

住友金属(株) 本社

井ノ下 BB 雄

1. はじめに

引抜き式は塑性加工力推定の基礎式として、従来から種々提案されているが、複雑なものが多く、簡単なものは加工度の広い範囲に適用する場合に精度の点などでかなり無理がある。本稿はこれらの難点を克服した新しい式を提案したもので、それは鋼管の浮フラッグ引実験結果と比較して加工力をかなり正確に推定している。

2. 管引抜き式の導出

管引抜き力 P を構成する諸要素として、断面減少(線歪)力 F_e 、附加的剪断力 F_s 、摩擦剪断力 F_f の引抜方向成分 F_{fa} がある。尚、この F_{fa} はダイス面摩擦力 F_f の引抜方向成分に等しい。従って (1) 式が成立する。

$$P = F_e + F_s + F_{fa} \quad \text{----- (1)}$$

ところで、 F_e は良く知られているように (2) 式で与えられる。

$$F_e = A_1 \cdot K_m \cdot \ln(A_0/A_1) \quad \text{----- (2)} \quad A_0, A_1: \text{引抜前後断面積}, K_m: \text{平均変形抵抗}$$

次に F_s を考える。図.1 を参照して、縦繊維は π から移動してダイス入口 π で方向変化を受けるが、このとき微小体積 $dV = A \cdot d\alpha$ が受ける剪断仕事 W は (3) 式で与えられる。

$$W = \int_{r_1}^{r_2} (\tau_s \cdot \alpha) \cdot (2\pi r \cdot dr) \cdot d\alpha = \int_{r_1}^{r_2} \left(\frac{r}{r_0} \cdot \alpha_0 \right) \cdot (2\pi r \cdot dr \cdot d\alpha) = \frac{2\pi K_m \cdot \alpha_0 \cdot d\alpha \cdot (r_0^2 - r_1^2)}{3\sqrt{3} \cdot r_0} \quad \text{----- (3)}$$

一方 W をなすに要する等価な引抜応力 σ_{s0} を考えると $W = \sigma_{s0} \cdot \pi (r_0^2 - r_1^2) \cdot d\alpha$ として、

$$\sigma_{s0} = \frac{2K_m \cdot \alpha_0 \cdot (r_0^2 + r_0 r_1 + r_1^2)}{3\sqrt{3} r_0 (r_0 + r_1)}, \quad \text{同様にダイス出口においても考え、合計して、}$$

$$F_s = \frac{4A_1 \cdot K_m \cdot \alpha_0 \cdot (r_0^2 + r_0 r_1 + r_1^2)}{3\sqrt{3} r_0 (r_0 + r_1)} \quad \text{----- (4)}$$

さらに F_{fa} については図.2 を参照して (5) 式を得る。

$$F_{fa} = \mu \cdot N \cos \alpha_0 = \tan \vartheta \cdot \left\{ \frac{P \cos \vartheta}{\sin(\vartheta + \alpha_0)} \right\} \cdot \cos \alpha_0 = \frac{P \sin \vartheta \cdot \cos \alpha_0}{\sin(\vartheta + \alpha_0)} \quad \text{----- (5)} \quad N: \text{垂直抗力}, \mu: \text{摩擦係数で } \mu = \tan \vartheta$$

従って、(1)、(2)、(4)、(5) 式より (6) 式を得る。(尚、中実材では $r_1 = 0$)

$$P = \frac{A_1 \cdot K_m \left\{ \ln(A_0/A_1) + \frac{4\alpha_0 (r_0^2 + r_0 r_1 + r_1^2)}{3\sqrt{3} r_0 (r_0 + r_1)} \right\}}{1 - \frac{\sin \vartheta \cos \alpha_0}{\sin(\vartheta + \alpha_0)}} \quad \text{----- (6)}$$

尚、(6) 式には β が含まれてないが、これは F_s に対する β の影響を無視したためで、管内面縦繊維の α が $\beta < \alpha$ の方向変化を受ける程度が大となれば問題となろう。

3. 引抜実験

実験に用いた原管は、C 0.08%, Si 0.19%, Mn 0.42%, Fe bal. の低炭素鋼管を表.1 の原管寸法に仕上げ後焼準し、表面を磷酸亜鉛下地(9.6%) + 金属石けん(3.6%)で潤滑処理した。 μ は実験より 0.062 を得た。引抜実験は各原管をテーパ角 $2\alpha = 25^\circ$ のダイスで 20×2 に仕上げた。尚、各工程毎にテーパ角 2β が $16^\circ, 19^\circ, 22^\circ$ のフラッグを用いた。

4. 実験結果とまとめ

表.1 および図.3 より、本提案式による計算値は実測値と良く一致しており、本加工力解析手法に妥当性が認められた。従って本法は、加工分野一般に適用可能である。

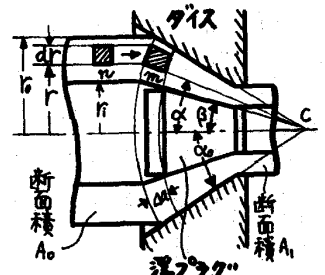


図.1 管引抜き図

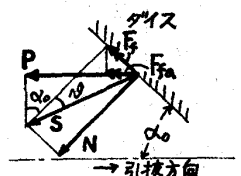


図.2 ベクトル図

表.1 実験結果

工程	原管寸法 (mm) (外径×肉厚)	引抜き実測値 (ton)			減面率 (%)	K_m (MPa)	計算値 (ton)
		$2\beta = 16^\circ$	19°	22°			
A	24.5×2.3	3.87	4.03	4.06	28.0	49.2	3.92
B	25.6×2.3	4.66	4.71	4.43	32.5	51.5	4.99
C	26.7×2.4	4.92	4.95	4.96	36.6	53.4	5.01
D	28.2×2.6	5.88	6.03	5.66	42.2	56.1	5.96

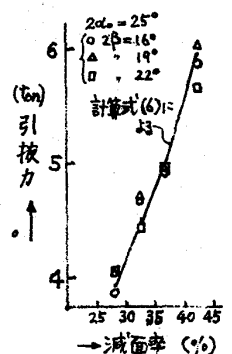


図.3 引抜き-減面率図