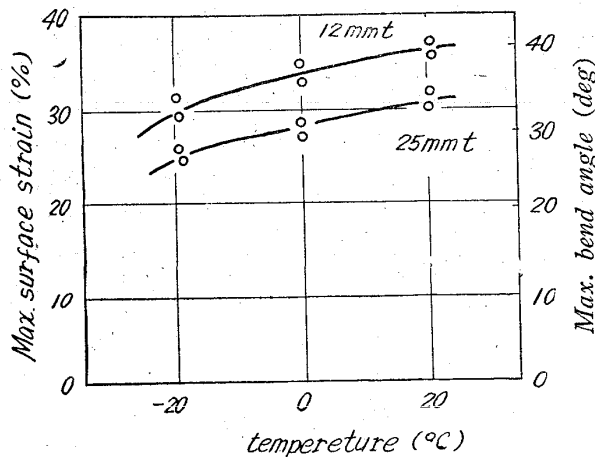


Fig. 5. Results of kommerell tests for steels E.

全てビードの切欠底部のみに止まっている。

### (3) 鋼材Eの溶接性

鋼材Eの板厚 12, 25mm (Table 2) の場合の溶接硬化性, 溶接部の延性さらに溶接部の低温割れ防止の限界予熱温度を求めた。LBU-90 溶接棒で溶接したテーパカサ試験の局部板厚の最高カタサを 540°C の冷却速度で整理して Fig. 3 に図示した。ボンドの540°C の冷却速度が 28°C/sec に相当するカタサは Hv 430 で極端に溶接硬化が低く, またアークストライクのごと

き急熱急冷の熱サイクル組織でさえ Hv 450 程度である。溶接部が比較的高拘束の時の低温割れの感受性を小型鉄研式亀裂性試験で求め, 溶接開先面の予熱温度に対応する割れ率を Fig. 4 に示した。割れの全ては開先ルートからボンドを通り溶着鋼へ貫通しているが, 板厚25mmでも 125°C の予熱処理で全ての割れの発生は防止され溶接部の硬化性, 亀裂感受性の結果から本鋼材の溶接性は HT 70 相当と考えられる。次ぎに溶接部の延性を小型コマルル試験片で検討したが, 溶着鋼と母材熱影響部の延性を区別するために比較的延性を有する LB-62 溶接棒でビード溶接し試験結果を Fig. 5 に示した。亀裂は母材熱影響部に発生し, 125°C の予熱で熱影響部亀裂発生は表面歪量 25% の曲げ角度 (試験温度0°C) に相当し可成りの延性を有している。

手溶接継合部各位置の衝撃試験ではボンドから母材側へ 4~6mm 離れた位置が最も靱性が高い。これは溶接入熱により炭化物の球状化が促進されたためであろう。

### IV. 結 言

炭素当量 0.55% の Ni-Cr-Mo-V 系の 100 キロハイテンの性質に関して述べた。高強度であると同時に比較的強靱鋼で可成りの低温度まで脆性破壊の心配がなくまたその溶接性は HT 70 相当で溶接施行が必ずしも困難でない。

### 文 献

- 1) 宮野, 進藤: 溶接学会誌, 32 (1963) 9, p. 883

## (118) 高張力鋼板の人工欠陥 (ラミネーション) が疲労強度におよぼす影響

(鋼板にあらわれる欠陥の研究—II)

富士製鉄, 中央研究所

工博 村木潤次郎・○石黒 隆義

半沢 貢・片屋 信彦・横田彦二郎

Effects of Artificial Defects, Lamination, on the Fatigue Properties for High Strength Steel Plate.

(Studies of defects with steel plate—II)

Dr. Junjiro MURAKI, Takayoshi ISHIGURO,

Mitsugu HANZAWA, Nobuhiko KATAYA

and Hikojiro YOKOTA.

### I. 結 言

商業上問題になっている鋼中の巨視的欠陥のうち, ラミネーションの疲労強度におよぼす影響を市販の 80 kg/mm<sup>2</sup> 級の鋼板で調べてきたが, その欠陥の疲労強度におよぼす影響を適格に把握するために市販の材料では目的とするものが十分えられないので, まず 80 kg/mm<sup>2</sup> 級鋼材について人工欠陥を作成した。これについては第 1 報<sup>1)</sup>で報告したが, 今回は人工欠陥材により疲労試験を行なった結果を報告する。

### II. 供試材および実験方法

#### (1) 供試材

実際にラミネーションがあらわれた 80 kg/mm<sup>2</sup> 級高

Table 1. Chemical composition of specimen.

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.15	0.22	0.73	0.015	0.003	0.31
Ni	Cr	Mo	V	B	
0.86	0.65	0.50	0.07	0.005	

Table 2. Mechanical properties of specimen.

T. S (kg/mm <sup>2</sup> )	Y. S (kg/mm <sup>2</sup> )	Y. R (%)	El (%)	φ (%)
87.0	80.3	92.5	23.5	62.5

張力鋼とはほぼ同じ組成のもので欠陥を作成し、熱処理は市販のものと同じ焼入、焼戻を施したのから試験片を採取した。その化学成分および静的な機械的性質は Table 1 および Table 2 に示す。

(2) 試験片

前報りの Fig. 3 に示したように試験片の平行部の断面に人工欠陥を作った。まず 3mm φ の孔に介在物を入れ鍛造したものは 1, 2, 3 層の欠陥をもつもの、5mm φ および 10mm φ の孔より作つたものは 1 層の欠陥をもつもの計 4 種類と比較のための無欠陥部よりの試験片および切欠感受係数を求めるための 60° V 円環切欠 (応力集中係数 1.9) をもつ試験片をおのおの 20 本ずつ作成して試験に供した。

(3) 試験機

小野式回転曲げ疲れ試験機

III. 実験結果および考察

各種欠陥材の回転曲げ疲れ試験結果を Fig. 1 に示す。無欠陥部からとつた試験片では疲労限界が 41 kg/mm<sup>2</sup> で 3mm φ の孔に介在物をつめて鍛造した一層のラミネーションをもつものでは 39.5 kg/mm<sup>2</sup> で約 3% の低下を示し、同じ 3mm φ のものから作つた 2 層, 3 層のラミ

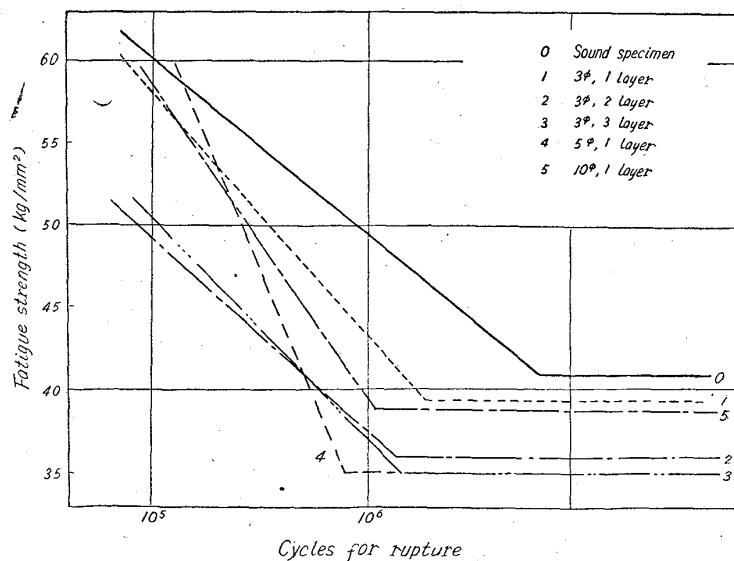


Fig. 1. Some effects of lamination upon fatigue strength of specimen in rotating bending.

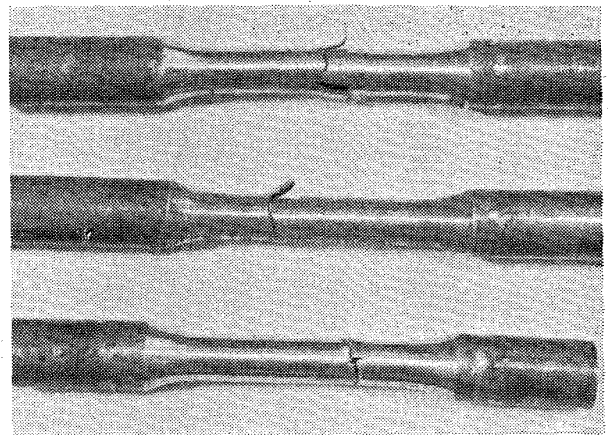


Photo. 1. Side view of fatigue fractured specimen.

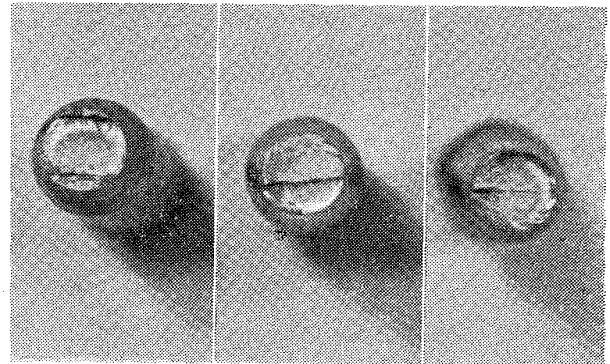


Photo. 2. End view of fracture.

ネーションをもつものでは 36 kg/mm<sup>2</sup> および 35 kg/mm<sup>2</sup> で約 10% の低下を示している。一方 5mm φ の孔から作つたものでは 35 kg/mm<sup>2</sup> の疲労限界を示し、10mm φ の孔から作つたものでは 39 kg/mm<sup>2</sup> の値を示した。また S-N 曲線の短寿命部の傾斜は 5mm φ の孔より作つた欠陥材では急であるが、ほかはやや緩く大体似た傾向を示した。さらに欠陥材の S-N 曲線の折点はすべてラミネーションのない試験片より短時間側にある。つぎに試験片の破断状況の一部を Photo. 1, Photo. 2 に示す。この破面より疲労クラックの発生部はいずれも欠陥層と表面との交点より出発している。また一層のラミネーションは試験片の中心軸近辺にあるが、二層, 三層になると試験片の中心軸より可なり表面に近くなる。このうちで表面に近い層の一端より疲労クラックがスタートしている。この相異が Fig. 1 の曲線 1, 2, 3 の差を示している。つぎに 3mm φ, 5mm φ, 10mm φ の孔より作つたラミネーションをもつ試験片の S-N 曲線の差であるが、予定していた層の厚さの差が出ず、試験後の層の平均厚さは、それぞれ 17 μ, 45 μ, 18 μ と、3mm φ, 10mm φ から作つた欠陥試験片では層厚がほぼ等しく、5mm φ からの試験片の値が前二者に比して大きかった。これより曲線 1, 4, 5 の差が説明できる。また欠陥の軸方向の長さの影響のないことは 3mm φ および 10mm φ の孔より作つた試験片で

の結果よりわかる。この結果は定性的に大内田ら<sup>2)</sup>の軸方向にキレットを入れた試験片の回転曲げ疲労試験の結果とよく一致している。

#### IV. 結 言

人工欠陥作成材の疲労強度は無欠陥材に比して低下する。その仕方はラミネーションの位置すなわち試験片中心軸からの距離および、その厚さによつて変化し、距離が大きいくほど、層の厚さが大なるほど低下が著しい。また欠陥の長さの影響は少ない。また層の厚さが大きくなると S-N 曲線の短寿命部での傾斜が急になる。この層の厚さと疲労限の関係については、地との結合状態などよりさらに検討する必要がある。なお本試験に使用した材料は 80 kg/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼で切欠感受係数が 0.84 であるが、この値の低い材料についてのラミネーションの影響についても目下実験中である。

#### 文 献

- 1) 村木, 他: 鉄と鋼, 49 (1953) 10, p. 274~276
- 2) 大内田, 他: 機械学会論文集, 20 (1954) 99, p. 739~745

### (119) 軸受鋼の疲労寿命と非金属介在物との関係

大同製鋼中央研究所

工博 藤原 達雄・○福井 彰一

#### Relation between Non-metallic Inclusion to the Fatigue Life of Ball-Bearing Steel.

Dr. Tatsuo FUJIWARA and Shoichi FUKUI.

#### I. 緒 言

鋼の疲労強度におよぼす非金属介在物の影響については従来にも多くの研究が行なわれているが、非金属介在物の種類、形状、分布等が複雑であるためにその評価についてはなお問題があるように思われる。H. CUMMINGS, F. STULEN, W. SCHULTE<sup>1)</sup>は 140~300 ksi に調質した SAE 4340 鋼について、表面あるいはその直下にある silicate 系の球形非金属介在物から疲労破壊が始まっていることを示し、これらの疲労破壊発生起点に認められた介在物の直径と疲労寿命との間に相関関係があることを示している。また M. ATKINSON<sup>2)</sup>は鋼中の非金属介在物の形状による応力集中効果と非金属介在物の大きさとから独自の非金属介在物の評価方法を考案し、高抗張力に調質した鋼の平均的な疲労強度の推定を試みて一応成功している。軸受鋼については川田, 中沢, 児玉<sup>3)</sup>の実験があり、平滑試験片の回転曲げ疲労破面にほとんどの場合 fish-eye と呼ばれる斑点を認め、その中央にいろいろの形状の介在物が存在することを認めた。

筆者らは高硬度に調質した軸受鋼の疲労寿命が著しいばらつきを示し、また疲労破壊はほとんど全ての場合に非金属介在物のところから発生することを認め、これらの非金属介在物が何れも silicate 系でほぼ球形をしていることに着目し、これらの非金属介在物の大きさ、位置などの幾何学的性状から応力集中効果を評価し、これ

Table 1. Chemical composition of specimen(%).

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
1.00	0.28	0.30	0.023	0.007	0.09	0.06	1.47

Table 2. Cleanliness of specimen.

d	d A	d B	d C	Remarks
0.03	0	0	0.03	Large inclusion type C, thickness 50 $\mu$

により疲労寿命のばらつきを説明することを試みたのでその結果について報告する。

#### II. 供試材および実験方法

供試材は 2 ton 塩基性電気弧光炉溶解し、出鋼時に Al および Ca-Si で脱酸した軸受鋼 2 種相当の鋼でこれを 1 ton 鋼塊にした後 2 heat で 18mm  $\phi$  に熱間圧延し、球状化焼鈍を行なった。化学成分は Table 1 に示すごとくのものである。また JIS 法による非金属介在物の測定結果は Table 2 に示すごとくで A 系および B 系非金属介在物はほとんど測定にかかるものではなく、主として C 系非金属介在物が認められた。

試験片は粗仕上げ後 840°C  $\times$  15min 油冷、150°C  $\times$  1 hr 焼戻を行なつてから研削仕上げし、平行部直径 8 mm, 平行部長さ約 20mm の小野式回転曲げ疲労試験片とした。試験片はさらに最終エメリー紙 05 番の軸方向研磨を行なつてから小野式回転曲げ疲労試験機を用い応力繰返速度 3000 rpm で試験した。試験片の硬さは HRC 61~62 であった。

疲労試験片は応力振幅 60.2 kg/mm<sup>2</sup> で 30 本, 70.5 kg/mm<sup>2</sup> で 22 本試験し、破断繰返数を測定した。また、破面を 600 倍の顕微鏡で観察し、非金属介在物の確認および位置、大きさの測定を行なった。

#### III. 疲労破壊起点に発見された非金属介在物の性状

破断した試験片の破面には川田らのいう fish-eye が認められるものもあつたが、それが明瞭に認められないものもあつた。しかしこれらには極く僅かなものを除いては何れも疲労破壊の起点と思われる位置に 1 個の非金属介在物を認めた。これらの非金属介在物はやや大きいものでは肉眼的にも判別できるが本実験では 600 倍の顕微鏡により非金属介在物の確認および位置、大きさの測定などを行なった。疲労破壊起点付近に現れた非金属介在物は何れも Photo. 1, a のごとくほぼ半球状の部分を露出し、これを摘出した後は矢張り半球状の凹みを残すのでほぼ球形であつたことがわかる。Photo. 1, a は斜光線を当てて撮影したものであり、真珠様の光沢を有している。Photo. 1, b はこれを破面の方から研磨して暗視野照明で撮影した顕微鏡写真でありまた Photo. 1 c はナイタールで腐食した場合の顕微鏡組織である。これらの観察の結果によれば、この非金属介在物は silicate 系で 2 相以上から成つているようであるが、その本質については追つて報告する。

疲労破壊起点付近の非金属介在物は大きさ 20~100  $\mu$  で位置は表面に露出しているものから深さ 490  $\mu$  に達するものまで区々であつた。なお試験片表面に露出して