Strain Tempering (K RK 法) に關する研究 (第 4 報)

Strain Tempering 處理の炭素量を異にせる 鋼線におよぼす影響*

松 岡 甚五左衛門**

Matsuoka Jingozaemon : Study on "Strain Tempering (K RK)" (4th Report).
Effects of "Strain Tempering (K RK)" on Mechanical Properties of Various Carbon Steel Wires.

It has been reported that mechanical properties are improved by applying "Strain Tempering (K RK)" process to steel wires containing 0.6~0.9% C. In this paper the effect of carbon content of steel wires on the mechanical properties in this process has been investigated. Results obtained are as follows: (1) In the case of low carbon steel wires, tensile strength, yield strength and hardness are also improved by this process. These improvements in strength and ductility are expected by adopting suitable conditions of this process as in the case of high carbon steel wires(2) The strength increases with carbon content and reduction are increased, but the maximum strengthening is determined by the relation of carbon content, reduction and treating temperature.

(Received June 18, 1954)

I. 緒 言

機械的耐力と熱とを同時に短時間作用せしめる Strain Tempering (K RK) 處理法は、加工材と熱處理材とを問わず、作用せしめる力の大きさ、處理温度および時間を適當に選擇することにより諸性質を改善せしめ得ることは既に前報⁽¹⁾⁽²⁾に述べたが、いずれも供試材の C 量は 0.6~0.9% の比較的 C 量の多い鋼線について行つたものであつたので、本報告においては C 量の少い軟鋼を用い、本處理法が有効であるような炭素成分範圍が存在するや否やを検討するとともに、比較を容易に行うために 0.6 および 0.8% C 鋼線についても再び實驗を繰返し、C 量により處理の効果が如何に相違するかにつき實驗した結果を報告する。

II. 實驗試料および方法

試料としては約 1.8 mm ϕ の Table 1 の如き組成を有し、豫め Table 2 の如く熱處理された 4 種の鋼線 (機

械的性質ならびに顯微鏡組織はそれぞれ Table 3 および Photo. 1 に示す) を用い單頭式線引機により 20 m/min の線引速度にて

1.8 mm $\rightarrow$ 1.6 mm $\rightarrow$ 1.4 mm $\rightarrow$ 1.2 mm $\rightarrow$ 1.0 mm $\rightarrow$
0.9 mm $\rightarrow$ 0.8 mm $\rightarrow$ 0.7 mm $\rightarrow$ 0.6 mm

の如く單純減面 (普通の線引加工) を行つるとともに

1.8 mm $\rightarrow$ 1.6 mm $\rightarrow$ K RK $\rightarrow$ 1.4 mm $\rightarrow$ K RK $\rightarrow$ $\rightarrow$
0.7 mm $\rightarrow$ K RK $\rightarrow$ 0.6 mm $\rightarrow$ K RK

Table 1 Analysis of original wires.

Elements Remark	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	Ni %	Cr %
C 1	0.11	0.13	0.42	0.017	0.033	0.17	0.06	0.03
C 4	0.41	0.23	0.51	0.028	0.027	0.15	0.05	0.03
C 4	0.64	0.28	0.44	0.027	0.040	0.13	0.05	0.07
C 8	0.81	0.23	0.45	0.028	0.030	0.05	0.03	0.03

Table 2 Heat treatment of original wires before drawing.

Remark of specimens	Heat treatment
C 1	Heated at 650° for 4 hrs and furnace cooled in 1 hr
C 4	" 960° and quenched in Pb-bath at 550°, kept for 1.5 min and then air cooled
C 6	" " " 510°, "
C 8	" " " " , "

** 京都大學理學部金相學研究室

* 1954 年 4 月本會東京大會に發表。

(1) 岩瀬, 佐野, 松岡, 京谷, 本誌, 17 (1953), 230.

(2) 松岡, 本誌, 17 (1953), 235.

† 1954 年 4 月本會東京大會に發表する際武井博士の御質問をうけ、その際考えだけは既に述べておいたが、[本誌, 17 (1953), 253]これを實驗的に證明せんとした。

の如く各減面後に毎回一定温度、時間 KKK 処理を施し、各減面における諸性質を測定比較した。KKK 処理の方法

×300

Photo. 1 Micro-structure of original C steel wires before drawing.

Fig. 1 Change of mechanical properties of C-steel wires due to ordinary drawing.

は前報⁽²⁾に述べたと同様、ダイス、巻取機間に鹽浴加熱槽 (50% KNO₃+50% NaNO₂) を挿入し、減面と連続して行つた。なお処理温度*としては 150°, 250°, 350° を用い、

* いずれも鹽浴の温度を指す。

Table 3 Mechanical properties of original wires before drawing.

Mechanical properties Specimens	Yield strength (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Hardness (V. H. N.)	Elongation (%)	Torsion value (Nos)
C 1	32.3	42.2	135	14.0	125
C 4	53.9	88.2	272	10.0	72
C 6	69.0	114.5	331	6.0	59
C 8	92.0	130.0	401	6.0	44

加熱時間は装置の関係上最適ではないが 2.5 sec 一定で行つた。

なお機械的性質の測定は次の如くい測定値は 2 本以上の試料の平均値をとつた。

(a) 抗張力: 600 kg の抗張力試験機を用い、>1.0 mm φ の鋼線については 250 mm, <1.0 mm φ の鋼線については 200 mm の握み間隔にて引張り、破断までの最大應力値をとつた。

(b) 降伏應力 (降伏点): 抗張力測定の際試料に直接精密付計を取付け、標點距離 50 mm において 0.2% の残留伸を與える應力値をとつた。

(c) 伸び: 握み間隔は (a), (b) に同じ、標點距離は >1.0 mm φ 鋼線では 150 mm, <1.0 mm φ 鋼線では 100 mm にとり切斷後標點間の長さを測定した。

(d) 捻回値: 旋盤を用い、握み間隔は鋼線の 100 倍、荷重は <1.0 mm φ 線では 2.5 kg, >1.0 mm φ 線では 7.0 kg, 捻回速度は 110 r. p. m. にて破断までの捻回数をとつた。

(e) 硬度: Vickers 硬度計を用い、荷重 10 kg. 試料の中心部を縦斷面にて測定した。

III. 實驗結果

1. 單純減面による諸性質の變化

最初に比較のため單純減面による諸性質を各 C 鋼線につき減面ごとに求めた。Fig. 1 にその結果を示す。

すなわち各鋼線とも減面の進むに伴

い抗張力、降伏点、硬度は増大する。なおその絶対値は C 量の多い鋼線ほど大である。これに反し伸び、捻回値は減面の少ない間は C 量の多い鋼線ほど大であるが減面の進むに伴い伸びは次第に減少し C 量による差が少なくなってくる。

捻回値は伸長明瞭ではないが、ほどある減面まで増大、後減少し、さらにまた増大するが C 量による差は伸同様減面の進むに従い少くなる。降伏比は減面とともに高くなる。

Fig. 2 Change of mechanical properties of C steel wires due to KRK treatment.

2. KRK 処理による諸性質の変化

次に C 量を異にした鋼線に KRK 処理を施した場合の諸性質の変化を調べた。Fig. 2 はそれぞれ一定温度 150°, 250°, 350° にて 2.5 sec, KRK 処理を施したものゝ各減面における諸性質である。

(1) 処理温度の影響

Fig. 2 より明らかな如く処理時間が 2.5 sec 一定の際には処理温度および鋼線の C 量の如何を問わず減面に伴う強度、伸び、捻回値の變化は單純減面の場合とほぼ同様であるが、何れの減面においても処理温度は高いほど抗張力、降伏点、硬度、降伏比は大であり、その差は C 量により異なるも減面率の増加とともに顯著になる。これに反し伸び、捻回値は概してその値は低かつその差は減面とともに次第に僅少になる。

(2) C 量の影響

Fig. 2 に示された如く各 C 鋼線とも処理温度の如何を問わず減面率の増加とともに強度が増しかつその絶対値は高 C 鋼線ほど高いこと、及び伸び、捻回値が C 量の多い鋼線ほど概して少かつ減面とともにその差が少くなることは單純減面におけると同様であるが、低 C 鋼線では処理温度による強度増加の絶対値が少かつ減面に伴つての變化も少いのに対し、高 C 鋼線では処理温度が高くなるとともに著しくなかつ減面に伴つてさらに顯著にも増大する。減面に伴う伸び、降伏比の變化は餘り C 量によつて動向が左右されないが捻回値は C 量によりやゝ傾向が違つている。

(3) 原線の強度に対する比較

KRK 処理による強度の上昇は処理時間が 2.5 sec 一定の時には処理温度が高いほど著しいが材料の C 量により硬化の程度が異なることを述べたが、さらにこの點を検討するため、最初に單純減面した各鋼線の抗張力、硬度、降伏点の原線のそれらに対する増加率をもとめこれを Fig. 3 (a) に示した。圖から明らかな如く C1 鋼線の抗張力および硬度の増加率は減面に伴い著しい上昇を示すが、他の C4 ~ C8 鋼線は同様上昇を示すが C1 鋼線ほど著しくはない。なお硬度は C 量の多い鋼線ほど増加率が低くなつて抗張力ではその差は認められない。降伏点の増加率は前二者に比し著しく大きくかつ C 量による差も顯著に認められる。すなわち低 C 鋼線 C1 は強度の絶対値の上昇は少いかゝわらずその増加率は他の鋼線に比し著しく大きい。

次に 350° で KRK 処理した各鋼線の抗張力、降伏点、硬度の、原線のそれらに対する増加率を各減面について圖示したものが Fig. 3 (b) である (150°, 250° で KRK 処理せるものゝ結果もほぼ同様につき略す)。これから明らかな如く何れの処理温度においても強度増加率の減面に伴う傾向は單純減面せるものと同様な傾向を示す。従つてこのことから單純減面によつて著しい強度上昇を示す材料ほど、KRK 処理によつても同様著しい増加率を示すこと、換言すれば加工硬化し易い材料ほど KRK 処理による強度上昇率も大きいことが知られる。しかしこのことは直ちに強度増加の絶対値も大であることを示すものではない。

Fig. 3 Change increasing rate of tensile yield strength and hardness of C-steel wires due to ordinary drawing (a) and KRK treatment (b) (Increasing rate of strength = $\frac{\sigma - \sigma_{0.10}}{\sigma_{0.10}} \times 100$, $\sigma_{0.10}$: strength of original wire).

Fig. 4 The effect of C contents of steel wires treated at various temperatures in KRK treatment on increasing rate of tensile strength. Increasing rate of T.S. = $\frac{\sigma - \sigma_{0.10}}{\sigma_{0.10}} \times 100$, $\sigma_{0.10}$: T.S. by ordinary drawing.

(4) 単純減面による強度との比較
KRK 処理を行った鋼線の強度は単純減面せるものとそれらと比較しどの減面においても高いがその増加率が材料のC量により如何に異なるか、各処理温度について求めた。Fig.

4 はその結果であるが降伏点、硬度もほぼ同様な傾向を示すのでこゝでは抗張力のみを示した。すなわち処理温度が 150°C の際には C 量

による関係は認め難いが処理温度が高くなると増加率が上昇するとともに減面に伴う増加率の變化もほぼ同様な傾向を示すに到る。すなわち C1 鋼線は最初の 1~2 回の減面における増加率が高く以後次第に減少を示す。これに対し C4~C8 鋼線は減面の進むに伴い増加率は上昇し、さらに減面をすればまた減少を示してくる。これは KRK 処理の効果が最も顕著な減面度、換言すれば KRK 処理の回数、が存在することを示すものであり、これは処理温度および C 量によっている。たとえば処理温度 250°C において最大の増加率を示す減面度は C4 鋼線 85~90%, C8 鋼線 85% であるのに対し、処理温度 350°C では C4 鋼線 80~90%, C8 鋼線 75~80%, とやや低い減面度に移行している。なほ 250°C において最大の増加率を示すものは C6 鋼線であるが、350°C においては C4 鋼線が最大の増加率を示す。このことは前報⁽²⁾にも述べた如く単純減面のみによる抗張力變化とも関連している。すなわち Fig. 1 (a), (b) からも見られる如く単純減面においては減面率の増加とともに C 量の多い鋼線ほど低い減面度で抗張力が急増する。それに對し KRK 処理を連續施行する時には C 量の多い鋼線ほど、処理温度が高いほど強度の絶対値が高かつ低減面で強度増加が最大となり以後は絶対値の増加はあるも少く、まして単純減面による急増に比例した上昇はない。この単純減面および KRK 処理で強

Fig. 5 The Effect of temperature in KRK treatment on increasing rate of tensile strength of carbon steel wires at each reduction. Treating temperature. ●: 150°, ×: 250°, ▲: 350°.

度の急増する減面度の相関係で最大の増加を示す減面度は定まるが、KRK 処理におけるこの減面度は C 量および処理温度によるので最大の増加率を示す減面度もまたそれらに依存する。たとえば C 量および処理温度は高いほど低い減面度に移行させるが処理温度が一定の際には C 量の多いものほど低減面に、また処理温度が高くなれば同一 C

量の試料では低減面に、C 量が異なる時には低い C 量に移行する。

以上は処理温度および C 量により最大増加率を示す減面度、換言すれば KRK 処理の最有効な連続施行回数が増加してくることを示したのであるが、しかれば一定の減面度すなわち一定の処理回数においてはその増加率が処理温度および C 量により如何に異ってくるか、各線径(減面度)について、処理温度の増加率におよぼす影響を C 量に対して圖示したものが Fig. 5 である。これから各線径における最有効な処理温度および材料の C 量が求め得られる。たとえば KRK 処理を 1 回だけ行つた 1.6 mm ϕ においては 0.1% C 鋼線を 350° で処理したとき増加率は最大で C 量が増すに従つてその効果は減じてくるが、3, 5, 7 回処理した 1.2 mm ϕ , 0.9 mm ϕ , 0.7 mm ϕ においては最大増加率を示す C 量および処理温度は 0.4%, 350° となる。

IV. 總 括

以上の實驗結果は次の如く總括される。

(1) KRK 処理は高 C 鋼線のみならず 0.1% C 鋼線の如き軟鋼線にも適用して強度の増加が得られた。従つて他の鋼線における實驗例の如く處理條件を適當に選擇することにより強度のみならず伸びその他の靱性をも同時に改善せしめ得られるものと思われる。しかしながら強度において見られた如く、原線あるいは單純減面せるものと比較した増加率は大なるにもかかわらずその絶対値の上昇は少いことから他の性質の改善効果もそれほど著しいとは思ふに難い。かくの如く効果の大小はあるが兎に角本處理法は材料の炭素成分範圍の如何を問はず適用して諸性質を改善せしめ得る。

(2) C 量を異にした鋼線に KRK 処理を連続して施行する際、處理時間が本實驗例の 2.5 sec の如き短 間の時には強度上昇の効果は處理温度が高いほど著しい。

(3) 單純減面による強度は何れの減面においても C 量の多い鋼線ほどその絶対値は高いが、原線の強度に對する増加率は逆に C 量の少い鋼線ほど大きい。しかるに KRK

法を連續して施行する際の強度變化も處理温度の如何を問はず單純減面の際とほぼ同様な變化を示すので増加率は C1 鋼線が最も著しい。このことは KRK 処理はこれを加工硬化し易い材料に適用するほど効果も著しいことを示しているが、絶対値そのものは C 量が少ないから矢張り C 量の多いものにおよばない。

(4) KRK 処理による強度が單純減面のみによる強度と比較しどの程度上昇するかは各鋼線の單純減面のみによる強度變化および KRK 處理の強度變化に依存する。一般に鋼線は單純減面のみによつて急激に強度が上昇する減面度があり、その減面度は C 量が少くなるとより高い減面度に移行するかあるいは認め難くなる。従つて KRK 處理による効果が同じでも C 量の少い鋼線ほど高い減面度で増加率は最大となる。他方 KRK 處理による強度變化は材料の C 量および處理條件、すなわち處理温度、時間および力の大きさによつて規定されるが、時間、力の大きさの一定した本實驗例の如き場合には専ら C 量および處理温度によるが、その兩者は何れも高くなるほど最大の増加率を示す減面度をより低い方に移行させる。換言すれば少い處理回数で最大の増加率を示す。また處理温度が高くなれば最大増加率を示す C 量は少い方に移行する。かくの如く各減面における増加率はそれぞれ C 量および處理温度によつて規定される。以上を各鋼線について述べると次の如くなる。すなわち C1 鋼線では處理温度の如何を問はず KRK 處理による増加率は大なるも絶対値が小さい。C8 鋼線はこれに反し原線の強度が高いために増加率は差程著しくないがなお減面に伴つて漸次絶対値の上昇を示しかつ他の鋼線に比し低い減面度ですなわち少い處理回数で最大の増加率を示す。C4~C6 鋼線はほぼ C8 鋼線と類似の傾向をたどるが、何れも單純減面に比し KRK 處理による強度が高減面まで引續き増加するため増加率も高く、かつ最大の増加率を示す減面度も C8 鋼線より高い方に移行する。従つて KRK 處理の回数は多いほど効果的となる。

終りに臨み本研究に際し終始御懇篤なる御指導を賜つた岩瀬慶三教授に深甚の感謝を表するとともに、試料をいただいた神戸製鋼、三興線材および實驗に協力された掛 勇君に感謝いたします。なお本研究は文部省科研費によつたことを附記し謝意を表します。

* この點は鋼以外の材料について検討してみれば面白いと思う。