Strain Tempering(KRK法)に関する研究(第2報)

線 引 工 程 へ の 適 用

松岡 甚五左衛門*

J. Matsuoka: Application of KRK Process in Steel Wire Mill (II). As has been reported in the foregoing papers, the steel wire subjected to patenting or cold worked remarkably increases its strength by K. R. K. Process. The present paper deals with the effectiveness of the process when it is applied to a wire, patented and then 86.7% reduced in 10 steps by ordinary drawing. Results obtained are as follows. The increase of strength of wire by KRK process depends upon the reduction percentage of the wire after patenting. As this percentage increases by successive drawing, the elevation of strength of wire after the treatment increases also. If KRK process is successively applied to the wire after every drawing, the elevation of strength in each time diminishes as the number of application of the process increases, and consequently the difference of strength between that of the wire thus treated and that of the wire reduced without the treatment increases at first and then decreases. Therefore the effective application of the process to the drawing of the patented wire is to apply the process successively in the first or last few steps of the reduction.

(Received November 30, 1952)

I. 緒 言

第1報において Strain Tempering (KRK 法) は加工鋼線およびパテンチングせる鋼線に適用せる場合強度に著しい効果を與え、その際荷重、時間、温度はそれぞれ適當なる條件を有することが判つたので、次に現行線引作業にお

いて普通に施行される鉛パテンチング處理せるソルバイト組織の鋼線につき中間試験的研究を行つた。試料 (Table 1 の I 欄) は直徑 3.0 mm にて鉛パテンチング處理せるピアノ線材である。その機械的性質は Table 2 のごとくである。この實驗には線引作業工場の協力を必要としたので京都市在の某工場を選んだ。借用した線引セットの減面は次のごとくで、これについて KRK 法を適宜挿入した。

* 京都大學理學部化學教室金相學研究室

3.0 mm→2.68mm→2.36mm→2.2mm→2.0mm→1.8 mm→1.6mm→1.43mm→1.3mm→1.2mm→1.1mm

Table 1 Analysis of Piano Wires Used as Specimens.

Nō	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
I	0.80	0.18	0.40	0.024	0.022	0.03	0.03	0.06
II	0.91	0.23	0.39	0.012	0.006	0.11	0.05	0.07
III	0.59	0.27	0.44	0.017	0.016	0.18	0.1	0.09

Table 2 Mechanical Properties of Patented Piano Wire No. I.

Tensile str. kg/mm ²	Yield str. (0.2%) kg/mm ²	Torsion Value 100 D	Elongation %	Hardness V. H. N.
138	102	34	5.5	385~405
138	102	32	5.5	

なお装置としてはダイスと巻取機間に長さ1.2mの鹽浴槽をおき所定の温度に加熱を行い、力は特別に附與することなく、ダイスと巻取機間に作用する張力を利用した。線引速度は12時ドラム毎分15回転、すなわち15m/min、加熱時間は略5秒となった。測定は前記實驗と同様であるが降伏点には0.2%の残留伸をとった。

II. 結 果

第1報に述べたごとく、加工せる線材に KRK 法を施行する場合、線材の種類などを一定にしても (イ) 線材の加工度、(ロ) KRK 法の温度、時間および同時に作用する力の大きさ、 によつてその効果が異なる。従つて普通の線引工程にこの処理法を適用する場合にもこれら (イ) (ロ) を種々に變えてその影響を見る必要があるが本實驗では既述のごとく實際に稼業せる工場設備を借用したので多くの場合處理時間は巻取機の回転数によつて定めら

れ、作用する力は各ダイスの減面率と巻取機によつて定められるからこれらを任意に變えることは困難であつた。従つて主として線材の加工度および處理温度の影響をしらべた。また前記10回の減面工程に1回KRK法を施した場合の外、KRK法を施したあとで數回普通の減面を行つた場合などについて線の強度の變化を調べた。

1. 冷間加工 (單純減面) による強度變化

先づ最初に比較のために從來の線引加工 (以下これを單純減面と呼ぶ) による抗張力降伏點の上昇を各減面毎に求めた。いうまでもなく第1回目の減面前に鉛パテンチングせるものである、Fig 1* の×點はそ

* 圖面を節約する關係からこの圖にも澤山の種類の實驗結果が一緒に書き込んである。單純減面により例えば a から b_0 まで抗張力が上がるがこれを250°でKRKすれば強さは b_3 となり、330°でKRKすれば b_1 となる。 ab_2 , a, b_1 の點線と數字はこれを示す。 b_0b_3 , b_0b_1 の實線がKRKによる實際の上昇であるがこゝには處理温度が記入しにくい。従つてこの圖および他の圖でも圖の余白に従つて何か一つの表わし方をしたり、兩方を書いたりしてある。×から●または○への實線は何れもこの意味で破線および×は單純減面、破線および○は降伏點、實線、點線および●は抗張力であれもKRK處理後の値である。なおFig. 1では抗張力の $a, b, c, \dots$ に對應する降伏點には $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ としてある。

の測定結果である。從來の結果と同様に強さは最初徐々に、後減面の回数増加と共に急激に上昇する。

Fig. 1

2. 各種單純減面率*におよぼすKRK法の効果

Fig. 1に明らかなごとく減面率は86.7%が最大であるが、各減面率の線に對してKRK法がどの程度の効果を持つかに關してもKRK法の温度によつて効果が相違するであらうことが考えられる (時間と力は裝置上一定であるから)。

(1) KRK法の温度の**影響

KRK法の温度の影響も大勢はあまり線材の加工度に影響されないであらうが、最大の強度を得るための温度は加工度によつて異なることが考えられるので、單純減面率19.

Fig. 2 Effect of KRK Temp. on Strength of Wires (A) Various Cold Drawn or (B) Successively KRK Treated After Each Cold Drawing.

6, 40.1, 45.9, 81.1, 83.9 および 86.7%の試料につきKRK法の温度を200~400°に變えて處理し、Fig. 2-Aに示す結果が得られた。いづれの減面率のものの強度曲線も同様の傾向を示し、最高強度に達した後は處理温度の上昇によつて強度が下る。最高強度を示す温度は減面率によつて異な

* パテンチング直後の3.0mm原線に對する%。

** 以下の温度共にづれも鹽浴の温度を指す。

りその率の増加と共に低温側に移行しある減面率以上となれば、 270° で一定となる。また減面率大なるものほど最適温度による強度増加が著しいが、その後の温度低下もまた著しい。圖には最高強度を矢印で示しその上に附記してある数字はその値と処理前の減面のまゝの強度との差である。Fig. 1 の b_0b_1 , c_0c_1 , d_0d_1 , g_0g_1 , j_0j_1 , k_0k_1 の實線の長さはこれを示す。同圖には測定せられた降伏點についても同様の値が實線によつて示されている。これらの結果から明らかなごとく最高の強度を得るためには減面率に應じて KRK 法の処理温度を適當に選ぶ必要がある。

(2) 線材の減面率と KRK 処理後の最高強度の關係

以上の結果から明らかなごとく、1 回だけ KRK 法を施す場合には減面率大なるほど効果が著しい。(減面率の大なるほど Fig. 1 の $\times$ 點が示すごとく、強度が大なるのであるからこの強度に対する増加の割合から見れば減面率の小なるものに KRK 法を施すほど効果が大きい)。

3. KRK 法連續施行の效果

次に考えられることは 2. と異なり KRK 法を幾回も連續して行ふ場合強度の昇がどのようになるかである。この場合にも 2. と同様 KRK 法の処理温度も影響する。

(1) KRK の連續回数とその後の KRK 温度の影響

この試料としては次のごときものを選んだ。

(i) パテンチング直後 1 回減面 (19.6%) 後 330° にて KRK せるもの

(ii) (i) をさらに 1 回減面 (40.1%) 後 270° にて KRK

(iii) (ii) をさらに 1 回減面 (45.9%) 後 250° にて KRK

(iv) (iii) をさらに 1 回減面 (55.5%) 後 250° にて KRK せるものの 4 種類の試料につき 200~400 間の種々の温度で KRK 処理を行い、その際の温度の影響を調べ Fig. 2-B を得た。すなわち Fig. 2-A と同様 KRK 法連續施行の回数増加に伴い最高強度を示す温度は低温に移行し、45.9% およびそれ以上では 250° にほぼ一定となる。Fig. 2-A と正反對に 1 回の KRK 法處理による強度増加は KRK 法の連續回数の増加と共に減少している。すなわち單純減面の場合にはその加工度の増すほど 1 回の KRK 處理による強度上昇が大であるが、KRK 法を連續施行したものはその後の 1 回の施行増加による強度上昇は減少する。

(2) 一定温度における KRK 毎回連續施行の效果

上に述べたごとく連續的に KRK 法を施行すれば 1 回毎の強度上昇は連續回数の増すと共に減少している。各回の KRK 法處理を一定温度において行つてもやはり回数増加と共に強度上昇が減少すること、Fig. 3 の AB 線が示すごとくである。AB 線の各點の値すなわち $\bullet$ 點は同圖の b_0b_1 , c_0c_1 , d_0d_1 , e_0e_1 , f_0f_1 , g_0g_1 の各實線の長さで $b_2c_1d_1e_1f_1g_1h_1$ は毎回の減面後一定温度で連續 KRK 處理せるもの $\times$ 強度である。この AB 線から明らかなごとく、KRK 法を連續施行すれば遂には單純減面との差がほとんどなくなつて了うに至る。上圖では g_1 を單純減面するものその後 KRK を施すも強度に變りが出ていない。また下圖 AC 線

は單純減面の $\times$ 點と連續 KRK の $\bullet$ 點との距離を減面率に對してプロットせるもので、兩點の開きは最初の内は増加し遂に極大に達して後少しくちぢまつてゆく (h_1 點の値はやゝ高きに過ぎるように見える)。これは $ab_0c_0 \cdots inj_0k_0$

Fig. 3

線が終りの方で急激に立ち、AB 線が終りの方で横軸に近づくことの合成結果と考えられる。

4. KRK 處理後に單純減面を行う場合

3. は減面工程の最初から引つゞき毎回 KRK 處理せる場合であるが、幾回か KRK 處理を施した後に單純減面を行ふ場合その強度はどのように變化するかを次に調べた。

(1) 最初 1 回のみ KRK 處理せる場合

この場合は Fig. 1 および 3 の $b_2c_2d_2e_2f_2g_0$ が示すごとく、1 回單純減面後直ちに KRK を施して強度を上昇 (b_0 から b_2 へ) せしめているので、そのものを次に單純減面すれば b_2 から c_2 に上るのみでこの上昇は b_0 から c_0 への上昇よりも小である。従つてさらに單純減面を繰返すと、第 1 回目の KRK 處理の効果が次第に消されてゆく (たゞし單純減面 1 回當りの上昇は漸増する) 遂に g_0 の減面にてその効果は全くなくなつて了う。單純減面も KRK 處理も強度増加の一法にすぎず、しかも單純減面による強度増加が前提となつて KRK 處理の強度増加が現われる (第 2 報の場合に限定してこういえる。第 1 報に示したごとく KRK は熱處理せるものにおいても強度増加を齎すからこの點からみれば加工が前提ではないが) のであるから最初 1 回だけ KRK 處理を施しただけであればしからざるものに較べて、その後の單純減面によつてその効果が打消されてゆくのは當然である。

(2) 数回 KRK 處理後に單純減面する場合

この場合の結果は Fig. 3 の $d_1e_1f_1g_1h_1$ によつて現われており、單純減面の進むに従つてその強度は第 1 回目より全然 KRK 處理せざるもの $\times$ 強度すなわち $\times$ 點を連ねる破線に近づいてゆく。Fig. 4-A はこの (1) (2) の關係を schematic に示すものである。

3. の (2) および Fig. 3 に明らかなごとく, KRK 處理を毎減面に連続施行すればその回数進むにつれ, その効果が減少してゆき遂にはある回数以上 (圖の l_1) は効果がなくなる. 従つてかゝる限度に達すれば KRK 處理を止めても強度をねらう目的には反しないが, Fig. 4 A から明

Fig. 4

らかなごとく, かゝる限度に達しない回数のところでの後の KRK 處理を止めて單純減面のみ行えば, 強度は明らかに最高値よりは次第に劣つてゆく.

5. 最初致回は單純減面し後 KRK 法につゞける場合

Fig. 5 は 3.0mm から 1.3mm まで數回に單純減面後に KRK せる結果で 3. の (1) に述べたごとく冷間加工後, i 回だけ KRK を行ふ場合にはかゝる高加工度のものにおいては強度の上昇が極めて著しい (縦の實線側の數字は上昇度を kg で示す). しかしこのものに繰返し行えば強度の上昇

Fig. 5

のものにも押廣げれば Fig. 4 B が schematic に畫かれる.

なお Fig. 5 において最適温度が KRK 處理を繰返せば低温の方にずれることは 3. の場合と同様である.

6. KRK 法と冷間加工とき組合せ行ふ場合の強度變化

實驗結果を Fig. 1 の e, f, g の諸點に示したが上述の結果がそのまま適用されることが立證されている. すなわち 1 回目の減面後に 350° にて KRK せる b_2 の値は冷間加工による b_0 の値より著しく大であるが, その後單純減面のみ繰返せば前述のごとく回数進むに従つて c_2, d_2, e_2, f_2, g_0 のごとく最初から一度も KRK を行わない c_0, d_0, e_0, f_0, g_0 との差がせばまつて行き, 逆にまた最初から連續 KRK せるもの b_3, c_1, d_1, e_1, f_1 との差は次第に大となつて行く. この途中たとえば e_2 を f_2 に單純減面後 f_2 で KRK 法を行えば f_4 の値となりオール單純 f_0 との差が開き, オール KRK の f_1 に近づいて行く. さらに引續き KRK を行えば g_4 の値となり益々オール KRK の値 g_1 に近くもその上昇度 g_3, g_4 は以前の上昇度 (f_2, f_4) よりは減じて来る. また最適温度も 270° より 250° にずれる. また f_1 から g_2, l_2, i_2 と單純減面後 KRK を行えば i_3 と急増する. 斯かる場合の關係を Fig. 4 C に schematic に表わした.

7. KRK 法における時間の影響

このところでは力は一定則ち 1.4mm → 1.2mm に 26.2 % 加工を行ふ際のダイスと巻取機間に作用する張力を用いて一定とし, その際の線引速度をそれぞれ 12 吋ドラム毎分 10.5, 20, 30 回に變えることに依り加熱時間を 6 秒, 3 秒, 2 秒に變え時間の影響を調べた. 用いた試料は Table 1 の II 欄の組成で豫め 2.5mm にてバテンチング後 2.5mm → 2.2mm → 1.8mm → 1.6mm → 1.4mm のごとく 68.5% 冷間加工せる鋼線である.

結果を示す Fig. 6 A に明かなること, 一般に時間の影響を云々することは出来ない. 即ち時間が長いものほど最高強度を示す温度が低温側にずれを示す. 斯様に時間は何時も温度との關係において議せられねばならない. 即ち低温においては時間は長いほど, 高温においては短い時間の方が効果が大である. 高温において長時間の加熱は却つて強度を減少する. なお最高強度にはほとんど差はなかった.

8. KRK 法における力の影響

第 1 報の實驗において作用せしめる力の影響はことに降伏點に著しい影響を与えることが知られ, なお線引加工の際に本處理を行ふ際にも加工度に依り最高強度を示す温度が低温側にずれ, また加工度大なるものほど, 強度の増加は著しいのが認められたので, このところでは 1 回の減面率を變え, ダイスおよび巻取機間に働く張力を變えその影響を調べた. 用いた試料は Table 1 の III 欄のごとき分析値を有する 2.4mm にてバテンチングを行つたまゝの鋼線を用いた. 減面は次のごとく行つた.

- 2.4mm → 2.25mm 11.8% 加工
- 2.4mm → 2.2mm 15.9% 加工
- 2.4mm → 2.1mm 23.6% 加工

2.4mm→2.0mm 30.6%加工

この場合 1 回の減面すなわち加工度が大なるほど捲取りに大なる力を要するから、各テストのダイスから出て来る線は加工度の大なるものほど KRK の際の力もまた大となっており、この両方の重なった結果が出て来る(一度ダイスである減面を行つた線を KRK し、この時線に働く力をいろいろに變えれば加工度の等しい線について KRK の際の力のみの影響が求められるがこれはまだ行つていない)。

Fig. 6 Effects of Time, (A) and Force (B) of KRK Treatm. on Strength.

えてはいる。

IV. 結 括

代表例ではないが現行線引工程の一例をとつて、この工程中に KRK 処理を随時各様の適用の仕方をしてみた結果、本処理法の材料學的意義を知る上において何程かの手懸りが得られたと同時に、鋼線の強度を對照として本處理法を適用する場合の目安がついたように思われる。すなわち

(1) 低温加工せる線に KRK 法を適用する場合、加工度の如何に拘らず抗張力、降伏點が上昇する。この上昇は (kg/mm² の數値における) KRK 處理を唯 1 回に限る場合、加工度の大なるほど大である。

(2) 最高強度を得るための KRK 處理の溫度に関しては單純減面の場合も、連續 KRK 處理の場合も、線の強度上

昇に伴つて低温側に移行する。この點加工度大なるほど軟化溫度が低下する一般の場合と同様である。

(3) KRK 處理を幾回か連續して行く (各減面毎にという意味) 場合、回数の重なるほど 1 回當りの處理効果は減少するが、どの減面率のものに對しても、單にその率の減面後に KRK 處理を 1 回だけ施行するよりは、その前後の減面の際にも KRK 處理を施す方が強度の大なる線が得られる。すなわち KRK 處理の回數が多いほど、強度の大なるものが得られる。

しかしながら餘りに KRK 處理を多く連續して行くことは 1 回當りの効果を少なくするから、(1) から考へて減面率の最終に近い工程の減面毎に數回 KRK 法を施すことが能率的である。

(4) (3) の事柄から次のことが云い得られる。たとえば本報告實驗例についていえば 3.0 mm のものが最終線引工程によつて 1.1 mm に線徑が減るのであり、その加工度は 86.7% 減面率であるが、この最終線の強さは C% によつて左右される。C% の少い鋼線について最終回近く KRK 處理を行えば通常の線引作業を行つたより高炭素の線と同様の強度が得られる。

(5) 同様に KRK 法を施すことによつて減面工程を幾回か省略しても強度が劣る心配がない。

(6) KRK 法を數回連續施行後に單純減面のみを行つてゆけば、初期の KRK 處理の効果は次第に減少してゆく。

(7) KRK 處理および普通の冷間加工を組合せ施行する場合には上述の變化を辿るがこれらを schematic に現わし、線引工程に適用せる場合の指針を與えた。

(8) KRK 法における處理時間が長くなれば最適溫度は稍々低温にずれるが最高強度には變化が認められなかつた。

(9) KRK 法における力の影響は本實驗のごとき方法にて作用せしめた場合には力 (減面率) と共に全體的の強度は増大するも最適溫度のずれあるいは溫度による強度上昇の變化は本實驗範圍内の力にては認められなかつた。

本研究に際し終始御懇篤なる御指導を賜つた岩瀬教授に深甚の感謝を表すると共に助言を頂いた佐野、京谷兩氏、試料その他に御援助を頂いた神戸製鋼、三菱重工、三興線材會社ならびに實驗に協力された掛君に深く感謝するのである。なお當研究の一部は文部省科學研究費により行つたものである。