

プレステンパーについて

(昭和 28 年 4 月本會講演大會にて一部講演)

大和久 重雄*・伊藤 篤**

ON THE PRESS-TEMPERING

Shigeo Owaku, Dr. Eng and Atsushi Ito

Synopsis:

In order to obtain the fundamental concept of the "press-tempering (or heat-setting)" method which was applied to correct the distortion of steels due to hardening, the plastic deformation of steels by heating under loads and the mechanical properties of these steels as affected by such deformation were studied.

As the specimens, the steels which contained 0.6% carbon and had been variously heat-treated were used.

The results were as follows:

1. The hardened steel showed an abnormally large plastic deformability during its tempering. The higher the temperature, the larger was the deformability.
2. In the hardened-tempered steel, such deformability appeared during heating at the temperature which was higher than that at which it had been tempered.
3. The annealed steel had no such abnormal deformability.
4. The magnitude of such abnormal deformation was proportional to the applied load and had a closer relation with the hardness variation during the process than with the hardness itself.
5. The influences of such deformation on the progress of transformation were found in the mechanical properties of steels after these treatments.
6. As the cause of such abnormal deformability, the appearance of so-called "position-change plasticity" accompanying the precipitation of the cementite during the tempering was presumed.

I. は し が き

鉄道車輛や自動車に用いられる重ね板ばねを製作する時に、ばね板の熱処理工程において、焼入時に生じた板の変形を矯正するために、焼もどし処理の際にばね板を適当な型でおさえながら加熱を行う操作がある¹⁾。

これによれば容易に所要の形状のものが得られる。これをわれわれはプレステンパーと呼んでいる。アメリカにおいてはヒートセッチング (Heat-Setting) と呼んで

いるようである²⁾。

これは焼入した鋼が焼もどされる時に塑性変形能を増加することを利用するものと考えられるが、いまだこれに関してはまだあまり研究がなされていない。よつて焼入した鋼の焼もどし時における塑性変形能を試験して、かかる際には著しく大きな塑性変形能のあることを確かめるとともに、かかる処理の機械的性質に及ぼす影響について

* 鐵道技術研究所 工博, ** 同研究所 工

試験を行い、プレステンパー作業に関して二三の指針を得たので、これについて報告する。

II. 試験片および試験方法

1. 試験片

試験片として直径約 1.8mm のピアノ線を 850°C にて焼なましたものを使用した。

(i) 化学成分

第 1 表に示すごとき普通炭素鋼である。

第 1 表 供試試験片の化学成分

成分	C	Si	Mn	P	S
含有量%	0.57	0.26	0.43	0.056	0.034

(ii) 熱処理

第 2 表に示すごとき種々の熱処理を行つて組織を変化せしめた。

第 2 表 供試試験片の熱処理

熱 處 理	熱処理後硬度 (Hv)
(a) 焼なまし	850°C に 100min 保持後 爐冷 160
(b) 焼 入	780°C, 850°C, 100°C の 3 通りに各 5min 保持後油冷 840 以上
(c) 焼 入 焼もどし	850°C に 5min 保持後油 冷。ついで 500°C にて種 々の時間焼もどし。 330~410

(iii) 形状

試験片は全長約 400mm で、端部を丸めて縛つてフックを引掛けられるようにし、特に油焼入したものの両端は 700°C の塩浴によつて焼もどしを行い、重錘負荷による端部破損を防止した。なお変形量を測定するために熱処理後試験片表面に中心軸線に沿つて二つの標点を打つた。標点にはピッカース硬度計の圧痕を利用した。荷重は 10kg である。また標点距離は約 90mm である。

2. 試験方法

(i) 永久変形量の試験

試験片に一定重量の錘りを吊しておいて、縦型電気炉で一定温度まで加熱し、その温度に一定時間保持した後錘りを除き、ただちに室温まで空冷し、かゝる操作（以下“負荷加熱処理”と呼ぶことにする）による標点距離の変化を測定して永久変形量を試験した。負荷加熱処理は下記の範囲内の諸条件の種々の組合せについて行つた。

(a) 荷重 0~31kg/mm²

(b) 加熱温度の上限 80~570°C

(c) 上限温度保持時間 1~440min

(d) 加熱速度 (500°C に達するまでに要する時間)
27~151min

なお加熱中の試験片の標点距離内における温度差は約 3% 程度である。標点距離の測定には精度 1/100mm のコンパレーターを使用した。

(ii) 機械的性質の試験

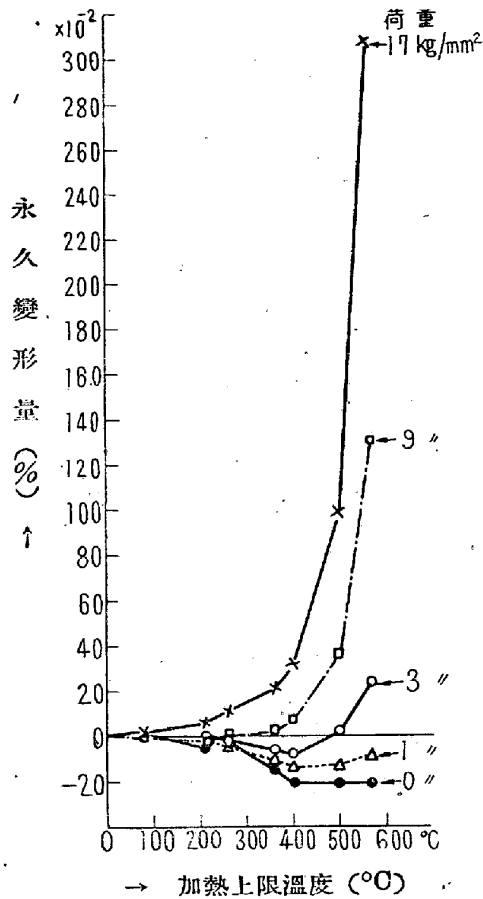
油焼入した試験片に負荷加熱処理を行つた場合における荷重および加熱温度と処理後の硬度、引張強度、曲げ強度および振り強度との関係を試験した。硬度試験においてはライツ製微小硬度計（荷重 300g）を使用し、引張試験においてはアムスラー型万能試験機（容量 1t）を使用して、抗張力、延伸率および断面収縮率を測定し、曲げ試験においてはオルゼン型万能試験機（容量 500kg）を使用して、中央集中荷重による荷重と撓みとの関係および破断に要する荷重を測定し、振り試験においてはアムスラー型振り試験機（容量 60kg-cm）を使用して、破断までの振り回数（捻回値）および破断時のトルクを測定した。また各負荷加熱処理に際しては、無負荷の試験片を同じ炉中において加熱し、それとの比較により負荷の影響を純粋に検出しようとした。なお引張試験および振り試験は加熱上限温度 450°C のものについてのみ行つた。

III. 試験結果

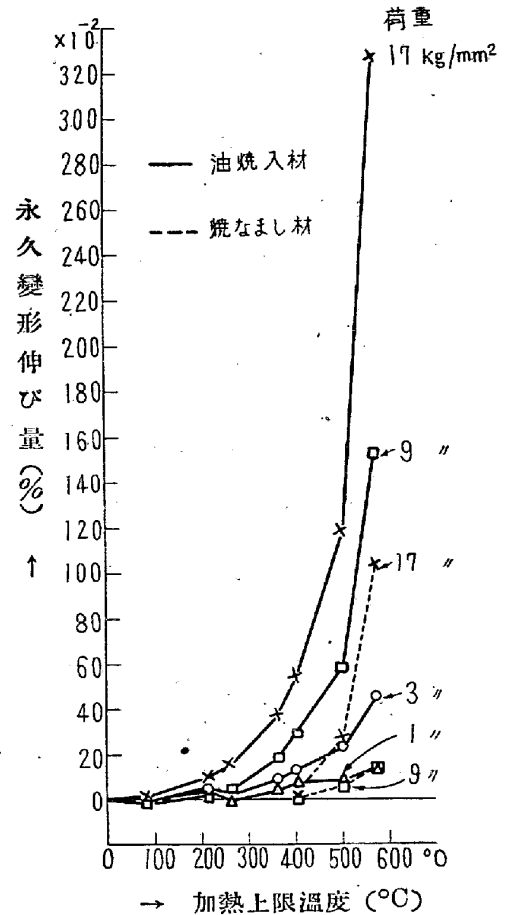
1. 負荷加熱処理による永久変形におよぼす種々の因子の影響

(i) 加熱温度

高炭素鋼の安全焼入材を加熱しながら連続的に長さの変化を測定すると、周知のごとく、80°C 附近より始まる α-マルテンサイトの分解による収縮、230°C 附近より始まる残留オーステナイトの分解にもとづく膨脹および 260°C 附近より始まるトルースタイトへの変化による収縮の 3 つの大きな変化が認められる。よつてこれらの変化と荷重による塑性変形との関係を調べるために、0~17kg/mm² の荷重のもとで加熱温度を逐次 80, 210, 260, 360, 400, 500 および 570°C と段階的に変化して、各温度変化に対する永久変形量を測定した。それらの値を順次に加算した量と各加熱上限温度との関係を第 1 図に示す。加熱速度は約 2.5°C/min で、各加熱上限温度保持時間は 1min である。なお処理後における標点距離の経日変化は認められない。重錘負荷による焼入材の永久変形伸び量（以下これを“伸び”と呼ぶことに



第1圖 永久変形量におよぼす荷重および加熱上限温度の影響



第2圖 永久変形伸び量におよぼす荷重および加熱上限温度の形勢

する。)を見るために、第1近似として荷重0の場合の変化量を基準として表わしたものが第2図である。なお第2図には比較のため焼なまし材の結果も併示してある。これによれば焼なまし材は400°C以下においては塑性変形を起さないのに対して、焼入材は既に100°C附近において、しかもより低荷重によつて塑性変形しているのが認められる。すなわち焼のはいつたものが焼もどされる場合には、非常に低い荷重でも塑性変形を起し、焼もどし過程の存在するかぎり、温度の高いほどまた荷重の大なる程塑性変形しやすい。200°C以下における不規則性は焼入残留応力の消滅に伴う長さの変化が色々の程度に加つているためと考えられる。

(ii) 加熱時間

9kg/mm²の荷重のもとで400°Cあるいは500°Cに加熱保持した場合における伸びと保持時間との関係を第3図に示す。たゞしこの場合400°Cあるいは500°Cまで昇温するのに約25minを要しているため、保持時間0においてすでに相当大きい伸びを示している。

(a) 焼入材

保持温度が400°Cの場合には時間とともに伸びの増

加する割合は比較的ゆるやかで、保持時間の対数と大体直線関係にある。500°Cに保持する場合には時間とともに伸びは増大する。なお焼入温度による変化はほとんど認められない。

(b) 焼入材をあらかじめ500°Cにおいて焼もどしたもの

保持温度が焼もどし温度よりも低い400°Cの場合にはほとんど伸びは生じない。保持温度が500°Cの場合には伸びは時間とともに増大する。

(c) 850°Cにおいて焼なまししたもの

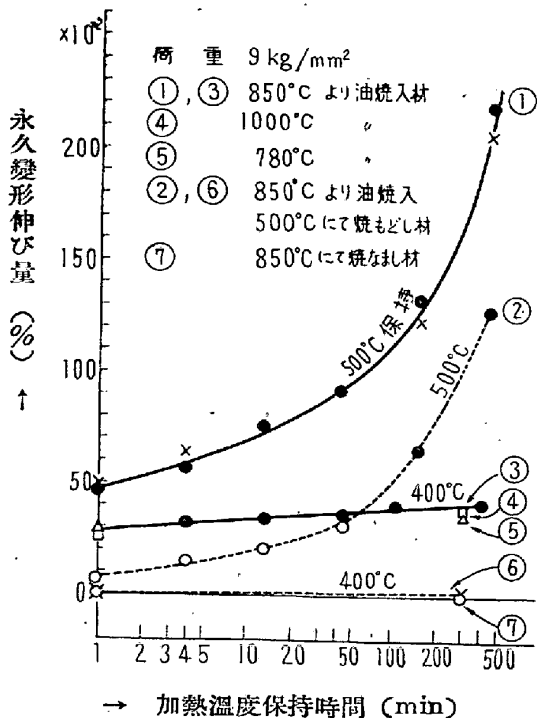
保持温度が400°Cの場合には全然伸びを生じない。400°C以上になるといわゆる降伏変形による伸びが生ずるが、その量は(a)(b)の場合に比して小さい。

(iii) 荷重

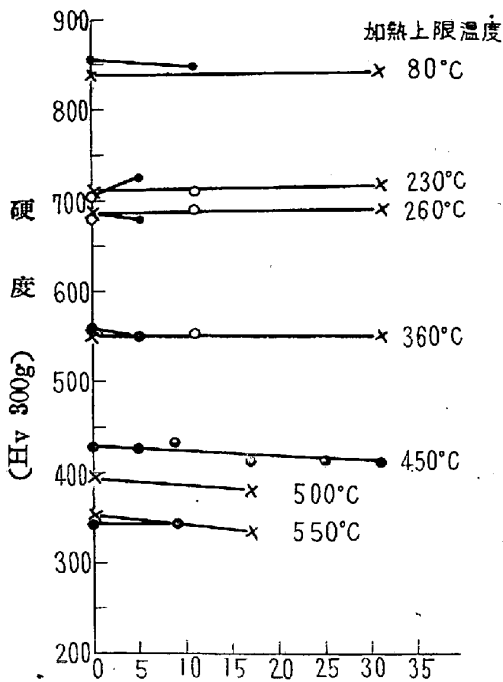
永久変形量と荷重との関係は第4図に示すごとくであり、焼入材に負荷加熱処理を行つた場合の伸びは、加熱条件が一定の場合には、加えられた荷重に比例することが認められる。

2. 負荷加熱処理の機械的性質に及ぼす影響

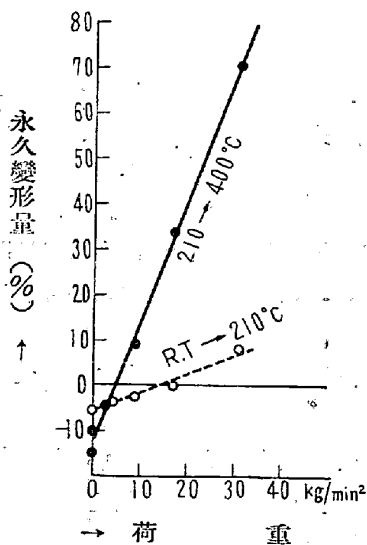
(i) 硬度



→ 加熱溫度保持時間 (min)
 第3圖 永久變形伸び量におよぼす材質および保持時間の影響



→ 負荷加熱處理時荷重 (kg/mm²)
 第5圖 負荷加熱處理後の硬度におよぼす荷重の影響

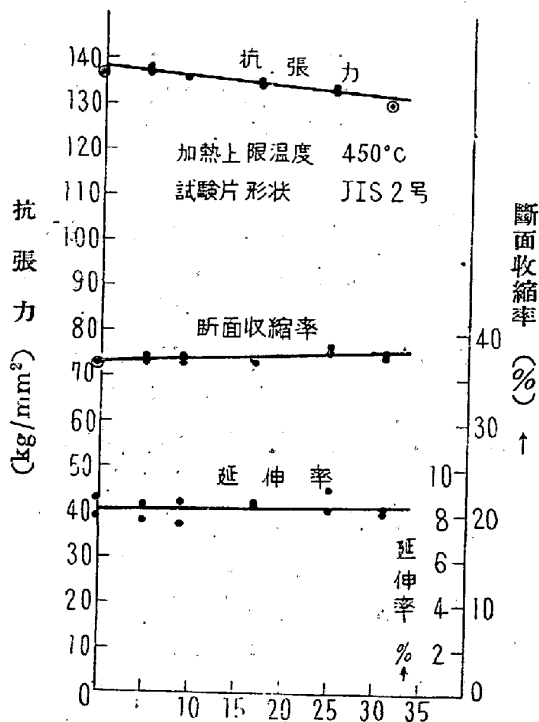


附記せる数値は與えた溫度變化を示す
 第4圖 永久變形量におよぼす荷重の影響

硬度試験の結果は第5図に示すごとくであり、加熱条件が一定の場合には、処理後の硬度は荷重によつてほとんど影響されない。たゞし加熱上限溫度が 230°C 附近の場合に荷重の増加とともに硬度がやや上昇しており、また 450°C 以上の場合に若干低下しているのが認められる。

(ii) 引張強度

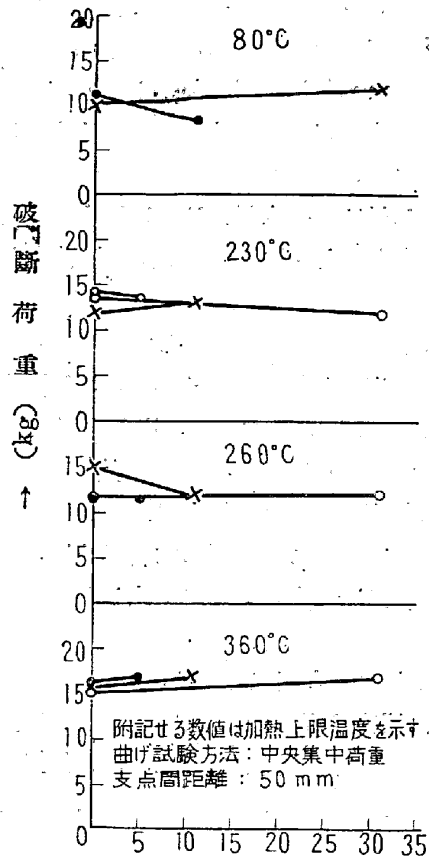
引張試験の結果は第6図に示すごとくであり、荷重の増加に伴い若干の抗張力の低下および延伸率と断面収縮率の上昇が認められる。



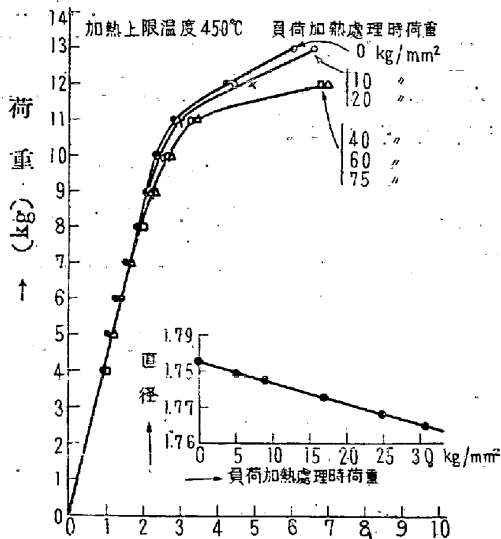
→ 負荷加熱處理時荷重 (kg/mm²)
 第6圖 負荷加熱處理後の引張強度におよぼす荷重の影響

(iii) 曲げ強度

曲げ試験の結果は第7図(1)(2)に示すごとくであり、加熱上限溫度が 230°C の場合に荷重の増加に伴う破断荷重の減少が、また 450°C の場合に降伏荷重の減



→ 負荷加熱処理時荷重 (kg/mm²)
 第7圖(1) 負荷加熱処理後の曲げ強度におよぼす荷重の影響

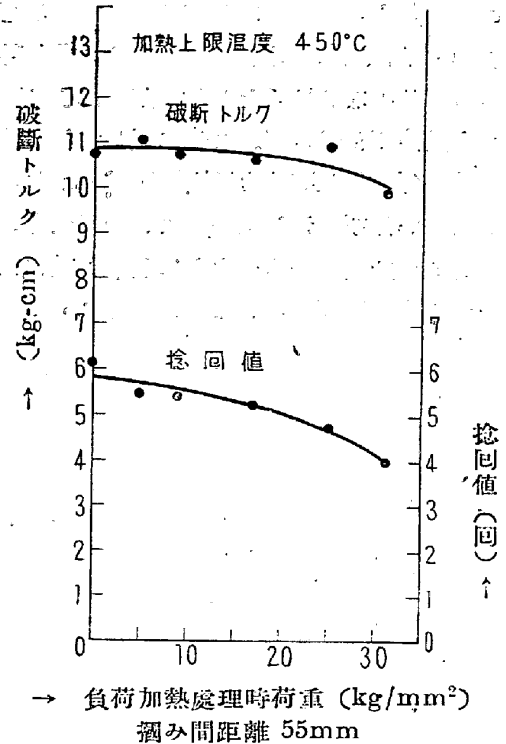


→ 支点間中央部における撓み (mm)
 第7圖(2) 負荷加熱処理後の曲げ強度および試験片直径におよぼす荷重の影響 (曲げ試験方法は(1)に同じ)

少が認められる。

(iv) 振り強度

振り試験の結果は第8図に示すごとくであり、荷重の



→ 負荷加熱処理時荷重 (kg/mm²)
 網み間距離 55mm
 第8圖 負荷加熱処理後の振り強度におよぼす荷重の影響

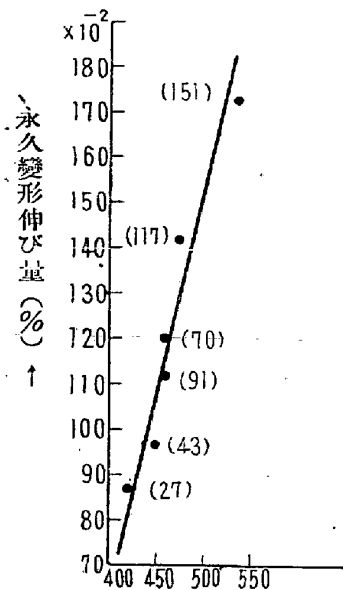
増加に伴う破断トルクおよび捻回値の減少が認められる。なお第7図(2)中に試験片の直径の変化を併記したが、荷重の増加による永久変形伸びの増大に伴い直径は次第に減少している。この直径の減少より期待される強度の減少量は約3%程度であつて、上述の曲げ試験における降伏荷重あるいはまた振り試験における破断トルクの減少量はこれを上廻っている。この理由の一つとして材質の変化が考えられ、前述の硬度試験において認められた諸結果もこれを示している。

すなわち以上の諸結果によれば、焼入材の負荷加熱処理においては加工硬化現象はほとんど認められず、変形は変態を促進するようと思われる。なお捻回値の低下する理由は不明である。

3. 負荷加熱処理による硬度変化と永久変形伸び量との関係

一般に焼もどし現象の進行は硬度変化によつてこれを知ることができる。また負荷加熱処理による伸びは焼もどし現象の進行に関連して生ずるものであるから、この両者の間にはなんらかの関係が存在するものと考えられる。第9図は焼入材(Hv=860)に対して荷重17kg/mm²、加熱上限温度500°C; 500°Cに達するまでの時間を27~151minの範囲内で変化、という負荷加熱処理を行つた場合の硬度の減少量と伸び量との関係を示すものであり、硬度の減少量(軟化度)の大きいほど伸び量

も大きいことが認められる。なお第3図におけるごとく荷重 9kg/mm^2 加熱上限温度 400°C なる負荷加熱処理において、 $H_v=160$ なる焼もどし材（処理による硬度変化なし）が全然伸びを示さず、これに反して処理後の硬度が $H_v=470$ （処理による硬度変化 390 ）となるような焼入材が著しい伸びを示していることを見ても、伸び量の大小は材料の硬度そのものよりは加熱処理による硬度の変化量の大小に関係するところが大きいことがわかる。



→ 硬度の減少量 (Hv)

附記せる数値は 500°C まで加熱するに要した時間 (min) を示す

第9圖 硬度變化と永久變形伸び量との關係

IV. 結 び

プレステンパーの現象を明らかにするために、焼入鋼、焼入焼もどし鋼および焼なまし鋼に荷重を加え、加熱（負荷加熱処理）した場合における塑性変形能、およびかかる処理の機械的性質に及ぼす影響について試験した結果、次のごとき結論を得た。

1. 焼入鋼は、焼もどし現象の進行中には、非常に低い荷重によつても塑性変形を行う。しかして焼もどし現象の存在するかぎりには、温度の高い程変形しやすい。

2. かかる場合の塑性変形の大いさは荷重に比例し、またかかる変形は変態を促進する効果があるようで、処理後の機械的性質にその影響が認められる。なお加工硬化の現象はほとんど認められない。

3. 荷重が同じ場合には、負荷加熱処理における塑性

変形量の大小は、材料の硬度そのものよりも同処理による硬度の変化量に依存するところが大きい。

4. 焼入焼もどし材は、負荷加熱上限温度が焼もどし温度よりも高い場合にかぎり、普通の降伏変形以外に塑性変形が増加する。

5. 焼なまし材は、焼入材あるいは焼入焼もどし材にくらべて、負荷加熱処理によつて塑性変形を起しがたしい。

6. 以上のような現象の原因としては、焼もどしにおける炭化物の析出、凝集等に伴ういわゆる位置交換塑性 (Position Change Plasticity) の出現が考えられる³⁾。

7. プレステンパーはかかる現象を利用した操作であり、焼もどし温度が 450°C 以上であるようなばね類に対してこの操作を施すことは極めて有効適切である。ただし、この場合には、次の諸点に注意しなければならない。

(i) まず十分に焼入硬化させる。

(ii) 焼入硬化材をそのままプレスする時は折損の危険が大きいため、焼入残留応力を除き、また靱性を増加させる目的で、あらかじめ $250\sim 350^\circ\text{C}$ において焼もどす。

(iii) プレステンパー後の硬度は荷重によつてはほとんど変化しないが、実際作業においては型の存在などのために加熱に不均一が起り、硬度にむらを生ずる恐れがある。したがって製品硬度の許容範囲が狭く不合格になる恐れのある場合には、プレステンパー時の加熱温度を若干低めにしておいて、プレス終了後にあらためて所要硬度に焼もどすようにする。

8. 引張荷重を加えて負荷加熱処理を施した場合に荷重の増加に伴う捻回値の減少が認められるが、その理由については明らかでない。(昭和29年3月寄稿)

文 献

- 1) 日本國有鐵道車輛局“板ばね製修作業基準”昭和27年2月
- 2) F. P. Zimmerli “Heat Treating, Setting and Shot Peening of Mechanical Springs” Metal Progress, June. (1952).
- 3) A. H. Sully “Metallic Creep and Creep-Resistant Alloys” (London, Butterworths Scientific Publications) (1949). p. 101~102, p. 161~164.