

ピーニング用ショットについて (III)*

(ショットの硬度が残留応力におよぼす影響)

内山道良**・上正原和典**

ON THE SHOT FOR PEENING (III)

(Effect of Shot Hardness on the Residual Stress)

Michira Uchiyama and Kazunori Kamishohara

Synopsis:

Results of an investigation into the effect of shot hardness on residual stress induced in the sub-surface layer of specimen are reported in this paper. Analyses of residual stress were made by the dissection method.

Some of the conclusion reached are;

- (1) Residual stress distributions show the tendency to take max. value on the surface when the soft specimen is peened with hard shots, while the rest of combination cause max. point at the inner part of specimen.
- (2) The magnitude of max. residual stress is concerned to the hardness of specimen, and the min. shot hardness to take the full gain of this value is equal to that of specimen.
- (3) Size or velocity of shot has minor effect on the magnitude of residual stress in specimen.
- (4) Depth of cold-worked layer increase as the hardness of specimen decrease or using harder shot.
- (5) In the industrial viewpoint, hardness of shot is desirable to be same with that of work.
- (6) Almen test strip is useful to measure the residual stress as it is or tempering at low temperature to the same hardness of the work.

I. 緒 言

ショットピーニングを施すと、被加工物の表面には清浄化・凹凸化・硬化・等の現象が起るが、ピーニング効果すなわち疲労強度の上昇と最も関係が深いのは残留応力である。^{1)~5)}ところがこの残留応力については加工時間⁶⁾・ショットの寸法⁵⁾・衝突速度⁵⁾がそれぞれ加工層の深さを変えらるということが知られている以外、被加工物の降伏強度の 1/2 にも達するといわれている¹⁾⁵⁾値の原因そのものについてはまだ明らかにされていない。筆者等はこの点の解明への一段階として被加工物の硬度とショット硬度の広範な組合せによつて生ずる残留応力の測定を行つたが、以下はその実験の一部であり、軟質ショットを使用した場合における寿命上での有利さや⁷⁾、被加工物表面の凹凸をなるべく小さく、しかもピーニング効果を十分に得ることの特徴⁸⁾等を考慮に入れた上で被加工物の硬度に應ずるショットの硬度は如何にあるべきかを決定したものである。

残留応力測定用の試片としては、SAE 5160 鋼を種々の条件で熱処理して数段階の硬度としたものを使用しこれにアルメンストリップを補足した。つぎにこれらの化学成分・寸法・熱処理条件・機械的性質を Table 1 ~2 として示す。またショットとしては鑄鉄・鑄鋼・カットワイヤー・アームコ鉄・銅・アルミニウム・鉛などのものを使用したが、これは広い範囲に分散した各硬度のショットを利用するためである。なおその寸法・熱処理条件・機械的性質・を Table 3 として示す。

前述の試片はその表面を完全な平面となし、0000までエメリー仕上げを行つた後第 I 報に説明した試験機によりホイール回転数 6,000 rpm, 投入ショット量 1kg の条件でピーニング処理を行つた。つぎに試片は 20% の硝酸で加工面を 0.01~0.03 mm ずつ均一に腐蝕除去するとともに、厚さおよび曲率を測定し、つぎに示す川田式⁹⁾の修正式から試片の平坦な状態における応力を算出した。

II. 試料および実験法

* 昭和 30 年 10 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

$$\sigma = \frac{E_1(h-a)^2}{6} \frac{d}{da} \left(\frac{1}{\rho} \right) - \frac{2E_1(h-a)}{3} \frac{1}{\rho}$$

$$+ \frac{E_1}{3} \int \frac{1}{\rho} + \frac{E}{\rho_0} \frac{h-2a}{2}$$

Table 1. Chemical composition, size and mechanical properties of specimen.

Chemical composition (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr
	0.56	0.33	0.81	0.029	0.021	0.74
Width × thickness × length (mm)				18.5 × 3.05 × 76		
Heat treatment	Hardness (Hv(5))		Tensile strength (kg/mm ²)			
Oil quenched at 850°C & tempered at 100°C	705		197*			
" " 200°C	618		197*			
" " 300°C	550		182			
" " 400°C	481		157			
" " 500°C	406		130			
" " 600°C	321		100			
Annealed at 500°C	266		88			
" " 760°C	177		66			

* Estimated value

Table 2. Chemical composition, size and mechanical properties of Almen test strip.

Chemical composition* (%)					Width × thickness × length (mm)	Hardness (Rc)
C	Si	Mn	P	S		
0.700	0.180	0.810	0.025	0.035	19.04 × 1.299 × 76.1	46.1

* SAE 1070 Carbon steel

Table 3. Size and hardness of shots.

Kind of shot	Size (mm)	Condition	Hardness (Hv(5))
Cast iron	1.24	As received	640
Cast steel	0.73	"	398
Cut wire	0.6	"	483
"	"	Heat treated	335
"	"	"	242
"	"	"	149
"	0.8	"	726
"	"	"	584
"	"	"	487
"	"	"	381
"	"	"	303
"	"	"	251
"	"	"	162
"	1.0	As received	359
Armco iron	2.0	Heat treated	121
"	"	"	101
Copper	"	As received	84.0
Aluminum	2.6	"	42.1
Lead	2.1	"	21.2

$$E_1 = \frac{E}{1-\mu^2}$$

h = 腐蝕前の試片の厚さ

ρ₀ = 腐蝕前の試片の曲率半径

a = 表面から除去した厚さ

$\frac{1}{\rho}$ = 表面から問題の層まで除去する前と後の曲率の差

σ = 表面から深さ a の層の残留応力

III. SAE 5160 試片による実験結果

SAE 5160 試片による残留応力の測定結果は Fig. 1 ~ 2 に示したがこれによれば、① H_{V(30)} 705 というような硬度の高い試片に対しては軟かいショットでピーニングを行つても残留応力はほとんど生じないが、硬いショットを使えば残留応力はきわめて高くなる。② H_{V(30)} 177 というように試片硬度の低いものに対してピーニングを行つた場合はショットの硬軟は左程影響をおよぼさない。③両者の中間程度の硬度の試片に対してピーニングを行つた場合はショットの硬度が上昇すると、はじめは残留応力は増加するが、ショットの硬度がある限度以上になつても最早残留応力は増加しない。ということがわかり、また Fig. 1~2 について残留応力の最高値だけを整理した Fig. 3 からは各試片の硬度変化とショットの硬度変化の組合せによる残留応力の変化の状況を知る

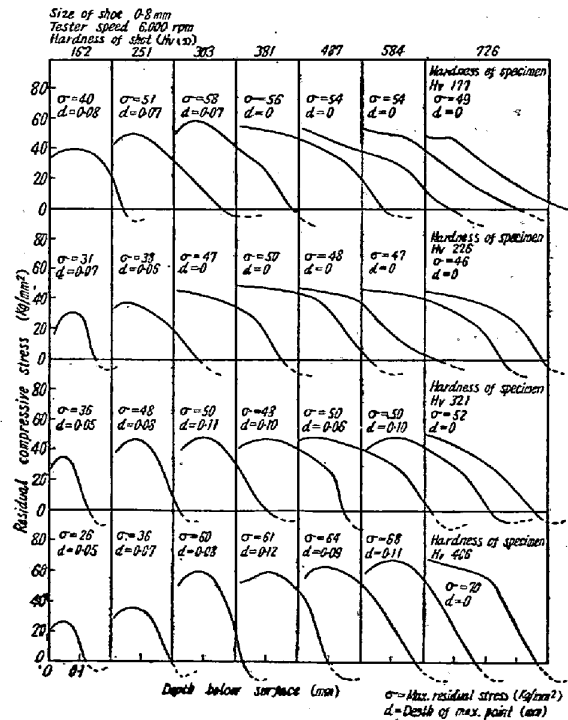


Fig. 1. Residual stress distribution in specimen-(a)

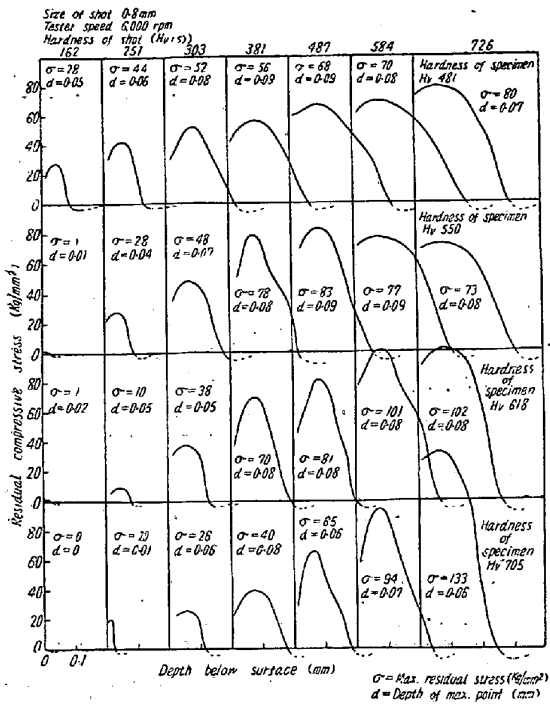


Fig. 2. Residual stress distribution in specimen-(b)

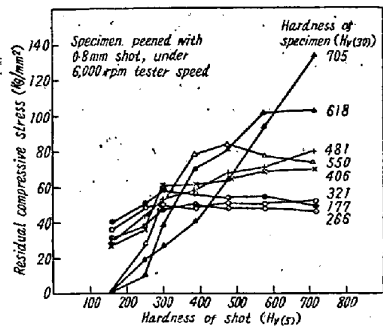


Fig. 3. Effect of shot hardness on the residual stress in specimen.

ことができる。すなわち各試片は自身の有する硬度によつて最高残留応力が決り、この値は硬度の高いものほど大きい値を示しているが、この値を得るためにはショットもある程度硬いこと (H_{v(5)} 400~600) を必要としている。またショットの硬度の変化に伴う加工応力残留層の深さの変化を調べると Fig. 4 のようになるが、これによれば一般的にはショットが軟かければ加工層も浅くなり、また試片が軟かければ逆に深くなつていくことがわかる。

つぎに任意の硬度の試片に附与できる最大残留応力の値を Fig. 5 に示し、またこの残留応力を得るのに必要な試片の硬度とショットの硬度との関係を Fig. 6 に示すが、これによれば残留応力の点からみた場合の被加工物の硬度と、これを加工するショットの硬度は同程度で

あることが好ましいといえよう。

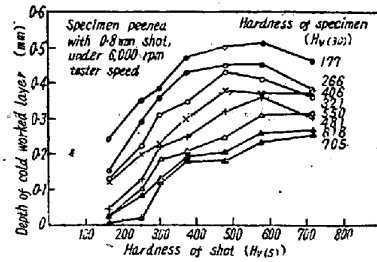


Fig. 4. Effect of shot hardness on the depth of cold-worked layer.

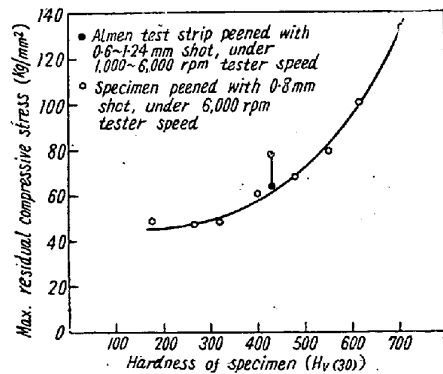


Fig. 5. Hardness of specimen and max. residual stress.

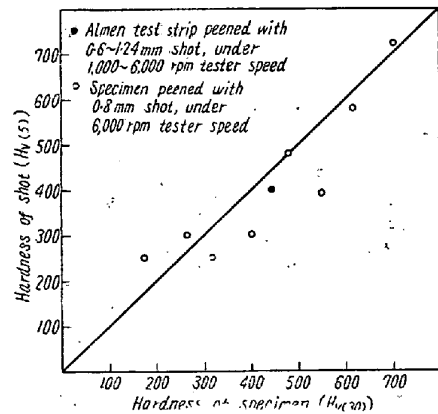


Fig. 6. Shot hardness necessary to gain full residual stress.

IV. アルメンストリップによる実験結果

アルメンストリップが残留応力の測定用試片として役立つとすれば作業上はきわめて便利であるとの考えから前項Ⅱに引続いて類似の実験を行つたが、その結果の内残留応力の測定値は Fig. 7 に、またショット硬度と残留応力の最高値との関係は Fig. 8 に示すごとくつてピーニング加工中残留応力に最も影響をおよぼすものはショットの硬度であること、ショットの衝突速度あるいはショットの寸法はあまり大きな影響をおよぼさないこ

と、アルメンストリップは実験可能範囲が狭い点を除いては Fig. 1~2 の場合より明瞭な曲線をつかみうる便利のあること等がわかる。なお Fig. 8 における曲線の傾向は全く Fig. 3 と同じである。

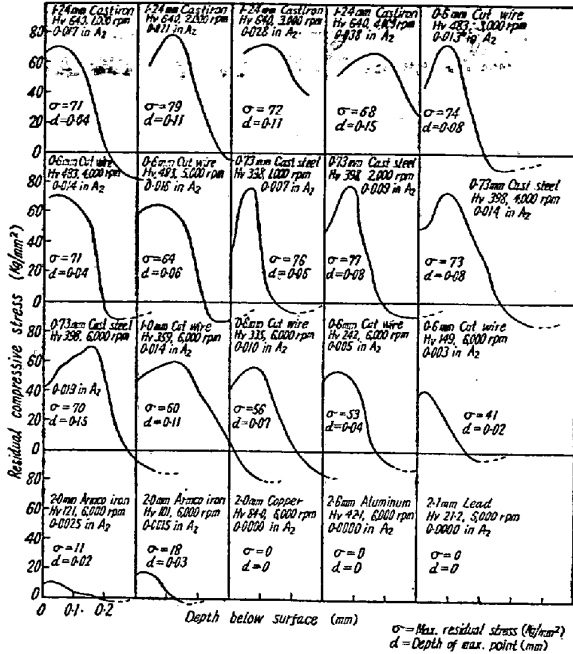


Fig. 7. Residual stress distribution in Almen test strips.

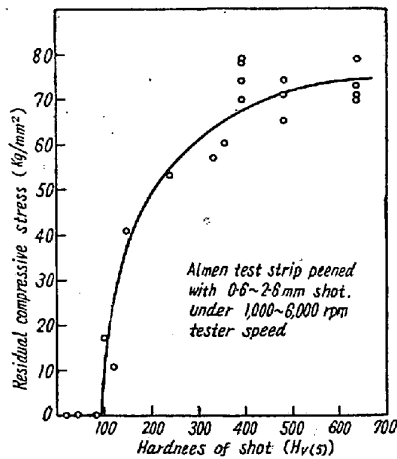


Fig. 8. Effect of shot hardness on the residual stress in Almen test strips.

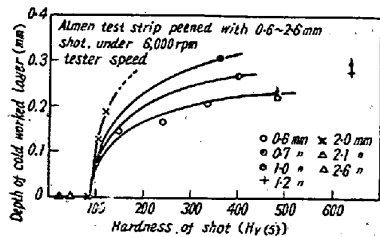


Fig. 9. Effect of shot hardness on the depth of cold-worked layer in Almen test strips.

つぎに加工層の深さに対するショットの寸法および硬度の影響を Fig. 9 として示すが、この傾向は Fig. 4 と全く同じであり、大きいショットほど加工応力残留層が深いことが認められる。

V. 総 括

本実験は2つの部分からなるが、その第一はショットと被加工試片を硬度の上から 56 種類組合せて行つたピーニングで得られる残留応力を整理したものであり、第二はアルメンストリップに 20 種類のショットを用いて行つたピーニングで得られた残留応力を示したものであるが、これによれば、

- 1) 軟かい被加工物を硬いショットでピーニングすると残留応力は表面で最大となるが、その他の場合は表面から少し入つた所に最大値がある。
- 2) 残留応力最高値の大小は被加工物の硬度の大小で決定されるが、これを得るにはある程度以上の硬度のショットが必要であり、被加工物は硬いほど、またショットは Hv 400~600 以上であることが最高残留応力を得る条件となる。
- 3) ショットの寸法および衝突速度が残留応力に与える影響はあまり大きくない。
- 4) ピーニングによる応力の残留層は一般に試片が軟かいほど、ショットは硬いほど深い。
- 5) 工業的にみるとショットの硬度は被加工物の硬度と同等であることが望ましいといえよう。
- 6) 多くのピーニング用被加工物はアルメンストリップと同程度以下の硬度であるから、このような場合にはストリップを焼戻(低温加熱)して被加工物と同じ硬度にして使用すれば残留応力測定用試片としてきわめて有効である。(昭和 31 年 3 月寄稿)

文 献

- 1) R. L. Mattson, W. S. Coleman: SAE Transactions, Vol. 62 (1954) 546
- 2) R. L. Mattson: SAE Transactions, Vol. 62 (1954) 416
- 3) ASM Committee on Shot Peening: Metal Progress, Vol. 66 (1954) 1, 104
- 4) J. C. Straub, D. May: The Iron Age, Vol. 163 (1949) 15, 66
- 5) J. O. Almen: Product Engineering, Vol. 21 (1950) 11, 117
- 6) 大野, 高津, 宮川: ショットピーニング加工法の研究 (昭27) 日本金属学会秋期講演大会にて講演

- 7) 内山道良, 上正原和典: 鉄と鋼 41 (昭30) 8, 13
8) 内山道良, 上正原和典: 鉄と鋼 41 (昭30) 10, 21

- 9) 川田雄一: 日本機械学会誌 55 (1952) 406, 12

Timken 16-25-6 の高温機械的性質に関する研究 (III)*

長谷川太郎**・落合 治**・稲生 順一**

STUDIES ON MECHANICAL PROPERTIES AT ELEVATED TEMPERATURE OF Timken 16-25-6 (III)

Taro Hasegawa, Osamu Ochiai, and Junichi Ino

Synopsis:

Authors studied the effect of reduction of the hot-cold working on creep rupture properties at 650°C, 31.5kg/mm². The results are as follows:

1. It was observed by macroetching the transverse section of the specimen that hot-cold-worked specimen was not worked uniformly in its section. When it is finished in square section by hot-cold working, severely stressed portion disperses in diagonal line. When it is finished in round section, severely stressed portion concentrates in the center. The reduction of working of the specimen differs fairly with the location in the square section from which specimen is taken. So, a round bar is used to study the effects of the reduction of hot-cold working.

2. Creep resistance increases by the reduction of working to the critical value, but exceeding this limit it decreases. This critical value of the reduction of working is dependent on the working temperature and the pre-treatment of hot-cold working.

3. Three specimens were picked from the different locations in a section of 40mm square bar which was hot-cold worked. Creep characteristics of the specimens differs owing to their location where they are taken.

I. 緒 言

前報において Timken 16-25-6 の高温機械的性質におよぼす H. C. W. の加工温度及び加工度の影響につきのべた。前報の実験では H. C. W. の加工温度を上昇すればクリープ抵抗、高温引張強度は減少し、韌性は増加することを明らかにできたが、加工度の影響は明らかでなかつた。ところで前報の実験に供した 15mm 手 素材の横断面を調査するとつぎにのべるごとく必ずしも均一な加工を受けていないことが認められたので、今回は丸材に H. C. W. した試料について前報同様の実験を試みるとともに角材に H. C. W. した大型素材各部の高温機

械的性質を調査した。

II. 供試材および実験法

H. C. W. の加工条件の影響をしらべる試料は前報と同一溶解のものを使用し、大型素材は別の溶解のものを使用した。各々の化学成分は Table 1 のもので何れも標準成分の Timken 材である。

(1) 小型試験材製造法

鍛錬比 5 以上の 30mm 手 素材を 20mmφ に鍛伸しこれを長さ 120mm に切断した素材 9 個を用いた。この中 3 個は鍛造のまま、残 6 個は 1150°C×1h 水冷の固溶化処理後爾後の H. C. W. を施した。H. C. W. 前に

Table 1. Chemical composition of tested material.

Symbol	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Form of forged bar
T 8	0.07	0.65	1.82	0.014	0.024	15.92	24.88	6.72	0.150	20mmφ forged bar
T 11	0.05	0.61	0.61	0.013	0.032	15.79	25.48	5.95	0.092	40mm 手 forged bar

* 昭和 30 年 10 月 2 日秋期本会講演大会にて発表 ** 住友金属工業 K. K. 製鋼所