不銹鋼線の加工および焼鈍による剛性率， 内部摩擦などの変化について

作 井 誠 太* 武 井 英 雄**

Seita Sakui and Hideo Takei: The Effect of Cold-Drawing and Annealing on the Rigidity Modulus and Internal Friction in Stainless Steel Wires. The changes of the rigidity modulus, the electrical resistivity, the hardness and the internal friction due to cold drawing and annealing were measured in 13Cr- and 18-8 stainless steel wires. The measurements were made on specimens of 0.7 or 0.6mm diameter, using a torsion pendulum, a potentiometer and a micro-Vicker's hardness tester. The results obtained were as follow: (1) The rigidity modulus of 13Cr stainless steel wire decreased slightly by the cold drawing above 30% in area reduction. (2) The internal friction of 13Cr stainless steel wire decreased remarkably by cold drawing of less than 10% reduction in area, but gradually increases by the drawing above 10% reduction. (3) The internal friction of 18-8 stainless steel wire increased remarkably with the amount of cold drawing less than 3% in reduction in area, but gradually increased by the drawing above 3% reduction. (4) The rigidity modulus of 13Cr- and 18-8 stainless steel wire increased slightly by annealing at a temperature higher than 150°. (5) The internal friction of 13Cr stainless steel wire decreased remarkably by annealing at 100~300° after cold drawing, but increased at 400~650°. (6) The internal friction of 18-8 stainless steel wires cold-drawn less than 22% in reduction in area decreased gradually by annealing at 100~650°, but that of the wires cold drawn more than 49% in reduction decreased remarkably by annealing at 100~250°, and increased by annealing at 550~650°.

(Received September 19, 1960)

I. 緒 言

18-8 不銹鋼線を冷間で線引加工した場合 および 線引加工後焼鈍した場合に，その剛性率，比抵抗および硬度が如何に変化するか，また粒間腐食の原因である Cr-炭化物の析出が前記諸性質に如何に影響するかについては著者の一人によつてさきに報告された⁽¹⁾が，今回はフェライト系 13Cr 不銹鋼線について同様の実験を行い，かつ 13Cr, 18-8 両不銹鋼線についてあらたに内部摩擦を測定したのでその結果を報告する。

なつた数種の針金を用意した。その分析結果を Table 1 に，加工度その他を Table 2 に示す。

剛性率の測定には振り振子法を用い詳細は前報⁽²⁾と同じ

Table 2 Metallurgical condition of specimen.

Material	Heat-treatment before drawing	Diameter of wire (mm)	Reduction in area (%)
13Cr	870°	0.7	0,10,20,30,50,70
18-8	950~1000°	0.6	0,3,12,22,31,41,49,59,70,82,90,93

Table 1 Chemical composition of specimen.

Material	C (%)	Ni (%)	Cr (%)	Cu (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)	S (%)
13Cr	0.088	0.08	13.65	0.07	0.08	0.71	0.028	0.013
18-8	0.07	9.16	18.75	—	<2.0	<1.0	<0.03	<0.03

II. 実験試料および方法

試料は日本精線 K.K. より贈与された 13Cr および 18-8 不銹鋼線で，冷間で線引加工して直径の等しい加工度の異

である。比抵抗および硬度はそれぞれ電位差計および微少硬度計を用いて室温で測定した。内部摩擦の測定は T.S. K&e の方法⁽²⁾を用い，振子の重さ 579g，試料の長さ 150mm，振りに対する試料表面上の最大剪断歪は 2×10^{-5} であつ

* 東京工業大学金属工学科 ** 広島大学工学部

(1) 武井：本誌，19(1955)，448.

(2) 山本，武井：本誌，17(1953)，161.

た。なお内部摩擦（以下内耗と略記する）はすべて対数減衰率 δ でもって表示した。焼鈍はすべて沸騰水および塩浴 ($\text{KNO}_3 + \text{NaNO}_2$) 中にて行つた。

III. 実験結果および考察

1. 線引加工による剛性率、比抵抗、硬度および内耗の変化

(1) 13Cr 不銹鋼線

加工度 0, 10, 20, 30, 50 および 70 % の 6 種の 13Cr

Fig.1 Rigidity modulus, electrical resistivity, hardness and internal friction as dependent on the reduction of area for 13 Cr stainless steel wire.

Fig.2 Rigidity modulus, electrical resistivity, internal friction and hardness as dependent on the reduction of area for 18-8 stainless steel wire.

るとわずかながら次第に増加する傾向がある。この加工初期に内耗が急減する点は前報の炭素鋼線の場合⁽³⁾と同じで

(3) 作井、武井：本誌，24(1960)，810。

あるが、ただここで注意すべきは炭素鋼の場合にはこの加工によつて内耗の低下した針金を焼鈍しても 300° 位までは変化しないのであるが、13Cr 不銹鋼の場合には低温焼鈍でさらに内耗が低下し 300° 焼鈍あたりで最小になっている点であり、これについては後に詳しく説明する。

(2) 18-8 不銹鋼線

18-8 不銹鋼線の剛性率、比抵抗および硬度が冷間線引加工によつて如何に変化するかにについてはさきに報告した⁽¹⁾が、今回はその追加として内耗の変化を調べた。その結果を Fig. 2 に示す。試料は前報⁽¹⁾と同一成分の針金であるが試片としては異なるので、内耗を測定した試片の剛性率なども測定して記入してある。これによると剛性率、比抵抗および硬度の変化は前報と大体同じである。内耗は 3 % の加工ですでに著しく増加しそれ以上加工しても余り変化しない。しかし 70 % 以上の強加工になると内耗の値の変動が著しく大きくなっている。これはまた加工度 30 % 以上の領域で加工の進行と共に内耗の増加と減少が繰返され、その振幅が加工度の増加とともに次第に大きくなっているとも考えられる。この原因は不明であるが著者らのニッケル線についての実験⁽⁴⁾でも同様な変化が認められている。なお炭素鋼線、13Cr 不銹鋼線の内耗は加工によつて減少するが、18-8 不銹鋼線の内耗は逆に増加しているのは 18-8 不銹鋼はオーステナイト系であり Snoeck damping peak や Cottrell の雰囲気と考えられないので、炭素鋼や 13Cr 不銹鋼の如き変化をしないで、むしろ銅合金などと同一傾向の変化⁽⁵⁾をするものと思う。

Fig.3 Rigidity modulus, electrical resistivity, hardness and internal friction as dependent on the annealing temperature for the 13 Cr stainless steel wires reduced by 10% and 22%.

2. 焼鈍による剛性率, 比抵抗, 硬度および内耗の変化

(1) 13Cr 不銹鋼線

加工度 10, 20, 30, 50 および 70% の 13Cr 不銹鋼線を 100~650° で 1 時間焼鈍したのち水冷してその硬度, 比抵抗, 剛性率および内耗を測定した。その結果を Fig. 3~5

Fig.4 Rigidity modulus, electrical resistivity, hardness and internal friction as dependent on the annealing temperature for the 13Cr stainless steel wires reduced by 30% and 50%.

Fig.5 Rigidity modulus, electrical resistivity, hardness and internal friction as dependent on the annealing temperature for the 13Cr stainless steel wires reduced by 70%.

に示す。これによると剛性率は 100~300° の焼鈍で若干増加し, それ以上高温では余り変化しない。しかし全体としてその変化はわずかである。硬度は加工度によって異なる

(4) 未発表

(5) 高橋: 本誌, 16(1952), A-44.

が, 400~500° より次第に減少し 650° で V.H.N. 200 前後となっている。従つて 400~500° あたりから再結晶が起るものと思われる。比抵抗は 100~250° でわずかに減少し 250~450° ではほぼ一定, 450~550° にかけて若干増加している。しかし全体として比抵抗の変化も極めてわずかである。一般には回復, 再結晶に伴つて比抵抗は減少するのが普通であるが, 13Cr 不銹鋼線の場合には 450~650° の再結晶温度域で比抵抗が減少せずむしろ若干増加する傾向があるのは不思議である。内耗は 100° 位より急激に減少し 300~350° で最小になり, 400° 以上で再び急激に増加する。そして加工度 30, 50 および 70% のものでは, 焼鈍温度が 600° を越えると内耗がさらに著しく増大する傾向が認められる。すでに報告した炭素鋼線の場合⁽³⁾には加工によって減少した内耗は 300° 以下の低温焼鈍によつて殆んど変化しないが, この両者の相違は次の如く考えれば理解出来る。すなわち両者とも組織的には体心立方格子のフェライト組織であるが, 13Cr 不銹鋼の場合には Cr-原子と炭素原子との親和力のため加工で生じた転位のまわりに炭素原子が拡散集合することが若干妨げられて炭素原子の一部はフェライト中に残り一部は転位の近傍に集まる。その結果, 加工で生じた転位を完全に固着するだけの炭素原子が転位のまわりに集まらず, relatively mobile dislocation が幾らか残留している。それがこの 100~300° で消失するため内耗が減少するものと思う。また 400° 以上での内耗の急増は炭素原子の再固溶により Snoeck damping peak が再び大きくなった結果と考えられる。

(2) 18-8 不銹鋼線

Fig.6 Rigidity modulus, electrical resistivity, hardness and internal friction as dependent on the annealing temperature for the 18-8 stainless steel wires reduced by 3% and 22%.

加工度 3, 22, 49, 70 および 90% の 18-8 不銹鋼線を 100~650° で 1 時間焼鈍して剛性率, 比抵抗, 硬度および

内耗を測定した。その結果を Fig. 6~8 に示す。剛性率、硬度についてはすでに報告した⁽¹⁾ので説明を省略する。内耗は低加工度 (3, 22 %) のものでは 100~550° にわたって次第に減少しているが、40 % 以上強加工したものは 100

13Cr, 18-8 不銹鋼線を冷間で線引加工した場合および線引加工後焼鈍した場合に、その剛性率、比抵抗、硬度および内部摩擦が如何に変化するかを調べた結果を得た。

(1) 13Cr 不銹鋼線の剛性率は線引加工によってわずか

Fig.7 Rigidity modulus, electrical resistivity, hardness and internal friction as dependent on the temperature for the 18-8 stainless steel wires reduced by 49% and 70%.

~250° で急激に減少し、250~300° ではほぼ一定、400~550° でわずかに減少し 500~550° で最少となる。焼鈍温度が 550° を越えると再び若干増加する傾向が認められる。

比抵抗は焼鈍によつて 3 段階に変化する。すなわち 200°, 400°, 550° をそれぞれ中心とした温度域で減少する。この第 1 段階降下は Erholung のため、第 2 段階降下は再結晶のため、第 3 段階降下は 400~450° で $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態が起り、 α 相の発生に伴い比抵抗の増加を来し、再結晶による比抵抗の低下が一部打消されて現われるものと考えられている⁽⁶⁾。以上の結果より内耗の 200° 附近の急減は Erholung および relatively mobile dislocation の消失に、400~550° のわずかの減少は $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態にそれぞれ関係あるものと思われる。

IV. 結 言

(6) 小野：日本金属学会分科会報告，VIII (1952)，95.

Fig.8 Rigidity modulus, electrical resistivity, hardness and internal friction as dependent on the annealing temperature for the 18-8 stainless steel wires reduced by 90%.

に減少する。内耗は加工初期に著しく減少し、それ以上加工をつづけると若干増加する。

(2) 18-8 不銹鋼線の内耗は、加工初期に急激に増加し、それ以後は加工度とともに幾分増加する傾向が認められるが、強加工した針金の内耗は著しく不安定である。この変化は 13Cr 不銹鋼線の場合と逆である。

(3) 13Cr 不銹鋼線の剛性率は線引加工後 100~300° で焼鈍することによってわずかに増加するが、それ以上高温で焼鈍してもそれよりは大きくならない。また 13Cr 不銹鋼では再結晶にともなつて比抵抗の低下が起らないようである。

(4) 13Cr 不銹鋼線の内耗は、線引加工後焼鈍すると 100~300° で急減し、300° 前後で最小になり、さらに高温で焼鈍すると次第に増加する。

(5) 18-8 不銹鋼線の内耗は線引加工後の焼鈍によつて低加工度のものでは 100~600° にわたって次第に減少するが、加工度 49 % 以上のものでは 100~250° で急減し、200~550° では余り変化なく、600° を越えるとわずかに増加する傾向がある。