

Table 3. Compressive residual stress of case surface as tempered (kg/mm<sup>2</sup>).

Steels	150°C, 1/2 hr	160°C, 2 hr	200°C, 4 hr
Carburized Cl	—	40~50	5~10
Carbonitrided CN 2	—	20~30	5~10
Carburized*	30	—	—

\* By D. P. KOISTINEN<sup>9)</sup>

ころがり疲れの破壊機構として A. J. GENTILE<sup>7)</sup> のモデルが妥当のように考えられる。すなわち応力影響部は、繰返し応力により介在物または硬い化合物の周辺に加工変形により、微細なセメントタイトの分散した上部ベイナイトまたは変形フェイトラからなる局所的な変質域が生成され、これが割れの源となり伝播してフレーキングとなる。この変質域は寿命時間とともに増加する。割れの伝播はマトリックスの強さに影響され、軟化抵抗が優れているほど昇温ころがり寿命が長く、耐熱軸受鋼の研究<sup>4)</sup>でもこの傾向は認められている。マトリックスの強さを支配する要因としては C また N の固溶強化と微細析出物による析出硬化が考えられる。浸炭窒化鋼の高温硬さ曲線より、280°C 以下の硬化は析出硬化のようにみられ、この原因としては  $\epsilon$ -炭化物と異なる結晶構造をもつ、低炭素-低窒素鋼で確認されている  $\alpha'$ -窒化物の析出<sup>8)</sup>により硬化するものと考えられる。次に焼もどしマルテンサイトの組織と類似している応力影響部の温度は、レース寿命の研究<sup>7)</sup>によると硬さ低下率から調べて約 280°C としている。この場合の試験時間はかなり長く、硬さ低下は保持時間の影響をうけることから実際はもつと低温で、浸炭窒化の効果の存在するような温度範囲にあるように思われる。

#### 4. 結 言

浸炭または浸炭窒化した 1% Cr 鋼と軸受鋼球について最高ヘルツ接触応力 520 kg/mm<sup>2</sup> で昇温ころがり疲れ試験を行なった結果をまとめると次のとおりである。

1. 試験温度 100°C および 150°C では浸炭窒化鋼の疲れ寿命は浸炭鋼にくらべて増加した。市販の軸受鋼球は 100°C では最も長い寿命を示したが、150°C では反対に低下し、浸炭窒化の効果が顕著に認められた。
2. 浸炭窒化鋼の高温硬さは 280°C 以下では浸炭鋼より高く、その差は最高 Hv 70 にも達したが、280°C 以上ではほぼ同じ硬さになった。
3. 応力影響部の深さは約 0.17~0.21 mm でフレーキング深さはその半分であった。
4. 浸炭鋼または浸炭窒化鋼の表面の残留圧縮応力には特に差は認められなかった。

#### 文 献

- 1) 倉部, 荒木: 鉄と鋼, 51 (1965) 11, p. 2186
- 2) 高橋, 橋木: トヨタ技報, 15 (1963) 2, p. 133
- 3) 高橋, 彦坂: トヨタ技報, 16 (1964) 1, p. 55
- 4) 耐熱軸受研究委員会: 鉄と鋼, 51 (1965) 9, p. 1646
- 5) K. J. IRVINE, F. B. PICKERING and J. GARSTONE: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 196 (1960) 1, p. 66
- 6) J. J. BUSH, W. L. GRUBE and G. H. ROBINSON:

- Trans. Amer. Soc. Metals, 54 (1964), p. 390
- 7) A. J. GENTILE, E. F. JORDAN and A. D. MARTIN: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 233 (1965) 6, p. 1085
  - 8) D. P. KOISTINEN: Trans. Amer. Soc. Metals, 50 (1958), p. 227
  - 9) V. A. PHILLIPS: Trans. Amer. Soc. Metals, 56 (1963) 3, p. 600

## 表面に欠陥を持つ材料のころがり疲れ強さについて\*

(補強ロール材の転動による被害に関する研究—V)

日本製鋼所, 室蘭製作所研究所

工博 荒木田豊・堀 清・工藤浩一

Rolling Contact Fatigue Strength of the Materials with Defects on their Surface  
(On the damages due to rolling contact of back up roll materials—V)

Dr. Yutaka ARAKIDA, Kiyoshi HORI and Koichi KUDO

### 1. 緒 言

欠陥を有する材料について各種の材料の強さの研究は多くの研究者によつてなされている。たとえば鑄鋼欠陥材の回転曲げ疲れ強さについては千々岩, 大内田<sup>1)</sup>らが研究しており, ある程度以上の大きさの欠陥を有する材料は耐久限度が低下すると報告している。ころがり疲労被害におよぼす欠陥の影響についてはベアリング鋼などについて介在物の挙動をとりあげているものもあるが<sup>2)</sup>, 介在物より大きなマクロな欠陥についての影響をみているものはほとんど見あたらない。われわれは補強ロールの転動による被害に関する研究を行なつてきたが<sup>3)~6)</sup>, ここではマクロな欠陥がころがり強さに与える影響についての試験を行なつた。すなわち圧延機用の補強ロール製造の際に生じうような欠陥について, それらがころがり疲れ強さにどのような影響をおよぼすかを試作した 3 段ロール型転動試験機によつて試験を行なつた。

### 2. 試料および実験方法

#### 2.1 試 料

本研究に用いた供試材は 0.4% の炭素鋼で 80  $\phi$  の丸棒に鍛造後, 焼鈍を行なつたものである。顕微鏡組織はフェライト+パーライトであり, 硬さは HB 180 であった。この材料の化学成分を Table 1 に示す。

#### 2.2 試験片の種類 (欠陥の種類)

試験片の形状はすでに第 I 報で報告してあるのでその

Table 1. Chemical composition of material.

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0.39	0.26	0.51	0.017	0.006	0.15	0.07	0.04

\* 第73回講演大会にて発表 講演番号 220 昭和42年5月10日受付

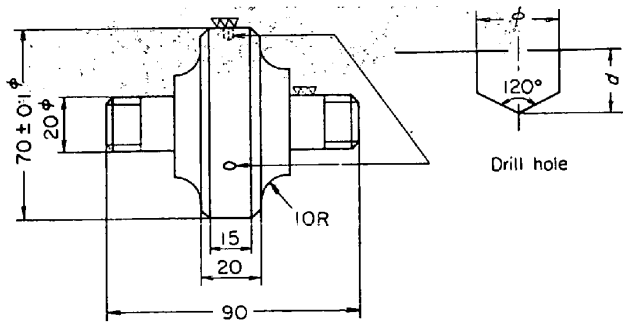


Fig. 1. Shapes and dimensions of specimen and drill hole.

詳細はここでは省略するが、直径 70 φ、接触幅 15 mm でこま形をしている。欠陥としてはブローホール、ザク菓などの自然に生じた欠陥を有するものを用いるのがより実際的であるが、試験材にそのような欠陥を作るとは非常に難しいのでここでは人工的な欠陥によつて試験することとした。まず第一には試験片転動面に種々な大きさを持つドリル孔をあけた。ドリル孔は Fig. 1 に示すごとき形状で直径 (φ) および深さ (d) を変えた。直径 (φ) を 1 mm, 2 mm および 3 mm の 3 種類としそれぞれの径について深さを 1 mm, 2 mm および 3 mm とかえ計 9 種類の試験片を準備した。一個の試験片には同一大きさのドリル孔を 3 個、転動面 3 等配の位置にあけた。次に鍛造などによるシワ疵の代わりに転動面にショットピーニングを行ない表面アラサを増加させ、同時に表面を硬化させた試験片を準備した。ショットピーニングは鋼製ボール (HRC 45~51) のショット球で行ない、ショットの平均径 1.0 mm φ、投射量は 150 kg/min、投射速度 56.5 m/sec、投射時間は 6 min の条件で行なつた。ショットピーニングによる表面の硬さの上昇はピッカース硬度で 60~70 程度、硬化層は表面より 0.5~0.6 mm の深さであつた。また表面アラサは  $H_{max}=50$  程度であり標準試験片の研削面の表面アラサ  $H_{max}=2$  とくらべると非常に凹凸がはげしい。

2.3 試験方法

実験にあつては第 1 報<sup>3)</sup> のべた 3 段ロール型転動試験機を用いた。荷重はヘルツ応力 (最大接触応力) で 144 kg/mm<sup>2</sup>、マシン油による潤滑を行ない試験片回転数で 1600 rpm で転動した。寿命の比較は第 1 報で詳細にのべた被害指数が 100 となつた時の試験片のころがり接触数で行なつた。

3. 試験結果および考察

3.1 転動試験結果

各試験片の転動試験の結果を Fig. 2 に示す。図の縦軸は転動数であり横軸には各試験片である。標準試験片として  $H_B 180$  の硬さで研削面をそのまま転動面として持つたものを用いた。図中 stand と記したものでありその寿命は  $1.0 \sim 1.4 \times 10^6$  ほどである。Fig. 2 から明らかなように、ドリル孔およびショット面とも欠陥として寿命を短くする傾向を示している。すなわちショットピーニングした試験片は寿命が転動数  $1.2 \times 10^5$  程度であり、標準試験片の寿命のほぼ 1/10 である。またドリル孔をあけた試験片では深さ 2 mm のものは直径の大小によらず寿命が著しく短かく、ほぼ  $5.0 \sim 6.0 \times 10^4$

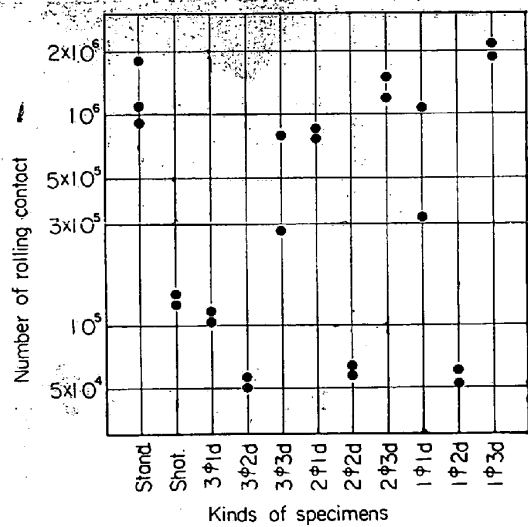


Fig. 2. The results of rolling contact test of the specimens.

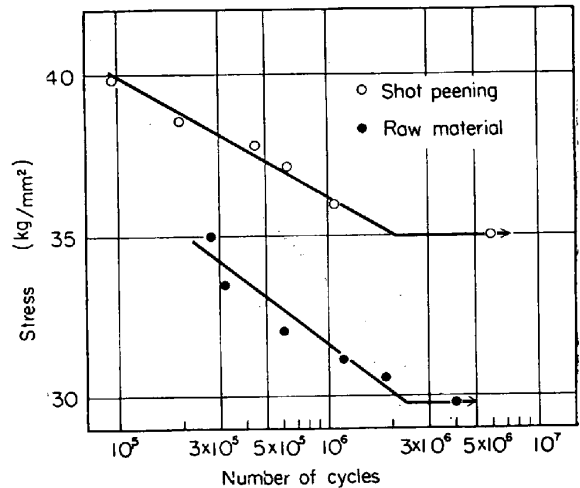


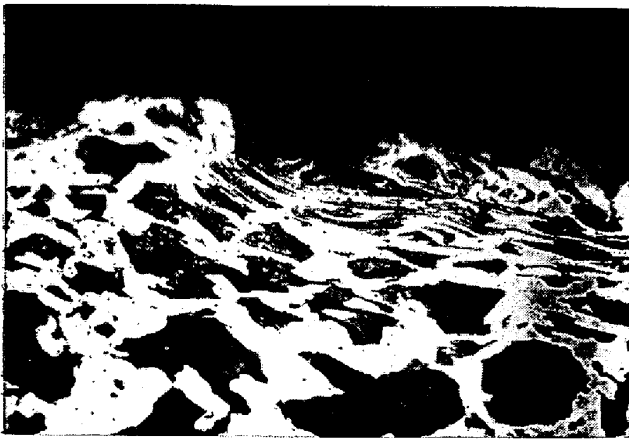
Fig. 3. S-N curve of the specimens (rotating bending fatigue test).

である。またドリル孔の深さが 3 mm のものは各試験片とも寿命があまり短くなつていない。これらについては後で考えることにする。全体的には孔径が大きくなると寿命が短くなるような傾向を示している。

3.2 ショットピーニングした試験片の回転曲げ疲労試験結果

転動疲労試験と比較するためにショットピーニングした試験片について回転曲げ疲労試験を行なつた。Fig. 3 はその結果を示す S-N 曲線で、ショットを行なつていない標準試験片の結果もあわせて示しておく。回転曲げ疲労試験ではショットピーニングしたものの疲れ限度が標準試験片のそれより 5 kg/mm<sup>2</sup> ほど高くなつてることが明らかとなつた。なおショットの条件は転動試験片の場合と同様であり、回転曲げ疲労試験片は平行部 8 φ で試験機は小野式であり 5 t-m、回転数 3000rpm で行なつた。

さて回転曲げ疲労試験の結果と転動疲労試験の結果とが逆になつたがこの点について少し考察する。まずショット面の状態を知るために試験片の断面を調べると



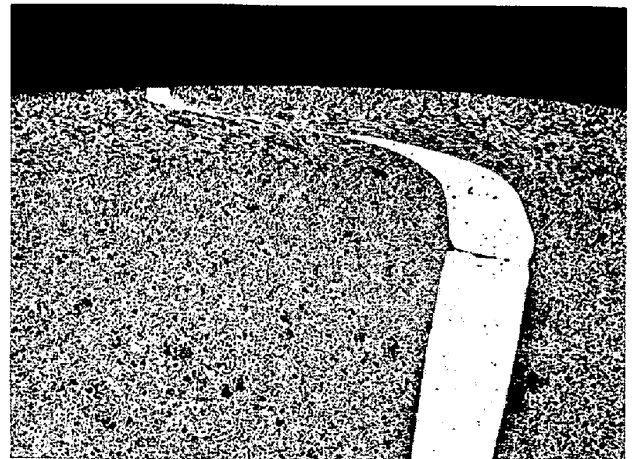
×400 (7/10)

Photo. 1. Cross section of shot peened specimen.

Photo. 1 に示すように表面に流動層が認められ、その流動層中にクラックが存在している。ショット面は前述したごとく表面アラサが  $H_{\max}=50$  ほどで荒く、表面かたさも  $H_v 60\sim 70$  高くなっている。表面硬さの上昇は降伏点を上げ、したがって耐久限度をも上げる効果があり一方表面アラサおよび表面クラックはその逆の影響がある。このようにショットピーニングはあい反する因子を持つているのである。転動試験および回転曲げ疲労試験との結果に差が生じたのは両者の負荷応力の状態が相違しているためであり、回転曲げ疲労試験では試験片表面に最大負荷が加えられるのでこの場合はかたさの上昇が効果をあげるのであろう。一方転動疲労試験ではころがり接触による最大応力の位置は  $r_{\max}^{45^\circ}$  の位置とされ本試験の場合は深さ  $0.45\text{ mm}$  であり、この位置ではショットによるかたさの上昇はなくむしろ表面クラックなどが転動による表面疵の起点となり、そこに潤滑剤などが入りこんで剝離を大きく助長して寿命を短くしているためと考えられる。

### 3.3 ドリル孔の影響について

ドリル孔をあけた試験片では孔の深さ  $2\text{ mm}$  のものが直径の大小によらず寿命が著しく短かつた。この理由の解明は現在のところ明確ではないが、表面層の変形がころがり接触による疲れに大きな影響をおよぼしていると考えられるので新たに次のような試験を行ない表面層の流動を調べた。転動試験片にドリル孔 ( $1.0\text{ mm } \phi$ ) をあけその孔にアルメル線をうめ込み転動試験を同一条件で行なつた。この時アルメル線はドリル孔に空隙を残さないようにしてうめ込み転動面にマクロ的な欠陥のないような試験片とした。この試験片の転動数は  $2 \times 10^5$  で転動後このアルメル線の中心を通り転動面に垂直に軸方向断面が観察できるように切断した。Photo. 2 はこの断面でのアルメル線の変形状態を示す。変形は深さ約  $1.2\text{ mm}$ 、円周方向に  $3.75\text{ mm}$  ほどである。著しくアルメル線が変形を受けているのは表面から深さ  $0.3\sim 0.5\text{ mm}$  の範囲であつた。前述したごとく本試験での最大せん断応力の位置は  $0.45\text{ mm}$  でありアルメル線の変形の最大位置とほぼ一致している。さて深さ  $2\text{ mm}$  の欠陥を持つ試験片が著しく寿命が短いのはここではあくまで推定の域を出ないが、孔に入った潤滑油が孔の変形に際して転動面下に押しこまれその大きな圧力によつて剝離を助



×20 (2/5)

Photo. 2. Deformation of the surface of specimen.

長しているものと考えられる。深さ  $3\text{ mm}$  の場合は油の封じこまれる孔が大きくなりそのため圧力もさほど大きくなりないのであろう。

## 4. 結 言

補強ロールの転動による被害に関する研究の1つとして表面に欠陥を持つ材料のころがり強さについて試験を行なつた。表面欠陥としてドリル孔および表面あらさの大きなショット面をもつような試験片について転動試験を行ない欠陥のないものと比較した。その結果、ドリル孔を有するものは早期に表面疵の発生をみるが、とくにある深さのものは著しく短時間に寿命に達してしまうことが判明した。これは転動による表面の流動層と関係あると思われる。またショット面を持つ試験片は転動によつて早期に疵が発生したが回転曲げ疲労試験では耐久限度がショットしないものに比して高いという結果を得た。これは負荷応力の状態の相違およびショットピーニングによる表面硬さの上昇、表面アラサの増加およびショットによる表面クラックの発生などの相関関係によるものと判断される。

## 文 献

- 1) 千々岩, 大内田, 他: 日本機械学会誌, 69(1966) 572, p. 1134 Sept.
- 2) たとえば R. F. JOHNSON and J. F. SEWELL: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), December (1960), p. 414
- 3) 下田, 荒木田, 堀, 工藤: 鉄と鋼, 50(1964)12, p. 153
- 4) 下田, 荒木田, 工藤: 鉄と鋼, 50 (1964) 12 p. 155
- 5) 下田, 荒木田, 堀, 工藤: 鉄と鋼, 51 (1965) 5, p. 61
- 6) 下田, 荒木田, 堀, 工藤: 鉄と鋼, 52 (1966) 10, p. 57