

(5) 式に (2) 式を代入すると、

$$K_N = K'_N \cdot f_N^N \dots\dots\dots (6)$$

または  $\log f_N^N = \log K_N - \log K'_N \dots\dots\dots (7)$

しかるに (7) 式の右辺の第一項  $\log K_N$  は真の平衡恒数の対数で、前段の考察においてすでに求められており、また第二項  $\log K'_N$  は本実験の実測値から算出し得るので活量係数は直ちに求めることができる。

Fig. 8 はかくして求めた  $\log f_N^N$  と熔鉄中の窒素含有量との関係を示したもので、これらの間には、1566~1740°C の範囲で、温度には無関係に窒素量 0~0.070% の範囲内で次式の関係が成立する。

$$\log f_N^N = 1.97\%N \dots\dots\dots (8)$$

### V. 結 言

純鉄を熔融し、1566~1740°C の温度範囲で、0~2.3 気圧の窒素ガス分圧を有するガス相との間に平衡状態を設定し、熔鉄中の窒素含有量とガス相の窒素ガス分圧との関係を測定してつぎの結果を得た。

(1) 熔融純鉄中への窒素ガスの溶解は、従来まで考えられていたいわゆる Sieverts の法則にはしたがわない。すなわちガス相の窒素ガス分圧の平方根と熔鉄中の窒素含有量との関係は直線的ではなく、窒素含有量が増加するにしたがつてその活量係数が増加する方向に偏移する曲線である。

(2) 窒素ガスが熔鉄中に溶解する際の反応の平衡恒数および遊離エネルギーの変化は次式で表わされる。

$$1/2N_2 = \underline{N}$$

$$\log K_N (= \%N \cdot f_N^N / p_{N_2}^{1/2}) = -815/T - 0.819$$

$$\Delta F^\circ = +3,730 + 3.75T$$

(3) 熔鉄中の窒素含有量とその活量係数との間には窒素含有量 0.070% 以下の範囲において、1566~1740°C なる温度範囲では、温度には無関係に次式の関係が成立する。

$$\log f_N^N = 1.97\%N$$

擧筆するに当り、実験遂行に協力された戸田堯三工学士に謝意を表する。(昭和 33 年 9 月寄稿)

文 献

- 1) J. Chipman, D. W. Murphy: Trans. of A.I.M.E. 116 (1935), p. 179.
- 2) T. Kootz: Arch. Eisenhüttwes. 15 (1941), p. 77.
- 3) A. Sieverts, G. Zapffe: Zeit. Chem. A. 172 (1935), p. 314.
- 4) M. R. Brick, J. H. Creevy: Metals Tech. 7 (1940) April, p. 23.
- 5) T. Saito: Nippon Kinzoku Gakkai-Shi. 14 (1950), p. 28.
- 6) F. Langenberg: Journal of Metals. August (1956), p. 1099.
- 7) "Basic Open-Hearth Steelmaking" 1951, New York A.I.M.E. p. 638.

## 基本的なピーニングによる凹痕の大きさ・

### 密度と疲労強度との関係\*

内 山 道 良\*\*・上正原 和 典\*\*

## Relation between the Dent Size, Density in Fundamental Shot-Peening and the Fatigue Strength

*Michira Uchiyama and Kazunori Kamishohara*

#### Synopsis:

The authors carried out a reversed bending fatigue test of flat specimens shot-peened under the most fundamental conditions; that is peened with almost perfect sphere shots made of very rigid metal and as uniformly as possible.

Results obtained are as follows:

\* 昭和 33 年 4 月本会講演大会において発表 \*\* 三菱鋼材本社製作所研究課

1) Excess of impact force causes the increase of dent's size, resulting in the drop of fatigue strength.

2) Number of dents per unit area or density of peening has the critical value beyond which the fatigue strength will begin to decrease. This critical value is larger for smaller dents than for larger dents.

3) The most desirable result is obtained for a combination of smaller dent and larger density of peening.

4) Results described in 1) & 2) may be regarded as the so-called over-peening.

## I. 緒 言

疲労強度向上の手段としてのショット・ピーニングを最も有効に実施するためには投射の際の無効ショットを無くすることが先決問題であるが、その基礎実験は未だ行われたことがない。

そこで筆者らは最も基本的な条件の下でのピーニングすなわち剛性の大きな材料より製作し、ほぼ完全な球面を有する錘をもつて被加工物の表面にショット・ピーニング機を用いたものに比べ寸法のバラツキがきわめて小さい凹痕を均一に穿つことを行つて、これに対する疲労試験を行つたのでその一部をここに報告する。

## II. 試料の状況

### 1. 試片の化学成分・寸法・熱処理

試片は Table 1 に示すとき Ni-Cr-Mo 系の自硬鋼より製作したもので、疲労試験片は中央部の断面 6 mm×6 mm の 4 kg m 型シェンク式繰返曲げ疲労試験用に、残留応力測定用試験片は 18.5 mm×3 mm×76 mm の寸法に、また硬度測定用試験片は 18.5 mm×6 mm×76 mm の寸法にそれぞれ切削・研磨・バフ仕上げを行つた後、真空中で 850°C に 20mn 保持し、しかる後真空中で冷却したものである。

Table 1. Chemical composition (%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0.39	0.32	0.53	0.014	0.007	3.11	0.58	0.31

### 2. ピーニングの装置

ピーニングの条件としては既述のごとく装置の特色による要素を避け、被加工物に現れた最も基本的な要素として凹痕の寸法と単位面積当りの凹痕数を測定の対象とした。そこでこのように理想化されたピーニング加工を行うため W-C 超硬合金 (82%W, 13%Co, 5%C) で頂角 80° の円錐錘を製作し、先端曲率半径 0.42mm の球面に研磨したものをショットのモデルとし、これを自家製「振下式打撃装置」の約 145mm のアームの先端に取りつけ錘と落角とを加減することにより前記の疲労

試験片に任意の大きさの凹痕のつくピーニング加工が行えるようにした。試片は 2 枚のマイクロメーターにより前後・左右に微動しうる装置にのせ打痕位置の測定ならびに管理ができるようにしてある。その外観を Fig. 1 に示す。

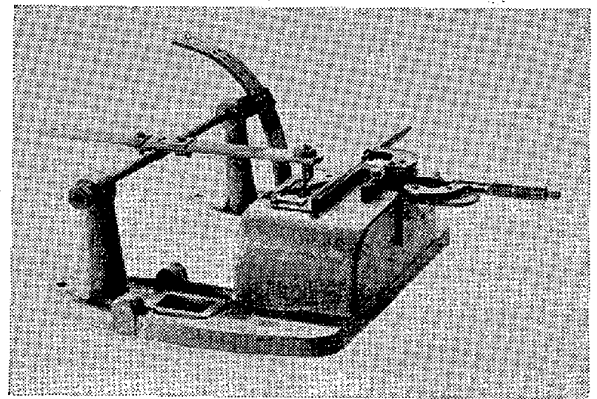


Fig. 1. Apparatus for peening.

### 3. ピーニングの条件

試片の表面に均一に凹痕を穿つ形式は種々考えられる

Table 2. Conditions of peening.

Sample No.	Diameter of dent (mm)	Distance between dents (mm)	Density of peening (dents/mm <sup>2</sup> )
<i>a</i> <sub>1</sub>	0.16	1.0	1
<i>a</i> <sub>2</sub>	//	0.5	4
<i>a</i> <sub>3</sub>	//	0.25	16
<i>a</i> <sub>4</sub>	//	0.1	100
<i>a</i> <sub>5</sub>	//	0.05	400
<i>b</i> <sub>1</sub>	0.27	1.0	1
<i>b</i> <sub>2</sub>	//	0.5	4
<i>b</i> <sub>3</sub>	//	0.25	16
<i>b</i> <sub>4</sub>	//	0.1	100
<i>b</i> <sub>5</sub>	//	0.05	400
<i>c</i> <sub>1</sub>	0.36	1.0	1
<i>c</i> <sub>2</sub>	//	0.5	4
<i>c</i> <sub>3</sub>	//	0.25	16
<i>c</i> <sub>4</sub>	//	0.1	100
<i>c</i> <sub>5</sub>	//	0.05	400
<i>d</i> <sub>1</sub>	0.73	1.0	1
<i>d</i> <sub>2</sub>	//	0.5	4
<i>d</i> <sub>3</sub>	//	0.25	16
<i>d</i> <sub>4</sub>	//	0.1	100
<i>d</i> <sub>5</sub>	//	0.05	400

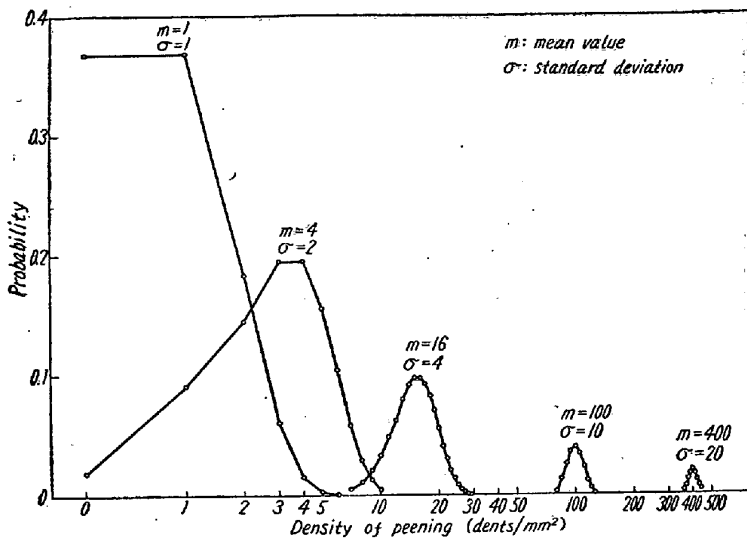
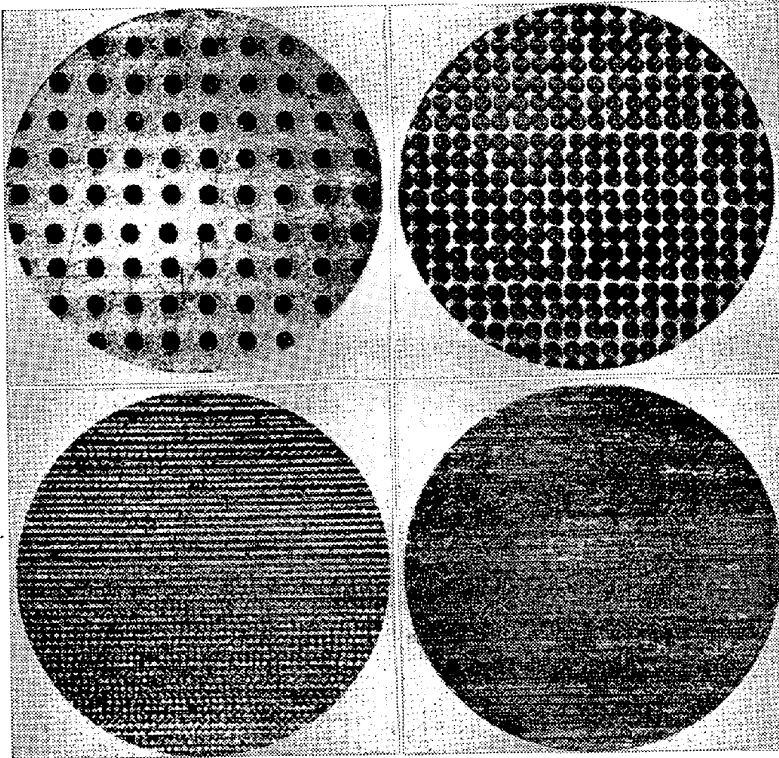


Fig. 2. Probability curves for peening density.

Sample No.  $b_2$  ( $\times 17$ ) $\times 1/2$

Sample No.  $b_3$  ( $\times 17$ ) $\times 1/2$



Sample No.  $b_4$  ( $\times 17$ ) $\times 1/2$

Sample No.  $b_5$  ( $\times 17$ ) $\times 1/2$

Fig. 3. Appearance of peened specimens.

が、本実験においてはそのうち最も容易に実施でき、しかも最も基本的と思われる基盤の目形式にしたがった。この際の間隔は Table 2 に示すように 1.0mm および 0.05mm を両限界とする 5 段階とした。また凹痕の大きさは本装置による限界としての 0.16mm および 0.73mm を含めて 4 段階とした。なお試片上のピーニング処理を行った面積は各面につき 6mm $\times$ 10mm である。

そこでこのような理想的ピーニングの場合と実際のピーニングの場合との差をピーニング密度について比較し

てみると、両者は平均値は同じであつてもバラツキ方が全然異なるもので、筆者らの実験においてはこれを零に近づけようとしているのに対し実際のピーニングではほぼポアソン分布にしたがうものである。すなわち  $\rho$  をピーニング密度、 $m$  を平均ピーニング密度、 $g(\rho)$  を密度  $\rho$  の確率とすれば  $g(\rho) = m^{\rho} e^{-m} / \rho!$  で与えられる。そこで Table 2 の  $m=1, 4, 16, 100$  および 400 に対応する実際のピーニングにおける分布を求めると Fig. 2 に示されたようなものになる。

#### 4. ピーニング面の外観

以上の条件で処理した試片のピーニング面の代表的例を Fig. 3 に示す。打痕は試片の長手方向に往復させているのでその方向に対しては整然と並び、ピーニング密度が大になるほどその傾向ははつきりしてくる。

#### 5. 表面粗さ

ピーニングを行った面の凹痕に沿つて凹凸の状況を触針式表面粗度計により 50 $\times$ 500 に拡大撮影した Fig. 4 のプロフィログラフをみると、間隔が大きい場合は凹痕が独立して一般に深い。狭くなると先端のみの影響しか現れず、凹凸は次第に小さくなるのがみられる。表面粗さとピーニング密度との関係を求めると Fig. 5 が得られるが、これによると凹痕の直径が小さいほど、いいかえると打撃力が弱いほど表面粗さは小さくなり、またピーニング密度の大なるほど、すなわち間隔が小さければ小さいほど表面粗さは小さくなっている。

#### 6. 残留応力

前述の残留応力測定用試片を用い腐蝕法により残留応力の分布を求めた結果を Fig. 6 に示す。これによると凹痕の小さい場合はピーニング密度とともに残留応力の最大値は増加するが凹痕が大きいとある密度で飽和するのがみられ

る。

加工層の深さについては既に一、二の発表があるが<sup>1)2)</sup> 残留応力が圧縮から引張に変化する点までを加工深さとして凹痕の直径と比較すると Fig. 7 のようになる。これによると深さは直径とほぼ同程度であることが認められた。

#### 7. 硬度

疲労試片と同一の処理を施した試片の断面について M<sub>V</sub>K 型微小硬度計により硬度の測定を行った。その結果

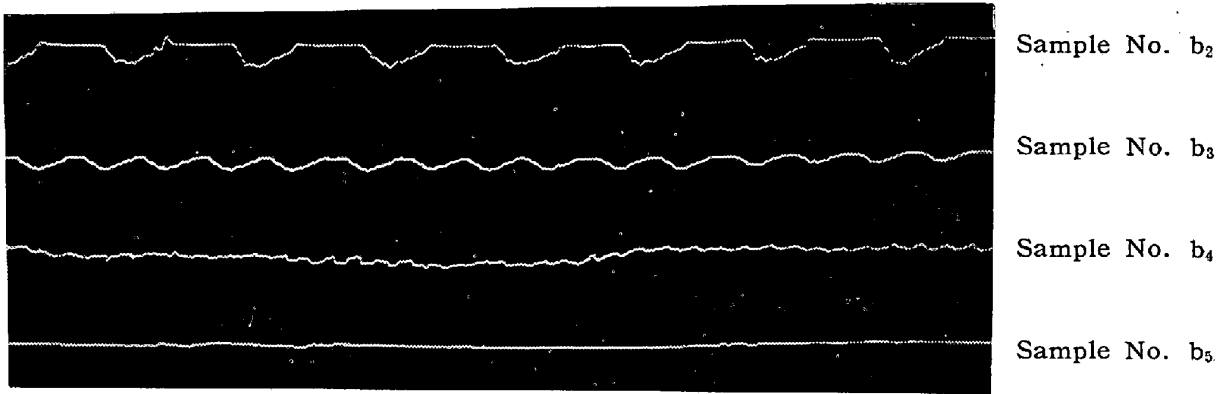


Fig. 4. Profilograph of specimens. (50×500) ×1/2

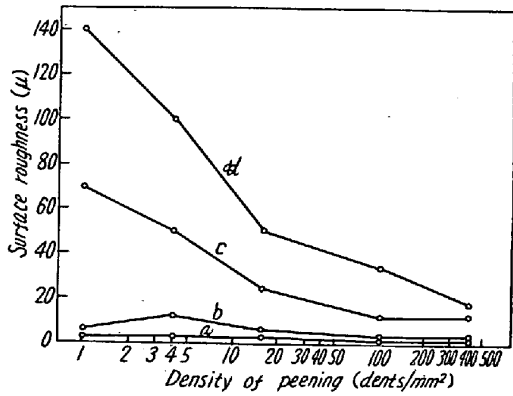


Fig. 5. Surface roughness of specimens.

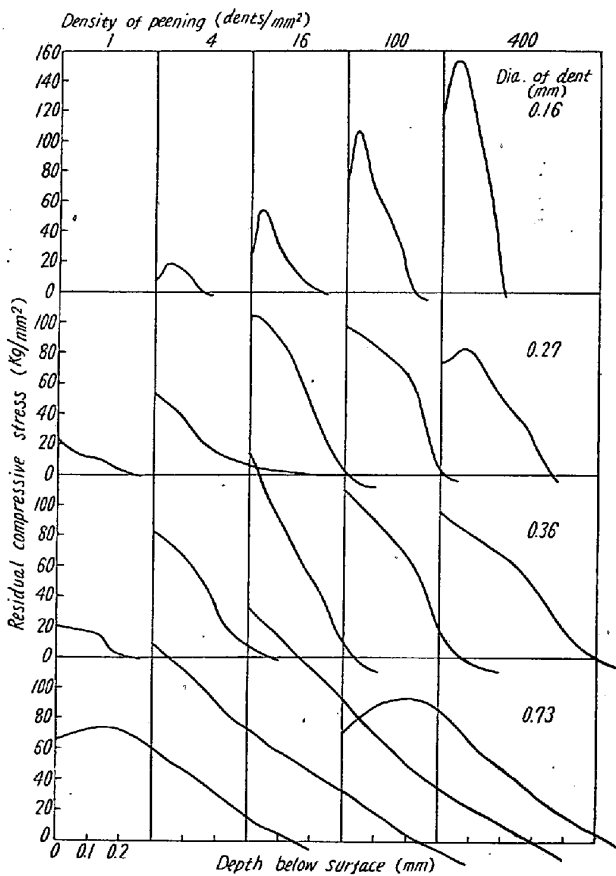


Fig. 6. Residual stress distribution of peened specimens.

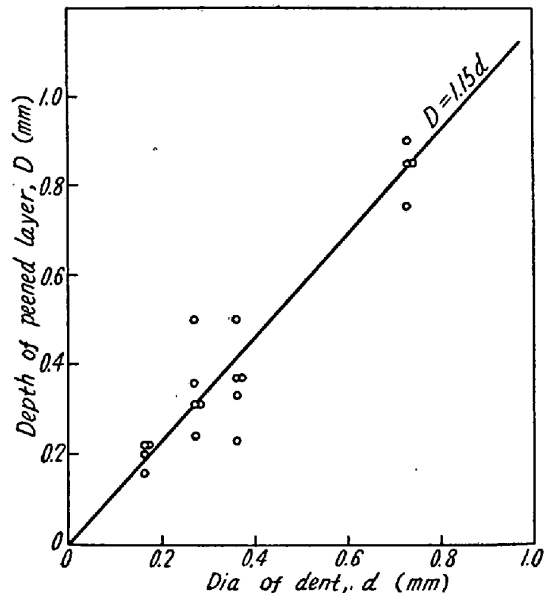


Fig. 7. Relation between dent size and depth of peened layer.

は Fig. 8 にみられる通りであつて凹痕の大なるものほど表面硬度の上昇がみられるが、測定点のバラツキに比べこの硬度上昇はあまり顕著な傾向とはいえない。

### III. 疲労試験結果

各試片について両振曲げ疲労試験を行つた結果をFig. 9に疲労線図として示す。研磨のままの試片の疲労限は75 kg/mm<sup>2</sup>であるが<sup>3)</sup>、試片 a すなわち凹痕の直径0.16 mmの組はいずれもこれより高く、特に a<sub>4</sub>は100 kg/mm<sup>2</sup>に近い値を示している。しかし凹痕が大きくなるとc<sub>5</sub>のように研磨のままの疲労限を下回るものも出てき、dにいたつては1 mm間隔に打痕を与えても悪い結果を示している。

Fig. 9に示された疲労線図の疲労限を凹痕の直径と密度とについて整理すると Fig. 10が得られる。これを見ると凹痕の大きい場合は密度を小に、凹痕の小さい場

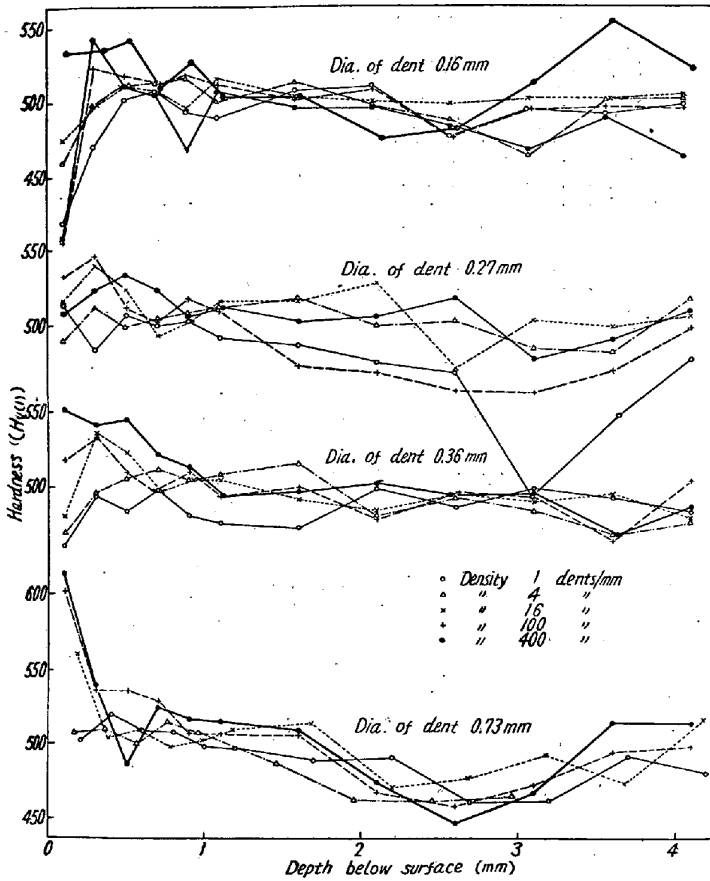


Fig. 8. Hardness distribution of peened specimens

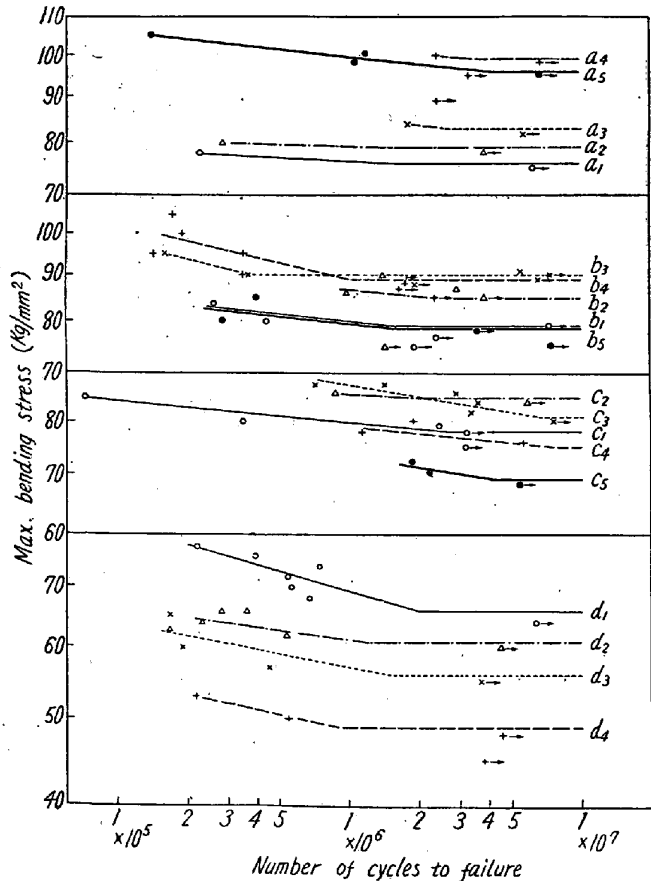


Fig. 9. S-N diagrams for uniformly peened specimens.

合は密度を大にすればそれぞれの場合における良結果が得られるが、絶対値からいえば後の方が大である。凹痕のきわめて小さい範囲、ならびに密度のきわめて大なる範囲は非常に実験困難であり、実際の作業上からみると前者については被加工物表面に脱炭層・スケール・研磨疵・その他の欠陥が存在する場合打撃力が弱くて効力がなく、また後者はピーニングの効果に比して時間的・経済的の面から制限を受けることが考えられる。

IV. 考 察

さて実用ピーニング装置におけるホイールの周速は大部分 45~60 m/s であるから<sup>4)</sup>ショットの投射速度はこれに 1.25~1.4<sup>5)</sup>を乗じて 55~85m/s となり、したがって 0.8~0.9mmφ のショットの運動エネルギーは 4~9×10<sup>4</sup>grcm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> である。ところで球の衝撃による凹痕の寸法とエネルギーとの関係についてはすでに詳細な研究結果が発表されており<sup>7)</sup>、エネルギー  $E$  は

$$E = ah^2/2 + bh^3/3$$

で与えられることが確かめられている。ここに  $h$  は凹痕の瞬間最大凹み深さ、 $a$  および  $b$  は常数である。筆者らの実験においても Fig. 11 に示すようにこの事実が確認されており、これによると 4~9×10<sup>4</sup>grcm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> の運動エネルギーをもつて衝撃を加えれば本試験に対しては 0.25~0.3mm の凹痕が生ずることになる。一方、筆者らがさききわめて丸い鑄鉄ショットについて行った実験<sup>8)</sup> から 0.25~0.3mm と推定され上記の値と一致する。したがって Fig. 10 においてピーニ

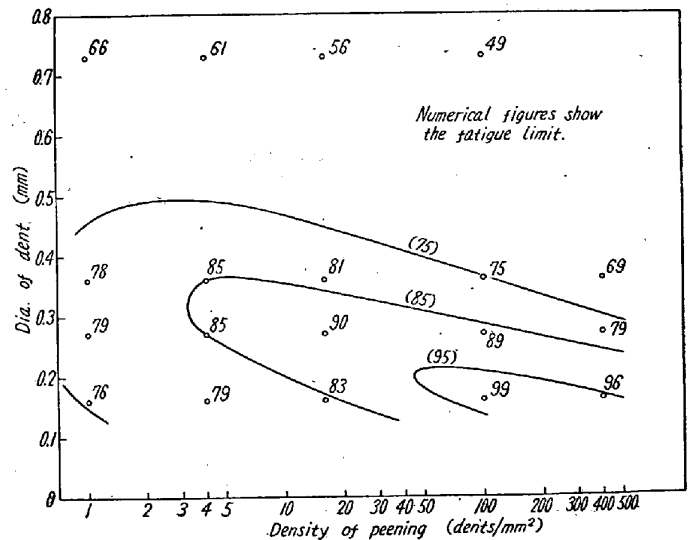


Fig. 10. Effect of peening density and dent size on the fatigue limit.

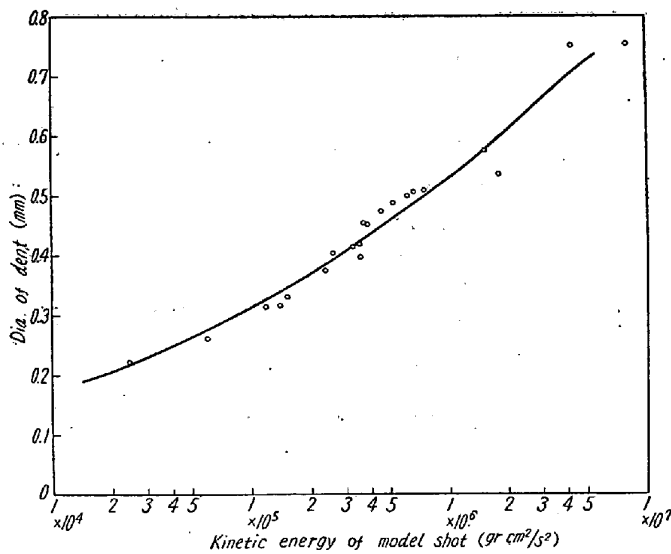


Fig. 11. Relation between kinetic energy of shot and its dent size.

ング密度を例えば 5~50 dents/mm<sup>2</sup> に選べば 85~90 kg/mm<sup>2</sup>の疲労限が期待できる。

### V. 総括

以上、曲率半径 0.42mm のほぼ完全なる球面を有する W-C 製ショットのモデルを用い、6mm 厚 Ni-Cr-Mo 鋼研磨試片に対し規則正しくピーニングしたものを繰返し曲げ疲労試験に供した結果次のことが判明した。

1) 打撃力が過大になる結果としてピーニングによる凹痕が大きくなり過ぎると疲労強度は反って減少する。

2) ピーニングによる凹痕の数、いかえるとピーニング密度がある限度以上になると疲労強度は却って減少し、この限界は凹痕の径が小さい場合は大で、また凹痕の径が大きい場合は小である。

3) 凹痕の径が比較的小で、ピーニング密度が大なる場合に最良の結果が期待できる。

4) 上記の 1) と 2) とはともにいわゆる over-peening と考えられる。(昭和 33 年 10 月寄稿)

### 文献

- 1) 広瀬正吉: ショットピーニング (昭30) 144
- 2) H. O. Fuchs & E. R. Hutchinson: Machine Design (1958) Feb. 6, 116
- 3) 内山道良・上正原和典: 鉄と鋼, 44 (昭33) 2, 65
- 4) 内山道良: 日本プラスト協会誌 (昭28)  
あるいは日本鉄鋼協会編: 鋼の熱処理—基礎と作業標準 (昭32) 130  
広瀬正吉: ショットピーニング (昭30) 40
- 5) 大野 明・宮川信男: 材料試験, 6 (昭32) 40, 23
- 6) 上正原和典: 三菱鋼材研究報告, 第 52 号(昭27) 5
- 7) 中川有三・奥田 聰・松居国夫: 日本機械学会論文集, 20 (昭29) 91, 129
- 8) 内山道良・上正原和典: 鉄と鋼, 41 (昭30) 10, 21

## 高炭素鋼の黒鉛化におよぼす Al および N の影響について (その1)\*

(高炭素鋼の黒鉛化に関する研究—II)

山中直道\*\*・日下邦男\*\*\*

### Effect of Aluminum and Nitrogen on the Graphitization of High-Carbon Steel (Part-1)

(Study on the graphitization of high-carbon steel—II)

Naomichi Yamanaka, Dr. Eng. and Kunio Kusaka

#### Synopsis:

The authors studied on the effect of aluminum and nitrogen on the graphitization of fine high-carbon steel. Results obtained were as follows:

(1) The presence of acid soluble aluminum had a promoting effect on graphitization.

\* 昭和 32 年 4 月, 本会講演大会にて講演 \*\* 特殊製鋼株式会社, 工博 \*\*\* 同, 研究所