

- 4) H. Wiesecke: Die Herstellung von Springfederdraht aus gehärtetem weichen Flusstahl, (1931), 21
 5) 西岡: 金属学会誌, 19 (1955), 571; 20(1956),

- 181
 6) R. H. Aborn: Metal Progress, (1955) Dec. 113

ピーニング用ショットについて (VI)*

(クリーニング効果におよぼすショットの影響)

内山道良**・上正原和典**

ON THE SHOT FOR PEENING (VI)

(Effect of Shot on the Cleaning Effect)

Michira Uchiyama and Kazunori Kamishohara

Synopsis:

The steel will bear, generally, a crinkly, clean surface after shot-peening and therefore the authors define the "cleaning action" as such. But the authors had little informations as to the effect of cleaning on the advantage of fatigue strength, which was a proper aim of shot-peening, the influence of shot properties on the cleaning, the effect of heating on the fatigue strength thus obtained, and so on.

To get an explanations for these problems, the authors investigated the residual stress and fatigue strength of self-hardening Ni-Cr-Mo steel specimens, which had been peened with round or as-cut shots on their polished or as-rolled surfaces, the drop of fatigue limit by heating in the vacuum after peening.

Some of the new results obtained were:

- 1) The peening effect, which had been used somewhat vaguely hitherto, was divided into two factors; the residual stress effect and the cleaning effect.
- 2) The residual stress effect decreased by heating over 300°C and the cleaning effect was affected by the initial surface conditions of specimens.
- 3) The above-mentioned two effects took their appearances with increase of the fatigue strength.
- 4) The shape of shot had an influence both on the residual stress and the cleaning effect.

I. 緒言

多くの場合ショットピーニングをうけた鋼の表面は梨地状の清浄なものとなるのでわれわれはこれをクリーニング作用と呼んでいるが²⁾, このクリーニング作用が疲労強度の上昇という^{3)~8)}ピーニング本来の目的にどのような影響を与えるか, またショットの条件によつてクリーニング作用はどうかかわるか, あるいはこうして与えられた疲労強度は加熱によつてどう変化するかというような点の研究はまだ絶無に近いようである. そこで筆者らはこれらの諸点を究明するため, Ni-Cr-Mo系自硬鋼の完全研磨肌および圧延したまゝの黒皮肌を対象とし, これに球状または切放したまゝのショットによる

ピーニングを施した後, 残留応力や疲労強度を測定したり, さらに真空中での加熱を行つて疲労限の変化をしらべたところ, 従来知られていない二, 三の新事実を確認したのでこゝにその概要を報告する.

II. 試料および実験法

試料としては Table 1 に示したような化学成分のものを選んだが, これはピーニングを施した試片を高温に加熱して残留応力を除去してから常温迄冷却してもピーニング加工前と同じ組織と機械的性質とを維持させるこ

* 昭和 32 年 4 月本会講演大会において発表

** 三菱鋼材(株)本社製作所研究課

Table 1. Chemical composition of a fatigue test specimen.

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

Table 2. Conditions of the specimen.

Sample No.	Treatment	Remarks
1	S → B → H	S : Softend, cooling from 650°C×20mn (air); Hv 320
2 a	// → // → // → Pa	B : Ground & finished by buffing
2 b	// → // → // → Pb	H : Hardened, cooling from 850°C×20mn (vacuum); Hv 475
2 c	// → // → // → Pc	Pa : Peened with round shots
3 a	// → // → // → Pa → H	Pb : // 50% round+50% as-cut shots
3 b	// → // → // → Pb → H	Pc : // as-cut shots
3 c	// → // → // → Pc → H	Aa : Stress relieved, heating up to 200°C×20mn (vacuum); Hv 320
4	// → H	Ab : // 350°C // //
5 a	// → // → Pa	Ac : // 400°C // //
5 b	// → // → Pb	Ad : // 450°C // //
5 c	// → // → Pc	Ae : // 500°C // //
6 a	// → // → Pa → H	Af : // 600°C // //
6 b	// → // → Pb → H	
6 c	// → // → Pc → H	
8	// → B → Pa	
9 a	// → // → // → Aa	
9 b	// → // → // → Ab	
9 c	// → // → // → Ac	
9 d	// → // → // → Ad	
9 e	// → // → // → Ae	
9 f	// → // → // → Af	

とができ、しかもこれがピーニングに好都合な状態であつて前報迄の結果とそのまゝ対比できることを考慮したためである。

試片は第Ⅱ報⁹⁾同様の残留応力測定用のものおよび正規の4kgm型シェンク式疲労試験用のもので、これにTable 2の処理を施した。

また使用ショットは0.8mmのカットワイヤーショットで、形状別に切放したまゝのものと球状のものゝ2種類を用いたが、さらに今回はショットの形状効果だけをと上げるため、熱処理によりその硬さ基準をHv 726にそろえて被加工試片よりはるかに硬くしたゝめ実験中形状の変化を考慮する必要はなかつた。

つぎにピーニングの条件であるが、これはすでに報告¹⁰⁾したとおりの試験用ピーニング機の回転数を6000 r.p.m.としたもので、ホイールの周速は47.1m/secであり、ショットの投入量は試片の片面に対し1kgである。

III. 実験結果

(1) ショット形状の影響

1. 残留応力の変化

残留応力測定用の試片にTable 2の処理の中2a~2cおよび5a~5cを施した後、腐蝕法により残留応力

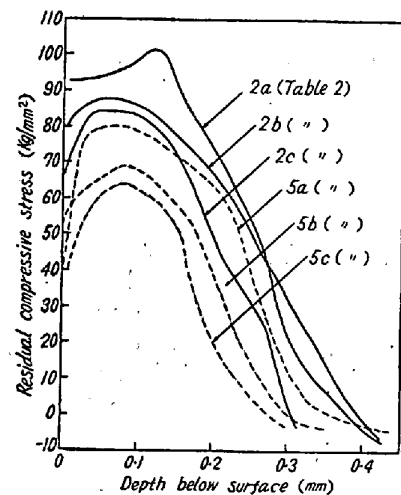


Fig. 1. Residual stress distributions in the specimen, peened with round or as-cut shots.

を測定した結果はFig. 1に示すとおりであるが、これによれば試片が完全研磨であるのと黒皮のまゝであるのとは関係なく、角のあるショットの使用は残留応力の上昇に不利なことが明らかである。そしてこのことは前報⁹⁾に一部説明したことを完全に裏付けている。

2. 疲労強度の上昇

疲労強度測定用の試片にTable 2の処理の中1および2a~2c並に4および5a~5cを施した後、それ

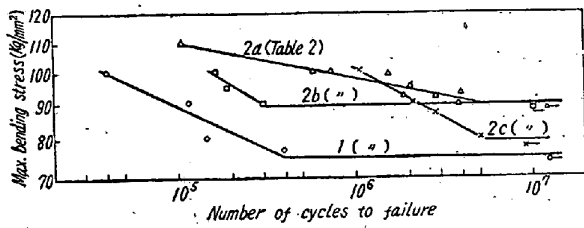


Fig. 2. S-N diagrams for specimens, polished or peened, after polishing.

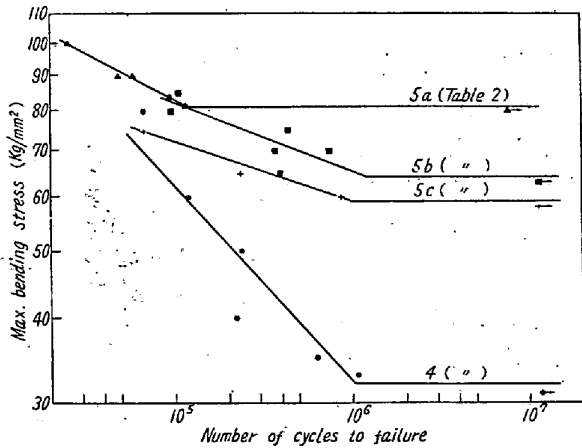


Fig. 3. S-N diagrams for specimens, as-rolled or peened or peened on the as-rolled surface.

それぞれの疲労強度を測定した結果は Fig. 2~3 に示すとおりであるが、これによれば研磨した試片と黒皮のまゝの試片の別なくショットピーニングは常に疲労強度を増しその程度は球状ショットが最大でこれに切放しショットが混ざるほど効果を減少するはもちろん、これらの効果の増減は研磨したものより黒皮のものがいちじるしく、また研磨したものは黒皮のものより高い値を示すことが明らかになった。

(2) 加熱の影響

1. 残留応力の変化

残留応力測定用の試片に Table 2 の処理の中 8 および 9a~9f についての残留応力を前記と同様に測定した結果、その値は加熱とともに減少し Fig. 4 のような変化を示すことが明らかとなった。すなわちピーニングを施したものに対する許容加熱限度は 300°C ということになる。

2. クリーニング効果

疲労強度測定用の試片に Table 2 の処理の中 1 および 3a~3c 並に 4 および 6a~6c を施した後それぞれの疲労強度を測定した結果は Fig. 5~6 に示すとおりであるが、これによれば研磨を完全に行つた試片の場合、ピーニング後残留応力を完全に除去して表面肌だけをピーニングしたときと同一に保つた場合の疲労強度

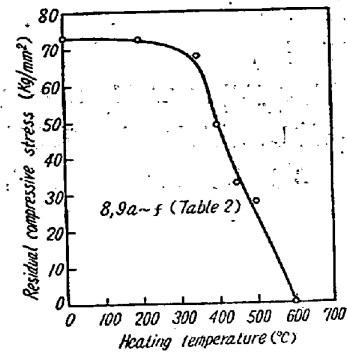


Fig. 4. Relation between residual compressive stress and heating temperature.

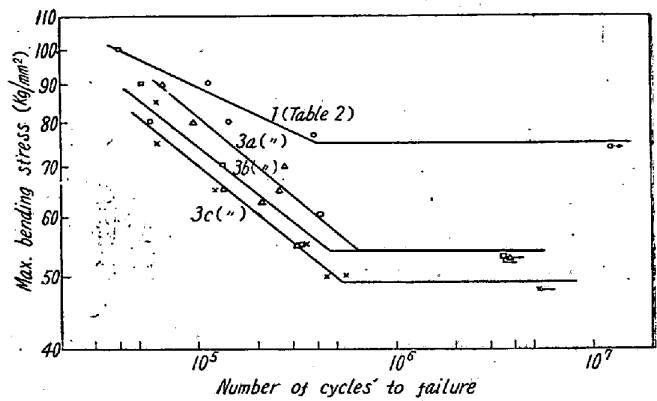


Fig. 5. S-N diagrams for stress relieved specimens, peened after polishing.

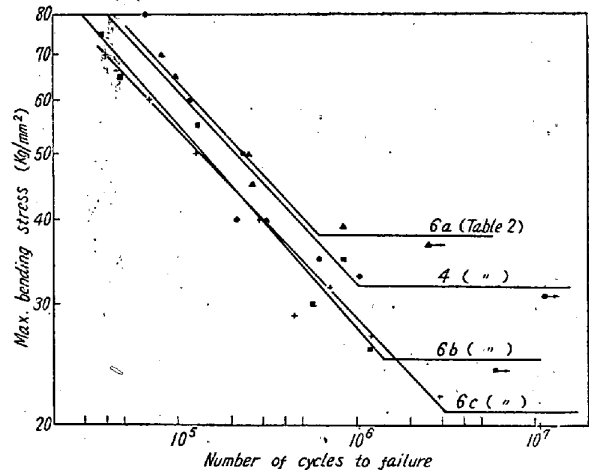


Fig. 6. S-N diagrams for stress relieved specimens, peened on the as-rolled surface.

はもとの研磨状態より低くなる。そしてこれは Table 3 と文献 11 の関係からもピーニングによつて生じた梨地肌の悪影響であるといえるし、その程度は当然のことながら切放したまゝのショットを用いた場合にとくにいちじるしくなつてゐる。つぎに黒皮試片の場合であるが、この場合も原則的には研磨試片と全く同一のことがいえる許りでなく、同時に黒皮自身の肌の影響が大きいためか球状ショットを用いたときに限りわずかに疲労強度が改

善されるのを認めた。

3. 疲労強度の低下

疲労強度測定用の試片に Table 2 の処理の中 8 および 9a~9f を施した後それぞれの疲労強度を測定した結果は Fig. 7~8 に示すとおりであるが、これによれ

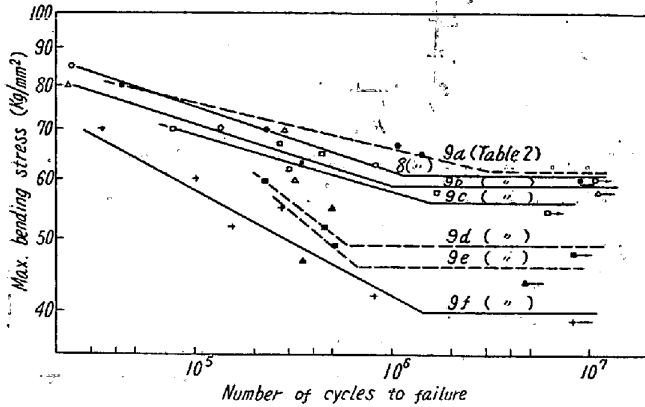


Fig. 7. S-N diagrams for partially stress-relieved specimens, peened after polishing.

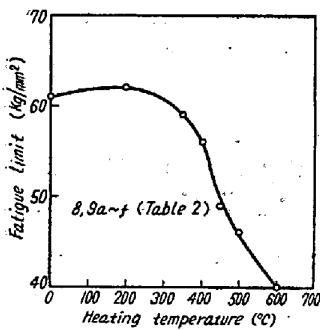


Fig. 8. Effect of heating on the fatigue limit of the peened specimen.

ば試片の硬度は Table 3 のごとくほとんど同一（したがって引張強さも同一¹¹⁾で疲労強度も同一¹⁵⁾と見做しうる）であるにもかかわらず疲労強度は加熱とともに減少している。そしてこの場合も既述のごとく、ピーニングを施したものに對する許容加熱温度は 300°C ということになった。

IV. 考 察

(1) ピーニング効果の分割

ショットピーニングが疲労強度を上昇するという所謂ピーニング効果はつぎの2つに分けられる。

1. 残留応力効果

この実験で、2a~2c と 3a~3c または 5a~5c と 6a~6c を比較すると、両者の違いは残留応力の有

無だけであるので、相互間の疲労限の差はそのまゝ残留応力の効果といい得るがその有様は Fig. 9 のとおりで、効果は研磨したものより黒皮のものにいちじるしく、また角のあるショットが多量になるほど減少する。

2. クリーニング効果

上記の実験中、1 と 3a~3c または 4 と 6a~6c を比較すると、両者の違いはショットの衝突による肌の変化だけであるので、双方の疲労限の差はそのまゝ肌の影響といい得るが、その有様は Fig. 10 のとおりである。そして研磨した試片の肌がピーニングにより梨地になることは常に疲労強度を下げるものでありその程度は球状のショットでもかなりいちじるしく、切放したまゝのものが加われ

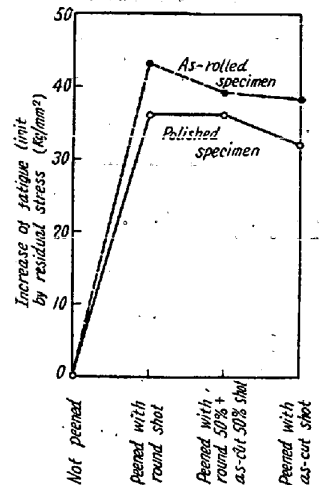


Fig. 9. Effect of residual stress on the fatigue limit of specimens.

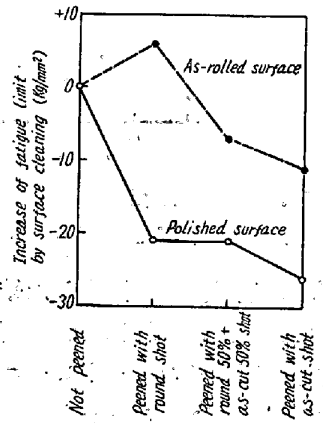


Fig. 10. Effect of surface condition on the fatigue limit of specimens.

ば一層助長される。しかし試片が黒皮の場合は、球状ショットを用いた場合の疲労限は上昇するし、切放しショットが混じた場合の疲労限の低下も磨いた試片ほどいちじるしくはない。そしてこの理由は梨地肌にもとづくノッチの負効果と黒皮表面の欠陥除去による正効果の相殺と考えられる。なお今回の実験では試片をバフ仕上げしたときの疲労限 75 kg/mm² に対し黒皮試片の場合が 32 kg/mm² でなり高目であるが、もし黒皮肌が一層荒くその疲労限がこれより低い場合¹²⁾¹³⁾にはクリーニング効果はもつと目立つたものとなるはずである。

Table 3. Hardness of specimens after heating.

No.	8	9 a	9 b	9 c	9 d	9 e	9 f
Heating temperature (°C)	0	200	350	400	450	500	600
Hardness of specimens (Hv)	321	320	317	326	321	326	317

(2) ピーニング効果におよぼす切放しショットの影響

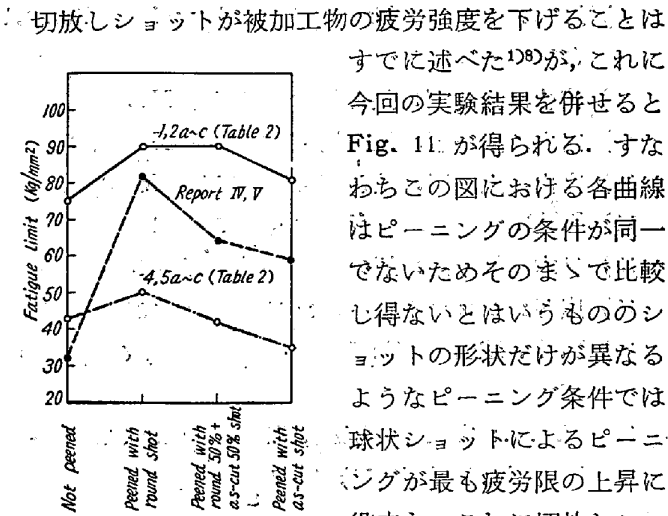


Fig. 11. Relation between the fatigue limit and the state of shot.

すでに述べた¹⁾が、これに今回の実験結果を併せると Fig. 11 が得られる。すなわちこの図における各曲線はピーニングの条件が同一でないためそのままと比較し得ないとはいうもののショットの形状だけが異なるようなピーニング条件では球状ショットによるピーニングが最も疲労限の上昇に役立ち、これに切放しショットが加わるほどその効果は失われる。そしてその減少度合は、完全バフ仕上げの試片に対してはおよそ 10 kg/mm²、エメリー 000 仕上げの試片に対しては 15 kg/mm²、黒皮のままの試片に対しては 20 kg/mm² となつて表面の粗いものに対するほど大きい。したがつてもし球状ショットについての設定されたピーニング条件がこの数値を下廻るとすれば、切放しショットの使用は反つてピーニング前より疲労強度を低下させることになる。

(3) 加熱時における残留応力と疲労強度との関係

加熱によつて失われるピーニング効果の研究は本報以外に Zimmerli¹⁴⁾ の鋼線コイルばねに対するものがある。その報告で同氏はピーニング効果が 400°F で失われ始め 820°F で完全に零になることを図示しているが

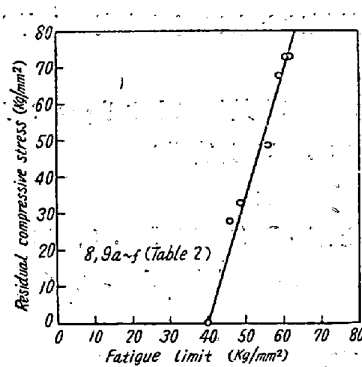


Fig. 12. Relation between the residual stress and fatigue limit, under stress relief heating.

これは本報の結果にかなり似ている。今 Fig. 4 と 8 から Fig. 12 を画いて見ると、加熱にともなつて減少する残留応力と疲労強度との関係が直線的なものであることがわかるが、これは他の一切の条件が除去された場合の両者の関係と見做し得る。

(4) ピーニングにおけるショットの丸さ効果

ピーニングの場合、球状ショットだけによる疲労限から切放しショットだけによる疲労限を差引けば、これはピーニングに対するショットの丸さ効果ということになる。そして Table 4 はこのショットの丸さ効果が試片のピーニング前の状態でどのように変るかをまとめたものであり、被加工物表面が悪いほど効果がいちじるしいことをものがたつている。

V. 総 括

今回の実験は、種々の状態に処理した試片に対するピーニング上からの残留応力と疲労強度の測定で、ピーニング効果の本質をとらえるのを目的としたが、これによりつぎのことを知り得た。

1) 従来莫然としていたピーニング効果を残留応力効果とクリーニング効果とに分割した。

2) この中残留応力効果は 300°C 以上の加熱によつて変化し、クリーニング効果は被加工物の初めの状態に左右される。

Table 4. Surface condition before peening and effect of shot roundness.

Grade of steel	Surface condition	Condition of fatigue specimen			Roundness* effect of shots (kg/mm ²)	Remarks
		Surface roughness (μ)	Hardness (Hv)	Thickness (mm)		
Ni-Cr-Mo	Buffed to finish	<0.1	475	6	9	—
Si-Mn	000 emery	<1	372	7	14	Report No. V
Ni-Cr-Mo	As rolled	15	475	6	22	—

* Roundness effect of shots = {Fatigue limit of specimens, peened with round shots} - {Fatigue limit of specimens, peened with as-cut shots}

3) そしてこれらの両効果はともに疲労強度の上昇という形で現れる。

4) ショットの形状は残留応力効果にもクリーニング効果にも影響する。(昭和 32 年 7 月寄稿)

文 献

1) 内山, 上正原: 鉄と鋼 43 (1957) No. 8, 42

2) G. D. Dill: Iron and Steel Engineer, 5 (1957) 123

3) R. L. Mattson, W. S. Coleman: SAE Transactions, Vol. 62 (1954) 546

4) R. L. Mattson: SAE Transactions, Vol. 62 (1954) 416

5) ASM Committee on Shot Peening: Metal Progress, Vol. 66 (1954) 1, 104

6) J. C. Straub, D. May: The Iron Age, Vol. 163 (1949) 15, 66

7) J. O. Almen: Product Engineering, Vol. 21 (1950) 11, 117

8) 内山, 上正原: 鉄と鋼 43 (1957) No. 5, 19

9) 内山, 上正原: 鉄と鋼 42 (1956) No. 7, 27

10) 内山, 上正原: 鉄と鋼 41 (1955) No. 8, 13

11) SAE: SAE Handbook (1957) 121

12) 日本鉄鋼協会: 鋼の熱処理 (昭32) 416, 542

13) 広瀬: ショットピーニング (昭30) 180

14) F. P. Zimmerli: Metal Progress, 6 (1952) 97

15) U.S.S.: The Making, Shaping and Treating of Steel (1951) 1407

正 誤 表

“鉄と鋼” 43 No. 9 (1957)

頁	行	誤	正
p. 891	左下から 11 行目 左下から 7 行目	陶磁器容量 Sulphur and Effectuality	陶磁器容器 Sulphur, and Effectuality
p. 892	Table 3.	one solid acid	one solid boat
p. 1031	Fig. 1, Fig. 2,	quarty quarty	quartz quartz