

論 文

UDC 621.774.21.06 : 621.313.3 : 621.3.016

スパイラル造管機の主駆動電動機の負荷解析について*

津 山 豊 雄**

Load Analysis of Main Driving Motor of Spiral Pipe Mill

Toyowo TSUYAMA

Synopsis:

The process of spiral pipe mill consists of preparation, forming and welding. In this study, resistance forces in each working process are calculated theoretically, and the load, which is required to carry strip and pipe, is also taken into consideration. The total load is compared with the indicated load on main driving motor of spiral pipe mill, and both values are shown to agree well each other. Dynamical behavior in each working process in the spiral pipe forming is also analyzed.

1. 緒 言

スパイラル造管機の作業は前処理、成形および溶接から成り立っている。

本報告は造管における各工程の力の挙動を理論的に解析し、その総合負荷を算出し、これと指示計の負荷とを比較した。

2. スパイラル鋼管の成形に関する幾何学的関係

スパイラル鋼管の成形には一定の幾何学的関係があり、これはスパイラル鋼管製造者が成形ならびに生産量を検討する際に用いる基本法則である。

Fig. 1 に幾何学的関係図を示している。

ここで、

B : サイドトリミング後のストリップの幅

(mm)

S = ストリップの厚さ

(mm)

D = パイプの外径

(mm)

α = 成形角度 (入角)

(°)

S_p = スパイラルピッチ

(mm)

S_L = スパイラルの長さ (1ピッチ当りの
スパイラルの長さ)

(m)

V_B = ストリップの速度

(m/min)

V_P = パイプの速度

(m/min)

V_S = 溶接速度

(m/min)

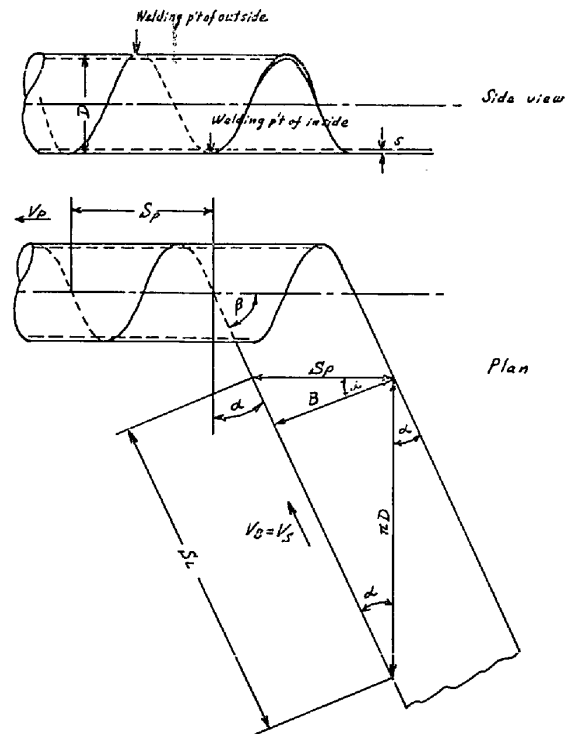


Fig. 1. View of spiral pipe forming.

β = 傾斜角 (スパイラル角) (°)

関係式:

$$\sin \alpha = \frac{B}{\pi \cdot D} \dots\dots\dots (1)$$

$$S_p = \frac{B}{\cos \alpha} = \pi D \tan \alpha \dots\dots\dots (2)$$

* 昭和52年4月本会講演大会にて発表 昭和52年4月18日受付 (Received April 18, 1977)

** 住金大径鋼管(株) (Sumikin Weld. Pipe Company, Ltd., 2 Dejimanishi-machi Sakai Ōosaka 590)

$$S_L = \sqrt{S_P^2 + (\pi \cdot D)^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$V_P = V_P \cdot \sin \alpha \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{1}{B^2} = \frac{1}{(\pi \cdot D)^2} + \frac{1}{S_P^2} \dots\dots\dots (5)$$

3. スパイラル鋼管の成形の解析

スパイラル鋼管の成形がスパイラル造管の基本作業であるゆえにこれを解析して見る。

この解析の出発点はストリップ(コイル)を Fig. 2 のごとく3つのゾーンに分けて考えて見た。なぜならばこれらのゾーンの成形プロセスが異なっているからである。

1) Aゾーンはa点において、Cゾーンの成形された部分と接触し、その直後で溶接され、その後はCゾーンの成形された部分と結合することによって、Aゾーン自からCゾーンに習って彎曲して送られる。Aゾーンの彎曲は3-ロールベンディングのロールの助けを全然受けておらず、Cゾーンの彎曲部とBゾーンの彎曲部の中間で進んでいる状態である。

彎曲の大きいものと彎曲の小さいものとを溶接結合して送り出す場合、お互が干渉し合つて、それぞれの形に

おける変形抵抗に反比例して変形し、(この場合双方とも加熱されているので変形抵抗値は低くなっている)溶接結合が破れることなく進むのである。

彎曲半径の小さいCゾーンと彎曲半径の大きいAゾーンとが結合してできた彎曲半径は当然Aゾーンの彎曲半径より小さいがCゾーンの彎曲半径よりは大きくなる。

またC、Aゾーンの結合部は体積一定の法則で面積の変化を余儀なくされた場合は厚さの変化で補なうことになる。これがピーキングの現象として現われるのである。

2) Bゾーンはb点にて3-ロールベンディングによつて彎曲され、その後成形ガイドロールによつてスプリングバックで緊定されながら進んでいるので、3つのゾーンの中で最も有利に成形されているゾーンである。

3) Cゾーンはc点にて3-ロールベンディングによつて彎曲され、その後 #4, #5 のガイドロールによつてスプリングバックで緊定されるが最後のガイドロール(#5)を離れてから最下位線 c-b-a の線に到達する距離がBゾーンに比べて長いゆえにそれだけスプリングバック代が大きくなり、したがつて彎曲半径はCゾーンの方がBゾーンに比して大きい。

A, B, Cのゾーンの彎曲半径(曲率半径)を比較すると、

$$A > C > B \text{ となる。}$$

スパイラル鋼管の成形を考えると、Cゾーンの成形が最も重要である。

Cゾーンの成形を完璧にするため、このゾーンに関与するガイドロールの最後のものの位置をできるだけ最下位線に近づけるようにしなければならない。

4. 成形における力について

当社の大径パイプの成形はすべて3-ロールベンディング方式である。しかしスパイラルパイプとストレートシームパイプとは力の挙動が異なる。

Fig. 4 と Fig. 5 とを比較すると動きの源が異なっている。Fig. 4 は #2 と #3 ロールが動きの源であるが Fig. 5 はプレートが動きの源となっている。

力の方程式として次の式がある。

$$P_1 = \frac{C_1 \cdot B \cdot S^2 \cdot \sigma_y}{l} \dots\dots\dots (6)$$

ここで:

P_1#1 ロールの力 (kg)

Bプレート(ストリップ)の幅
もしくはスパイラルピッチ (mm)

Sプレート(ストリップ)の厚さ (mm)

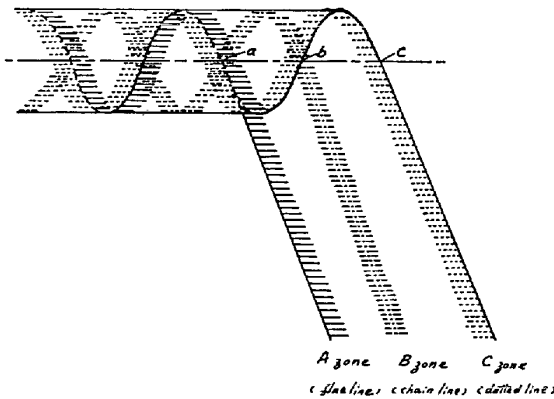


Fig. 2. Course of separated zone A, B and C.

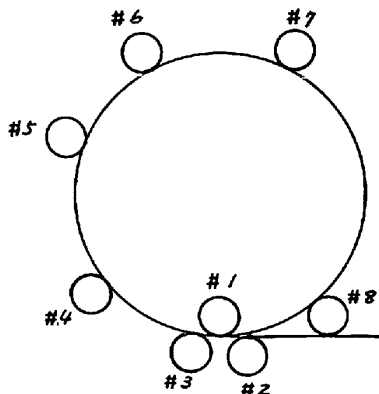
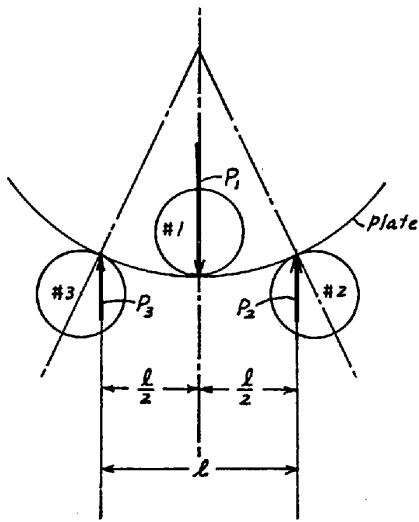
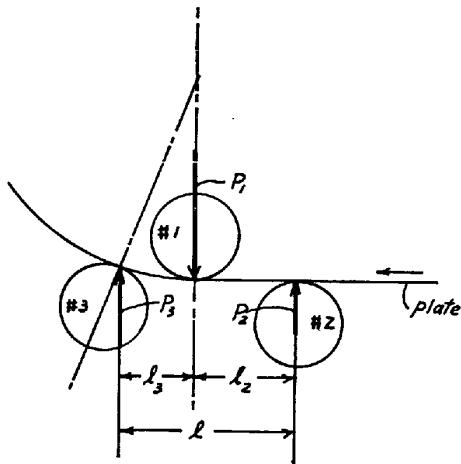


Fig. 3. Arrangement of guide rollers.



1-roll.....idle
 # 2, 3-roll.....drive
 plate.....driven by rolls

Fig. 4. Pyramid type bending rolls for straight seam pipe.



1, 2, & 3 roll.....idle
 plate.....drive

Fig. 5. 3 rolls bending for spiral seam pipe.

l # 2, # 3 ロールとストリップとの
 接点間の距離 (mm)
 σ_y ストリップの降伏点 (kg/mm²)
 C_1 係数

$$P_2 = \frac{P_1 l_3}{l} \dots\dots\dots (7)$$

$$P_3 = \frac{P_1 l_2}{l} \dots\dots\dots (8)$$

以上の諸式で各ロールの力を算出することができる。
 スパイラルパイプの場合を更に詳細に検討して見る。
 (Fig.6 参照)

F ストリップを送る力
 f_1, f_2, f_3 は # 1, # 2, # 3 ロールがストリップの送

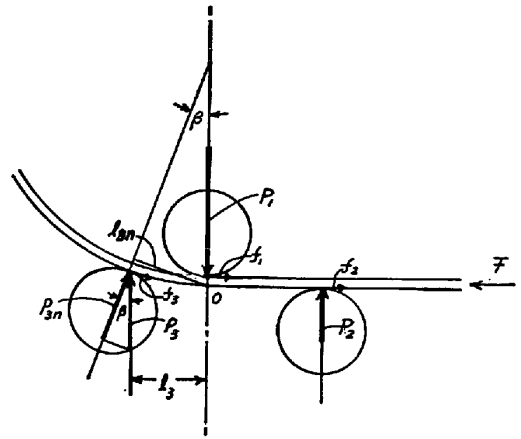
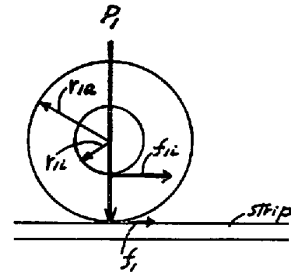


Fig. 6. Diagram of forces working on forming.



r_{1a}# 1 rolls outside radius
 r_{1i} " inside radius
 f_{1i}friction between roll and axis
 f_1resistant force of # 1 roll to strip's feeding

Fig. 7. Details of # 1 roll.

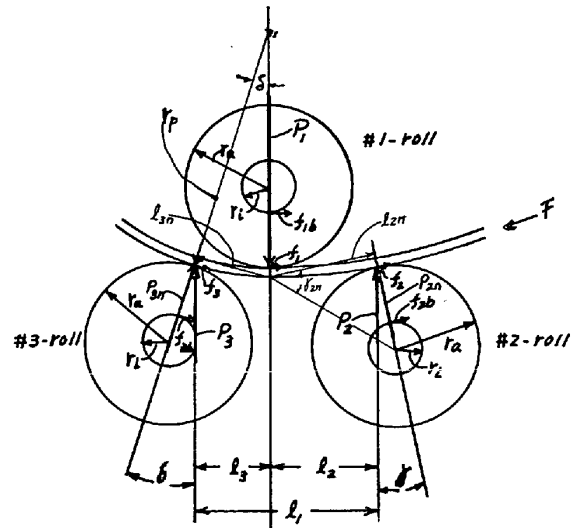


Fig. 8. 3 rolls bending.

りに対する抵抗。

P_{3n} は彎曲モーメントを等しくして # 3 ロールをストリップに垂直に作用させた場合の力。

1) # 1 ロールにおいて (Fig. 7 参照)

$$f_1 \cdot r_{1a} = f_{1i} \cdot r_{1i} \text{ (ロールの中心に対してのモーメントを考えると)}$$

$$f_1 = f_{1i} \cdot \frac{r_{1i}}{r_{1a}}$$

$$f_{1i} = \mu_1 \cdot P_1 \quad (\mu_1 \dots \dots \text{回転摩擦係数})$$

$$f_1 = \frac{\mu_1 \cdot P_1 \cdot r_{1i}}{r_{1a}} \dots \dots (9)$$

2) #2 ロールにおいて

$$f_2 = \mu_2 \cdot P_2 \cdot K \cdot \frac{r_{2i}}{r_{2a}} \dots \dots (10)$$

$K=f(\alpha)$ すなわち α の関数であり設備の機構によつて決まる。

もし $r=0$ の場合は

$$f_2 = \mu_2 \cdot P_2 \cdot \frac{r_{2i}}{r_{2a}} \text{ となる.}$$

3) #3 ロールにおいて

$$P_3 \times l_3 = P_{3n} \times l_{3n}$$

$$P_{3n} = P_3 \times \frac{l_3}{l_{3n}} = P_3 \times \frac{l_3}{r_P \sin \delta} \quad (r_P \dots \dots \text{パイプの半径})$$

半径)

$$f_3 = \frac{\mu_3 \cdot P_3 \cdot l_3}{r_P \sin \delta} \times \frac{r_{3i}}{r_{3a}} \dots \dots (11)$$

ゆえに #1, #2, #3 のロールによつてのストリップの送りに対する抵抗は

$$F_{b1-3} = \frac{\mu_1 \cdot P_1 \cdot r_{1i}}{r_{1a}} + \frac{\mu_2 \cdot P_2 \cdot K \cdot r_{2i}}{r_{2a}} + \frac{\mu_3 \cdot P_3 \cdot l_3 \cdot r_{3i}}{r_P \sin \delta \cdot r_{3a}} \dots \dots (12)$$

5. 3 ロールによる彎曲成形における力について

3-ロールで物体を彎曲する場合は中央に働く力の方向

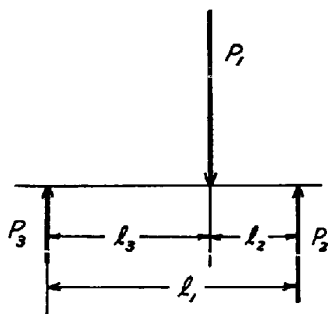


Fig. 9. Relation between bending forces.

Table 1. Values of C_2 .

l_2	:	l_3	C_2
1	:	1	4
1	:	2	5.5
1	:	3	5.3
1	:	4	7.2

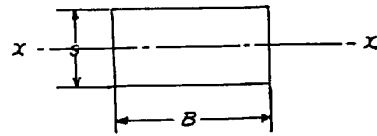


Fig. 10. Size of section.

は両側に働く力の方向と相反することが必要である。その場合の条件は次のごとくである。

$$P_1 = P_2 + P_3, \quad l_1 = l_2 + l_3$$

M を曲げモーメントとすると

$$M = P_2 l_2 = P_3 l_3$$

$$M = \frac{P_1 l_1}{C_2} \text{ とした場合の } C_2 \text{ の値は } l_2 : l_3 \text{ の$$

比によつて Table 1 のごとく変わる。

σ_b 最大曲げ応力

Z 断面係数

とすると次の関係がある。

(ただし弾性限界において)

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

断面が Fig. 10 の場合は

$$\text{断面係数 } Z = \frac{1}{6} B s^2 \text{ となるゆえに}$$

$$\sigma_b = \frac{P_1 l_1}{C_2} \cdot \frac{6}{B s^2}, \text{ 更に}$$

$$P_1 = \frac{C_2 / 6 \cdot \sigma_b \cdot B \cdot s^2}{l} \text{ と変形される.}$$

彎曲変形をする場合は σ_b は塑性変形応力であるゆえに降伏点 σ_y よりも大きい。今 $\sigma_b = 1.2 \sigma_y$ および $C_2 = 4$ を採用すると $P_1 = \frac{4/6 \times 1.2 \sigma_y \cdot B \cdot s^2}{l_1} = \frac{0.8 \sigma_y \cdot B s^2}{l_1}$ となり、更に降伏点の上限および $l_2 : l_3$ を考え安全率と

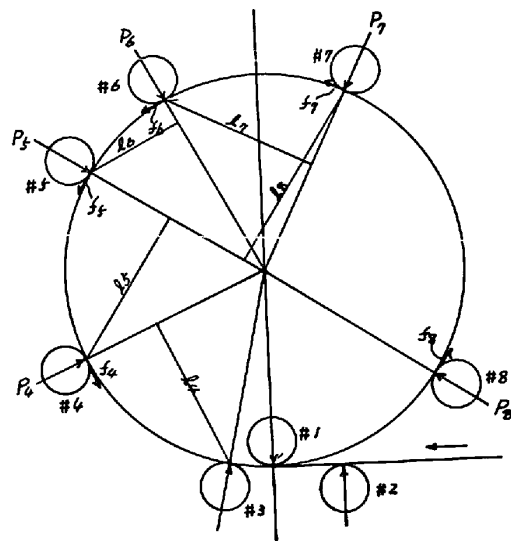


Fig. 11. Arrangement of guide rolls.

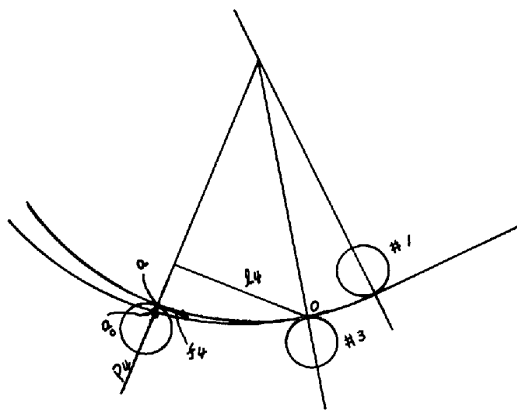


Fig. 12. Comparing the course of strip guided by guide roll with that without it.

して 1.5 を用いると $(1.5 \times 0.8 = 1.2)$ 次のごとき式となる。

$$P_1 = \frac{1.2 \sigma_y \cdot B \cdot s^2}{l_1} \dots \dots \dots (13)$$

スパイラルパイプの場合は B の代りに $\frac{B}{\cos \alpha}$ のスパイラルピッチを用いなければならないが l_1 も $\frac{l_1}{\cos \alpha}$ を用いることになるので結局同じ式である。

6. 成形外周ガイドロールの力について

成形外周ガイドロール #4, #5, #6, #7, および #8 について検討して見る。(Fig. 11 参照)

各ロールのストリップに対する法線を $P_4, P_5, P_6 \dots P_n$ とし、

各ロールの法線力に対し、その前のロールにおけるストリップ接点からの垂直距離を $l_4, l_5, l_6 \dots l_n$ とする。今 #4 ロールの場合を取りあげて見る。(Fig. 12 参照)

#3 ロールを離れたストリップは #4 ロールがなかったときは $O-a_0$ のコースを通り、#4 ロールが働いたときは $O-a$ のコースを通る。#4 ロールによつてストリップは $O-a_0$ から $O-a$ に曲げられることになる。したがつてこれに必要な力 P_4 が働いているのである。この場合の O 点に対するモーメントは $M_4 = P_4 \times l_4$ である。この場合は弾性限界の作用であるゆえに次の式が用いられる。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここにおいて $\sigma \dots \dots$ 内部応力 (kg/mm²)
 $M \dots \dots$ 曲げモーメント (kg·mm)
 $Z \dots \dots$ 断面係数 (mm³)

ゆえに
$$\sigma = \frac{P_4 \cdot l_4}{Z}$$

$$P_4 = \frac{\sigma \cdot Z}{l_4} \dots \dots \dots (14)$$

ここにおいて σ は応力-歪-線図から判るごとく、歪に比例するものである。すなわち曲げ程度で変つてくる。ストリップの送りに対する抵抗は

$$f_4 = \frac{\mu_4 \cdot P_4 \cdot r_{4i}}{r_{4a}} \dots \dots \dots (15)$$

ここにおいて

$\mu_4 \dots \dots$ #4 ロールの内面の摩擦係数

$r_{4a} \dots \dots$ #4 ロールの半径

$r_{4i} \dots \dots$ #4 ロールの軸受けの半径

以上の (14), (15) 式を一般化すると次のごとくなる。

$$P_n = \frac{\sigma_n \cdot Z}{l_n} \dots \dots \dots (16)$$

$$f_n = \frac{\mu_n \cdot P_n \cdot r_{ni}}{r_{na}} \dots \dots \dots (17)$$

成形ガイドロールの全抵抗は、

$$F_{g.r.} = f_4 + f_5 + f_6 + f_7 + f_8 = \sum_4^n f_n \dots \dots \dots (18)$$

計算並びにガイドロールの調整について考慮すべき事項。

σ_4 は #4 ロールの曲げ量から決定し、以後の σ_n は σ_4 の値を採用して差支えない。なぜならば常に弾性限界の変形で作用しているからである。各ガイドロールを離れるとスプリングバックして元の曲り姿になる。これが成形における残留応力と言われているものである。従つて 3ロールベンディングにおいて #3 ロールを出た形状が正規のパイプの円周の円弧からどれだけずれているかということがスプリングバックの大きさとなる。また #4 ロールにおいて弾性限界を越えて変形をするときは、その際の σ_4 は降伏点を越えた値である。

スプリングバック (成形残留応力) をなくすためにはいかにすべきか。

1) 3ロールベンディングでスプリングバックを考慮して正規のパイプ円周の円弧より若干小さく成形すること。

2) 最後のガイドロールの位置はできるだけ溶接点に近づけること。

7. ドライビングロール自体の抵抗について

Fig. 13 参照

$P_u \dots \dots$ 上ロールの一方の軸受にかかる力

$P_l \dots \dots$ 下ロールの一方の軸受にかかる力
 $= P_u + W$ (ロール 1 枚の重量)

$f_u \dots \dots$ 上軸受における抵抗

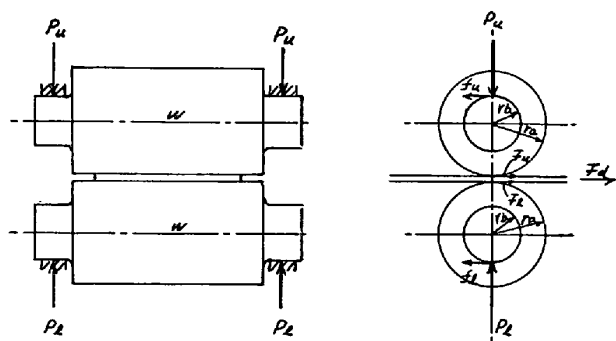


Fig. 13. Resistance of driving roll itself.

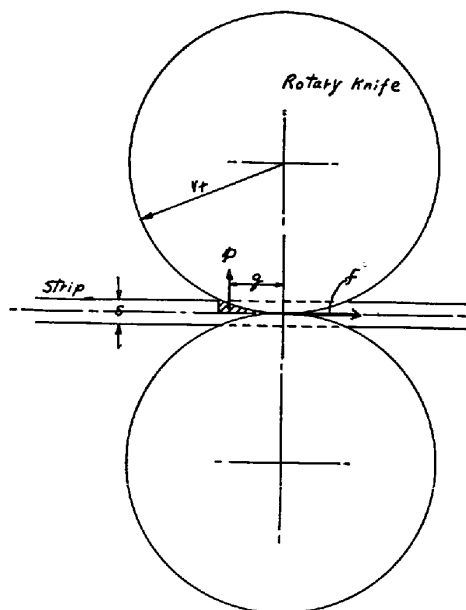


Fig. 14. Side Trimmer.

$$= \mu \cdot P_u, \quad (\mu \cdots \text{回転摩擦係数})$$

f_l下軸受における抵抗

$$= \mu \cdot P_l$$

ロール中心線に対するメントを考え時、上ロールの抵抗と上軸受の抵抗との関係は次のごとくである。

$$F_u \times r_a = f_u \times r_b$$

$$F_u = f_u \times \frac{r_b}{r_a}$$

同様に下ロールの抵抗と下軸受の抵抗との関係は

$$F_l \times r_a = f_l \times r_b$$

$$F_l = f_l \times \frac{r_b}{r_a}$$

ドライビングロールの全抵抗は次式になる。

$$F_d = 2 \times (F_u + F_l) = 2 \times \mu (2P_u + W) \times \frac{r_b}{r_a} \cdots (22)$$

8. サイドトリンマーの力について

Fig. 14 参照

f_tサイドトリンマーナイフの半径 (mm)
 sストリップの厚さ (mm)
 p1つのナイフにかかる剪断抵抗力 (kg)
 f1つのナイフにかかる引張力 (kg)
 g剪断抵抗力の重心とナイフの中心線との距離 (mm)
 1つのナイフのモーメントを取り扱かつて見ると次の関係がある。

$$f \cdot r_t = p \cdot g \cdots (23)$$

$$p = \tau \cdot a \cdots (24)$$

ここにおいて、

τ剪断応力 (kg/mm²)

a剪断応力が働いている面積 (mm²)

Fig. 15 において

b c dの三日月の面積

$$= 1/2 \{ r_t (l - 2h) + 2h \times s/2 \}$$

l弧 b c dの長さ

$$= 2\pi r_t \times \frac{2 \times \sin^{-1} \cdot h/r_t}{360^\circ}$$

h弦 b dの半分

$$= \sqrt{(2r_t - s/2) \times s/2}$$

したがって

$$a = h \cdot s/2 - 1/4 \{ r_t (l - 2h) + 2h \times s/2 \} \cdots (25)$$

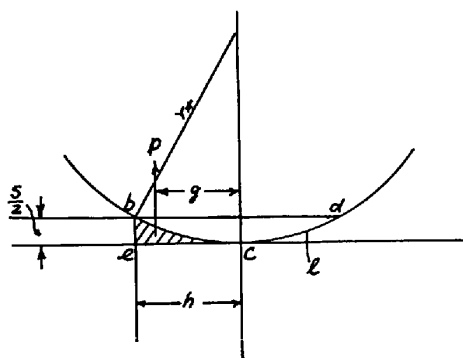


Fig. 15. Detail of trimming section.

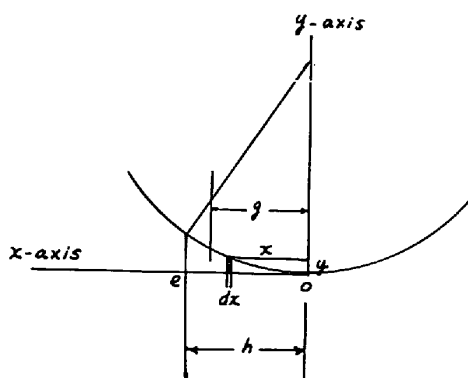


Fig. 16. x-y coordinate.

Fig. 16 において g は次の式で表わされる.

$$g = \frac{\int_0^h xy dx}{\int_0^h y dx}$$

x, y の関係を考慮して見ると

$$x^2 = (2r_t - y)y$$

$$y^2 - 2r_t y + x^2 = 0$$

$$y = \frac{2r_t \pm \sqrt{4r_t^2 - 4x^2}}{2}$$

y は r_t より小さいゆえに (-) の符号のみ採用する.

$$y = \frac{2r_t - \sqrt{4r_t^2 - 4x^2}}{2}$$

$$\int_0^h xy dx = \int_0^h \frac{2r_t - \sqrt{4r_t^2 - 4x^2}}{2} \cdot x dx$$

$2r_t = K$ を代入すると

$$= \int_0^h \frac{K - \sqrt{K^2 - 4x^2}}{2} \cdot x dx$$

$$= \int_0^h \frac{K}{2} \cdot x dx - \int_0^h \frac{\sqrt{K^2 - 4x^2}}{2} \cdot x dx$$

$$\int_0^h \frac{K}{2} \cdot x dx = \left[\frac{Kx^2}{4} \right]_0^h = \left[\frac{2r_t x^2}{2} \right]_0^h = \left[\frac{r_t x^2}{2} \right]_0^h = \frac{r_t h^2}{2}$$

$$\int \frac{\sqrt{K^2 - 4x^2}}{2} \cdot x dx = \int_0^h \frac{\sqrt{K^2 - 4x^2}}{4} dx^2$$

$$= \int_0^h \frac{\sqrt{K^2 - 4x^2}}{16} \cdot d4x^2$$

$4x^2 = b$ を代入すると

$$= \int \frac{\sqrt{K^2 - b}}{16} db = \int -\frac{\sqrt{K^2 - b}}{16} d(K^2 - b)$$

$K^2 - b = n$ を代入すると

$$= -\int \frac{\sqrt{n}}{16} dn = -\frac{1}{16} \int n^{1/2} \cdot dn = -\frac{1}{16} \left[\frac{2n^{3/2}}{3/2} \right]$$

$$= -\left[\frac{1}{24} n^{3/2} \right]$$

$n = K^2 - b$ と還元すると

$$= -\frac{1}{24} \left[(K^2 - b)^{3/2} \right]$$

$b = 4x^2$ と還元すると

$$= -\frac{1}{24} \left[(K^2 - 4x^2)^{3/2} \right]_0^h$$

$K = 2r_t$ と還元すると

$$= -\frac{1}{24} \left[(4r_t^2 - 4x^2)^{3/2} \right]_0^h$$

$$\int_0^h xy dx = \left[\frac{r_t x^2}{2} \right]_0^h + \left[\frac{1}{24} (4r_t^2 - 4x^2)^{3/2} \right]_0^h$$

$$= \frac{r_t h^2}{2} + \left\{ \frac{1}{24} (4r_t^2 - 4h^2)^{3/2} \right\} - \left\{ \frac{1}{24} (4r_t^2)^{3/2} \right\}$$

$$\int_0^h y dx = \int_0^h \frac{2r_t - \sqrt{4r_t^2 - 4x^2}}{2} \cdot dx$$

$$= \int_0^h r_t dx - \int_0^h \frac{\sqrt{4r_t^2 - 4x^2}}{2} \cdot dx$$

$$= \left[r_t \cdot x \right]_0^h - \int_0^h \sqrt{r_t^2 - x^2} \cdot dx$$

$$= \left[r_t \cdot x \right]_0^h - \left[\frac{x}{2} \sqrt{r_t^2 - x^2} + \frac{r_t^2}{2} \cdot \frac{\pi}{180} \sin^{-1} \frac{x}{r_t} \right]_0^h$$

$$= r_t \cdot h - \frac{h}{2} \sqrt{r_t^2 - h^2} - \frac{r_t^2}{2} \sin^{-1} \frac{h}{r_t}$$

したがって

$$g = \frac{\int_0^h xy dx}{\int_0^h y dx}$$

$$= \frac{\frac{r_t \cdot h^2}{2} + \left\{ \frac{1}{24} (4r_t^2 - 4h^2)^{3/2} \right\} - \frac{1}{24} (4r_t^2)^{3/2}}{r_t \cdot h - \frac{h}{2} \sqrt{r_t^2 - h^2} - \frac{r_t^2}{2} \cdot \frac{\pi}{180} \cdot \sin^{-1} \frac{h}{r_t}}$$

$$\dots\dots\dots (26)$$

$$f = \frac{\tau \cdot a \cdot g}{r_t} \dots\dots\dots (27)$$

サイドトリンマーに要する全引張力(抵抗)は次式のごとくになる.

$$F_S = 4f \dots\dots\dots (28)$$

ナイフの半径 $r_t = 250 \text{ mm}$ および 200 mm の場合のストリップ各厚さに対しての p および F_S を算出し

Table 2. Calculated values.

r_t (mm)	S (mm)	a (mm ²)	τ (kg/mm ²)	p (kg)	g (mm)	f (kg)	F_S (kg)
250	10	156	35	5 460	19	414.9	1 659.8
"	12	165	"	5 775	25.5	589.05	2 356.2
"	15	185	"	6 475	33.5	867.65	3 470.6
"	19	220	"	7 700	42	1 293.6	5 174.4
"	22	303	"	10 605	48	2 036.16	8 144.6
200	10	77	"	2 695	31.5	424.46	1 697.8
"	12	100	"	3 500	35	612.5	2 450.0
"	15	137	"	4 795	39.5	947.01	3 788.05
"	19	190	"	6 650	45.6	1 516.2	6 064.8
"	22	265	"	9 275	49.2	2 281.6	9 126.6

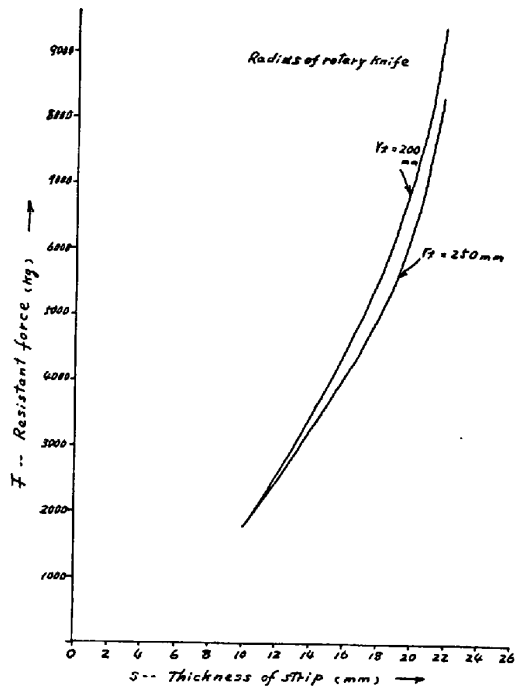


Fig. 17. Resistant force of side trimmer.

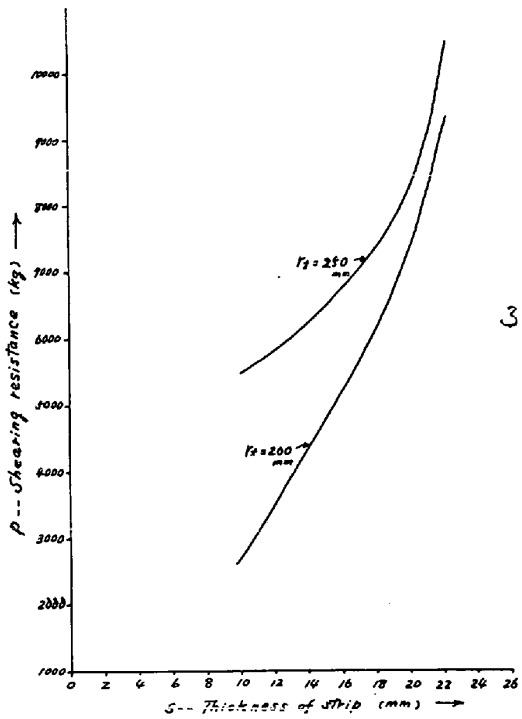


Fig. 18. Shearing resistance of side trimmer.

Table 2 ならびに Fig. 17, 18 に示した.

図から判明することはナイフの径の大きい方がサイドトリンマーの抵抗としては小さいということである。ただしサイドトリンマー自体には大きな力がかかっている。

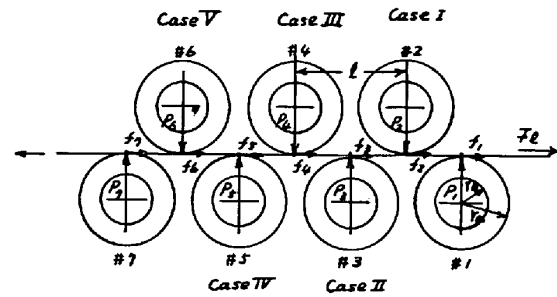


Fig. 19. Resistant force of leveller.

9. レベラーの抵抗について

Fig. 19 参照

Case I においては

$$P_1 = \frac{C_1 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l}$$

$$P_2 = \frac{C_1 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{l}$$

$$P_3 = \frac{C_1 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l}$$

Case II においては

$$P_2 = \frac{C_2 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l}$$

$$P_3 = \frac{C_2 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{l}$$

$$P_4 = \frac{C_2 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l}$$

Case III においては

$$P_3 = \frac{C_3 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l}$$

$$P_4 = \frac{C_3 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{l}$$

$$P_5 = \frac{C_3 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l}$$

Case IV においては

$$P_4 = \frac{C_4 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l}$$

$$P_5 = \frac{C_4 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{l}$$

$$P_6 = \frac{C_4 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l}$$

Case V においては

$$P_5 = \frac{C_5 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l}$$

$$P_6 = \frac{C_5 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{l}$$

$$P_7 = \frac{C_5 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l}$$

$$P_1 = \Sigma p_1 = \frac{C_1 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l} = \frac{\sigma \cdot B \cdot s^2}{l} \left(\frac{C_1}{2} \right)$$

$$P_2 = \Sigma p_2 = \frac{C_1 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{l} + \frac{C_2 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l} = \frac{\sigma \cdot B \cdot s^2}{l} \left(C_1 + \frac{C_2}{2} \right)$$

$$P_3 = \Sigma p_3 = \frac{C_1 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l} + \frac{C_2 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{l} + \frac{C_3 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l}$$

$$= \frac{\sigma \cdot B \cdot s^2}{l} \left(\frac{C_1}{2} + C_2 + \frac{C_3}{2} \right)$$

$$P_4 = \Sigma p_4 = \frac{C_2 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l} + \frac{C_3 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{l} + \frac{C_4 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l}$$

$$= \frac{\sigma \cdot B \cdot s^2}{l} \left(\frac{C_2}{2} + C_3 + \frac{C_4}{2} \right)$$

$$P_5 = \Sigma p_5 = \frac{C_3 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l} + \frac{C_4 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{l} + \frac{C_5 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l}$$

$$= \frac{\sigma \cdot B \cdot s^2}{l} \left(\frac{C_3}{2} + C_4 + \frac{C_5}{2} \right)$$

$$P_6 = \Sigma p_6 = \frac{C_4 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l} + \frac{C_5 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{l} = \frac{\sigma \cdot B \cdot s^2}{l} \left(\frac{C_4}{2} + C_5 \right)$$

$$P_7 = \Sigma p_7 = \frac{C_5 \cdot \sigma \cdot B \cdot s^2}{2l} = \frac{\sigma \cdot B \cdot s^2}{l} \left(\frac{C_5}{2} \right)$$

各ロールの抵抗は次の式のとおりになる。

$$f_1 = \mu \cdot \frac{r_i}{r_a} \cdot P_1$$

$$f_2 = \mu \cdot \frac{r_i}{r_a} \cdot P_2$$

$$f_3 = \mu \cdot \frac{r_i}{r_a} \cdot P_3$$

$$f_4 = \mu \cdot \frac{r_i}{r_a} \cdot P_4$$

$$f_5 = \mu \cdot \frac{r_i}{r_a} \cdot P_5$$

$$f_6 = \mu \cdot \frac{r_i}{r_a} \cdot P_6$$

$$f_7 = \mu \cdot \frac{r_i}{r_a} \cdot P_7$$

レベラーの全抵抗は次のとおりである。

$$F_l = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6 + f_7$$

10. アンコイラーの抵抗について

Fig. 20 参照

G_C ……コイルの重量 (kg)

g_m ……マンドレルの重量 (kg)

g_p ……マンドレル軸押え力 (kg)

$r_{u.c.}$ ……マンドレル軸の半径 (mm)

r_C ……コイルの半径 (mm)

$$G = G_C + g_m + 2 \times g_p$$

アンコイラーの抵抗は次の式のとおりとなる。

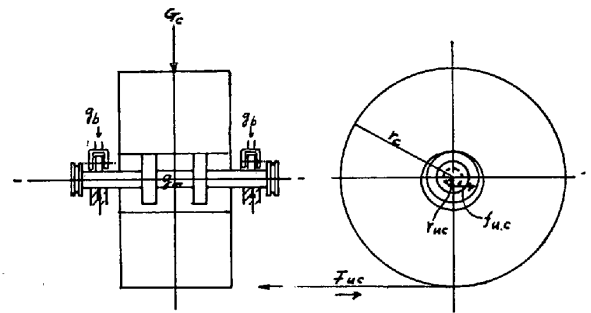


Fig. 20. Resistant force of uncoiler.

$$F_{u.c.} = G \times \mu \times \frac{r_{u.c.}}{r_C}$$

11. チアンファリングおよびベベリングの抵抗について

チアンファリングの抵抗 f_c は次式で算出する。

$$f_c = q \cdot K_S$$

ここにおいて

q ……切削面積 (mm²)

K_S ……比切削抵抗 (kg/mm²)

ベベリングの抵抗 f_b は次式で算出する。

$$f_b = q' \cdot K'_S$$

ここにおいて

q' ……切削面積 (mm²)

K'_S ……比切削抵抗 (kg/mm²)

チアンファリングおよびベベリングの総抵抗は次式のごとくになる。

$$F_{c+b} = f_c + f_b$$

12. アウトレットテーブルの抵抗について

アウトレットテーブルの抵抗は次式のごとくである。

$$F_0 = G_p \cdot \mu \cdot \frac{r_i}{r_a} \cdot K_1$$

ここにおいて

G_p ……アウトレットテーブル上の

パイプの重量

(kg)

μ ……受けローラー軸の回転摩擦係数

(mm)

r_a ……受けローラーの半径

(mm)

r_i ……受けローラーの軸の半径

(mm)

K_1 ……受けローラーの位置に関する係数

$$= \left(\sqrt{\frac{2}{3}} = 1.51 \right)$$

13. 巻戻しの抵抗について

曲げモーメント (M_b) は

$$M_b = \frac{1.5 \times \sigma_y \times B \times s^2}{6} \quad (\text{kg/mm})$$

距離 (l) における押え力 (f) は

$$f = \frac{M_b}{l}$$

巻戻し抵抗は次式となる.

$$F_{\text{巻戻し}} = \mu \cdot f$$

14. センターリングの抵抗

センターリングの抵抗は次式のごとくになる.

$$F_{\text{cent.}} = f_h \cdot \mu \cdot \frac{r_b}{r_r} \cdot n$$

ここにおいて

- f_h ……油圧による押え力 (kg)
- μ ……ローラー軸の回転摩擦係数
- r_b ……ローラーの軸の半径 (mm)
- r_r ……ローラーの半径 (mm)
- n ……ローラーの個数

15. サイドガイドの抵抗

サイドガイドの抵抗は次式で計算する.

$$F_{\text{side}} = f_h \cdot \mu \cdot \frac{r_b}{r_r} \cdot n$$

記号は前項の解釈と同じである.

16. プレベンディングの抵抗

プレベンディングの抵抗は次式で計算する.

$$F_{\text{pb}} = f_h \cdot \mu \cdot \frac{r_b}{r_r} \cdot n$$

記号は前項の解釈と同じである.

17. パイプの重量およびストリップの重量について

造管機の主駆動モーターの重要な仕事はパイプとストリップを送ることである. ゆえにその場合のおのおのの重量を算出する. これはアウトレットテーブル上のパイプの重量とインレットテーブル上のストリップの重量を見出せばよい.

18. 結 果

3つの製品寸法による換算電流と主駆動モーターの電流とを比較して Table 3 に列記した.

Table 3. Calculated resistance of each section & main driving motor's load.

Product's size (O. D. mm × thickness mm)		609.6 × 14	1 016 × 22	711.2 × 9.53
Material		STK 41	STK 41	STK 41
Welding speed m/sec		0.03	0.017	0.0417
Weight of coil kg		16.340	23.000	23.000
μ	Length of product	7	12	12
0.05	(1) Resistance of 3-roll bending kg	756	1 222	841
0.04	(2) " of forming guide roll kg	544	590	246
0.04	(3) " of prebending "	6 857	6 857	6 857
0.02	(4) " of driving roll "	1 248	1 655	1 045
	(5) " of chamfering & bevelling "	3 162	9 222	1 064
	(6) " of side trimming "	3 150	8 000	1 600
0.04	(7) " of levelling "	9 616	23 744	5 300
0.04	(8) " of side guide "	720	720	720
0.04	(9) " of centering "	660	660	660
0.2	(10) " of uncoiling "	170	420	94
0.1	(11) " of uncoiler "	246	301	321
	(12) " of out let table "	361	1 290	389
	(13) Weight of pipe & strip "	5 952	16 038	5 719
Sum total ※		33.442	70.719	24.856
Calculated current ※ × welding speed ÷ 102.04 × 1 000 ÷ 440 amp		22.345	26.77	23.085
No load current amp		7.2	4.0	10.0
Current (calculated) amp		29.54	30.77	33.08
Current (indicated) amp		35.	39.	32.