

621.787.6 : 621.785.375

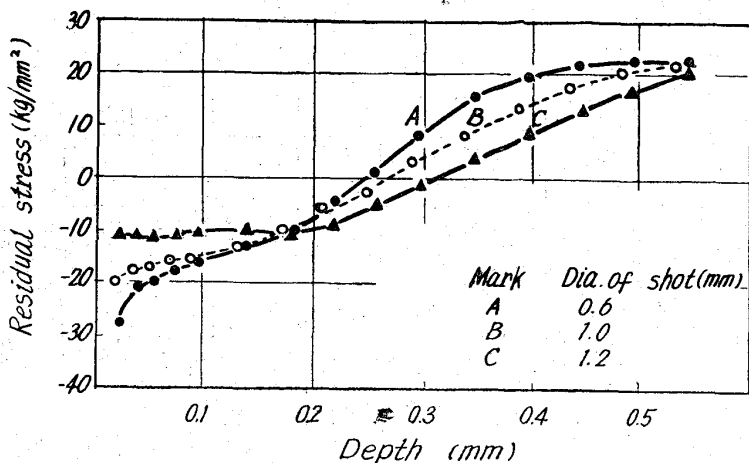


Fig. 4. Effect of the size of shot on hardness.

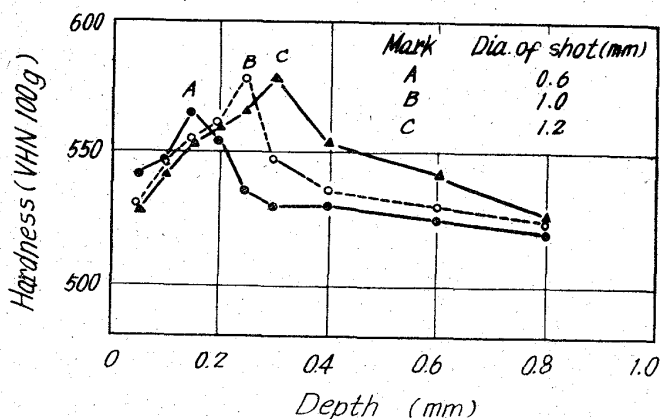


Fig. 5. Effect of the size of shot on hardness.

はピーニング時間 3 min では充分ではなく 100min ではわずかながら減少している。

#### 4. 総括

以上の実験結果を総括すると次のごとくである。

1. 耐疲労性におよぼすショットピーニングの効果は極めて顕著である。
2. ピーニングを行なったものでは表面から約 0.2 mm 附近に硬度のピークがあらわれる。また残留応力曲線においては表面附近に圧縮応力、内部に引張応力が生じ、表面より 0.2mm 位の深さの位置に応力値零のところが生ずる。
3. ショットの形の丸いものほど硬度ピークは大きく、深い。また応力値零の位置も深い。疲労限はショットが丸いほど高いが、空運転時間が 1 hr 以上となつても効果は増さない。
4. ショットの大きさ大なるほど硬度ピークは大きく、また深い。応力値零の位置も深くなる。しかし疲労限に関しては 0.6~0.8mm φ に最適値がある。
5. ピーニング時間が長いと硬度ピークは大かつ深い。応力値零の位置も同様深くなる。疲労限は 10~30min では変らない。

### (148) ショットピーニング後の焼鈍、ショットの投射速度などの影響

(ショットピーニングを行なった弁ばねの硬度、残留応力および疲労限について—II)

名古屋工業大学 矢島 悦次郎  
 東郷製作所 相羽 雅文  
 名古屋工業大学 ○古沢 浩一  
 東郷製作所 小笠原 弘行

#### Effect of Annealing after Shot Peening and Shot Speed etc.

(Hardness, residual stress and fatigue limit of shot-peened valve spring—II)

Etsujiro Yajima, Masahumi AIBA

Kōichi HURUSAWA and Hiroyuki OGASAWARA.

#### 1. 緒言

前報に引続いて本報告では、ショットの投射速度、材料の硬度、ピーニング後の低温焼鈍、段階処理（粒度の異なるショットを2回に分けてピーニングすること）および混合処理（粒度の異なる2種類のショットを混合してピーニングする）などの影響について報告する。

ピーニング後の低温焼鈍は、現場においてピーニング後自由高さが変化するのを防止するために行なわれることがあるので、その焼鈍温度の影響を調査したのである。また段階処理、混合処理は前報において、粒度の小さなショットは表面に大きな残留応力を生ぜしめ、また、粒度の大きなショットは深くまで残留応力を生ぜしめることが分つたので、この両方の効果を兼ねさせて高い疲労限を与えようと試みたものである。

#### 2. 実験方法と試料

実験方法および試料とも前報と同じである。ショットの投射速度はピーニング機のインペラーの回転数を変えることによつて変化させた。

#### 3. 実験結果

##### 3.1 ショットの投射速度の影響

インペラーの回転速度を 930, 1600, 2200, 2800 r.p.m と変化させ硬度分布、残留応力分布両曲線および S-N 曲線を求めた。Fig. 1, 2 はその結果を示した。硬度ピーク（図は省略）は投射速度大なる程深い位置に生ずる。表面圧縮応力は速度小なる程大きくまた、零応力の位置は速度大なるほど深くなる。ショットのもつ運動エネルギーは速度の2乗に比例するので、速度の影響はかなり大である。

S-N 曲線 (Fig.1) によると疲労限はその投射速度が増すにつれ増加するが、2000 r. p. m を超えてもその効果は余り変らない。必要以上に速度を増せば、ショットの破かい、インペラーなどの磨耗が著しくなるのでこの場合 2000 r. p. m が適当と考えられる。

##### 3.2 材料の硬度の影響

ピーニングされる材料の硬度が低ければ必然的に疲労限も低くなる。したがつて硬度の低い材料にピーニングを行なうことは実用上はあまりないはずである。しかし

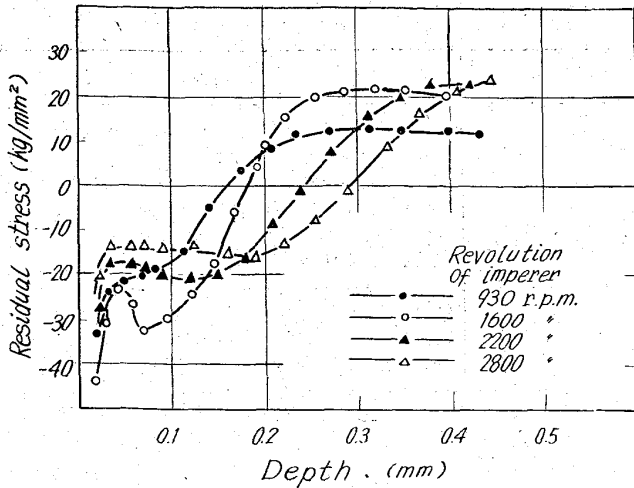


Fig. 1. Effect of revolution number of imperer on residual stress.

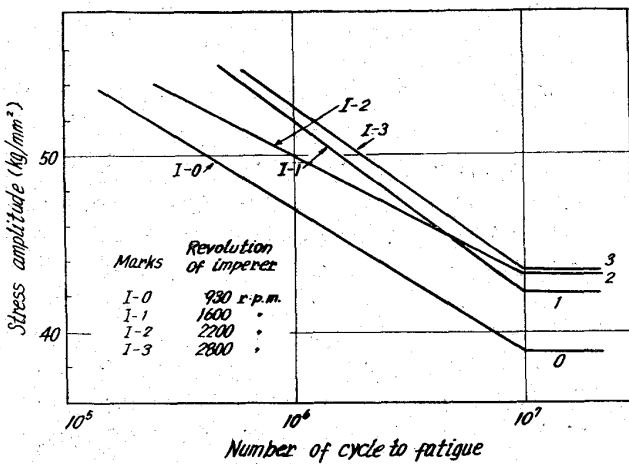


Fig. 2. Effect of revolution number of imperer on fatigue strength.

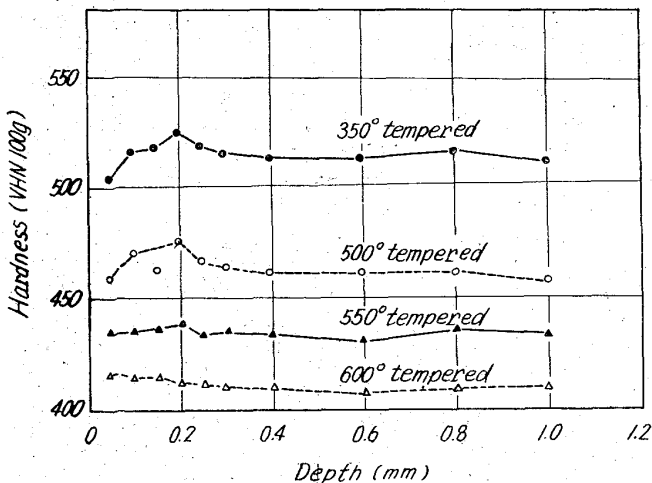


Fig. 3. Effect of the hardness of specimen on the hardness distribution curves.

硬度分布曲線、残留応力曲線がその材料の硬度によつていかに変化するかについての知識を得るために実験を行なつた。試料は前報のA試片(焼入焼戻した材料)をさらに 350, 500, 550, 600°C で 30min 焼戻すことによ

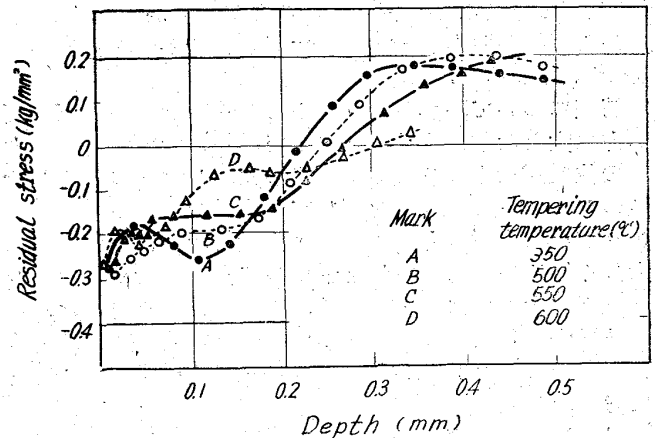


Fig. 4. Effect of the hardness of specimen on residual stress.

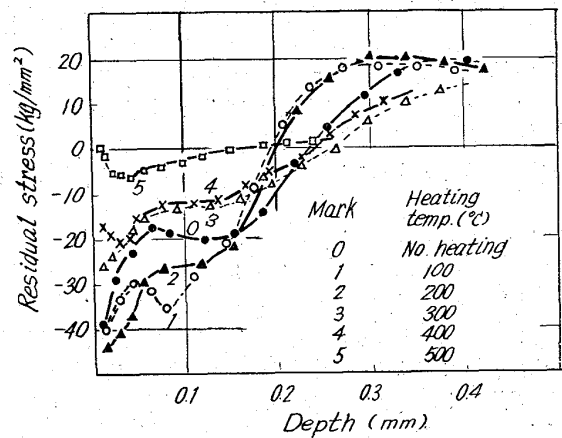


Fig. 5. Effect of heating after shot peening on the residual stress.

つて硬度 (VHN) がそれぞれ 510, 460, 430, 410 になるよう調整したものである。

Fig. 3 は硬度分布曲線である。硬度高いものほど硬度ピークは明確にあらわれている。Fig. 4 は残留応力分布を示す。ごく表面の応力は差がないが、約 0.1mm 深さの応力は硬度大なる程大であり、また応力零を示す位置は硬度低いほど深い。

### 3.3 ピーニング後の低温焼鈍の影響

ショットピーニングを行なつたままの線ばねは、ピーニングによる残留応力が時間の経過とともに徐々に緩和されるために、長時間放置すると寸法狂いを生ずるものである。この変形を防止するためにピーニング後適当な温度で焼鈍を行なうことがある。しかしピーニングによつて生ぜしめた残留応力が、その後の低温焼鈍によつて徐去され、そのため疲労限が低下するおそれがあるのでこの場合の加熱温度の影響を調べた (Fig. 5)。

低温焼鈍の温度は 100~500°C、時間は 30min である。加熱温度が高いと全般の硬度が低下するが、100°C の加熱では硬度ピークの値は変わらない。残留応力値は 300°C 以上で急激に減ずるが 100, 200°C ではむしろ逆に増加する。疲労試験の結果も同様で 100, 200°C では疲労限がわずかながら増加し、300°C 以上では急激に低下する。以上の結果からピーニング後の低温焼鈍は 200

°C 近辺の温度ならば害はないことが明らかである。

3.4 段階処理 (Step peening), 混合処理 (Mix peening) の影響

前報において、小粒ショットでピーニングすれば表面応力は大となり、大粒ショットでピーニングすれば応力零の位置が深くなることを報告した。したがつてもし大粒のショットでピーニングして後小粒ショットでピーニングすれば表面応力も大、深さも大となり、耐疲労性も大きくなるのではないかと予想して実験を行なつた。ショットの大きさは  $0.6\text{mm } \phi$ ,  $1.2\text{mm } \phi$  を用いた。その結果疲労限は  $0.6\text{mm } \phi$  の粒と  $1.2\text{mm } \phi$  の粒とを別々に行なつた場合の中間にあり、優位差を認めることはできなかつた。

混合処理は上述の段階処理と同様、深くかつ大きな残留応力を生ぜしめるために大粒ショットと小粒ショットとを混合したものでピーニングを行なうことで、この場合も混合処理の効果を見とめることはできなかつた。

### 3. 総括

以上の結果を総括すると次のごとくである。

1. ショットの投射速度大となると硬度ピークは大きくまた深い位置に生ずる。疲労限は 2000 r.p.m までは回転数増すほど上昇するが、これ以上増しても効果は少ない。
2. ピーニングされる材料の硬度高いほど、硬度ピークは明確にあらわれる。応力零の位置は硬度低い程深い。
3. 低温焼鈍温度の影響は次のごとくである。硬度分布曲線は  $100^\circ\text{C}$  で影響ないが、 $200^\circ\text{C}$  以上では低下する。残留応力は 100,  $200^\circ\text{C}$  でわずかに増加し  $300^\circ\text{C}$  以上では低下する。疲労限は 100,  $200^\circ\text{C}$  でわずかに増加、これ以上で減ずる。
4. 段階処理、混合処理は予期した好結果は得られなかつた。

## (149) Inconel X 型合金の繰返し加熱ばね特性について

(ばね用超合金の研究—Ⅶ)

三菱製鋼, 大島製作所

○上正原 和典・関 不二雄  
金井 良昭・工博 内山 道良

### On the Spring Properties of Inconel X Type Alloy under Repeated Cycle of Heating.

(Studies on superalloys for spring—Ⅶ)

Kazunori KAMISHOHARA, Fujio SEKI  
Yoshiaki KANAI and Dr. Michira UCHIYAMA.

#### 1. 緒言

筆者らは先に溶体化処理, 1 段時効処理, 2 段時効処理, 冷間加工処理, 冷間加工後時効処理を行なつた Inconel X 型合金の常温, 並びに高温におけるばね特性について報告した<sup>1)2)</sup>が本報においては Inconel X 型合金製圧縮コイルばねに圧縮荷重を加えた状態で繰返し加熱実験<sup>3)4)</sup>を行なつた結果について報告する。

Table 1. Treatment of sample spring.

Kind	Process of treatment
Single aging	Solution ( $982^\circ\text{C} \times 2\text{ hr}$ ) → Coiling → Aging ( $704^\circ\text{C} \times 8\text{ hr}$ )
Duplex aging	Solution ( $982^\circ\text{C} \times 2\text{ hr}$ ) → Coiling → 1st Aging ( $760^\circ\text{C} \times 9\text{ hr}$ ) → 2nd Aging ( $704^\circ\text{C} \times 9\text{ hr}$ )
Aging after cold drawing	Solution ( $982^\circ\text{C} \times 2\text{ hr}$ ) → Cold drawing (62% reduction) → Coiling → Aging ( $649^\circ\text{C} \times 44\text{ hr}$ )

\* Wire was quenched in oil after solution treatment.

\*\* Spring was cooled in air to room temperature after aging treatment.

\*\*\* Dimension of spring: wire diameter 4mm, outer coil diameter 30mm, total number of coils 7.5, effective number of coils 5.5, free length of spring 101 mm, righthand wound, ends were squared and ground.

#### 2. 試料および実験方法

本実験に用いた試料の化学成分は第 V 報<sup>1)</sup>と同じで、これに Table 1 に示す処理を行なつて試料ばねとした。試験機は容量 1.5 t のクリーブ・ラブチャー試験機で、これの保持装置(ばねに圧縮荷重が掛るように設計)にばねを取付け、ばねに荷重を加えた状態で直接交流を通电(溶接用トランスを使用; 容量 12kVA; 1次 200V 2次 11~6V)し、ある温度まで加熱する。ただし測温はテンピルスティックを用い、ばね中央のコイル表面について行なつた。予定の温度に達した瞬間に止電し、コイルの表面温度 (P-PR 熱電対により測温) が  $50^\circ\text{C}$  に低下するまで放冷する。ばねの温度が  $50^\circ\text{C}$  になると同時に再び通电し、上記の操作を繰返し (30 回)、この間におけるばねの撓みの変化を 1/100mm 目盛のダイヤルゲージで読取る。

実験は限界温度 3 段階 (204, 482,  $593^\circ\text{C}$ ), 荷重 12 段階 (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 kg) の組合せによつて行なつた。

#### 3. 実験結果

##### 3.1 荷重—撓み特性 (常温)

常温における試料ばねの荷重—撓み特性は Fig. 1 に示す通りである。ただし各点は 1 箇の試料を代表している。これによると 1 段時効を行なつたものは約  $30\text{ kg/mm}^2$  までの振り応力 (Wahl の応力修正係数を 1.23 として計算) には耐えうるが  $35\text{ kg/mm}^2$  以上では降伏を開始する場合があります。これは箇々のばねのでき、不出来により大きな差がある。応力  $50\text{ kg/mm}^2$  になると密着 (撓み 73mm) するものが多く現われている。

2 段時効の場合は約  $25\text{ kg/mm}^2$  までは降伏しないが  $30\text{ kg/mm}^2$  ではばらつきがみられ  $50\text{ kg/mm}^2$  になると密着するものがある。

一方、冷間引拔を行なつて時効されたものは本実験の範囲内では総て直線関係が保たれている。

##### 3.2 繰返し加熱試験における荷重とセット量