

# ショット・ピーニングに就て

福田 連\*

## ON THE SHOT PEENING

*Ren Fukuda, Dr. Sci.*

This article dealt with a new method of surface treatment of metals called shot peening. The wonderful effects of shot peening, the development of it and the methods of shot blasting were described. Various factors that affect the effects of shot peening, as size and hardness of shot, velocity of impact and the time of blasting were inspected. The influences of coverage and arc height upon the fatigue strength are also discussed.

### I. 緒 言

わが國でショット・ピーニングが叫び出されてから約2年、折から特需自動車の仕様書によつて自動車々體用板バネにこれを加工することになり、それにつれて我が國自動車用バネは今後一兩年で殆んど全部がピーニング加工品となりそうである。然るに他の方面では未だ全く利用されない状況である。ピーニングはバネの専門工法では無く他にも幾多の應用すべきものがある。航空機部品、自動車部品に於て殊に左様であるが我が國自動車業者は未だこれを利用せざるのみならず本腰を入れて研究していることを聞かない。

自動車の部品等に短時間の簡単なピーニング加工を施しただけでその部品の疲労限を50~100%或はそれ以上も上げ得るのであるが、斯ることは従來の他の方法では思いもよらない事であろう。ピーニング加工を施せば材質を減らしても間にあうので、米國の或るバネ會社では20%の材料節約、鋼價を7 1/2セントとして毎時80ドルの節約になるという。<sup>(32A)</sup> また炭素鋼にピーニング加工して特殊鋼を凌ぐことが屢々である。更にHudson自動車會社は1935年以來アクスル・シャフト、コネクティング・ロッド、ステアリング・アーム、センタ・アーム、サポート・アーム其他數種の部品のピーニング加工を實施して來たために加工部品の疲労折損ということは今では殆んど過去のことであるという事實を示していると同社Gagyon技師が1940年に述べている。<sup>(40C)</sup>

日本の自動車はピーニング無しで済むだけの充分な材料を使用しているに相違ない。とはいへ安價な材料で優秀の品を作り、軽い車體で強力な車を作るべきではあるまいか。本年ヘルシンキのオリンピックに日本から持參

した自動車は重過ぎて役に立たなかつたという。ピーニングも一部のお役には立つはづだと思われるが如何であるうか。日本の自動車部品と米國品と比較したらどうであるうか。同じ物を作るなら材料を節約し、加工時間を省き、経費を節約すべきであると信ずる。ショット・ピーニングの加工を奨める所以である。自動車に限らず繰り返し荷重のかかるところ、曲げ或は振りの應力の加わるところにピーニングの加工を試みられんことを希望する。

### II. 沿 革

1870年サンド・ブラストが發明され、漸次發達し、20世紀に入ると間もなく銑鐵小球の所謂ショットが出現してその粉碎物グリットと共に噴射に用いられ、砂の代りに利用された。グリットは研削研掃を第一とし、ショットは打撃研掃(船磨きのカンカン虫はこの例)を主とする。<sup>(32F)</sup>

1927年英國のHerbertは鐵の小球を高所から落下させ、鋼表面を硬化する研究を發表した。<sup>(27A)</sup>

1929年から米國のDetroit市Barnes—Gibson—Raymond Divison of Associated Spring Corp.では主任技師のF. P. Zimmerliが疲労限増加のためショット・プラストをかけたバネを賣り出した。初めは誰も知らずに使つていたがやがて大反對にあい、1~2年間は大いに忍耐を要したが其の後は割合に順調に來ているという。<sup>(40C)</sup>

1935年E. E. Weibelは弁バネ線の疲労試験に當り、空氣式樽型噴射機を用い、70~75 psiで20分間、ショット噴射をかけ、反覆曲げの疲労試験を行い、疲労限27%上昇

\* 三菱鋼材株式會社 理博

したS-N曲線を發表した。これがショット・ピーニングによる疲労限上昇の最初の報告である。振りの試験では多くの試片が試験機の握りの邊で折れ、唯だ1本のみが百萬回以上の成績を示し、よく判らないという。(35A)

1938年J. H. Frye及びG. L. Kehlは各種研掃法即ち酸浴、或は砂、カーボランダム、ショット、グリット等の噴射が疲労強度に及ぼす影響を調べた。従来、表面を平滑に研磨すると疲労に抵抗する力が増すことが知られていたもので、各種研掃法に着目したと思われる。その結果はショットの噴射のみが疲労に対する力を増し他は何れもこれを減じている。(36A)

1939年昭和14年、五十嵐勇及深井誠吉両氏は砂の噴射を軽合金に浴びせて疲労強度を上げた。砂の噴射で試片は研削を受け多少變形したが10%前後の疲労強度を増加した。(39B) 此の研究に續くものが無かつたことは誠に残念である。

1939及40年、O. Föpplは噴射鋼球の大きさ、速さ等につき理論的考察をなし、且つ中空試片に13,000気壓の水圧をかけ、各部の硬度を測つた。その結果試片の鐵組織は流れを生じて緻密になり、結晶粒が固く結合し、ために耐久力が向上するので残留壓縮應力のためでは無いと論じた。(40A)

1940年、前記Zimmerliは29年以來の商業的ピーニング加工の経験と多くの試験による研究を發表し、大いに世人の反響をよんだ。この論文は同年發行の“Surface Treatment of Metals”に載せられ、抄録は2,3の金屬や自動車の雑誌に掲載された。その論旨を要約すると次のようになる。

(1) ショット噴射は金屬部品の疲労壽命を著しく延長する。

(2) これは加熱によりて除去消失する表面の現象である。

(3) 疲労の點から見れば合金鋼で多くの部品を作る必要はない(安價な炭素鋼にピーニング加工した方がよい)。

(4) ショットの噴射は、いくら有効な工法であるとはいへ、貧弱な鋼、貧弱な設計、貧弱な工法を救済するものではない。

(5) ショット噴射をしたものは高い應力の使用が許されるから小さい形で間にあい、材料の節約が出来て軽くなる。

(6) 完全平滑表面は疲労抵抗に對して必ずしも最上の表面ではない。

Zimmerliの此の報告は非常に米國の航空機、自動車

業者を刺戟した。これがため41年にはLesselsとMurray, Manteuffel等、42年にはFöppl、43年にはAlmen, Lüpfer, Beck等の飛行機、自動車部品其他のピーニングに關する研究の發表あり、殊にAlmenの報文は5,6の雑誌にその名を連ねている。44年にはClark, Turnbull, Valentine, Moore, Zimmerli, Frye, Orth, Cady等の名が現はれ、中でもMooreの文は數種の雑誌に載つてゐる。此れ等の他にレヴェー式の文も出てゐるので45年にはピーニング關係のもの16篇を數え得る。

1941年から47年頃までの戦争中の雑誌は遺憾ながら我が國では殆んど讀むことが出来ない。極めて僅かの文献で知り得たところによると次のようである。

1943年1月15日から中央航空評議會の航空機關生産委員會は毎月ショット・ピーニングの技術に就て情報を交換することになりPratt & Whitney, Wright, Allison, Buick, Cadillac, Chevrolet, Chrysler, Continental, Nash, Packard及びStudebakerの代表者が會合してピーニングの進行を討議した。而して有効なものは早速實用に供した狀況が想像される。當時既にコンネクティング・ロッド、ロッカ・アーム、マスタ・ロッド、リンク・ロッド、クランク・ケース、弁及び弁バネ坐金等に相當の効果を擧げた。

General Motorsでも盛んに研究を行い弁バネ、車體用巻バネ及板バネ、齒車、コンネクティング・ロッド、クランク・シャフト、スチャリング・ナックル、クラッチ板、ユニバーサル・ジョイント・クロス、アーチキレート・ロッド等、即ちショット・ピーニングはどんな金屬でも部品でも表面にショット・噴射を行へるところは何處でも應用出来るとして實施されたようである。(43A, 44A) また戦争中ピーニングに關し最も重要な研究主體がScientific Research and DevelopmentのNational Defence Research Committeeの主催下に結成されていた。その成果は此の委員會報告NA-115に載せられている。(41D)

戦後も平和産業に普通加工法として利用されSAEの規格として採用されている。

### III. 加工法

ショット・ピーニングの加工法は極めて簡單である。ショット・プラストそのままの方法で試片なり部品の實物なりにショットを噴射すればよい。ショットは成るべく破損した物の含有率が少い程よい。サンド・プラストと同じ方法で砂の代りに鐵の小球即ちショットを用い、空氣壓を75 psi以上90 psiまでにする。1935年以後米國には遠心噴射機が出来て盛んに使用せられ、我が國で

も一两年前から製作されている。<sup>(52F)</sup> 遠心機ならば周速度毎分富士山の高さくらい、ショット粒の大きさは直径0.4~1.2mmで噴射の距離は1尺前後、表面がつや消し状となり顕大鏡で見ても一面の球痕アバタになり空地のない程度でまず一應は相當な成果を得る。此の加工法は各種條件の範圍の幅が甚だ廣く而もこの加工によつて何等の弊害を生じないから仕事が非常にらくである。次に加工條件につき述べる。

**弧高:**— 現在ピーニング効果を測定せんとする唯一の方法である。まず大約厚さ0.051"、幅0.75"、長さ3"の鋼條帶で硬さ Rockwell C 44~50 のストリップを鐵塊で作つた台に取り付け、ピーニングのショット噴射に浴せしめる。これを台からとりはずすとストリップは噴射側を凸側にしてそり返る。この曲りの弧の高さを測定器で測らうというのである。器は4分の1を示すダイヤル・インディケータを台にのせ、その柄足に垂直な平面に置かれた4個の小球の中心に柄足端が来る如く装置し、4小球上に測定ストリップの凹側をダイヤルの柄足に向けて當て、その曲りの弧高を讀むように作つたものである。此の測定器をアルメン・ゲージ第2號という。それで測つた結果は0.015" A2のように書く。これは厚さ約0.05"なるAストリップで試し、アルメン・ゲージ第2號で測り0.015"であるとの意味である。特に強力なピーニングに對しては厚さ約2倍のCストリップを用いる。これは General Motors の研究所の J. O. Almen の考案に成るものである。<sup>(44A)</sup>

いま0.012" A2 で加工せんと欲せば保持台にストリップをとり付け、ショット噴射に浴せしめ、アルメン・ゲージで測る。浴射時間或は噴射強度、噴射距離などを變えて幾回も試験し0.012"を得るまで続ける。一旦指定の0.012" A2を得れば以後はそれと同一條件で操業噴射すればよい。加工中でも噴射強度には多少の變化がある。空氣式は殊に甚だしいから數時間毎にストリップを用い強度を檢查せねばならぬ。また複雑な形狀で而も精確な弧高を要するもの、例えば航空機のクランク・ケースの如きは、その廢品を利用し、各處にストリップ台をとり付けて豫備試験を行い或は5, 6時間毎に試しを行うのである。

**被覆度:**— ショットが金屬面を打つて痕型をつけたアバタの部分の面積の割合で、80%とはアバタ部が80%、残りが20%の意味である。初めは時間に比例して増すが間もなく2重打ち、3重打ちとなり増加の割合が少なくなる。被覆度と浴射回數の間には次の關係がある。

$$C=1-(1-c_1)^n$$

ここでCは被覆度(小數で示さる)、nは浴射の回數、 $c_1$ は1回で得る被覆度である。若し1回浴射で55%の被覆度を得るとせば3回の浴射では

$$C=1-(1-0.55)^3=0.909 \text{ 或は } 90.9\%$$

となる。實驗の結果は3回噴射で91%となつた。實際金屬の浴射面に就て被覆度を測つてみると98%までしか正確に讀めないの便宜上ここを完全被覆とする。これ以上の被覆度は98%を生ずる時間の倍數を以てする。例えば4回で98%になるとすれば6回浴射は1.5の被覆度という。30%程度の被覆度でも、ピーニングにより得られる疲勞壽命の増加を示す。また被覆度80%近くまでは疲勞に對する強さは急に増加し、それ以上になると疲勞強度の増加は緩徐となる。100%以上に於ても多少は増加する。それで經濟上からいへば被覆度80%附近が疲勞力の改良と經費が釣り合う點ではあるまいか。<sup>(51D)</sup>

**ショットの大きさ:**— Zimmerli は直径0.4mmから1.2mmまでを用いた。<sup>(40B, C, 48C)</sup> 直径で0.4, 0.8, 1.2mmは1:2:3の比となり體積では1:8:27の割合となる。重量も此の割合となるからピーニング効果もショットの大きさによつて相當異ると思われる。同一條件で#28, #25, #22 3種の粒度のショットを噴射したら弧高はそれぞれ0.008", 0.012", 0.015"となり、粗粒の方が弧高が大きくなる。粗粒の方が衝撃力も強く残留應力も大なることが判る。然るにこれを疲勞試験に照らして見ると必ずしも粗粒は疲勞改良が大では無い。結局粒度とそのピーニングによる疲勞強度との關係は未だよく判らない。1944年のSAE Manualにはピーニング・ショットの大きさを0.4~1.6mmとしMooreは0.4~1.5mmくらいという。<sup>(46C, 51D)</sup> 52年のSAE HandbookによるとCast Shotの粒度は3.35~0.178mm間に13段に分れているが、これは全部がピーニング・ショットではない。カット・ワイヤ・ショットは0.5~1.57mm間に9段になつていて、全部がピーニング用である。一般的にいへば断面が薄い部品に對しては細粒を用い肉厚部分には粗粒を使用する。

ショットの粒度はピーニング効果の深さに影響するから時々使用中のショットを検査するがよい。最後のピーニング強度は粒度不揃のショットでは保つことが出来ない。<sup>(47C)</sup> 直径が80%のショットは重量が約半分となりピーニングが殆んど無價値となるから、ピーニング・ショットの粒度は極力揃えるべきである。<sup>(451)</sup>

**ショットの硬さ:**— 舊來の銑鐵ショットの硬度はRockwell Cにすると58~68で普通のピーニング加工部品よりは硬い。銑鐵ショットは破壊し易く短命なので

その延命のために熱処理を施し数倍の寿命となつたが硬さは大いに落ちた。最近のカット・ワイヤ・ショットは1952年度SAE規格によるとCW-20及23の最小2種類はRC48以上、それから大きいものは順次RC46, 45, 44, 42, 41, 39以上、最大のCW-62がRC36以上となつている。ショット・ピーニングに於ては被加工品より硬いショットをと考えるのは普通であるが、軟かいショットは如何であろうか。後に述べる如くZimmerliの試験では疲労寿命にはショットの硬軟の影響はないという。(40C, 43C) また以前はBuickの車體用巻バネは4回磨き棒で作られ、その疲労寿命は100,000サイクル以下であつた。ショット・ピーニングを採用するに及び1回磨き棒に銑鉄ショットを噴射して平均疲労寿命が500,000サイクル直下まで上つたのがカット・ワイヤ・ショットを用いると1,000,000サイクルで尙お折損せぬという。(49C) これはカット・ワイヤ・ショットの軟質のための著しい長壽では有るまいか。舊來の銑鉄ショットを用いてピーニング加工を行い、次に僅かに研磨するか、或は0.002"のラッピングを加えるとピーニング効果を増し、疲労強さを増加する。(50E, 51D) これは切欠効果の一部を除去すると思われる。カット・ワイヤ・ショットは軟質で加工品にアバタの印像を與えぬ、或は僅かしか與えぬので切欠を伴わぬピーニング効果のみであると思われる。(52F)

**ショットの破壊とカット・ワイヤ・ショット:**— 半分に割れたショットは最早や健在ショットに伍してピーニング効果は無いという。(46D) 割れたショット即ちグリットは切欠効果を與える(36A) 恐れがある。微細粒は大した心配もあるまいが、割れたショットは少しの益もないから極力その排除につとむべきである。

銑鉄ショットの短命のためにGeneral Motorsの研究所ではカット・ワイヤ・ショットを考案した。これは鋼線を直径と同じ長さに切断したもので暫時噴射調整して球形となつた後、ピーニング加工用とするのである。本年新たにSAEの規格が出来た。カット・ワイヤ・ショットは甚だ長壽であるから被加工品に附着持出を注意し噴射室から漏失を防げば消費量は可なり少くなる。實際のピーニング生産に於ては舊ショットに比して1/8~1/20を普通とするが100分の1という良成績もある。(50C) これは持出しと漏失が甚だ少い結果であること勿論である。軟質なために噴射装置の損耗部の消耗も少く、ピーニングの加工経費はBuickの車體用巻バネの場合に舊ショットの半分49%になつた。(49B, 49C) またFord工場によると板バネのピーニングでは加工費が43%の節約とな

り、巻バネのピーニングでは42%の節約になつた。(50J) カット・ワイヤ・ショットは粒度の一致では斷然優れている。52年度SAE規格によると粒度の恕限度はCast Shotに寛にしてカット・ワイヤ・ショットには甚だ嚴格である。嚴格であるということは格段に優秀であることになる。(52F)

**噴射速度:**— ショット・ピーニングに於けるショットの速度に關する研究は甚だ少い。Straubによれば弧高は噴射速度の増加により徐々に上るがショットの破損は急激に増す、故に間に合う程度の成るべく低い噴射強度即ち弧高の範圍で速度を下げる事が經濟であると述べている。(46A) 元來サンド・ブラストは壓縮空氣で初められ、多量生産のために他の一般壓縮空氣工業と同様80psiを常用するようになった。遠心噴射機もその程度になり今では圓板翼端の直径19.5", 2250rpmを標準とするに至つた。その後ピーニングが出来たので、その加工速度もこれを踏襲して居り、從來は速度を變じた實驗は少い。遠心機はプーリーを取り換えて速度の加減が出来るが空氣式では思う速度を出すには容易でない。速度はショットの大きさと相まつてピーニング加工深さに影響すべく、疲労強度に如何に響くかは今後の研究にまつ外ない。

**噴射時間:**— ピーニングの加工時間がピーニング効果に影響するのは當然である。ショット流の浴射を時間で示す外に、ショット流の噴射浴を幾回通過と、コンベヤ或は回轉卓等で通過回数を用いる場合がある。遠心噴射の標準機では毎分300~350lbのショットを噴射し、80psi, 7/16"ノズルは毎分80~90lbを噴出する。此の如き普通の状態で幾回通過かを指示する。Zimmerliによると巻バネのピーニング非加工品は疲労限95,000psiであるが、7分間のピーニング加工で120,000psiに上り、10分で135,000psiとなり、以後15分及び20分間の加工に於ても同じ疲労限135,000psiで42%の増加となる(46B)。同氏の他の實驗では後に表示する如く5分間で最大に達している(46C)。

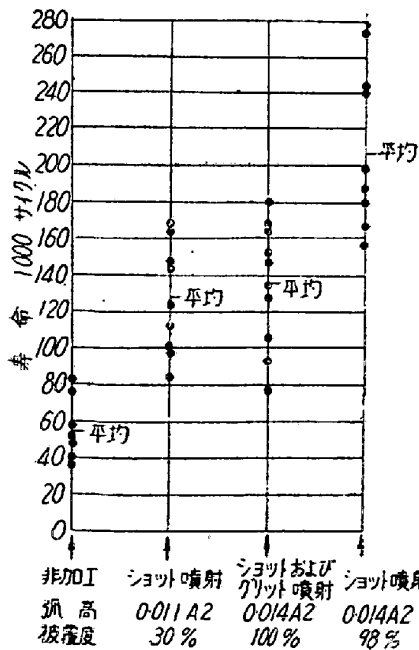
**ピーニング効果:**— 金屬の表面にショットの噴射を加えると金屬表面はショットの打撃により、金屬外皮部は(1)種々の程度のアバタ面になり、(2)材質は緻密になる。(3)最外層の結晶は著しく變形し流狀組織を生ずる。内方にゆくに従い變形程度は漸く少くなり、或は結晶方向を變じた程度になる。そしてその金屬表面には(4)壓縮應力が残留して、もし金屬が薄ければ打撃面を凸側として繰り返す。この弧の高さを測定して弧高とする。(5)この金屬表面の硬さを調べるとピーニング加工

前に比して硬度が上つている。(6)これを繰り返す曲げ或は振りの疲労試験をすると著しく疲労強度が増加している。ショット・ピーニング加工によると以上の如き諸現象を生ずる。上記諸項のうち(1)は被覆度、(2)は(3)によつて生ずるのか或は同一事項であるか、(2)はまた(5)の硬度と同一事項を指すのか或は(2)の結果(5)を来すのか、(4)は(3)と同一事項であるか或は因果関係なるか、また(6)も(3)や(4)と如何なる関係にあるか現在では不明な点が多い。

而してピーニング効果の80%程度以上ということならばその加工条件は甚だ幅が広く仕事はらくである。而も何の弊害も伴わぬピーニングは實にすばらしい加工法である。

#### IV. ショットの粒度、硬度、被覆度及び弧高の検討

J. Straub は 10 個づつ 4 組の試片を準備し甲組は非ピーニング品、乙組は 30% の被覆度、0.011A2 の弧高でピーニングを施した。丙組は乙同様の加工品を更にショット破損物即ちグリットを使用して噴射し、被覆度 100%、弧高 0.014A2 となつたもの、丁組は乙組と同じ加工をしたものを更に完全ショットを以てピーニング加工し、被覆度 98%、弧高 0.014A2 となつたものである。此等の試片の疲労試験を行い、その結果を圖に示した。甲組に對して乙組の疲労寿命が 50,000 回餘から 120,000 回餘に上つたのはピーニング効果によるもので



破損ショットが疲労寿命に及ぼす影響 (J. Straub による)

更に丁組が 200,000 回餘に上つたのも當然と思われる。然るに丙組は乙組と比べて殆んど差異を示さぬ。而して丙組の被覆度や弧高は丁組と變らない。弧高はピーニングの強さを表わし被覆度はピーニング加工程度を示すのであるが此の場合に疲労寿命とは無関係である。破損ショットは疲労寿命増加に関しては全く無價値である。ショットの直径 80% の小球の容積は約半分となる。半分の重量のショットは完全ショットに伍してピーニング効果は甚だ薄弱である。以上のことから同氏は極力ショットの粒度を揃えよ、破損ショットを除去せよと主張する(48D)。かくして破損ショットが相當に混在するときは、弧高及び被覆度は疲労寿命の目安には出來ないことになる。

E. P. Zimmerli は弁バネ線で作つた巻バネに次の 6 組のショットを用いてピーニングを行い疲労試験をした。ショットの第 1 組は P-46 (直径 1.2mm)、第 2 組は P-28 (0.71mm)、第 3~6 の 4 組は P-16 (直径 0.4 mm) の大いさがある。ショットの質は白銑、熱処理白銑及び鋼で硬度は Rockwell C で 65~26、疲労試験の結果と共にこれを第 1 表に示す。

此の試験結果から次のようなことが判る。

(イ) ショットの硬度は試験の範囲内ではバネの耐久限に著しい影響は無い。P-16D の熱処理白銑球 26C も P-16A なる鋼 34C も、P-28 白銑 63C も疲労限に差異がない。

(ロ) ショットの粒度から見れば P-46 を除けば他は全部大同小異の疲労限である。P-16 と P-28 とは直径が 1:2 で體積は 1:8 であるが疲労の耐久限には差等が認められない。唯だ粗粒の P-46 は一般に成績悪く、殊に 120 分はピーニング過度の傾向がある。細粒の P-16 は 120 分でも全く加工過度にはならぬ。

(ハ) 鋼のショットや熱処理した軟質ショットによるピーニング加工品は外觀が平滑でつや消し状にならぬ。擴大して見てもアバタ型がない。それで被覆度が極めて不明瞭であるが疲労限は寧ろ硬質ショットに勝る傾向にある。

(ニ) 弧高は耐久限と何の関係も無い。第 2 表は試験中にアルメン・ストリップを用いて測定した弧高をまとめたものである。弧高はショットの硬度と加工時間に比例して變化する状況は特に P-16 B, C, D でよく判る。ショットの粒度によつても變化のあることは P-16, P-28, P-46 でよく見られる。此の弧高はピーニングの強きの均一性を試験するとき或は噴射の強きの検査等には甚だよく役に立つが疲労の問題になると何の縁も無く全

第1表 ショット・ピーニングに対するバネの耐久限

ショット	材質	硬度 Rockwell	ピーニング加工の時間			
			5分	15分	30分	120分
P-46(1.2mm)	白鉄	65C	13,000—114,000	20,000—115,000	16,750—106,200	11,700—110,500
P-28(0.71mm)	白鉄	63C	14,200—123,600	13,350—110,000	12,600—120,000	10,930—113,750
P-16(0.4mm) A	鋼	34C	13,500—116,000	10,750—118,200	16,000—115,000	12,750—120,500
P-16 B	白鉄	62C	11,500—122,000	10,000—117,500	10,000—127,500	11,100—120,250
P-16 C	熱処理白鉄	48C	12,300—123,750	10,750—125,800	13,000—120,500	11,000—119,200
P-16 D	熱処理白鉄	26C	16,000—122,500	12,200—120,000	10,750—118,000	11,000—121,000

備考 ピーニング加工を行わぬものゝ耐久限は 20,000—95,000psi.  
誤差は  $\pm 3,000$ psi.

(48C, Zimmerli による)

第2表 ショットの粒度, 硬度, 時間に對する弧高

ショット	材質	硬度 Rockwell	ピーニング加工の時間			
			5分	15分	30分	120分
P-46	白鉄	65C	0.0281	0.038	0.039	0.0465
P-28	白鉄	63C	0.020	0.0235	0.0242	0.0267
P-16A	鋼	34C	0.008	0.0075	0.0092	0.012
P-16B	白鉄	62C	0.0092	0.0117	0.0127	0.0155
P-16C	熱処理白鉄	48C	0.0075	0.009	0.0115	0.0147
P-16D	熱処理白鉄	26C	0.0042	0.007	0.0085	0.013

(52B Zimmerli による)

く役に立たないのである。第2表と第1表を比較すると判ることだが第2表中、P-16Dの15分は弧高0.007、同表P-28の30分は0.0242で非常に相違がある。然るに第1表で兩者を比べると殆んど相一致しているである(48C, 52B)。

## V. ストレス・ピーニング

或る部品が使用時に應力を受ける方向と同一方向に静的應力を加えつつピーニング加工を施すと、そのピーニング効果は實に驚くほど大きくなる、その静的應力の大きさは、その部品が普通に受けるはずである程度を用いる。例えば非ピーニング品 25,000 の寿命が普通のピーニングにより 117,000 に延びストレス・ピーニングでは 4,200,000 という長壽に延命した(49A, 51D)。

油井掘り機の管挟み器に用いるバネは SAE1095 で寿命が 1,700 回、SAE6150 にして 5,500 回で折損する。これをピーニング加工して 18,000 回までの寿命に上げたが更にストレス・ピーニングを施して 24,000 回の長壽となし得て大成功を収め爾來これを實行しているという(50D)。

## V. 結 言

以上述べたところを要約すると

(1) 1940 年に F. P. Zimmerli の發表によりショット・ピーニングという加工法が疲勞強度の増加に大なる効果あることが確認された。

(2) 爾來特に米國で研究され、實施され、航空機、自動車等の部品には普通の工法として採用され、SAE の規格にも入っている。

(3) ピーニングの加工はショットと稱する鐵の小球をサンド・ブラストと同じ方法で金屬或は部品の表面に噴射するだけである。ピーニング効果に影響ある項目は弧高、被覆度、ショットの大きさ、硬さ、破壊ショット、噴射速度、噴射時間等である。

(4) ピーニングによつて生ずる現象を列記し相互の關係を考えた。

(5) ショットの粒度と硬度及び被覆度と弧高がそれぞれ疲勞強度と如何なる關係にあるかを検討した。

(6) ストレス・ピーニングの驚くべき効果を説明した。

之を要するにショット・ピーニングは反覆斷續的に繰り返される曲げ或は振りの應力に對する疲勞強度を著しく増加する。而してその加工は甚だ簡單で經費は少く得るところ甚だ大である。學問としては不明な點が澤山有るが各方面に本法を採用して炭素鋼に加工して特殊合金鋼を凌駕せしめ、ピーニングを施して地金の節約をはか

り、軽量の発動機で大重量機よりも優秀ならしめ、時間の節約と経済とを兼ね収めることを切望する。

(昭和 27 年 10 月寄稿)

文 献

- 27A Herbert, E. G: "The Work Hardening of Steel by Abraion ... " J. Iron and Steel Inst. 1927, V. 66, n. 11, p. 265.
- 35A Weibel, E. E: "The Correlation of Spring Wire Bending and Fatigue Test" Trans. Am. Soc. Mech. Engrs., 1935, v. 57, n. 8.
- 38A Frye, J. H. and Kehl, G. L: "Fatigue Resistance of Steels as Affected by Some Cleaning Methods " Trans. Am. Soc. Metals-, 1938, v. 26, p. 192.
- 39B 五十嵐勇, 深井誠吉: "試験片が大きさ表面仕上げ及砂吹きがデニラルミンの疲労強度に及ぼす影響に就て " 日本機械學會誌 昭和 14 年 2 月
- 40A Föppl, O: "Oberflächendrücken zum Zwecke der Steigerung der Dauerhartbarkeit mit Hilfe des Stahlkugelgebläse" Werkzeugmaschine, 1940 44 Jahrg. Heft 6, s. 123.
- 40B Zimmerli, F. P: "Shot Blasting and its Effect on Fatigue Life, Heat Treating and Forging, 1940, v. 26, p. 534.
- 40C Zimmerli, F. P: 同上, 單行本 Surface Treatment of Metals, 1940.
- 43A Shot-blasting Aircraft Engine Parts", Am. Mach., 1943, v. 87, p. 88.
- 44A Turnbull, D. C: "Fatigue Life of Stressed Parts Increased by Shot Peening, Am. Mach., 1944, v. 88, p. 83.
- 46A Straub, J. C: "Precision Peening Depends on Whole Shot" Am. Mach. 1946, v. 90, n. 9.
- 46C Moore, H. F: "Strengthening Metal Parts by Shot Peening" Iron Age, 1946, v. 158, p. 70, 81.
- 47C Wick, C. H: "Shot Peening Aluminum Forgings", Machinery, 1947, v. 54, p. 133.
- 48C Zimmerli, F. P: "Shot Quality, How it Affects Fatigue Life" SAE Journal, 1948, v. 56, p. 36.
- 48D Straub' J. E: "Why Peening Calls for Uniform Shot" SAE Journal, 1948, v. 56, p. 38.
- 49B Patton, W. G: "Buick is Using Cut-Wire to Peen its Coil Springs " Iron Age, 1949, v. 164, p. 108.
- 49C Miller, H. H: "New Cut-Wire Shot Big Boon to Peening of Automotive Chassis Springs" SAE Journal, 1949, v. 57, p. 44.
- 50C Cargill, D. A: "Cut-wire Shot Lowers Cleaning and Peening Costs" Iron Age, 1950, v. 165, p. 95.
- 50H Almen, J. O: "Fatigue Weakness of Surfaces" Prod. Enrg, 1950, v. 21, p. 119.
- 50I Oicles, C. W., Landecker, F. K: "Multiply Spring Life Without Changing Designes" Iron Age, 1950, v. 166, p. 80
- 51D Am. Wheelabrator and Equipment Co.: 單行本 "Shot Peening" 1951
- 52A "Shot Peening Deserves Consideration During Initial Designe" SAE Journal, 1952, v. 61, n. 1
- 52B Zimmerli, F. P: "Heat Treating, Setting and Shot-Peening of Mechanical Springs" Metal Progress, 1952, June, p. 97
- 52F 福田連: 近刊 グリット・ブラストとショット  
• ピーニング