

その前面で自由晶の生成沈下を繰返しつつ生長するが、熔鋼の温度が次第に低下し、温度勾配が殆んど消失し、鋼熔全体が略々凝固点に達する頃になると、自由晶の発生傾向は益々大となり、樹枝状晶の生長は殆んど停止し場合によっては樹枝状晶と自由晶とが混合して生ずる事がある。

樹枝状晶の形成が完全に停止した時は、恐らく熔鋼には多数の自由晶が懸濁し、自由晶の沈下は熔鋼の粘性および他の自由晶の存在により障害を受けて自由には行われないのであろうが、次第に下方に沈下堆積したり、側方の凝固殻に附着したりして自由晶帯が形成され、熔鋼は次第に富化されながら上方に押し上げられるであろう。この故に自由晶帯は沈澱晶帯の延長とも見做される。強い負偏析をなす沈澱晶帯から自由晶帯に移ると、上述の理由により上方に行くに従つて、負偏析の程度は次第に弱くなり、無偏析の状態を通つて正偏析に転じ、鋼塊の押湯直下では鋼塊全体で最強の正偏析を示すのである。

斯様にして形成された自由晶帯には、樹枝状晶層の A

偏析帯類似の性質を有する V 偏析帯が存在する。V 偏析は鋼塊の頂部に行くに従つて激しくなるが、押湯直下では消失する。(Fig. 1 参照) また V 偏析帯は A 偏析帯の偏析線程、整つてはいないが比較的太い偏析線群<sup>2)</sup>より成り(Fig. 1, 2 参照)、これ等の偏析線は頂点を下に持つ円錐面上に排列し、縦断面においてはその名称の示す様に V 状をなし、横断面では輪状の A 偏析の内側に同心円に沿つて現われる。この偏析線も A 偏析帯の夫れと同様と云うよりは寧ろ甚しい欠陥を包含する事が多く緒言で述べた目的を果すためには論議の対象として両者に軽重はないが、V 偏析帯が鋼塊の中心部に存在し、その分布簡囲も狭く、偏析帯に比し大型炭素鋼鋼塊においては實際上問題となる場合も比較的少いので、V 偏析帯の議論は次の機会に譲る事とする。(続く) (昭和 30 年 2 月寄稿)

2) V 偏析は自由晶帯中に存在するが、偏析線は顕著な樹枝状晶的な構造を有する。(Fig. 3 参照)

## ピーニング用ショットについて (I)\*

内山道良\*\*・上正原和典\*\*

### ON THE SHOT FOR PEENING (I)

*Michira Uchiyama and Kazumori Kamishohara*

#### Synopsis:

Maintenance of certain percentage of perfectly round shots, while removing the broken shots and replacing those with new shots, is important in shot-peening treatment. With respect to this process, the life of shots will affect the necessary amount of supply, and stands as one of important factors which determine the economy of peening operation.

The authors investigated the life of several ferrous and non-ferrous shots by a specially designed testing machine. The results obtained were as follows:

Life of larger, harder and faster traveling shots was low, but could obtain higher peening intensity. Comparison of life of ferrous shots, under the same peening intensity, showed that the steel cut wire shot had the longest life followed by that of cast steel and cast iron shots.

#### I. 緒言

ピーニング処理の際、規定のピーニング強度、カペレージ等の条件の下で安定な作業を行うためには、破損したショットを速かに除去すると同時に新しいショットを補給して完全なショットの量のある%以上に維持しなければならない。この際ショットの寿命の長短ということが補給量に大きく影響し、ピーニングの経済的操業を決定する要素の一つとなる。近時わが国でもピーニング

処理が諸所で行われるようになり、これに関する研究の発表もいろいろと行われているがショットに関する研究は未だないようで、海外では米国の文献<sup>2)</sup>に散見せられるに過ぎない。本報告は筆者等が行つたショットに関する一連の実験の内、各種鉄鋼ショット並びに非鉄ショットに対してその寿命の調査比較を行つたものである。

\* 昭和 29 年 4 月本会講演大会にて発表

\*\* 三菱鋼材本社製作所研究課

Table 1. Shot sample

Kind of shot	No.	Chemical composition %					Hardness Hv(5)	Diameter mm	Remarks
		C	Si	Mn	P	S			
Pure iron	17	0.13	tr.	0.031	0.006	0.020	121 (117~125)	2.00	Cut wire shot of Armco iron
	18	//	//	//	//	//	101 (93~108)	1.00	
Cast iron	2	3.47	1.38	0.40	0.270	0.052	550 (516~584)	1.66 (1.5~1.9)	Includes considerable blow holes
	3	3.43	1.36	0.43	0.230	0.064	509 (473~524)	1.36 (1.2~1.5)	
	4	2.87	0.34	0.16	0.140	0.142	594 (558~644)	0.78 (0.5~1.1)	
	8	3.48	1.42	0.41	0.230	0.071	592 (566~666)	1.18 (1.0~1.4)	
	9	3.35	1.21	0.47	0.244	0.071	605 (532~677)	1.78 (1.5~2.1)	
	10	3.24	0.57	0.28	0.192	0.128	584 (532~633)	1.81 (1.6~2.1)	
Cast steel	5	1.45	0.98	0.72	0.105	0.093	398 (367~429)	0.73 (0.6~0.9)	Tru-steel shot No. 230
		0.58	0.22	0.43	0.031	0.028	343 (329~353)	1.23 (1.20~1.24)	Cut wire shot
Steel wire	7	0.59	0.25	0.45	0.028	0.027	372 (358~396)	1.04 (1.02~1.05)	//
	16	0.69	0.24	0.62	0.032	0.019	472 (441~509)	1.0	//
	19	0.45	0.25	0.52	0.024	0.028	483 (423~516)	0.6	//
Copper	13						84.0 (71.6~99.0)	2.00	//
Aluminium	14						42.1 (41.3~43.6)	2.60	//
Lead	15						21.2 (19.4~23.2)	2.1 (1.9~2.3)	Pellets for gun

II. 試 料

本実験に供した試料は純鉄、鋳鉄、鋳鋼、鋼線、銅、アルミニウム、鉛などであるが、その化学成分、硬度、大きさ等は Table 1 に示す如くである。なお測定上特に注意を要する粒度は Cargill 法<sup>2)</sup>によつたことを附記する。

III. 試 験 機

ショットの寿命試験機は現在数種類考案されてい<sup>3)~5)</sup>るが本実験に使用した試験機は American Wheelabrator & Equipment Corp. 製<sup>6)</sup>の Shot break down tester と同形式で、その構造は遠心式ショットピーニング機と似ており、ただ被加工物の代りに内面にインポリュートの歯面を有するターゲットを使用するものである。その外観を Fig. 1 に示す。即ち試料ショットを上ホッパー A に投入するとギヤボックス B 内の中空ピニオン軸中を落下し、ターゲット C の内部にあるホイール (直径 150mm) のブレード (8枚, 62mm×25mm×5mm) に乗る。ブレードに乗つたショットは遠心力により投射され、内面にインポリュートの歯 (17個 硬度 Hv 487~585) を有するターゲット C にほとんど垂直に衝突、落下し、集収用ホッパー D に集められた後容器に集積する。ホイールはモーター G に附属する変速

用ハンドル H により、1,000~6,000r.p.m. の筒囲で運転され、回転数はタコメーター F で直読するようになってゐる、I は V ベルトでプーリー比は 1:2、また歯車比も 1:2 となっている。

本試験機の特徴は各投入回数に対するショットの破壊量を測定しうるのみならず、ホイールの回転数を調節することにより種々ピーニング強度の下での寿命を測定できることであり、このため特別なターゲットが造られ、破壊試験の場合とほとんど同じ条件下でピーニング強度を測定することができるようになってゐる。即ちホルダーブロックにアルメンストリップを取付けその片面にピーニングを施した後その反りをアルメンゲージ No. 2 で測定するのである。なおこの場合アルメンストリップ A およびアルメンゲージ No. 2 は何れも SAE 規格<sup>7)</sup>に準拠したものである。

ショットの寿命を測定するにはショット破壊試験機をある一定のホイールの回転数にしてから 100g のショ

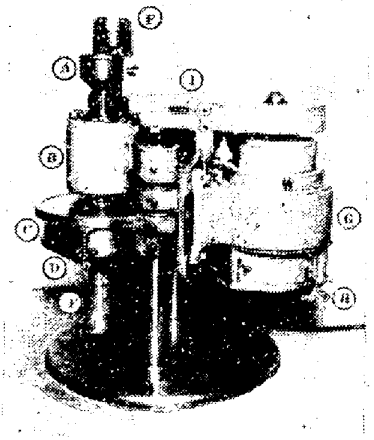


Fig. 1. Shot breakdown tester

ットを投入し、取出口から出たショットを再び上のホッパーに投入する。この操作を繰返し破壊せざるショットの量を縦軸に、投入繰返し数を横軸にとると寿命曲線を得る。この寿命曲線より全量の 55% が破壊するに要する投入繰返し数を求め、これをその回転数における該ショットの平均寿命<sup>(6)</sup>とした。勿論、被加工物の材質、衝突角度その他によつてこの値は変るから単にショット間の比較値に過ぎない。

#### IV. 測定結果

##### 1. 破壊試験

Ⅲ. に述べた方法により寿命の測定を行つたが、6000 r.p.m. における寿命曲線を Fig. 2 に示す。これによ

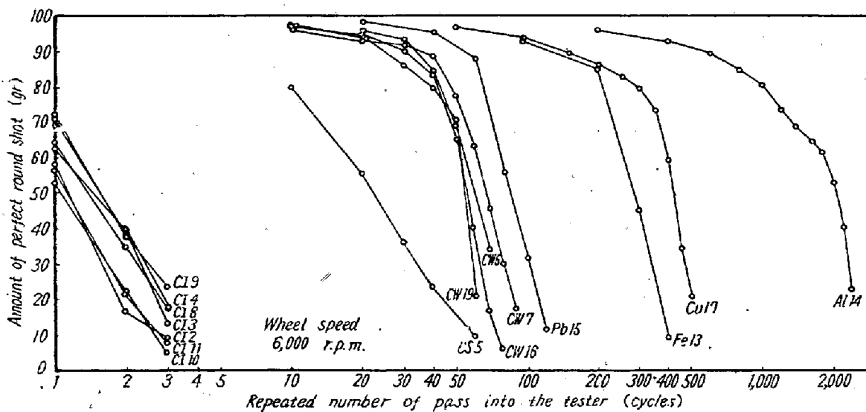


Fig. 2. Endurance curve of shots

ると鑄鉄ショットの寿命は 1~2 であるのに対し鑄鋼ショットは 25, カットワイヤーショットは 50~70 と大きく別離している。また純鉄ショットはカットワイヤーショットの 6~7 倍を示している。非鉄ショットは一般に寿命が長く、殊にアルミニウムショットは鋼製カットワイヤーショットの 30~40 倍である。次に各ショットの破壊の状況を考察すると三つの型に分類できる。第Ⅰ型は初めは緩やかであるが平均寿命近辺で急激に破壊後は再び破壊し難くなる型で鑄鉄ショットはこれに属し破片の大きさは半分のものから微細な粉に至るまで種々であり、破片の稜、先端は鋭い。第Ⅱ型は初めが最も急激で次第に緩やかになり長い裾を引く型で、鑄鋼ショットはその例である。この場合ショットの破片は投入を繰返すと丸みを帯びてくる。これらに反し第Ⅲ型では表面の摩耗のため多少重量は減少するが途中までは全然破壊せず、ある時期に達すると急激に破壊し始める。この型にはカットワイヤーショットが含まれ、破片はほとんどが 2 分したもので、再び丸味を帯び球状に近づく。カットワイヤーショットの寿命曲線は 3 段階に分れる。即ち

初め円筒状のショットの角が叩かれて次第に球になる段階、球の状態を維持している相当長い段階、球が扁平になり遂に破壊する段階の 3 つである。

さてショットの寿命はその衝突速度、直径、硬度によつて異なるほかショットの材質によつても異なる。Fig. 3 はショットの寿命に及ぼすホイールの回転数の影響を示すものである。

ショットの硬度はその寿命に相当の影響を及ぼす。即ち受け入れたままのカットワイヤーショットに歪取焼鈍を、また鑄鉄および鑄鋼ショットに軟化焼鈍を施すと寿命は一般に増大する。Fig. 4 は回転数 6000r.p.m. におけるショットの硬度と寿命の関係を示す。但しこれら熱処理に際しては肉厚 4 mm, 内径 25 mm, 高さ 90 mm

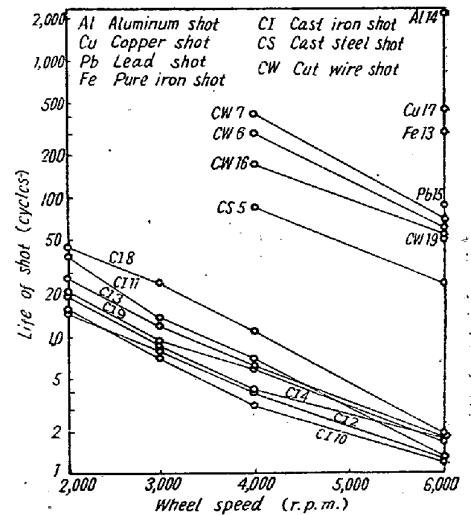


Fig. 3. Influence of wheel speed on the life of shots.

の軟鋼製円筒中にショットを入れ密閉して行つた。カットワイヤー並びに鑄鋼ショットは硬度が僅か低下してもその寿命は急激に増加し、最大寿命は受け入れ時の 2.5~6.5 倍を示している。これに対し鑄鉄ショットは Hv(5) 300 以下になつて漸く増し、最大寿命は初めの 10~20 倍にも達する。

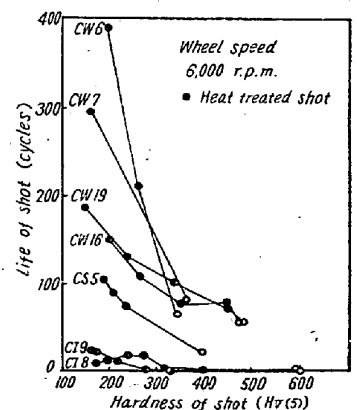


Fig. 4. Influence of hardness on the life of shots.

Fig. 5 は炭素含有量、硬度が大體似ている鑄鉄ショットについてその直径と寿命の関係を示すものである。プロホールのはなはだしく多い CI 4 を除いては直径の

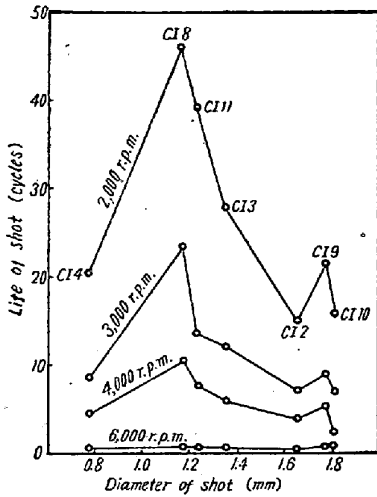


Fig. 5. Relation between diameter and life of shots.

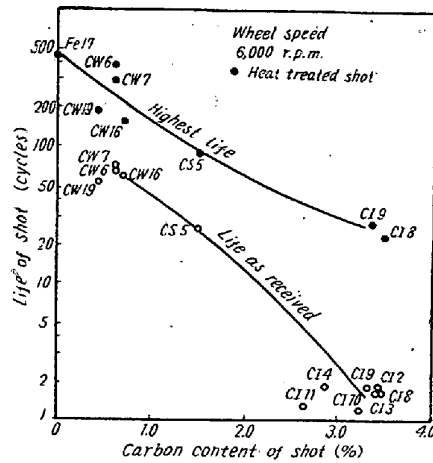


Fig. 6. Relation between carbon content and life of shots.

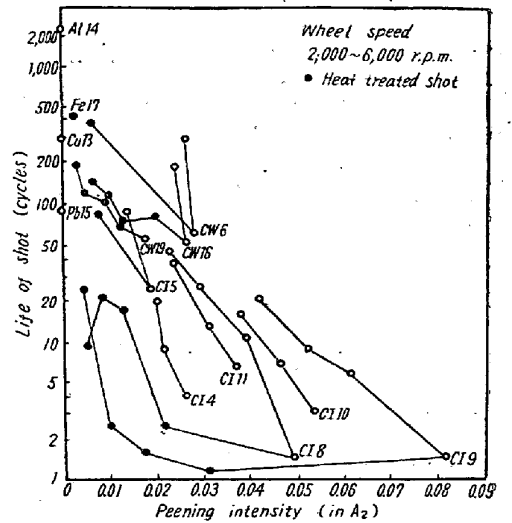


Fig. 7. Relation between peening intensity and life of shots.

小さい方が一般に寿命が長い。

鋳鋼ショットの炭素含有量は寿命に影響をおよぼす要素の中で最も本質的なものであるがこれを Fig. 6 に示す。

2. 寿命の比較

以上ショットの破壊状況, ショットの寿命におよぼす種々の要素について述べたが, 各ショット間の寿命を比較する場合には以下に述べる様な立場が考えられる。

(1) 一定のホイールの回転数の下での比較

一番基本的な比較法は先に述べた一定のホイールの回転数で行うことであるが, 単にこれだけによつてショットの寿命の評価を行うと都合の悪い場合が生ずる。即ち硬度が低いためピーニング強度が極めて弱いショットと然らざるショットを同列に扱うことができない場合がある。そこで次の如き評価の基準が生ずる。

(2) 一定のピーニング強度の下での比較<sup>9)</sup>

ショットの硬度が異るとピーニング強度も異なるが, 作業上は一定のピーニング強度を定めてある場合が多く, 同じピーニング強度を出すようにホイールの回転数を調節した上での寿命が問題となる。そこで各ショットにつきピーニング強度とショットの寿命の関係を Fig. 7 に示す。

(3) 一定の仕事の量の下での比較

ところでショットの径, ホイールの回転数が異るとフルカバレッジに要するショットの量が異なる。即ちショットの大きさが1/2のものを使用すると被加工物に穿たれる凹痕の径は1/2, 従つて面積は1/4になるが, 同じ重量についてのショットの数は8倍であるので結局凹痕の総面積は2倍となる。即ち小さいショットを使用すれば

半分の量で済む。またホイールの回転数が上昇すると凹痕の径も大きくなり, フルカバレッジに要するショットの量, いい換えると投入繰返し数は減少する。例えば, 1.8mm のショットを 2000r.p.m. で投射する場合と 0.6mm のを 6000r.p.m. で投射する場合のピーニング強度はほぼ同じであるが前者は後者の約7倍の量のショットを要する。そこで各条件の下でフルカバレッジに要する投入繰返し数を求め, 先の Fig. 7 の寿命の数値を割ると Fig. 8 を得る。0.02 in A<sub>2</sub> 近辺での寿命はカットワイヤー, 鋳鋼, 鋳鉄の順である。この図からも判るようにあるピーニング強度を出す場合, 硬度を下げ回

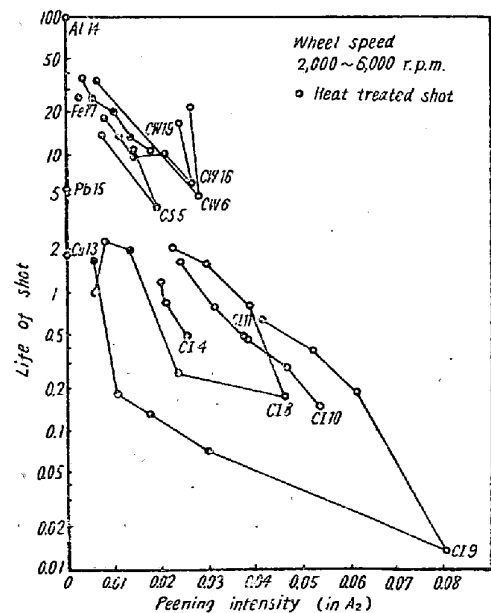


Fig. 8. Relation between peening intensity and life of shots, taking into account the work done.

転数を高くすると、これと逆に硬度を上げ回転数を低くする場合とを比較すると後者の方が寿命は長いが処理時間は長くかかる。純鉄ショット Fe 17, アルミニウムショット Al 14 の寿命は極めて長いがピーニング強度は低く他のショットと比較することはできない。しかしながら Rc 25~65 のショットによるピーニングの効果に差はないという実験<sup>9)</sup>もあり、ショットの寿命を同一ピーニング強度の下で比較することにどれほどの意義があるかは疑問である。

## V. 総括

以上ショットの直径、衝突速度、硬度などが寿命におよぼす影響について述べたものであるがこれを要約すると、一般にショットの直径、衝突速度、硬度が高い場合は低い場合に比して寿命は短いがピーニング強度は高く出すことができ、同一ピーニング強度の下で比較するとカットワイヤー、鋳鋼、鋳鉄の順となる。鋳鉄でも内部にブローホールのあるものは非常に悪い。

純鉄およびアルミニウムショットの寿命は極めて長い<sup>9)</sup>が、ピーニング強度が弱く、いかなる場合に使用できる

かは別に考慮を要する。

熱処理を施した軟質ショットはピーニング強度、仕事の量まで考慮に入れるとショットの寿命は却つて短くなるが、被加工物の表面を傷めず、また処理時間も回転数が高いため短くて済むという利点がある。

終りに臨み本実験に対して研究費の一部を補助された通産省当局に対し深甚の謝意を表する。

(昭和 30 年 1 月寄稿)

## 文 献

- 1) J. C. Straub: Am. Soc. Tool Eng., (1946)
- 2) D. A. Cargill: Iron Age, 165 (1950), 14, 95
- 3) L. J. Wieschhaus: Iron Age, 165 (1950), 5, 82
- 4) Metal Progress, 62 (1952), 1, 17
- 5) Foundry, 81 (1953), 12, 189
- 6) American Wheelabrator & Equipment Corp: Shot Peening, (1951), 50~52
- 7) SAE: Handbook (1952), 172~175
- 8) E. P. Zimmerli: Metal Progress, 61 (1952), 6, 104

## 鋼の遷移温度に及ぼす C, As, Cu, Sn の影響†

沢村 宏\*・盛 利 貞\*\*・藤田 清比古\*\*\*

### EFFECT OF CARBON, ARSENIC, COPPER AND TIN ON TRANSITION TEMPERATURE OF STEEL

*Hiroshi Sawamura, Dr. Eng., Tcshisada Mori, Dr. Eng., and Kiyohiko Fujita*

#### Synopsis:

This paper gave results of U-notch Charpy tests which were carried out at several temperatures ranging from  $-80^{\circ}$  to  $400^{\circ}\text{C}$  for the purpose of determining the effect of arsenic, copper, tin and molybdenum on the transition temperature of dead soft steel and also determining the effect of carbon and arsenic on the transition temperature of carbon steels. The results obtained were as follows:

- 1) Carbon raised the fracture transition temperature of steel but in case of U-notch Charpy test it did not raise the ductility transition temperature such as that which was defined by 15 ft-lb energy.
- 2) Arsenic raised the transition temperature of steel, but arsenic less than 0.1% did not change the transition temperature of steel even when it was contained alone in steel or together with copper and tin.
- 3) Copper less than 0.35% does not change the transition temperature of dead soft steel when it is contained alone in steel or together with tin and arsenic.

† 昭和 29 年 10 月本会講演大会にて発表

\* 京都大学教授 \*\* 京都大学助教授 \*\*\* 京都大学助手