ばね用洋白線の加工および焼鈍しによる疲労強さについて*

西畑 三樹男** 山浦 將甫***

The Effects of Cold Drawing and Annealing on the Fatigue Strength in Nickel Silver Wire

by

Mikio NISHIHATA and Masatoshi YAMAURA
(The Electrical Communication Laboratory)

The study was carried out on the variation of the fatigue strength and the mechanical properties due to cold drawing and annealing for the specimens of nickel silver wire.

The specimens were cold drawn and straightened again into 2m/mφ, and Haigh-Robertson testing machines were used for the fatigue test.

The followings are the results obtained:

(1) Due to cold working the nickel silver wire was increased in tensile strength, yield strength, spring limit, hardness, and fatigue strength, but, on the contrary, decreased in elongation. The number of torsion attained to the maximum when the specimens were reduced to 20%.

(2) Low annealing effects do not make the fatigue strength increase for the cold drawn and straightened specimens. Especially, in the case of low drawn wire materials, the mechanical properties and fatigue strength will decrease with annealing temperature. As for high drawn wire, the mechanical properties and fatigue strength whose values are lower than those which are not low annealed were increased at 250~350°C.

(3) The value of the fatigue ratio of the nickel silver wire was 0.35 when cold drawn and approximately 0.25 when low annealed.

(4) The value of spring limit corresponds to the value of yield strength which may be calculated from the results of tension tests.

(Received Sep. 3, 1960)

1. 緒 言

洋白は周知のようにばね材料として広く用いられており、板ばね材料としての加工、熱処理による機械的性質および耐疲労性については、かなりよく調べられている。しかし、線ばね材料としての機械的性質や耐疲労性について調べたものはきわめて少ない。したがって、洋白線材の加工、熱処理による機械的性質ならびに疲労強さについて一連の実験を行なうことは工学上有意義のことと思われる。そこで著者らは2m/mφの直線性加工した洋白線の加工および焼鈍しによる機械的諸性質と疲労強さについて実験を行ない、耐疲労性について検討した。その実験結果について報告する。

2. 実験材料および実験方法

(I) 実験材料

Table 1 にその化学成分を示す。加工度は20, 60%の2種類で、最終線径2m/mφに線引加工後、所定の直線性加工を施したものである。

(II) 低温焼鈍

加工度20, 60%試料について200~400°Cまで50°Cおきの温度で、アルゴンふんい気中にて60min焼鈍し、空冷した。(常温 $\xrightarrow{10\text{ min}}$ 所定温度 $\times 60\text{ min}$ $\xrightarrow{10\text{ min}}$ 常温)。

(III) 引張強さ、伸び、耐力の測定

XY伸び記録計を取りつけたアムスラー引張試験機により引張強さ、伸び、耐力を求めた。耐力はXY伸び記録計より応力-ひずみ線図を描き、0.2%の永久ひずみの生じた応力をもって表示した。⁷⁾⁸⁾

(IV) ばね限界値(K_b)の測定

ばね限界値とは、片持はりの自由端に荷重を逐次段階的に増加して与え、それによって生ずる自由端の永久変形量を測定し、その大小によってばね材料の良否を判定するものである。その試験機はFig. 1に示す

Table 1 Chemical composition of specimens (%)

Components Mark	Ni	Zn	Cu
	18	27	55

* 原稿受付 昭和35年9月3日

** 正員 日本電信電話公社電気通信研究所

*** 日本電信電話公社電気通信研究所

とおりで、試験片に繰返したわみを与えるためには、引掛け金具(S)を接触させてから偏心ローラー(D)をモーターにより回転させる。この偏心ローラーは、第1ステップが4 mm、以下階段的に第10ステップの16 mmまでの変位を試験片の自由端に与えるようになっている。試験はこの各ステップごとに50回の繰返しを与え、そのつど試験片の自由端の永久変位量を望遠鏡により測定し、その変位が0.1 m/mに達した時の最大表面応力をもって表わす。この応力は通常 K_b なる記号で表わし、次式で与えられる。 $K_b = 3dEf/2l^2$ ただし、 E =ヤング率、 l =スパンの長さ、 d =試験片の直径、 f =変位量、この実験は $E=13\,000\text{ kg/mm}^2$ 、 $l^2=4\,000\,d$ とした。

(V) かたさの測定

ライツ製微小かたさ試験機荷重200 grを用い、線径の横断面について測定した。

(VI) ねん(捻)回値の測定

手動式ねん回試験機を用い、標点距離50 d で測定し、その値をいずれも100 d に換算して表わした。ねじり速度は毎分約60回、軸方向引張荷重は2 kgとした。

(VII) 疲労強さの測定

Fig. 2 に示すヘイ・ロバートソン式繰返曲げ疲労試験機を用いた。そのときの回転数は毎分約4 000回、標点距離は100 d 、応力計算に必要なヤング率は、加工材および低温度焼鈍材とも $13\,000\text{ kg/mm}^2$ とした。

3. 実験結果

(I) 冷間加工材の機械的性質

Fig. 1 Schematic illustration of the testing machine for the measurement of K_b

Fig. 2 Principle of the Haigh-Robertson testing Machine

Fig. 3 は加工度0% (600°C×1 hr 焼鈍材)、20, 60%の引張強さ、耐力、伸び、ばね限界値の結果を示す。これによると引張強さ、耐力、ばね限界値はいずれも加工とともに増加し、伸びは逆に減少している。特にばね限界値は耐力とかなりよく一致した値を示している。Fig. 4 は、各加工度の応力-ひずみ線図を示したもので、これによると各試料とも耐力付近に明らかなのこぎり歯状降伏現象がみられ、そのでかたは加工度が大いほどより明らに現われている。Fig. 5 は

Fig. 3 Relations between the degree of reduction by cold drawing and the values of σ_B , $\sigma_{0.2}$, K_b and ϵ

Fig. 4 Stress-strain curves of nickel silver wire

Fig. 5 Relation between Δf and $\sigma_{\max}$

ばね限界値を求めた応力-たわみ曲線の一例である。Fig. 6 の硬さ値は加工とともに増加しており、その分布は20%加工のものは線の中心部より表面が低く、60%加工のものはかたさ対中心よりの距離の曲線が二重山形の傾向に変わっている。これは線引加工および直線性加工の影響によるためと思われる。Fig. 7 のねん回値は加工度20%付近に最大値を示すところがある。

(II) 冷間加工材の疲労強さ

Fig. 8 は加工度0, 20, 60%, 試料のS-N曲線を

Fig. 6 Hardness distribution on the cross section of the specimens used

Fig. 7 Relation between the degree of reduction by cold drawing and number of torsion

Fig. 8 S-N curves of nickel silver wire with various degrees of reduction

示したものである。曲線の傾きは加工度とともに大きくなる傾向があり、 10^7 回疲労強さとも加工度とともに増加しているのが認められる。Fig. 9 は 10^5 , 10^6 , 10^7 時間疲労強さを示したもので、この場合でも各時間強度は加工度とともに増加している。

(III) 低温焼鈍による機械的性質

Fig. 10 は加工度20%試料の低温焼鈍後の引張強さ、

Fig. 9 Relation between the degree of reduction by cold drawing and the fatigue strength at $10^5, 10^6, 10^7$ cycles

Fig. 10 Relation between the annealing temperature and the values of σ_B , $\sigma_{0.2}$, K_B and ϵ

Fig. 11 Relation between the annealing temperature and the values of σ_B , $\sigma_{0.2}$, K_B and ϵ

耐力, ばね限界値, 伸びの結果を示したものである。これによると, いずれの特性にも低温焼鈍効果はみられず, 伸びは350°Cからわずかず増加している。また, Fig. 11 の加工度 60% のものは, 低温焼鈍温度 250~350°C において引張強さ, 耐力, ばね限界値の増加が認められる。Fig. 12 において加工度 20% のものは焼鈍温度の上温にしたがいかたさは逆に低下し, 400°C 付近では既に再結晶しはじめたものと思われる。加工度 60% のものは 250~350°C の範囲においてかなりの低温焼鈍効果が現われ, かたさ値はかなり増加している。Fig. 13 はねん回値を示し, 加工度 20% のものにおいては 300°C で最小値が現われ, それ以上の温度では再び増加する。加工度 60% のものは 300~350°C に最低値がある。

(IV) 低温焼鈍による疲労強さ

Fig. 14, Fig. 15 は加工度 20, 60% の各焼鈍温度に

Fig. 12 Relation between the annealing temperature and hardness

Fig. 13 Relation between the annealing temperature and the number of torsion

よる S-N 曲線の結果を示す。これによると曲線の傾向は加工材とは異なり, 比較的ゆるやかである。特に 20%加工のものは, 各温度において曲線の傾きや時間疲労強度ともかなり接近した値を示している。60%加工の曲線の傾きは 20%加工よりややきびしくなり, 時間疲労強度も各温度において差異がある。Fig. 16 は 20%加工の各焼鈍温度による 10^5 , 10^6 , 10^7 時間疲労強さを示したものである。各温度間には疲労強さの増加はみられないが, 特に 10^6 , 10^7 疲労強さは加工の

Fig. 14 S-N curves of nickel silver wire with various annealing temperature

Fig. 15 S-N curves of nickel silver wire with various annealing temperature

Fig. 16 Relation between the annealing temperature and the values fatigue strength at 10^5 , 10^6 , 10^7 cycles

ままより低下している。Fig. 17 の加工度60%のものは300°Cに疲労強さの最大値が認められるが、加工のままの疲労強さより低い。Table 2 は以上の加工および焼鈍しによる引張強さ、伸び、耐力、ばね限界値、ねん回値、かたさ、各時間疲労強さ、疲労限度比の結果をまとめたものである。この表より疲労限度比($k = \sigma_w / \sigma_B$)をみると、繰返数 10^7 回においては加工材で約0.35、低温焼鈍材で約0.25 ぐらいであり、直線性加工した洋白線は低温焼鈍による疲労強さの増加は期待できない。また、他の機械的性質と疲労強さには明らかな関係はみられない。

4. 結 論

ばね用洋白線について冷間加工(直線性加工も含む)および焼鈍しによる引張強さ、耐力、伸び、ばね限界値、かたさ、ねん回値と回転曲げ疲労強さの変化を調べて次の結果を得た。

(1) 洋白線は冷間加工により、引張強さ、耐力、

Fig. 17 Relation between the annealing temperature and the values fatigue strength at $10^5, 10^6, 10^7$ cycles

ばね限界値、かたさ、疲労強さは増加し、伸びは減少する。ねん回値は、加工度20%付近に最高値を示す。

(2) 低加工材(20%加工度)に低温焼鈍し(200~400°C×60 min)を行なっても、引張強さ、耐力、ばね限界値は増加しない。かたさは焼鈍温度の上昇とともに低下し、400°C 付近から軟化が開始される。ねん回値は300°Cに最低値がある。

(3) 高加工材(60%加工度)に低温焼鈍しを行なうと250~350°Cにおいて引張強さ、耐力、ばね限界値、疲労強さの増加がみられるが、疲労強さは加工のままより低い。かたさは250~350°Cにおいて急激に増加する。ねん回値はこの温度範囲では最低値を示す。

(4) 洋白線の疲労限度比($k = \sigma_w / \sigma_B$)は、冷間加工材で0.35、低温焼鈍材で約0.25であり、直線加工したものは低温焼鈍しによる疲労強さの増加はない。

(5) ばね限界値は引張試験より求めた耐力に相應する。

終りにのぞみ、電気通信研究所早坂次長、窪小谷調査役、ならびに東京大学吉沢教授の御指導に深甚なる感謝の意を表わすとともに、試料の加工熱処理に終始お世話いただいた仲田研究主任、三菱電気 KK 世田谷工場に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 仲田, 通研月報, 6, No. 4 (1953)
- 2) バネ協会, バネ, p. 71 (1958)
- 3) 太郎良, 日本金属学会誌, 15 A, No. 8, No. 9, No. 10 (1951)
- 4) 武井, 日本金属学会誌, 21, 4, 217 (1957)
- 5)~7) 仲田, 通研究実用化報告, 7, No. 5 (1958)
- 8) 坂本, 材料試験, 5, 35, 470 (1956)

Table 2 Total relations between the measured mechanical properties and fatigue strength in nickel silver wire

Reduction (%)	Annealing tempera- ture (×60 min)	H_V (200 gr)	Yield strength (0.2) (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elonga- tion (%)	Num- ber of torsion	K_b 0.1 (kg/mm ²)	Fatigue strength (kg/mm ²)			Fatigue ratio (Fatigue strength/ Tensile strength)		
								10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷
20	0	235	59.5	74.5	7.8	125	63.0	56.4	38.4	26.0	0.76	0.52	0.35
	200	228	63.0	74.2	6.0	125	63.0	57.5	36.0	15.5	0.77	0.48	0.20
	250	228	64.6	74.2	6.0	120	62.0	58.5	33.0	20.0	0.78	0.44	0.26
	300	225	63.0	75.8	6.0	80	59.0	57.0	34.0	19.5	0.75	0.44	0.25
	350	212	61.5	74.8	9.0	95	59.5	56.0	31.5	21.5	0.74	0.42	0.28
	400	200	55.1	70.4	10.0	126	58.0	56.5	32.5	18.0	0.80	0.46	0.25
60	0	260	61.4	82.8	5.1	50	65.0	60.8	42.0	28.0	0.73	0.50	0.33
	200	264	61.5	88.2	2.0	26	75.0	48.0	29.0	22.0	0.54	0.32	0.24
	250	280	64.3	88.5	2.0	24	74.0	59.5	32.0	21.0	0.67	0.36	0.23
	300	274	68.5	90.8	2.0	12	78.0	59.0	36.5	23.5	0.64	0.40	0.25
	350	288	69.4	90.4	3.0	12	78.5	55.5	30.0	18.5	0.61	0.33	0.20
	400	247	67.8	83.8	4.0	56	74.5	56.0	30.5	16.5	0.66	0.36	0.19
600°C×1 hr annealed		114	27.7	54.5	35.0	50	33.0	39.6	29.0	18.8	0.73	0.53	0.34