

ピーニング用ショットについて (IV)*

(残留応力と疲労強度の関係)

内山道良**・上正原和典**

ON THE SHOT FOR PEEENING (IV)

(The Relation between Residual Stress and Fatigue Strength)

Michira Uchiyama and Kazunori Kamishohara

Synopsis:

The relationship between the residual compressive stress in specimen, resulting from shot peening, and the fatigue strength of it is studied. Si-Mn steel specimens are polished to 000, peened with hard or soft (round or as-cut) cut-wire shots, and tested with the 200 kgm Schenk type fatigue-testing machine.

Conclusions reached are:

- 1) Residual compressive stress distinctly improves the fatigue resistance of peened specimen, but the investigations into the numerical correlation between the former and the latter are left to be studied.
- 2) Hardness of shots has a meaning only in relation to the ability of causing residual stress in specimens, then the softer shot is not always inferior to the harder one; i.e., the hardness number of shot will take a clear meaning only after the hardness of the work to be peened is shown.
- 3) The use of as-cut shot has a reverse effect upon the fatigue strength of the work, and the existence of comparatively high residual stress caused in the work will not prevent the fatigue limit from decreasing widely, if the bulk of as-cut shots is applied in peening practice.

I. 緒 言

ショットピーニングが疲労強度を増加するものであることは、すでに多くの人達の認めるところ^{1)~12)}であり、筆者等はピーニングによつて被加工物の表面に生ずる残留圧縮応力の種々の様相について、ショット硬度を主な条件とした場合の研究をすでに第Ⅲ報¹³⁾として発表した。今回は種々のピーニング条件下で生じた残留圧縮応力の存在または大小が、被加工物の疲労強度にどのような影響を与えるかとゆう点について行つた二、三の実験、すなわち

* 試片より硬いショットでピーニングを施して十分に残留応力を生じさせたものと、ショットは試片より軟かいが残留応力は前者に近いようなものとの疲労強度の比較。

* 試片よりかなり軟かいショットでピーニングしたため殆んど残留応力が生じなかつた試片の疲労強度とショットは試片より軟かい乍ら残留応力は相当にえられたものの疲労強度との比較。

* 全部、若しくは一部、切放したままのショットを用

いてピーニングした試片の疲労強度の結果について報告する。

II. 試料および実験

1) ピーニングの条件

ピーニング試験機¹⁴⁾により、試片の中央部の両面に対してピーニング処理を行つた。ただしショットの投射速度は 66 m/sec (ピーニング試験機のホイール回転数 6,000rpm, 周速 47 m/sec), 使用ショットの量は各試験片につき 8 kg である。Table 1 はこの時の条件を示している。

2) ショットの条件

使用したショットは総べてカットワイヤーショットでその化学成分・形状寸法・熱処理および硬度は Table 2 に示す通りである。

3) 試片の条件

疲労試験片は 7×90mm の Si-Mn バネ板 (SUP6)

* 昭和 31 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

Table 1. Peening conditions of specimens.

Sample No.	Hardness of specimen (H _v 30)	Condition of peening
1	372	Polished 000
2	"	Peened with H _v (5) 726 round shot
3	"	Peened with H _v (5) 303 round shot
4	458	Polished 000
5	"	Peened with H _v (5) 412 round shot
6	"	Peened with H _v (5) 162 round shot
7	372	Peened with H _v (5) 726 as-cut shot
8	"	Peened with H _v (5) 726, round (50%) + as-cut(50%) shot

Table 2. Chemical composition and heat treatment of shot.

		C	Si	Mn	P	S		
		0.58	0.24	0.45	0.028	0.027		
Dia. (mm)	Shape	Heat treatment					Hardness (H _v 5)	
0.8	Round	Oil quenched at 850°C, tempered at 100°C					726	
"	As-cut	" " " " " "					"	
"	Round	" " " " " "					412	
"	"	" " " " " "					303	
"	"	Annealed at 760°C					162	

から作製した実用寸法のもので、その化学成分は Table 3 に、また形状・寸法は Fig. 1 に示すごとくであり、I. の目的に沿わせるため焼入・焼戻によつて Table 3 の硬度とした。また表面はエメリー 000 に研磨仕上げしたものを基準とした。

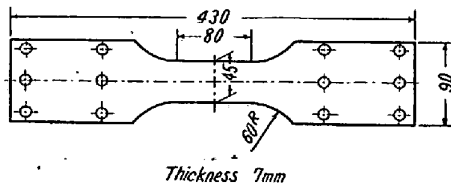


Fig. 1. Dimension of fatigue test specimens.

次に試片の残留応力を比較する手段として、疲労試験片と同一の材料を用いて 2×19×76 mm の薄板を切削し、これに熱処理・ピーニング処理を施として Table 1 の各条件に対応する残留応力測定用の試片を製作し、第 III 報の方法¹³⁾にしたがつて測定を行つたが、その結果は Fig. 2 に示す通りで、ピーニングを施した試片内の

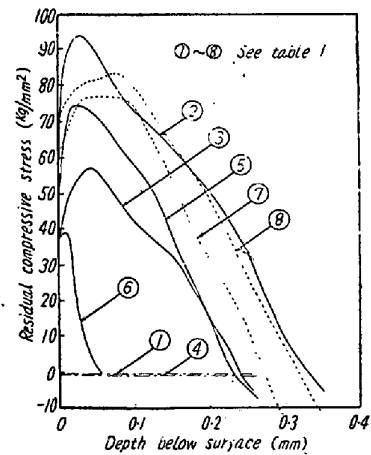


Fig. 2. Residual stress distribution in test specimens.

残留応力の傾向、ならびに大きさは前報¹³⁾を裏付け、したがつて今回の疲労試片が一応目的に適つてゐることを認めた。なほ切放したままのショットの混入は残留応力を幾分低下させてゐる。

Table 3. Chemical composition and heat treatment of fatigue test specimen.

		C	Si	Mn	P	S		
		0.56	1.55	0.88	0.023	0.025		
Heat treatment		Hardness (H _v 30)			Surface condition before shot peening			
Oil quenched at 850°C, tempered at 580°C		372 +10 - 9			Polished 000			
" " " 420°C		458 +13 - 12			"			

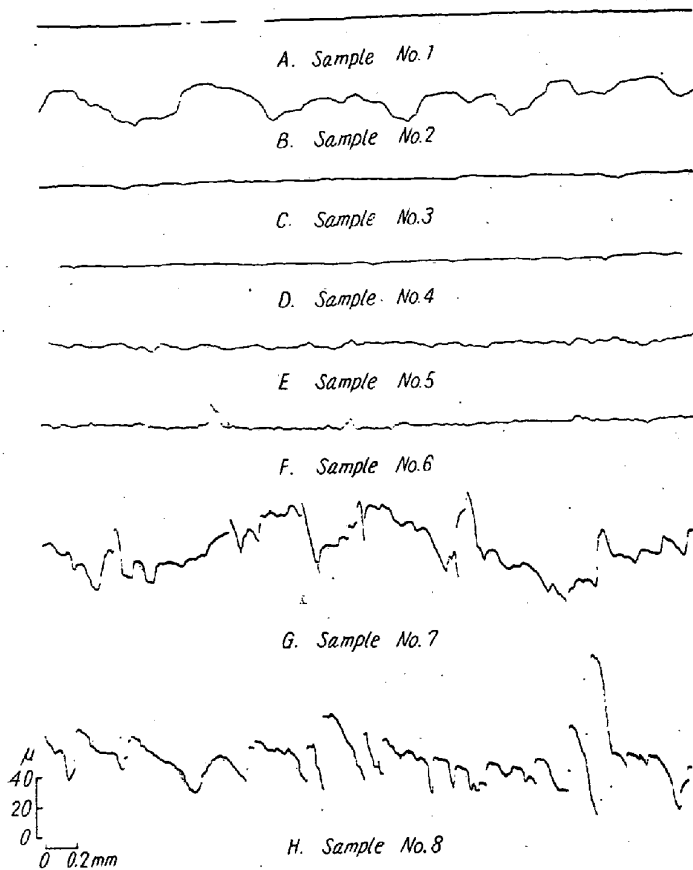


Fig. 3. Roughness of specimens $\times 500 \times 50 (1/3)$

Fig. 3 は触針式表面粗度計による 500×50 の倍率下での各試片のプロファイルグラフを撮影したもので、それぞれの疲労試片の表面状況を現わしている。なほここに試片とショットの組合せ上の特徴が伺えるが、この点は後報 V で詳述する。また Fig. 4 は各試片の表面外観を

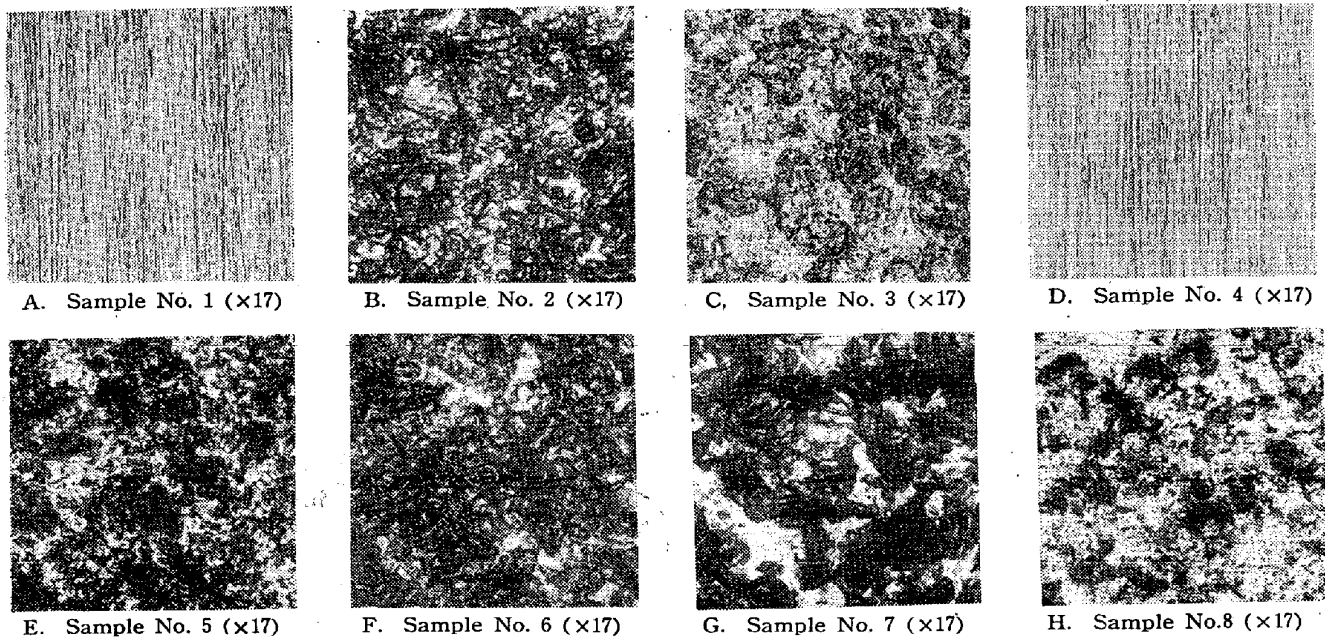


Fig. 4. Appearance of specimens.

Fig. 3 に対応させたもので、それぞれの傾向を明確に示している。

III. 実験結果

200 kg m のシエンク式大型疲労試験機により $800 \sim 1,200$ cycles/mn の速度で両振曲げ疲労試験を行つた結果は Fig. 5~Fig. 7 に示す通りである。すなわちこれによれば

* 硬度 $H_V(30)372$ の 000 研磨試片の疲労限は 41.5 kg/mm² であるが、これに試片よりはるかに硬い $H_V(5)726$ のショットでピーニングした場合も、また試片よりかなり軟かい $H_V(5)303$ のショットでピーニングした場合もともに疲労限は上昇していずれも 50 kg/mm² となつている。但しこの場合 $2 \times 19 \times 76$ mm の試片で測定した残留応力は共に約 $60 \sim 90$ kg/mm² の上昇を示している。

* 硬度 $H_V(30)458$ の 000 研磨試片の疲労限は 42 kg/mm² で、これに $H_V(5)412$ のショットでピーニングした場合の疲労限は 50.5 kg/mm² まで上昇しているが、 $H_V(5)162$ のショットを用いた場合は研磨状態に較べ疲労限の上昇は見られない。但しこの場合 $2 \times 19 \times 76$ mm の試片で測定した残留応力はそれぞれ約 75 kg/mm² および 40 kg/mm² である。

* 硬度 $H_V(30)372$ の 000 研磨試片の疲労強度が 41.5 kg/mm² であることは上述の通りであるがこれに $H_V(5)726$ の切放したままのショットを用いてピーニングするとその疲労限は 35 kg/mm²

まで下降し、また球状 50%、切放しまま 50% の混合ショットを用いてピーニングした場合の疲労強度は研磨状態とはほぼ同じ 41.5 kg/mm^2 である。但しこの場合 $2 \times 19 \times 76 \text{ mm}$ の試片で測定した残留応力はそれぞれ約 75 kg/mm^2 および 82 kg/mm^2 である。

となつて一般に研磨試片にピーニングを行う場合、僅か許りの残留応力付与は疲労強度を上昇するまでには到らずかなりの程度の残留応力を与えてはじめて疲労限の上昇はみられ、切欠をつけるようなショットでピーニング

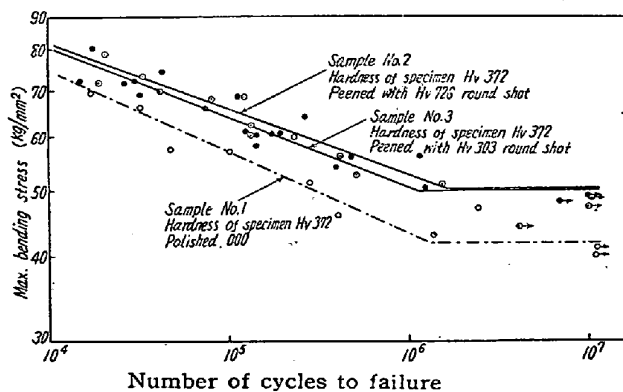


Fig. 5. S-N curve for sample Nos. 1, 2 and 3.

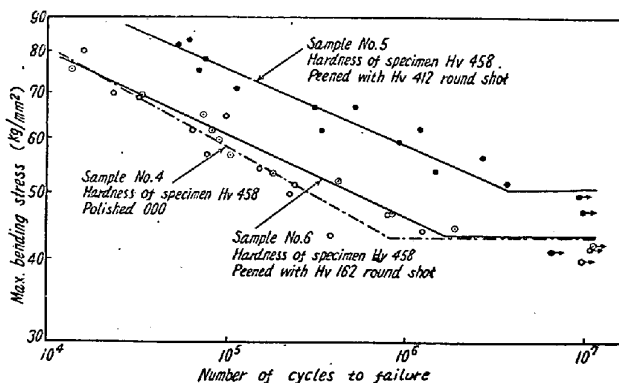


Fig. 6. S-N curves for sample Nos. 4, 5 and 6.

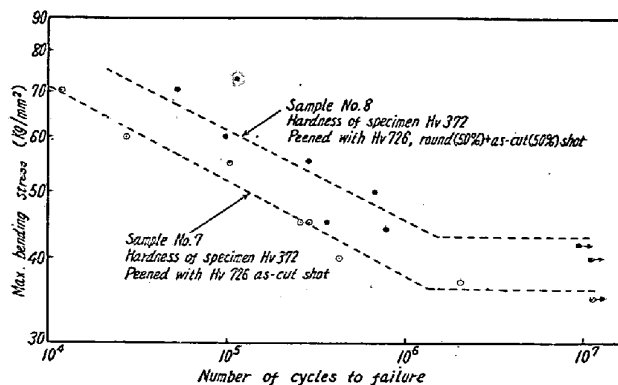


Fig. 7. S-N curves for sample Nos. 7 and 8.

を行えば、その程度次第で疲労強度は寧ろ最初の状態より低下することが明らかとなつた。

IV. 総 括

今回の実験は第Ⅱ報で測定した残留応力と疲労強度との関係を求めるため、Si-Mn パネ鋼 SUP6 の 000 研磨材を基とし、これに軟硬種々の球状または円柱状ショットを用いたピーニングを同一条件で行つて、試片に生ずる大小種々の残留応力が直接疲労強度とどのような関係を示すかを 200 kg m の大型シエンク式疲労試験機により調べたものであるが、これによれば

1) ショットピーニングにより生じた圧縮残留応力は明らかに試片の疲労強度を高めるが、残留応力の値がそのまま試片の疲労限の上昇を表すとは限らない。

2) ショットの硬軟は残留応力付与との関連においてだけ大きな意義があり、軟かいショットが硬いショットに劣つているとゆうようなことはない。すなわちショットの硬軟とは被加工物の硬度との比較問題である。

3) 切放しショットの使用は疲労強度に対して悪影響をおよぼし、十分の残留応力を有する場合でもこの混入の程度によつては疲労限は大巾に低下する。そしてこの原因は主としてショットの形状による切欠の影響¹⁵⁾¹⁶⁾と考えられる。(この点は後報に詳述する)。

(昭和 31 年 11 月寄稿)

文 献

- 1) O. J. Horgler, H. R. Neifert: Experimental Stress Analysis, 2 (1944) 2, 1
- 2) O. J. Horgler, H. R. Neifert: Experimental Stress Analysis, 2 (1944) 1, 178
- 3) J. C. Straub, D. May: The Iron Age, 163 (1949) 15, 66
- 4) J. O. Almen: Product Engineering, 21 (1950) 11, 117
- 5) C. Lipson: Steel, 127 (1951) Aug. 6, 72
- 6) American Wheelabrator & Equipment Corp.: Shot Peening (1951)
- 7) F. P. Zimmerli: Metal Progress, 61 (1952) 6, 97
- 8) SAE: SAE Manual on Shot Peening, 1, 13
- 9) ASM Committee on Shot Peening: Metal Progress, 66 (1954) 1, 104
- 10) R. L. Mattson, W. S. Coleman: SAE Transactions, 62 (1954) 546
- 11) 中村広, 広瀬正吉: 鉄道業務研究資料, 11 (昭29) 8

- 12) 広瀬正吉: ショットピーニング (昭30) 3, 180
 12) 内山道良, 上正原和典: 鉄と鋼 42 (昭31) 7, 27
 14) 内山道良, 上正原和典: 鉄と鋼 42 (昭30) 8, 13
 15) J. C. Straub: SAE Journal, 56 (1948)

- Nov., 38
 16) 倉田忠雄, 安田益一, 坂本勲: 日立造船技術研究所, 技研~277 (昭28) 10

13% Cr 鋼の機械的強度におよぼす鍛造比の影響*

小野 健 二**・佐々木 良 一***

THE EFFECT OF FORGING RATIO ON MECHANICAL STRENGTH OF 13% Cr STEEL

Kenji Ono, Dr. Eng., Ryoichi Sasaki

Synopsis:

It is well known that forging ratio affects on the mechanical strength of steel, yet a necessary forging ratio as structural steel varies with different kinds of steels and ingot size. The experiments herein introduced were made to clarify the effect of forging ratio on the mechanical strength of 13% Cr steel. Eight specimens were used which had various forging ratios from 1 to 73, and test pieces were prepared being taken from two directions (i. e. forging direction and the direction at right angles to it.).

The results were summarised as follows.

- (1) Tensile strength was not affected by forging ratio.
- (2) With increase of forging ratio, reduction of area and impact value increased to the forging ratio of 18 and then decreased slightly, however those in the direction at right angles to forging decreased considerably to 10.5 forging ratio and then increased slightly.
- (3) At room temperature, variation of fatigue strength had analogy to impact value etc., however, at 400°C, it showed different tendency.

I. 緒 言

一般に機械的性質の良好な状態で鍛造材を使用するには、鍛造比の影響を考慮することが望ましいが、構造用鋼において必要とされる鍛造比は鋼種により、また鋼塊の大きさによつて差がある。従来鍛造比の影響を調べた研究には炭素鋼あるいは低合金鋼のシャフト材が多く、13% Cr 鋼に関するものは少い。そこで今回 13% Cr 鋼の機械的性質におよぼす鍛造比の影響を求めめるため、鍛造比が 1~73 の範囲の試料を作製し実験を行つた。

II. 試 料 の 調 製

約 800 kg の鋼塊 #17 および #19 を用い Fig. 1 に示すようにまず上部と底部を切捨て、さらにこれを四分割し、中心部を除去して約 100 kg の鋼塊を作り、これから鍛造比が 1~73 の範囲の試料を調製した。Table 1 は試料の組成および学振法による清浄度と平均厚みとを示す。1/2 t ハンマーを用い、上記鋼塊を重油炉により 1100~850°C で鍛造し、鍛造後 850°C 2時間炉冷の焼

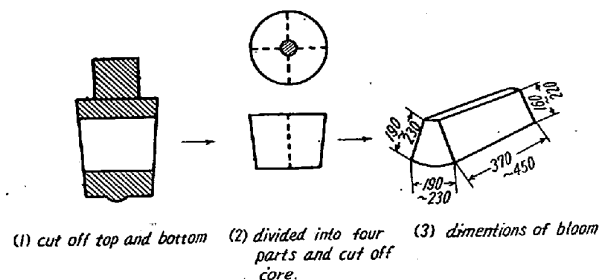


Fig. 1. Cutting of ingot.

鈍を行つた。鋼塊の断面が不規則な扇形をしているので鍛造比が小さいところでは試料全体が一様に鍛造効果を受けない嫌いはあるがやむを得ない。試料の鍛造比、採取法および溶番との関係は Table 2 に示す。なお本報では鍛造前の鋼塊の平均断面積を鍛造後の断面積で割つた値を鍛造比と定義する。鍛造比 2 の試料は素材の都合により表のような工程によらざるを得なかつた。

* 昭和30年10月本会講演大会にて発表

** 日立製作所, 工博

*** 日立製作所日立研究所