

## Shot Peening 工法

李 世 熙

〈韓國쇼트機械(株)社長〉

우리나라의 機械工業이 國際的 進出이 命題이면서도 쉽게 短時日 內에 成果를 올릴수 없는 理由로는 여러가지 꼽을수 있겠으나 量産問題나 精密度問題 以外에도 壽命이라는 問題가 伏線으로 깔려 있음을 看過하여서는 안된다. 이는 近者 수출한 自動車의 部品에 對한 클레임이 있었다든가 等の 예를 보더라도 機械製品의 輸出量이 增加함에 따라 部品の 疲勞壽命에 對한 클레임이 속출 할 것임이 틀림없다. 우리의 機械工業이 우선은 模倣을 主軸으로 할 수 밖에 없겠으나, 경영자 및 기술자들이 外形의인 面 또는 品質管理에 便利한 數値에 對하여서만 神經을 쓰고 一定機械의 性能을 오래 維持할 수 있는 壽命 品質에 對하여 現段階에서 特別한 努力을 傾注하지 않으면 數年以內에 또 한번의 試鍊을 免치 못할 것이다. 따라서 機械部品の 疲勞強度 增進工法 즉 壽命延長工法인 Shot Peening 工法에 對하여 簡單히 注目を 喚起시키고져 한다.

## 1. Shot Peening 工法の 由來

옛날의 軍刀나 馬車의 스프링을 만들 때, 지금도 대장간에서 식칼을 베틀 때를 觀察하면 鍛造溫度 靑선 以下 또는 다 식은 後에도 오랫동안 hammer로 두들긴다. 이것은 칼날의 壽命을 길게하거나 또는 材質을 단단하게하는 一種의 冷間鍛造 效果로서 그 理論을 따지지않고 오랫동안 傳來되어온 秘法아닌 秘法인 것이다.

쇼트 피닝工法은 쇼트라고 불리는 작은 金屬 粒子를 高速으로 製品表面에 投射하여 작은 쇼트 粒子가 表面을 Hammering하는 工法이다. 美國이 1940年代에 이 工法을 거의 모든 機械工

業에 實際로 導入하여 特히 自動車工業에 一大 革命을 가져 왔다. 당시 日本산업계는 이 工法을 알고 있지 못하였고 研究室에서만 研究途中 太平洋戰爭에서 노획한 美軍 自動車を 分解하여 細密한 檢討를 하던중 金屬表面에 微細한 壓痕을 發見하여 Shot Peening 工法을 實施하였음을 알아 내었으나 實際 産業에 適用치 못한채 大戰이 終熄되었다.

日本은 多幸히 韓國動亂中에 美軍自動車の 修理 또는 部品の 製作을 美軍으로부터 多量 受注하여 美軍의 Military Specification에 依據한 製作監督을 받게된 幸運으로 거의 모든 自動車 部品에 理論的 뒷받침을 제겨 둔채 實際産業에 Shot Peening 工法을 導入하게 되었고 以後 學界, 實業界가 實際를 뒷받침하는 理論이나 研究에 着手하기에 이르렀으니 50年에서 60年代라고 할 수 있다.

우리나라는 70年代 初半에 鑄物 淸淨用으로 쇼트 블라스트 機械가 輸入되어 쇼트 블라스트 工法은 鑄物工場에서만 使用되는 것으로 誤導되어 쇼트 블라스트 機械의 分類가 鑄造設備의 範疇에 들어가게 되었고, 70年 後半에는 鐵鋼의 Descaling 用으로도 使用하게 되었으며, Shot Peening 用으로는 스프링業界 1·2個社에서 採擇하기에 이르렀다. 自動車部品에는 스프링을 除外하고는 거의 Shot Peening을 하지 않다가 自動車が 輸出하기에 이르러 多小의 클레임 發生에 對한 外國機關의 糾明에서 Shot Peening 해야할 部分에 Peening 하지 않은 것이 原因으로 判明된 件數가 數個 나타나서 自動車 Maker와 自動車部品 Maker가 Shot Peening 工法에 對하여 調査 研究 하였으며, 一部 업체에서 Shot

Peening을始作한 단제이니, 우리나라의 Shot Peening은 80年代 부터라고 보아야 할 것이다.

## 2. Shot Peening 이란

Shot Peening에 對하여는 오래 前부터 많은 研究家와 學者들이 金屬學的 立場에서 많은 研究論文을 發表하여 왔으나, X光線 또는 고무가 發見된지 오랜 後에야 겨우 實用化된 것과 마찬가지로, 實際로 工法으로 使用하기까지는 오랜 동안의 Gap이 있었다. 우리 기체 公業체가 이 工法을 현재 적용하기까지는 美國에서의 實用化로부터 40年이란 Gap을 갖고 있으며, 그 間 많은 研究·報告書들이 있었으므로, 本稿에서는 理論보다 實際適用例를 紹介하고 機會있을때 그 理論을 綜合하여 紹介하고자 한다.

쇼트 피이닝이란, 작은 球形의 金屬粒자를 相當한 高速으로 金屬表面에 衝突시켜 얻는 冷間 鍛造工法이라 定義 할 수 있다. 좀 더 구체적으로 설명하면

投射機를 離脫한 쇼트의 粒子는  $E = \frac{1}{2}mv^2$ 의 運動에너지를 갖고, 작은 Hammer 役割로, 金屬表面을 強打하여 瞬間적으로 局部的인 發熱을 일으키고 表面에 박히며, 表面의 局部的인 降伏點을 起過하게하여, 永久變形을 주고 쇼트는 反撥하여 表面에서 逸脫하게 된다. 이때 公보의 깊이는 表面에서 0.1~0.8mm에 達하게 된다.

變形層 바로 아래層은 降伏點에는 達하지 아니하였으므로 彈性은 存續하게 된다. 이 層은

늘어난 表面層을 늘어나기 前의 狀態로 維持하려는 힘이 作用하고, 있게되어 表面은 殘留壓縮應力, 內部는 引張應力을 갖고 平衡을 이루게 된다. 經驗적으로 이 表面의 殘留壓縮應力은 內部引張應力の 數倍의 크기에 達한다. 一般으로 部品에 使用應力이 加해지면 表面에는 引張應力이 加해지는데 이 殘留壓縮應力이 이를 相殺하게 된다. 一般으로 Fatigue Failure는 壓縮應力에서 오는것이 아니고 引張應力の 累積에서 오는 것이므로 Shot Peening 效果로서 疲勞強度가 相當히 增加되어 部品の 壽命을 常識以上으로 增大시키게 된다.

## 3. Shot Peening의 適用

一般으로 Shot Peening은 Bending이나 Twisting을 받는 部品の 疲勞壽命을 延長시키는데 特別한 效果가 있으며 軸方向의 Push-Pull Stress에 對하여는 效果가 없다. 軸方向 引張力만 받는 Stay Bolt 같은데는 效果가 없으나 荷重 또는 振動을 받아서 생기는 Twisting 또는 Bending Stress에 對하여는 勿論 效果가 있다.

一般으로 널리 알려진 部品으로서 Shot Peening을 하고 있는것을 羅列하면,

- |                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| 1) Crank Shaft          | 2) Axle Shaft          |
| 3) Pivot Shaft          | 4) Propeller Shaft     |
| 5) Propeller Shank      | 6) Universal Joint     |
| 7) Rocker Arm           | 8) Piston              |
| 9) Piston Pin           | 10) Cylinder Block     |
| 11) Crank Case          | 12) Connecting Rod     |
| 13) Torsion Bar         | 14) Transmission Shaft |
| 15) Valve Spring Washer | 16) Steering Knuckle   |
| 17) Tank Pin            | 18) Tank Tread         |
| 19) Tank Track Pin      | 20) Track Link         |
| 21) Chain Link          | 22) Engine Quill       |
| 23) Gear                | 24) Spline             |
| 25) Gun Parts           | 26) Jet Engine Blade   |
| 27) Compressor Blade    | 28) Impeller Parts     |
| 29) Drill Steel         | 30) Milling Cutter     |

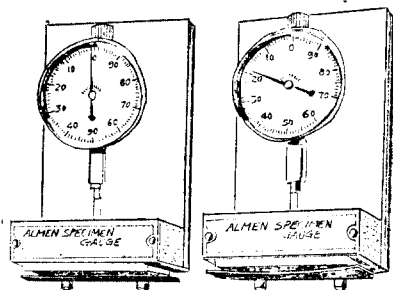


Fig. 1.

□ 解 說

- 31) Coil Spring            32) Leaf Spring
- 33) Bearings            34) Pneumatic Drill
- 35) 自動車 Frame 및 部品
- 36) 非鐵金屬表面 등이다.

Shot Peening 加工은 原則적으로 最後加工 工程後에 實施한다. 即 切削加工, 熱處理, 研削 加工 後에 Shot Peening 한다. 特別히 軟質材 料인 境遇에는 Shot Peening後에 Honing 程度 의 가벼운 加工을 하는 수도 있다.

#### 4. Shot Peening의 이점—피로저항 (Fatigue Resistance)

Shot Peening은 耐磨耗 또는 耐疲勞를 向上 시키는 工法으로서 設計에서는 許容應力을 數 10 % 增加시키는 工法이라고 말 할 수 있다. 許容 應力을 向上시키면 同一荷重에서의 壽命은 엄청 난 倍數로 增加한다. 이와같은 事實을 가장 알 기 쉽게 說明 할 수 있는 簡單한 實驗의 例를 들어보면 6.35mm 두께의 平스프링을 Aisi 9260 Steel로 만들어 Quenching後 Hrc 40~45 Tempering 한것을 Constant Deflection Type Fatigue Machine을 使用하여 Stress Cycle을 0에서 最大까지의 Graph를 作成한것이 Fig. 2. 이다.

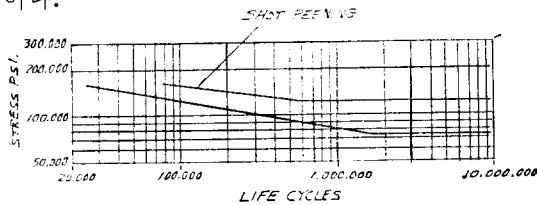


Fig. 2. 스프링강의 피로강도상의 쇼트피이닝 효과

위의 Curve는 Shot Peening을 한것이고 아래 Curve는 Shot Peening 加工을 하지 않은 것이다.

平均壽命이 100,000 Cycle을 要한다면 許容應 力은 Peening 않은 것이 125,000 PSI (약 8,789 kg/cm<sup>2</sup>), Peening한 경우는 155,000 PSI (약 10,893kg/cm<sup>2</sup>)로서 24% 增加이고 500,000 Cycle

에서는 92,000 PSI (약 6,469kg/cm<sup>2</sup>)對 125,000 PSI (약 8,789kg/cm<sup>2</sup>)로 35% 增加다.

한편 同一한 許容應力에서의 壽命을 比較하면 125,000 PSI에서 Peening 한것은 500,000 Cycle 의 壽命이고 Peening 하지 않은 것은 100,000 Cycle의 壽命밖에 되지 않으므로 이 경우 Peen- ing 效果로서의 壽命增加는 500%라고 볼 수 있 다. 또 同一한 100,000 PSI (7,031kg/cm<sup>2</sup>)에서 Peening 하지 않은 것의 壽命은 300,000 Cycle 이고 Peening 한것은 Graph에서 明白한 것과 같이 無限大한 壽命으로서 Peening 效果로서의 壽命增加는 無限大한 效果가 있다고 말 할 수도 있게 된다.

以下에 代表的인 實例가 報告된 것을 간추려 記載한다.

##### 1. 코일 스프링

5,500% 壽命增加: Cr-Si鋼, HRC 61~63, 쇼 트 피이닝 結果 5,500%의 壽命增大가 있었다. 硬度 HRC 52~53의 스프링보다 피이닝 效果가 훨씬 높은 것으로 報告되었다.

2,000% 壽命增加: Cr-Si鋼, Oil Tempered 헬리컬 스프링, Hrc 53, 21개 試驗

##### 2. 板 스프링

600% 壽命增加: 各種材質의 板 스프링에 對 하여 피이닝 效果를 測定한 結果 平均적으로 600% 以上の 壽命增加가 있었다. 이 報告書에 서의 最小增加가 350% 이었다.

##### 3. 크랭크 샤프트

50% 壽命增加: 鍛造材로 製作한 크랭크 샤프 트에 쇼트 피이닝한 結果 疲勞壽命이 50 내지 100%의 增加가 있었다.

3,000% 壽命增加: 航空機 엔진의 크랭크 샤프트가 쇼트 피이닝 結果 30배의 壽命增加가 있었다. (American Machinists)

##### 4. 크랭크 케이스

30% 壽命增加: Al 合金製 크랭크 케이스의

모서리가龜裂되는 것을改善하기 爲하여 쇼트 피이닝한 結果 解決되어 全 크랭크 케이스에 쇼트 피이닝하여 30%의 壽命增加를 보고 있다.

### 5. 액슬 샤프트

400% 疲勞壽命增加 : 쇼트 피이닝 하지 않은 액슬 샤프트가 約 75,000 Cycle의 壽命인 反面 쇼트 피이닝한 6개의 平均壽命은 379,013 Cycle로서 約 400%의 壽命增加를 보았다는 報告書가 나와 있다.

1,900% 壽命增加 : 액슬 샤프트의 폭이 250,000 Cycle에서 부러졌는데 쇼트 피이닝한 結果 5,000,000 Cycle에서 부러졌다.

### 6. Generator Drive Shaft

700% 壽命增加 :  $\pm 10\%$  Twist Test에서 쇼트 피이닝한 것과 하지 않은 것을 15개 比較하였더니 壽命比率이 거의 8:1이란 報告書가 나와 있다.

### 7. Connecting Rods

1,000% 壽命增加 : Fork Type Connecting Rod를 One-Direction Bending Test한 結果 Polish加工만 하고 쇼트 피이닝 하지 않은 것에 比하여 Rough Finishing 한後 쇼트 피이닝 한 것이 1,000%의 壽命增加가 있었다고 報告되고 있다.

### 8. Torsion Bar

600% 壽命增加 : NE-9262 Torsion Bar에 쇼트 피이닝한 結果 600%의 壽命增加가 있었다.

140% 壽命增加 : 다른 報告書는 피이닝 하지 않은 것의 壽命이 35,000 Cycle이었는데 피이닝 한것은 85,000 Cycle이다.

### 9. Steering Knuckles

350% 壽命增加 : A-4042 鋼製 Steering Knuckle의 平均壽命이 520,000 Cycle인데 쇼트 피이닝 結果 2,200,000 Cycle에서도 壽命은 끝나지 않았다.

### 10. Tank Track Pin

1,100% 疲勞壽命增加 : 1.25 inch (31.75mm) DIA.에 0.25 inch (6.35mm) Radius Fillet 部에서 파괴되는데 쇼트 피이닝한 結果 1,100%의 壽命增加가 있었고 各種의 Tank Pin에 對하여 쇼트 피이닝한 效果는 平均 500% 以上이었다.

### 11. 기 어

270% 壽命增加 : Transmission의 Low Speed Sliding Gear에서 쇼트 피이닝 效果는 270% 壽命增加가 있었다. SAE 1020 (炭素鋼) 鋼材에 浸炭, 熱處理한 기어에 쇼트 피이닝한 效果는 SAE-4620 (Ni-Cr-Mo鋼) 鋼製에 浸炭, 熱處理만 한 것과 壽命이 同一 하였다.

1,500% 壽命增加 : 其他 各種 報告들을 綜合하면 最小 80%에서 1,500%까지에 達하는 壽命增加를 報告하고 있다.

### 12. 銃器部品

350% 壽命增加 : 各種 報告書를 綜合하면 各 部品이 130%에서 350%의 範圍에서 壽命增加가 있는 것으로 報告되고 있다.

### 13. 밀링 커터

85% 壽命增加 : 밀링 커터에 쇼트 피이닝 하였더니 그 壽命에 10時間에서 17時間으로 延長되었다.

### 14. 熔接部位

200% 壽命增加 : M-18 엔진 冷却 Fan의 熔接 部位를 쇼트 피이닝 하였더니 壽命이 거의 3배가 되었다.

### 15. 其他

20,000% 壽命增加 : 鑄鐵試片으로 一方向 Bending Test를 하였더니 20,000%의 壽命增加가 있었다.

3,000% 壽命增加 : Armasteel Test Bar가

□ 解 說

壽命이 150,000 Cycle이었는데 쇼트 피이닝 한 것은 5,000,000 Cycle이었다.

16. Stress Corrosion Cracking

700,000% 壽命增加 : Mg合金試片 (AMC-57SH)에 應力을 加하고 크롬酸카리와 鹽水에 담으면 120秒에서 Corrosion Crack이 생기는데 쇼트 피이닝 結果 10日을 견디었다.

1,000% 壽命增加 : SAE 30915 Stainless Steel 試片을 염산 마그네슘 水溶液에 應力을 加한 狀態에서 담근 結果 270時間의 壽命이었는데 쇼트 피이닝 한것은 3,000時間을 견디었다.

5. 쇼트 피이닝 強度

鋼板의 表面 (한쪽面)에 쇼트를 投射하면 쇼트의 投射를 받은 表面에 強力한 殘留壓縮應力을 가지게 되므로 鋼板이 彎曲된다. (Fig. 3.)

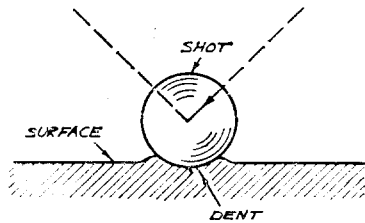


Fig. 3. 한쪽면만 쇼트 피이닝 된 강판

殘留壓縮應力이 크면 彎曲도 크다. 그러므로 쇼트 피이닝 強度는 이 彎曲의 程度로 表示 할 수 있다.

美國의 SAE에서는 쇼트 피이닝 強度를 測定 하는 Almen Strip에 對하여 規定하고 있다.

材質 : SAE 1070 冷延스프링鋼 燒入後 800° F ± 25° F 2時間以上 Tempering

硬度 : HRC 44~50

크기 : 길이 33" ± 0.015" 寬이 0.745~0.75"

두께 : 試片 N, A, C로 區分

標點거리 : 1.5"

시 편	두께	평탄도
N	0.031 ± 0.001	± 0.001
A	0.051 ± 0.001	± 0.001
C	0.094 ± 0.001	± 0.0015

A. Arc Height

쇼트 피이닝 強度를 前記 Almen Strip으로 써 標點間의 彎曲의 높이로써 表示할 수 있다. 各種 部品 個個에 對하여 各種의 強度로 쇼트 피이닝하여 가장 그 效果가 좋았던 피이닝 強度를 찾아내어 그 部品에 對하여는 쇼트 피이닝 強度 얼마 즉 Arc Height "가 주어진다.

特別部品の 圖面에 Shot Peen 0.013A"로 表示되어 있으면 "A" Strip로서 標點間에 있어서의 彎曲 높이 (Arc Height) 0.013"가 될만큼 Shot Peening하라는 指示이다. 強度가 弱한 것에는 "N" Strip, 強한 것에는 "C" Strip으로 表示한다.

Almen Test Strip Holder의 規格은 Fig. 4와 같고 Arc Height 測定器는 Fig. 5와 같다.

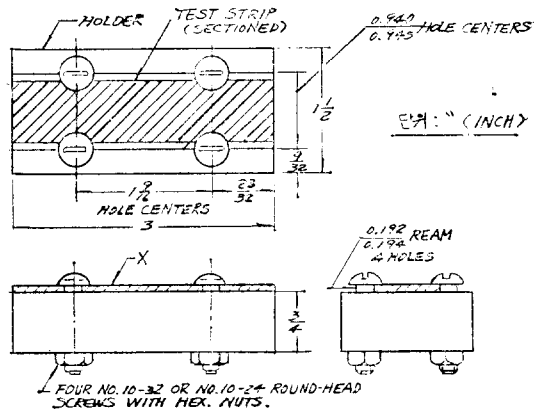


Fig. 4. Test strip과 holder의 규격

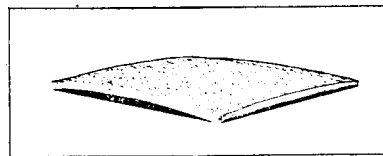


Fig. 5. Arc height 측정기

Almen Test Strip Holder에 Almen Strip을 固定시킨 後 被加工物에 부착시키고 實際로 쇼트를 投射한 後 Holder에서 Strip을 떼내어

Arc Height 測定器에서 Arc Height를 測定하여 본다. 數회에 걸쳐, 주어진 Arc Height를 얻을 수 있었을 때의 쇼트 投射時間 (또는 쇼트 流에의 露出時間)을 作業標準時間으로 設定한다 作業中 가끔 Almen Test Strip을 부착시켜 Arc Height를 確認하여야 한다.

### B. Coverage

Shot Peening 強度의 測定方法에는 被射體에 Shot가 맞은 密度 즉 一定面積에 對한 쇼트 자극面積의 割合를 %로 表示하는 方法이 있다. 그러나 이러한 方法은 使用 쇼트의 種類, 크기, 被加工物의 材質, 形狀等에 따라 자극이 달라짐으로 絕對值가 주어질수 없다. 그러므로 一般으로는 주어진 Arc Height를 얻을 때의 Almen Test Strip을 관찰하여 이후 表面이 그 狀態와 類似한가를 肉眼으로 比較測定하는데 이 方法이 使用된다.

Coverage의 程度를 %로 表示 할 때에 比較할 標準寫眞이 規格으로 定하여져 있다. 이 寫眞은 Coverage 55%, 65%, 80%, 90% 등의 段階로 되어 있으며 Arc Height와 並記하여 Coverage를 주는 境遇도 있다. 그러나 여기서 留意할 點은 Coverage는 單純히 쇼트 流에 露出시킨 時間과 關係될 뿐이고 Arc Height와 반드시 比例 하는 것은 아니라는 事實이다.

Coverage와 露出時間과의 關係는 大略 Fig.6과 같다.

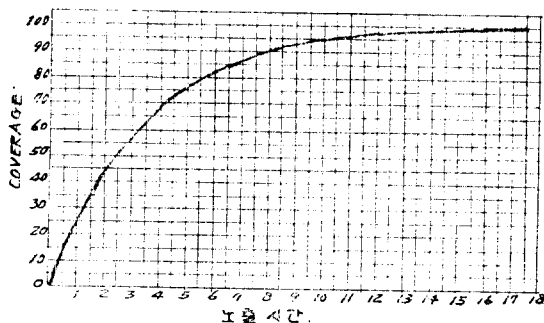


Fig. 6. Coverage와 노출시간과의 관계

### C. Arc Height와 Coverage

Fig. 7에서 어떤 一定 條件下에서 쇼트의 粒子 크기만을 달리하여 작은 粒子로 blasting한 경우가 A, 굵은 粒子로 blasting한 경우가 B로 表示된 曲線을 얻었다. A의 경우 Coverage 100% 일때 Arc Height는 0.010"였고 B의 경우는 동일한 Arc Height를 얻는데 어떤 一定時間에서 얻을 수 있고 그 時間이 경과되면 Arc Height는 더 커지고 一定時間 경과후에는 즉, Coverage 100%가 되었을 때에는 Arc Height가 어떤 值에서 固定됨을 알 수 있다. (Fig. 7.)

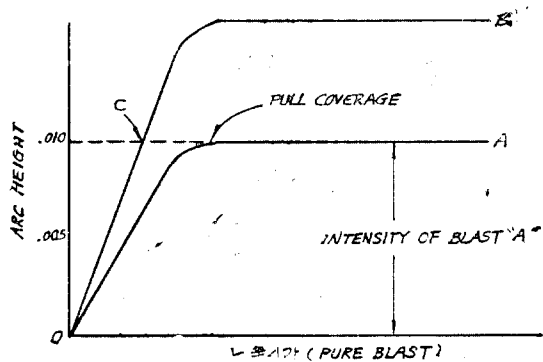


Fig. 7. Arc height와 노출시간과의 관계 (pure blast)

위의 境遇는 쇼트의 各粒子 크기가 均一하다고 假定하였을 때의 曲線이고 實際에 있어서는 한 機械內의 쇼트의 粒子分布는 相當히 있다. 쇼트 피이닝에 있어서 이 粒子分布를 最小限으로 좁히는 것이 作業管理의 要諦라고는 하지만 限度가 있을 것이다. Fig. 8에 있어서 A는 작은 粒子, B는 큰 粒子일 때인데 작은 粒子가 50%以上 일 때에는 同一 投射量(重量)에 있어서는 작은 粒子인 경우의 投射粒子數가 많기 때문에 Coverage 100%로 빨리 達成된다고 볼 수 있다. (Fig. 8.)

위 Fig. 9는 反對로 작은 粒子가 50% 以下일 때의 二 曲線이다. 實際作業에 있어서는 上記와 같이 단 二 種類의 쇼트 粒子만 混合되는 것이 아니고 더 넓은 粒子分布를 갖게 되므로 아래 Fig. 10과 같은 그림이 된다.

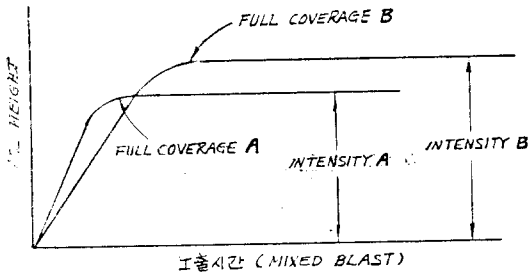


Fig. 8. Arc height와 노출시간과의 관계  
(작은 입자가 50% 이상인 경우)

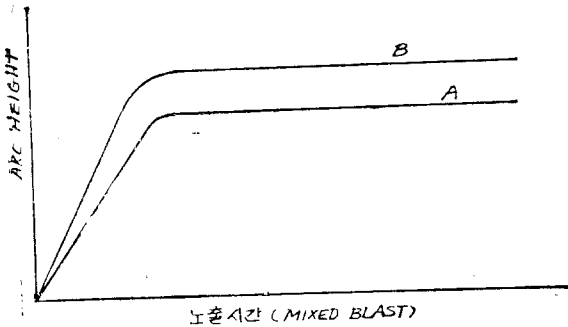


Fig. 9. Arc height와 노출시간과의 관계  
(작은 입자가 50% 이하의 경우)

즉 點線은 各 粒子 크기의 曲線이고 實線은 이들의 複合曲線이다. 一般으로 實務에 있어서는 曲線上에서 飽和點을 지난 後에도 完만한 曲線의 上昇이 있음을 알수 있다. 이 事實은 매우 重要한 意味를 갖는 것으로서 實際作業에 있어

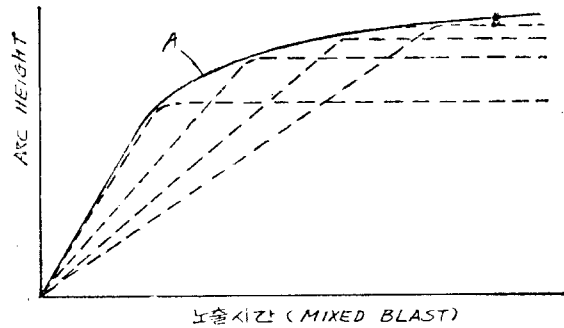


Fig. 10. Arc height와 노출시간과의 관계  
(여러종류의 입자가 혼합된 경우)

서 飽和線 즉 平行線에 達하기 훨씬 以前인 點에서 Coverage 100%를 얻는다는 事實이다.

以上에서는 一定 條件下에서 단지 쇼트의 粒子 크기에 對해서만 觀察한 것으로서, 쇼트 粒子의 硬度가 다른 경우에도 이와 類似한 事實이 일어난다. 또 有效投射密度面에서도 投射角度의 變化에 따라 類似한 變化가 있음을 알아 둘 必要가 있다.

以上 簡單히 쇼트 피이닝의 效果, 應用範圍, 피이닝 強度等에 對하여 實務를 爲한 注意喚起를 目的으로 記述하였고 應用을 爲한 쇼트 피이닝 機械 및 피이닝용 쇼트 등에 對하여는 다음 機會로 미루기로 한다.

