

の伸線後の表面状態を示す。写真でわかるごとくその表面は凹凸がはげしく、完全流体潤滑においては伸線後の鋼線の寸法精度は非常に不安定であり、節状になることを示す。この場合凹部は流体潤滑面であり凸部は半流体潤滑面である。これは凹部において完全流体潤滑が助成されるため潤滑剤はこの面で爆出し、つぎの瞬間爆出による潤滑油圧力の低下により爆出が止まり、半流体潤滑となりつぎの瞬間圧力容器内の潤滑油圧力の上昇とともに同じ現象をくりかえすもので、理論的には主引抜きダイスより爆出するものと等量の潤滑油を供給できれば、これらの凹凸は少なくなるのではないかと考えられる。

#### 4. 結 言

上記 12000 atm の高圧強制潤滑油を使用し、0.1~0.6% C 鋼線を伸線した結果その減面率、ダイス半角、伸線速度を変化した場合つぎの結論をえた。

1) 臨界圧伸線においても常圧伸線と同様ダイス半角・引抜き力の間にはあるダイス半角で引抜き力最小の現象が現われ、そのダイス半角は常圧伸線の場合とほぼ同様である。また引抜き力の低下割合は、常圧に比し臨界圧では水とグリセリン潤滑油では 0.1% C 鋼線で 60%、0.6% C 鋼線で 30% 程度である。

伸線速度の高速化につれて引抜き力の低下割合は減少し臨界圧力は上昇する。その上昇率は低降伏点材料のほうが高降伏点材料より大である。

3) 0.1~0.25% C 鋼線の低降伏点材料は 0.4~0.6% C 鋼線の高降伏点材料に比しそれぞれの降伏点応力に対する臨界圧力比は低く、降伏点応力の上昇に比例して臨界圧力比は上昇する。

4) 臨界圧伸線においては鋼線の伸線後の寸法精度は悪く円弧節状表面となる。

なお本研究については神戸製鋼所顧問安並三男氏、福田技師、同志社大学中村教授のご指導に感謝の意を表します。

#### 文 献

- 1) 大井: “伸線における強制潤滑の効果” 塑性と加工, 3-17 (1962-6), p. 363
- 2) 中村, 稲田: “強制潤滑法による線材の引抜きに関する研究” 6-57 (1965-10), p. 548
- 3) В. ф. Мосеев and А. А. Коростејинн: Новый способ лодачи технологической смазки в зону деформации при волочении, Сталь 22-3 (1962)
- 4) 辻村: “超高压強制潤滑による鋼線の引抜きに関する研究, 第10回材料試験連合講演会前刷(1966), p. 79
- 5) D. G. CHRISTOPHERSON: O.B.E, B.A, Ph, D. and H. NAYLOR. “Promotion of Fluid Lubrication in Wire Drawing” Proc. Inst. Mech. Eng, 169-35 (1955), p. 643

## (202) ローラーダイスによる正方形断面テーパードワイヤの製造について

(テーパードワイヤの製造に関する研究—I)

東京大学工学部 工博 五 弓 勇 雄

東京大学大学院 齋 藤 好 弘

富士製鉄 ○小 椋 学

### On the Manufacturing of Square Cross-Sectioned Tapered Wire with Roller Die

(On the manufacturing of tapered wires— I)

Dr. Isao GOKYŪ, Yoshihiro SATO

Satoru OGURA

#### 1. 緒 言

線材または棒材が一般の強度部材として使用される場合、全長にわたって均一な断面を有するものよりも、使用状態の力学的条件に応じて断面積または断面形状あるいはその両者が連続的に変化したいわゆるテーパ材のほうが理想的であり、このようなテーパ材を用いることによつてより合理的な設計が可能となり材料の節減と軽量化をはかることができる場合が多い。吊橋用サスペンションワイヤや堅坑用ワイヤロープなどはその1例である。

それにもかかわらず現在までこのようなテーパ材の使用がほとんどなされなかつたのは一般にテーパ材の製造が容易でなく、特にテーパードワイヤのように長さの長いテーパ材の製造がほとんど不可能であつたことに起因する。したがつてこのようなテーパ材の能率的なしかも安定した製造方法が開発されれば工業的にもきわめて重要な意義を有するものと考えられる。

そこで本研究においては引抜きによるテーパードワイヤの製造方法を確立することを目的として実験的な各種の製造実験を行なつたが、本報では A-51 型ローラーダイスによる正方形断面テーパードワイヤの製造実験について報告する。

#### 2. 実 験 方 法

##### 2.1 実験装置

本実験にはテーパードワイヤ製造装置として A-51 型ローラーダイスを用い、ドローベンチによつて引抜きを行なつた。

A-51 型ローラーダイスの構造についてはすでに詳細な報告<sup>1)</sup>がなされているので省略するが、相対するローラー対が互いに直交して2組設けられており、引抜きを行ないながら第1、第2ローラーの圧下量をそれぞれ独立に任意に調節できるために、テーパードワイヤの製造にきわめて有効に活用できるという特徴を有している。

実験ではいずれも直径 90 mm のフラットローラーを用い、圧下スクリーンにそれぞれの圧下量を読みとることができる目盛盤を取り付けた。また、ローラーダイスの第1第2ローラー間距離は 75 mm、ドローベンチの引抜き速度は 85 mm/sec であつた。

##### 2.2 実験方法

フラットローラーを有する2連ローラーダイスを用いて正方形断面テーパードワイヤを製造する方法の原理を Fig. 1 に示す。一様な正方形断面を有する素材を2連ロ

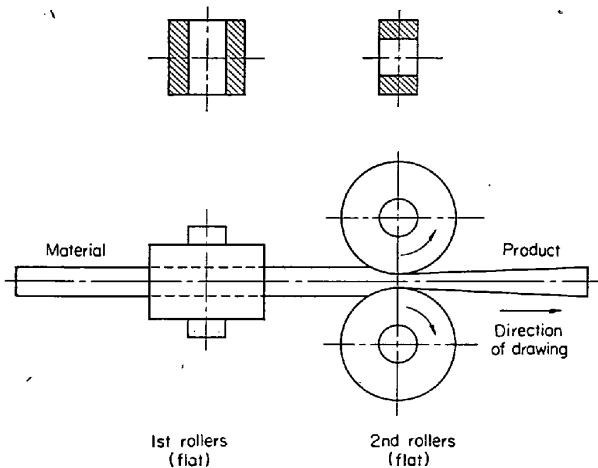


Fig. 1. The production method of the tapered wire with square cross-section using the type A-51 roller die.

ローラーダイスに通し、あらかじめ定められる圧下スケジュールにしたがつて第1, 第2ローラーの圧下量を連続的に調節しながら引抜きを行なうことにより正方形断面テーパードワイヤを製造した。第1, 第2ローラーの圧下量の調節は圧下調節スクリューを手動で操作することによって行なつた。

実験用素材には4 mm口の軟鋼線(約60%冷間引抜き材)を用いた。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 圧下スケジュールの決定方法

本法によつて正方形断面のテーパードワイヤを製造する場合の圧下スケジュールは次のような手法によつて決定することができる。

すなわち引抜き後の材料の断面形状が常に正方形断面であるための条件は(1)式で表わされ、第1, 第2ローラーの圧下率と幅広がり率の関係を与える(2), (3)式が与えられれば(1)式より $\Delta t=0$ として $R_1(t)(=R_1(t-\Delta t))$ と $R_2(t)$ の関係を近似的に求めることができる。

$$(1-R_1(t-\Delta t)/100)(1+W_2(t)/100) = (1-R_2(t)/100)(1+W_1(t-\Delta t)/100) \dots (1)$$

ここで

$t$ : 第2ローラー圧下開始後の経過時間

$\Delta t$ : 時間 $t$ で第2ローラーにある断面が第1, 第2ローラー間を通過するに要する時間

$R_1(t-\Delta t)$ : 時間 $(t-\Delta t)$ における第1ローラー圧下率(%)

$W_1(t-\Delta t)$ : 時間 $(t-\Delta t)$ における第1ローラー幅広がり率(%)

$R_2(t)$ : 時間 $t$ における第2ローラー圧下率(%)

$W_2(t)$ : 時間 $t$ における第2ローラー幅広がり率(%)

$$W_1(t-\Delta t) = f_1(R_1(t-\Delta t)) \dots (2)$$

$$W_2(t) = f_2(R_2(t), R_1(t)) \dots (3)$$

ここで

$R_1(t)$ : 時間 $t$ における第1ローラー圧下率(%)

一方、素材の断面寸法を $a_0(=b_0)$ 、製品の断面寸法を(4)式で与えれば $\Delta t=0$ とした場合の各時間 $t$ に対応する $R_1(t)$ ,  $R_2(t)$ の値が求まる。

$$a_x(=bx) = g(x) = g(vt) \dots (4)$$

ここで

$x$ : 製品頭部よりの距離

$a_x(=bx)$ : 位置 $x$ における製品断面寸法

$v$ : 引抜き速度

さらに時間 $t$ における $\Delta t$ は(5)式より求まり、この $\Delta t$ を考慮して $\Delta t=0$ として求めた $t$ と $R_1(t)$ ,  $R_2(t)$ の関係を修正することができる。

$$\int_{t-\Delta t}^t (1-R_2(t)/100)(1+W_2(t)/100) dt = L/v \dots (5)$$

ここで

$L$ : 第1, 第2ローラー間距離

本法における圧下スケジュールは必要な精度のものが得られるまで何回かこの手続きをくり返すことにより決定することができる。

#### 3.2 第1ローラー圧下率と引抜き応力の関係

第1ローラーの引抜き力は常に第2ローラーの後方張力となつてゐるために第2ローラーにおける幅広がり率を計算するためには第1ローラーの圧下率と引抜き力の関係が与えられなければならないが、第1ローラー圧下率約30%以下の範囲については圧下率と引抜き応力の間にほぼ直線関係があり、実験的に(6)式を得た。

$$\sigma_B(t) = 0.915 R_1(t) \dots (6)$$

ここで

$\sigma_B(t)$ : 時間 $t$ における第1ローラー引抜き力(kg/mm<sup>2</sup>)

#### 3.3 圧下率と幅広がり率の関係

ローラー引抜き時の材料の幅広がり率に影響をおよぼす因子として圧下率、後方張力、摩擦係数、断面形状係数、対ローラー半径比、材質などが考えられるが、これらのうち実験条件の範囲内で幅広がり率に対する影響の比較的大きい圧下率、後方張力、断面形状係数を考慮し圧下率約30%以下の範囲について直線近似を行なつて(7)式のような実験式を得た。

$$W = (0.32 - 0.052 \sigma_B^0)(0.56 f_s + 0.44) R \dots (7)$$

ここで

$W$ : 幅広がり率(%)

$R$ : 圧下率(%)

$\sigma_B$ : 後方張力(kg/mm<sup>2</sup>)

$f_s$ : 断面形状係数(材料高さ/材料幅)

なお、摩擦係数の幅広がり率に対する影響はかなり大きい本実験では同一潤滑剤を用いたので摩擦係数を一定とみなし(7)式では考慮しなかつた。

(7)式において $\sigma_B=0$ ,  $f_s=1$ とすれば第1ローラーにおける圧下率と幅広がり率の関係式が得られ、 $\sigma_B=0.915 R_1(t)$ ,  $f_s=(1+W_1(t-\Delta t)/100)(1-R_1(t-\Delta t)/100)$ とすれば第2ローラーにおける圧下率と幅広がり率の関係式が得られる。

#### 3.4 正方形断面テーパードワイヤの製造実験

4 mm口の素材より頭部断面4 mm口、尾部断面3 mm口、長さ2 mの直線状テーパードワイヤを有するテーパードワイヤを製造する場合の第1, 第2ローラーの圧下スケジュールを前述の手法により決定した結果をFig. 2に示す。また、Fig. 2に示した圧下スケジュールに基づいて製造したテーパードワイヤの形状測定結果の一例をFig. 3に示すが、製品テーパードワイヤの寸法精度はほ

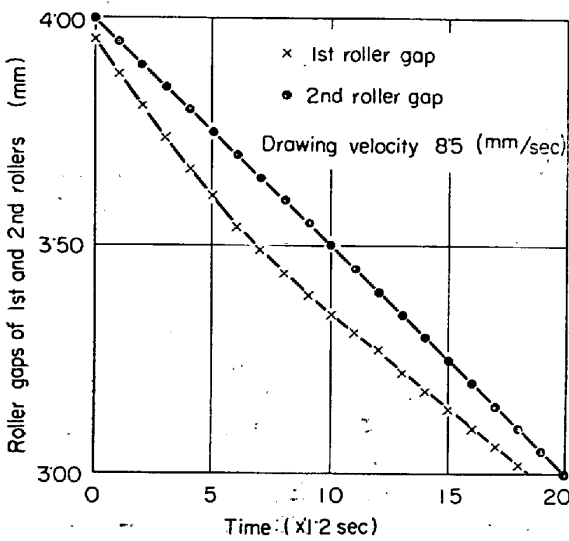


Fig. 2. The pass schedule to produce the tapered wire with square cross-section using the type A-51 roller die.

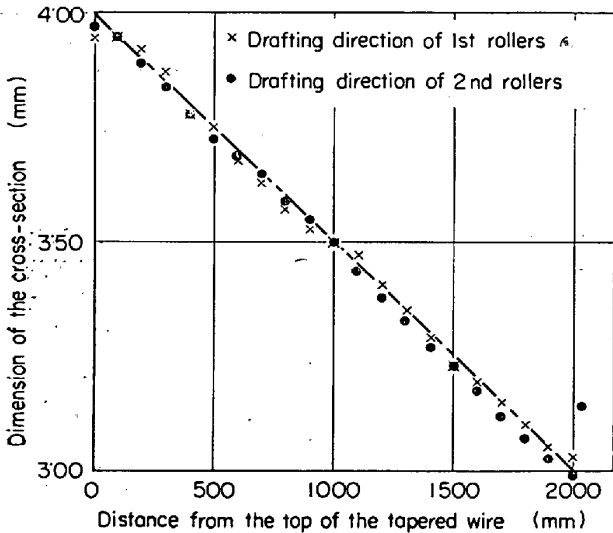


Fig. 3. One example of the dimensions of the product.

ほ±0.05 mm以内で断面形状もよく、実験的には十分満足できるものであることがわかる。

3.5 所要引抜き力

Fig. 4 に正方形断面テーパードワイヤ製造の引抜き力測定結果および GELEJI の考え方<sup>3)</sup>に基づいて誘導した計算式 (8) による計算結果を示す。

$$Z = k_m [\Delta h \cdot b + l_d \cdot b \cdot \mu (1 - h_2/h_1 \cdot 1/\cos\varphi)] + 0.58k_{fm} \cdot l_d/2r \cdot f_2 + B \dots (8)$$

ここで

Z : 引抜き力

B : 後方張力

$$k_m : \text{平均変形抵抗} = \frac{k_{fm}(1 - 0.29\alpha)B/2(1/f_1 + 1/f_2)}{1 + \frac{b \cdot \Delta h + \mu \cdot b \cdot l_d(1 - h_2/h_1 \cdot 1/\cos\varphi)}{2f_2}}$$

$$k_{fm} : \text{平均変形強さ} = (k_{f1} + k_{f2})/2$$

$$\varphi : \text{接触角} = l_d/r = \sqrt{r \cdot \Delta h} \text{ただし } r \text{ はローラー半径}$$

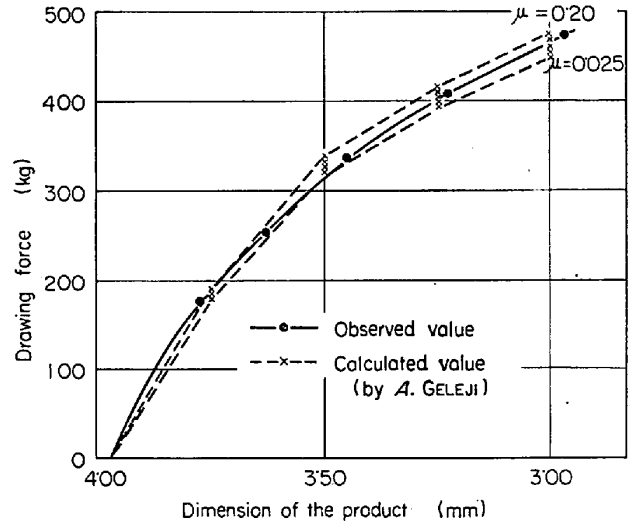


Fig. 4. The drawing force required to produce the tapered wire using the type A-51 roller die.

- $\alpha$  : 等価ダイス角 =  $l_d/2r$
- $f_1$  : 引抜き前の材料断面積
- $f_2$  : 引抜き後の材料断面積
- $b$  : 材料の平均幅 =  $(b_1 + b_2)/2$

Fig. 4 より 2 連ローラーダイスにおける引抜き力は (8) 式によつて精度よく計算できることがわかる。

4. 結 言

以上の実験によりおよそ次のような結論が得られた。

- (1) 正方形断面テーパードワイヤはフラットローラーを有する 2 連式ローラーダイスを用いて引抜きを行なうことにより能率的に製造できることが判明した。
- (2) 本法によつて製造された約 4 mm テーパードワイヤはほぼ ±0.05 mm 以内の寸法精度を有しており、断面形状もよく実験的には十分満足できるものであつた。
- (3) 本法によつて正方形断面テーパードワイヤを製造する場合の圧下スケジュールは第 1, 第 2 ロローラーの幅広がり率を用いて合理的に決定することができ、この手法の原理は他の製造法においても応用することができる。
- (4) 2 連ローラーダイスの引抜き力は GELEJI の計算式によつて精度よく推定することができる。

文 献

- 1) I. GOKYU: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), 4 (1964) 1, p. 44
- 2) 五弓, 岩田, 堀内: 日本金属学会誌, 26 (1962) 1, p. 39
- 3) 五弓: 金属塑性加工の計算(下), p. 87, コロナ社