Studies on Three-Roll Mills. I.

UDC
667.632.063.62
:621.926.3

Output of Three-Roll Mill

Taiichi TSURITANI

Dainippon Ink & Chemicals Co., Inc.

Abstract

Three roll mills were studied in terms of input, output, degree of dispersion and operation cost.

Grinding productivity λ was defined as

$$\lambda = \frac{M'}{\phi} = K \frac{\delta_{ca'}}{\phi} = K_M a \frac{n_a}{n_c} \frac{\delta_{ca'}}{\phi} \quad (1)$$

where M' is the actual rate of output, ϕ the grade of dispersion of the output, $\delta_{ca'}$ the clearance between center and output rolls, n_a the ratio of center roll to apron roll peripheral velocity, n_c the ratio of center roll to apron roll peripheral velocity, a the fraction of total flow through the apron nip which transfers to the apron roll, and k_M a constant. k was generally in the range 7.0~9.0. It appeared that the larger the value of M' , the larger the λ . From equation 1 and the Zettlemoyer-Patton's equation, an equation for the work input per unit amount of mill base discharging to the take-off apron.

$$IP = k_{IM} \eta^{2/3} \rho^{2/3} M^{-1/3} \quad (2)$$

was derived, where η is the viscosity of mill base, ρ the density, and k_{IM} a constant, and M the rate of output.

* Itabashi-ku, Tokyo

3本ロールミルの技術的検討と 技術的評価に関する知見 (第1報)

UDC
667.632.063.62
:621.926.3

(1) 3本ロールミルのアウトプットについて

釣 谷 泰 一*

要 旨

3本ロールミルの1時間当りのアウトプットを実際データにつき検討し、ロール仕様およびタイプ、インキの色相、原料形態によって異なることが分った。また実際に得られたアウトプットと Patton の式による理論アウトプットとの関係を吟味し、相関々係をみると、実際ロールの間隙を計算し、それが妥当性のあることを確めた。そしてアウトプットの評価尺度の一つとして、ロール生産性効率を定義した。さらに練和生産性を導入し、品質(分散度)を加味した生産性表示を検討した。すなわちロールミルのアウトプットを評価するもう一つの方法は、単に Patton 式で代表される表示だけでは不十分で、粒子の分散度を考慮した練和生産性を取り入れることが好しいことを示唆した。その他ロールの回転比、回転数と生産性および品質との関係を検討した。

1. 緒 言

一般に懸濁系を製造する場合各種ミルを使用する。最近各種新型ミルが登場してきたが、3本ロールミルは依然として代表的ミルの座を占めている。3本ロールミルは、主に200ボイズ以上のペーストを製造する場合に用いられるが、低粘度用としても広く使用されている。ミルの性能は生産の合理化と品質の向上、安定化に大きく影響する。すでに3本ロールミルは永年使用されているために、経験的にその機能は充分分っているが、細かく技術的に検討すると、なお多くの問題のあることに気がつく。著者は3本ロールミルを技術的に評価すべく検討したのであるが、結局は3本ロールミルの機能と、練肉機構を明らかにしないと評価の尺度をあやまることになるという結論に達した。ミルはどのようにして、最大のアウトプットを得るか、最小のコストで最大の品質を得るかにあり、この目的を達成するためにはロールの性能はどうあるべきかを知る必要がある。そのためにはまず

3本ロールミルの技術的評価と経済的優劣をきめる方策の必要性を感じ、その尺度ときめる過程について研究したので報告する。

図-1 3本ロールミルの4大評価項目とその要因との関連図

昭 44.7.18 受理

* 大日本インキ化学工業株式会社東京工場
東京都板橋区坂下 3-35-58

3本ロールミルを技術的, 経済的に評価するためには少なくとも, 次の4つの項目について検討しなければならない。すなわち, 3本ロールミルのアウトプット性能, インプット性能, 分散系の品質, 作業性の4つである。この4つの項目を, 要因を付して図示すると, 図-1 のようになる。

図-1 はロール性能の特性要因図を画いて, 要因と評価項目の関係を図示したものであるが, これら要因中間隙だけではどの評価項目に含まれている。端的にいうと3本ロールミルは2ロール間の間隙をたくみに利用するミルであるという当り前のことがいえるのであるが, その間隙の変化, コントロール, 操作方法などによって, 生産性も, インプットも品質も作業性もかわること, 経験がものをいうミルであるといえよう。サンドミルやアトライターのように一度要因と水準を固定すれば, その状態における評価をもって判断することができるが, ロールはそんな簡単な評価ではすまされない。ロール性能を比較する場合のむづかしさはこの点にある。特性要因図としてみた場合, 作業者の影響や日による効果, 季節やロットサイズなどを考えると作業標準化すればよいのであるが, これには技術的裏付けがないといけない。

3本ロールミルの間隙をコントロールする要因として図示されているように, 3本ロールミル本体のコントロール, 製造する分散系の種類や色によって大きく変わる。

そこで著者は前記掲げた4つの評価項目をとりあげ, 主に技術的な検討を加え, 第1報として3本ロールミルのアウトプット, インプットについて報告したい。

2. 3本ロールミルのアウトプット

3本ロールミルの1時間当りのアウトプットはロール生産性と考えるとよい。著者は3本ロールミルの設備生産性と名づけている。3本ロールミルの1時間当りのアウトプットは, ロールの仕様(ロール長, 直径, 回転数, 回転比)と, 2ロール間間隙, 回転比によってきまるところの投入物の転移係数と系の比重できまる。Patton は次のように表わしている¹⁾。

$$M(\text{kg/hr}) = (1.08 \times 10^{-5}) \cdot D \cdot L \cdot \delta_{fc} \cdot (\text{rpm}) \cdot (1+n) \cdot c \cdot a \cdot (\text{S.g}) \quad (1)$$

ここに $D \cdot L$ はそれぞれロール長と直径 [cm], δ_{fc} はフィードロールとセンターロール間間隙 [μ], (rpm) は1分間の回転数(ただしフィードロール), n は2ロール間回転比(フィードロール～センターロール間), $c \cdot a$ は n に関係する投入物の転移係数¹⁾, (S.g) は投入物の比重である。Zettlemoyer 氏²⁾によれば $c = n^2(n+3)/$

$(n+1)^3$ で示され, n が 1:3:9 のとき $c=a$ でよい。 a はセンターロール, エプロンロール間転移係数である。(1.08×10⁻⁵) は [kg, hr, cm] 単位で示した係数で Patton の係数 (1/2) · (1.15) · (3.14) · (60) が含まれている。

たとえばインキの場合顔料をビヒクルに均一に分散して所望のアウトプットを得るためには(1)式で十分である。

3. 実験と解析

まず(1)式を検証する前に6台のロールを抽出し, 17人の作業者が均等に作業できるよう配分し, かつ同一タイプのインキ黄, 紅, 藍系の3種をとり, 練肉工程について, 日を変え, 1カ月の実験計画を解析した。すなわち実験計画は分類分析法による。要因として,

(1) (ロール) × (色) × (粘度) × (原料形態) × (銘柄タイプ), (2) (ロール) × (人), (3) (ロール) × (圧力) × (温度), この他練和度を要因として選び, (ロール) × (練和度) をとりあげた。全データ数528個, 求める目的値, 練肉前後のグラインドメーター値, 温度圧力, 流出後の見掛け粘度(スプレードメーター測定値), 練肉実生産性, (練肉に要する所要時間)をとる。回収データを次の階級別にわけた。

階級	中央値	No.	記号
<50.5 (kg/hr)		1	-4
50.5~70.5	60.5(kg/hr)	2	-3
70.5~90.5	80.5	3	-2
90.5~110.5	100.5	4	-1
110.5~130.5	120.5	5	0
130.5~150.5	140.5	6	+1
150.5~170.5	160.5	7	+2
170.5~190.5	180.5	8	+3
>190.5		9	+4

表-1 分散分析表(要因のロール実生産性に及ぼす影響)

要 因	平方和	自由度	不偏分散	F検定
ロ ー ル	207	5	41.4	32.34**
銘柄タイプ	35	3	11.7	9.14*
色	85	3	28.3	22.11**
原料形態	110	1	110.0	85.94**
ロール×色	305	15	20.3	15.86**
ロール×タイプ	104	15	7.0	5.47*
ロール×原形	75	5	15.0	11.72*
誤 差	615	480	1.28	
合 計	1536	527

図-2 ロールの種類, 色によるロール実生産性(kg/hr)

記録票(回収カード)一枚は要因, データごとに対応させてあるからそれぞれホールパンチし, 要因, 水準ごとにソートコーディングし, その個数を数えればよい。分散分析結果の一例を表-1に示す。

この内ロール実生産性 M' (kg/hr) をロールごと解析計算した。その結果各ロールの M' (kg/hr) の平均値は図-2のように(有意差検定で高度に有意であるが)ロールと色によってそれぞれ異なることが分る。

M' (kg/hr) を求める基準尺度は当然品質にあるので, 分散度(分散性, 練り度)を一定としてある。すなわち分散度が一定で, 作業標準指示(スクレーパーよりの均斉流出)に基づいて求めた。図-2より M' は3本ロールミルの仕様と色によって差異があっても, 有意差検定では人および日によって影響していないことが分った。

すなわち, ロールおよび人について分散分析した結果, 表-2の通りであり, かつ日による差は実験期間中, 有意項目のみ層別抽出し, 解析用管理図を画いて, 有意差検定を行なったが, 同一原料形態, 同一色相, 同一銘柄については差はなかった。

表-2 ロール, 人についての分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	F検定
ロール	364	5	72.8	2.945 *
人	109	16	6.2	0.251 —
(ロール)×人	1454	80	18.175	0.734 —
誤差	10532	426	24.723	
計	12340	527		

ただしバッチサイズでは影響があったが, 本実験の350~500 kgの大きさでは差異はなかった。

さらに(1)式で $\delta_{ca}=10\mu$ としたときの M (ただし $S.g=1$) を計算し, M' と M との関係をプロットすると図-3のようになった。

M の算出に当っては a の値は, ロールの回転比がわ

図-3 $\delta_{ca}=10\mu$ として計算した M と実ロールアウトプット M' との関係

表-3

n	$a = \frac{n}{1+n}$
1	0.5
1.5	0.6
2.0	0.667
2.5	0.714
3.0	0.750
3.5	0.778
4.0	0.800

かれば, それに相当する Patton^{1),4)} の示した係数より分る。1:3:9 なら a に 1:3 でよい。回転比はロールによって異なるから, 各ロールの回転数を求め, その比より算出した。著者は表-3を使った。
 δ_{ca} はセンターロール, エプロンロール間隙で, 図より大体 $\delta_{ca} \approx 10\mu \sim 15\mu$ 程度で練肉していることが分った。

図-3 では(I)(II)の2系列があることがわかったが, (I), (II)は回転比が異なっており, (I)の回転比は1:3:6~1:3:8.7 程度にあるのに反し, (II)は1:3:9~1:3:10, 1:4:15 というようなロールが多い。したがってトップロールの回転数が300~360にすると(I)の仕込ロールの回転数は(II)に比べ相当早くなる。(I)のタイプのロールはしたがって Benzidine Yellow やあるいは Chrbon black のような易練肉性インキで, かつ降伏値が比較的大きいペーストインキの場合, このタイプのロールでよい。ロール練肉可否の問題はインキの粘度と降伏値とおよび顔料の種類により回転比とクラウンがきめられる(第2報でこの点に関して述べる)。

4. 品質を加味したロール産産性表示

M および M' は δ だけの関数である。したがって極端に言えば δ の大小によって M, M' がきまるわけであるが, 3本ロールの機能は生産物の品質を抜きにして考えるわけに行かない。

すなわち, 図-4のように, ロール生産性と間隙は正

図-4 間隙, 分散度, 生産性の最適条件

比例するが, 分散度は反比例する。二つの線の合成されたカーブ c の最小点が経済的にも, 技術的にも最適値といえる。 $dM'/d\delta$ が一定の場合④より④'の直線がよいにきまっており, $dG_e/d\delta$ は⑥曲線よりも大きくなり品質が満足されればよいわけである。(G_e : 分散度, 後述)

これを一つに表示するために, 次のように考えた。すなわち生産性効率 $l = (M'/M) \times 100(\%)$, 練和生产性として $\lambda = M'/\bar{\phi}$ ($\bar{\phi}$: アウトプットにおける平均の最大分散粒子径) を定義する。($\bar{\phi}$ の測定はグラインドメーター値である。)

$$M = K_M \cdot \delta_{fc} \cdot (S.g) \quad (2)$$

$$\lambda = M'/\bar{\phi} \quad (3)$$

$$l = M'/M \quad (4)$$

$$\delta_{fc} = \frac{n_a}{n_c} \cdot a \cdot \delta_{ca} \quad (5)$$

の4つの式の相互の間に次式が成立つ。

ここに K_M は式(1)の $K_M = (1.08 \times 10^{-5}) \cdot D \cdot L \cdot (\text{rpm}) / (1+n) \cdot c \cdot a$ である。(これを第一ロール仕様恒数と呼ぶことにする。)

そうすると

$$\lambda = k \frac{\delta'_{ca}}{\bar{\phi}} \quad (6)$$

(δ'_{ca} は実際の間隙)

ここに $k = K_M \cdot u_a \cdot a / n_c$ である。(k を第二ロール仕様恒数と呼ぶ。) ただしこの場合, 生産物はスクレーパー上均斉に流下しているものとする。すなわち λ は $\delta'_{ca} = \bar{\phi}$ のときロールの仕様とインキの比重によってきまり, $\delta'_{ca} > \bar{\phi}$ のとき, 第2報で述べる2ロール間隙の流体のズリ応力と分散質の破壊限界応力によって議論される。また $\bar{\phi}$ の表示として, ロール投入前後の分散質の練和比 $G_e = \bar{\phi}_0 / \bar{\phi}$ ($\bar{\phi}_0$ は投入前の分散質平均粒径とする。) で表わすことができ

図-5 $\bar{\phi}'(\mu)$, $\delta'_{ca}(\mu)$, $\lambda(\text{kg/hr})$ の関係 ($K=8.56$, $S.g=1$, $K_M=3.37$)

$$\lambda = k \frac{G_e \delta'_{ca}}{\bar{\phi}_0} \quad (7)$$

で示してもよい。(6)式の δ'_{ca} , $\bar{\phi}$, λ の関係をプロットすると, 図-5 のようになる。間隙 δ'_{ca} した場合 $\bar{\phi}$ は $\delta'_{ca}/\bar{\phi} \geq 1$ の条件が成立し, δ'_{ca} 一定のとき λ は $\bar{\phi}$ に反比例する。 $\delta_{ca} = \bar{\phi} = \delta'_{ca}$ に等しいときはそのロールは設計された通りの仕様といえる。ただし分散質の種類, 性質, あるいは粗粉の凝集度が異なるとき G_e , $\bar{\phi}_0$, λ によって評価されなければならない。 $\delta'_{ca}/\bar{\phi} \gg 1$ のときは分散質が著しくソフトであることを意味する。

M' と λ の関係は元来関係がないはずであるが, 実際の M' の大きいものは λ も大きいようである。

しかし高度の相関性があるとはいえないので, 簡単に判断はできない。

ロール第一仕様恒数と間隙の積 $k = K_M \cdot \delta_{fc} = K_M \cdot \frac{n_a}{n_c} \cdot a \cdot \delta_{ca}$ は既存ロールについて調べると, 7.0~9.0 の間にあり, K_M が大きいから, アウトプットが大きいとはいえない。それは $\delta'_{ca}/\bar{\phi}$ の大きさによって左右されるからである。

5. ロールの回転数および回転比によるアウトプットの影響¹⁾

ロールの回転数および回転比によるアウトプットの影響は充分考えられ, 概念的に回転比の大きいほど練和性はよく, フィード(トップ)ロールの回転数の大きいほどアウトプットは大きいとされている。著者もこの問題について統計的に調べたところ, 図-6, 7 のようになった。この図はロール17台を抽出し, その回転比を調べ, 記録票によってアウトプットと練肉比を計算し, そのデータの数は20~30である。センターロール, エ

図-6 G_e , Output の n_a/n_c による影響 ($\bar{\phi}_0$ は大体 $8 \sim 25 \mu$ の間にあるもの)

図-7 Output, G_e , n_f/n_c の関係

図-8 $n_f \sim n_a/n_c$ の関係

ブロンロール回転比とアウトプットおよび練和比 G_e との関係をとると、図-6 のようになり、フィードロールの回転数とアウトプット G_e の関係をとると図-7 のようになる。また多くのロールについてフィードロールの回転数 n_f と n_a/n_c をとると図-8 のようになる。 n_f : n_a : n_c の比は色々議論されており、市場の3本ロールミルについては、各種の比のものがある。Patton のい

っているように、最も普通の標準型は1:3:9が多いようである¹⁾。

要するに n_{fc} は $n_a : n_c$ によってきまり、 n_a/n_c は n_f によってきまるので、いずれが先かむつかしい問題である。 n_f , n_a , n_c 決定の要素は練肉する系の粘度、降伏値などのレオロジカルな因子、要求する分散度 G_e , アウトプットによってきまるといえる。

図-6 においてみるように、 G_e の尺度とアウトプットの尺度とは異なるが、2つの曲線がクロスしており、品質とアウトプットを標準対比尺度、たとえば Patton の図示しているように、図示すれば二つの合成曲線の最小点が最適回転比であり、回転数になる。これは図-4 と同じ意義をもっており、3本ロールミルの仕様条件と間隙コントロールはいずれもアウトプットと分散度によって最適条件のあることが分る。Patton は分散度 (品質) の標示としてアウトプット、インプット (後述) の両式より、kg 当り仕事量 (HP-hr)/kg をもって示しているが¹⁾、これは後述するように単位重量あたりの分散質に投入される仕事量が分散度 (G_e) の増加関数となるということに基づいている。

6. 結 言

3本ロールのアウトプットはロールの仕様恒数、間隙およびインキの比重によってきまるが、それだけでは3本ロールのアウトプットを充分評価しているとはいえない。著者は練和生産性を定義したが Patton 式に示されるロール生産性とは必ずしも相関関係はない。ロール生産性と分散性は間隙とロール回転数、および回転比と関数関係を示し、それぞれ最適値のあるところから、ロール仕様を決める一つの条件となろう。

記 号

- a : エブロンロール～センターロール間転移係数
- c : フィードロール～センターロール間転移係数
- D : ロールの直径
- l : ロール生産性効率
- G_e : 分散度
- K_M : 第一ロール仕様恒数
- k : 第二ロール仕様恒数
- L : ロール長
- M, M' : ロールアウトプットと実際アウトプット (rpm) = $n(n_f, n_a, n_c)$: ロール回転数 (フィードロール, センターロール, エブロンロール)
- $S.g$: 分散係比重
- $\delta, \delta_{fc}, \delta_{ca}, \delta'_{fc}, \delta'_{ca}$: ロール間隙 (フィードロール～センターロール間, センターロール～エブロンロール間およびそれぞれの実際値)
- $\bar{\phi}_0, \bar{\phi}$: 投入前粗分散の状態または粗粉の平均粒子径と最終練肉終了後の分散系中における最大粒子径

(2) 3本ロールミルのインプットについて

釣 谷 泰 一

要 旨

ミルのインプットは通常電力単位で示される。3本ロールミルのインプットを Zettlemoyer, Patton らの無次元方程式より理論インプットを計算し、モーター馬力と、電流計指示より得られる実際の馬力数および馬力効率を求めた。また kg 当り投入されるインプットエネルギーについても求め、それらは何れも3本ロールミルのインプットを評価する尺度となり得ることを示した。特に馬力効率はロールの仕様、間隙(生産性と品質の関数である。すなわち練和生産性)に左右され、最も適切な表示方法であると思われる。

1. 緒 言

一般にミルのインプットは単位時間当りコストまたは単位重量当りのコストで代表される。経済性は全てコスト換算されるが、化学工学的には測定項目として単位時間あるいは単位重量当り投入エネルギーで示すのが妥当であり、その大部分は電力である。ロールのなす仕事は粗粉の破碎、分散に費やされるが、化学工学的な尺度として、ロールの仕様、粘度、系の密度、間隙が影響し、これは HP 尺度として、動力数より求まる。

2. 計算式とその適用

ロールのなす仕事量を馬力で表わした Zettlemoyer³⁾, Patton⁴⁾ らの計算式は $(N_p)^m \cdot (F)^n \cdot (R_e)^o$ の無次元方程式より求められる。

$$HP = \frac{4\pi^{5/3}}{g^{2/3}} \cdot \frac{n^3 \cdot L \cdot D^{8/3} \cdot \eta^{2/3} \cdot (\text{rpm})^{5/3} \cdot \rho^{1/3}}{\delta_{fc}^{1/3}} \quad (8)$$

ここに N_p : 動力数, F : フルールド数, R_e : レイノルズ数, m, n, o はそれぞれ指数, σ : 密度, g : 重力加速度, η : 分散系粘度である。恒数をまとめて K_I とおくと,

$$K_I = \frac{4\pi^{5/3}}{g^{2/3}} \cdot n^3 \cdot L \cdot D^{8/3} \cdot (\text{rpm})^{5/3} \quad (9)$$

(8)式は

HP =

$$K_I \cdot \eta^{2/3} \cdot \rho^{1/3} \cdot \delta_{fc}^{-1/3} \quad (10)$$

となる。この式は $(\eta \cdot \rho \cdot \delta_{fc})$ の関数であるが ρ は密度ですぐ求まる。 δ_{fc} はフィードロールギャップで実際デ

ータは $M'/M = \delta'_{fc}/\delta_{fc}$ より求まり、 δ'_{fc} に対応する δ_{ca}' は $\delta'_{fc} = \frac{n_a}{n_c} \cdot a \cdot \delta'_{ca}$ より求まる。また $\lambda = M'/\phi$ より δ'_{ca} を求めてもよい。問題は η であるが、これは分散系が低粘度で、非ニュートン指数の小さいものは、粘度計で得られた値をそのまま適用しても大きな誤差はないが、平凸版インキのような粘ちゅうな分散系であると、間隙におけるズリ速度範囲の η を適用しなければならぬから、少なくとも $10^3 \sim 10^4 (1/\text{sec})$ のズリ速度における η を知る必要がある。もし $10^3 \sim 10^4 (\text{sec}^{-1})$ が得られないなら具体的には $10^1 \sim 10^2 (\text{sec}^{-1})$ のズリ速度範囲で η を測定し、 $\eta \sim 1/\dot{\epsilon}$ ($\dot{\epsilon}$: ズリ速度) を $1/\dot{\epsilon} \rightarrow 0$ の点まで外接する Whitfield の方法を用いて推定する⁵⁾。アウトプットでテストしたロールについて(9)式で求めた値を表にすると表-4 のようである。また(9)式に $\rho=1$ とおき η と δ を変えた場合 HP との関係求めて、図示すると、図-9 の通りである。図-9 においてはモーターの馬力数に対して間隙が 10μ 以下、粘度 200 psi 以上の場合大きくなるが、実際の練肉使用範囲 $10\mu \sim 25\mu$, 100psi 以下となると、ずつと小さくなる。またアウトプット M 式と(9)式より

$$HP = K_{IM} \eta^{2/3} \rho^{2/3} M^{-1/3} \quad (11)$$

が得られ、 $HP \sim M$ の関係となる(図-10)。したがってアウトプットの $1/3$ 乗に反比例して HP は求まる。 $M = M'/l$ より実際の馬力数は $HP' = K_{IM} \eta^{2/3} \delta_{fc}^{2/3} M^{1-1/3}$ で

表-4 間 隙 と 馬 力

	δ'_{ca}	δ'_{fc}	$HP' (\delta'_{fc})$	モーター HP	δ_{fc} (モーター-HP)	δ_{ca} に 対応する HP	HP'/HP モーター	$HP'-hr$ kg	円/kg	実際 HP' 理論 HP
	(μ)	(μ)			(μ)	(at 10μ)	(%)			(%)
A	7.5	19	21	30	6	18	70	0.324	1.62	116
B _{1,2}	15.8	23	25	50	3	31	50	0.400	0.96	81
C ₁	15.8	32	17	50	1	20	34	0.200	0.78	85
C _{2,3}	14.5	26.5	22	50	3	28	44	0.250	1.14	77

図-9 粘度, 間隙 (δ_{fc}) による IP ($S.g=1$) K_I 恒数 (A) : 1.28, (B) : 3.34

図-10 B ロールの $IP \sim M$ 関係 ($K_{IM}=5.84$)

図-11 B ロールのアンペア $\sim M'$ 関係 ($K_{IM}=5.84$)

求めればよい。

$IP \sim M$ および $IP' \sim M'$ 関係はそれぞれ図-10, 11 のようになる。馬力効率 $\varepsilon = IP'/IP$ の値は表-4 より分るとおりそのロールの性能で支配され, 同一粘度であるなら, 間隙のみの関数になる。ロールとしては ε の小さい方が性能はよいと判断してよい。また 1kW 当りのコストが分れば, インプットコストは計算できる (後述)。

3. $(IP-hr)kg, (IP-hr) \cdot \mu/kg$ について

(9) 式を M 式で割ると 1kg 当りロールのなす仕事量が計算できる。また (9) 式を $\lambda = M'/\bar{\phi}$ で割れば 1kg 当り, 分散の最大粒子径を得るために必要なロールのなす仕事量が計算できる。

$$(IP-hr)/kg = K_I \eta^{2/3} \cdot \delta_{fc}^{-4/3} \cdot \rho^{-2/3} \quad (12)$$

$$(IP-hr) \cdot \mu/kg = K_{IH} \eta^{2/3} \delta_{fc}^{-4/3} \rho^{-2/3} (\lambda \bar{\phi})^{-1/3} \quad (13)$$

$G_e = \bar{\phi}_0/\bar{\phi}$ であるから

$$(IP-hr) \cdot \mu/kg = K_{IH} \eta^{2/3} \delta_{fc}^{-4/3} \rho^{-2/3} G_e^{1/3} (\lambda \bar{\phi}_0)^{-1/3} \quad (14)$$

(13) 式は最大粒子径を得るためになされる仕事。(14) 式は分散質の分散難易度によって最大粒子径を得るために必要な仕事を表わす式である。その内 (12) 式は図-12 をみれば分る。

図-12 各ロールの $(IP-hr)/kg \sim \delta_{fc}(\mu)$ 関係 (A, B, C₁, C₂ は各ロールを示す)

4. 実際の投入エネルギー IP' (モーター馬力)

IP' は次式で計算される。すなわちロールに設置した電流記録計よりアンペアを読み,

$$P_E = \sqrt{3} \cdot A \cdot V \cdot \cos \varphi \cdot t (kW) \quad (15)$$

で求める。ここに V : 電圧, $\cos \varphi$: 3 相交流モーターの力率, t : 時間である。電力コストは 1kW 当りのコス

図-13 起動時よりの電流計の読み (Bロール)
Output (100 kg/hr, $G_e=2.2$)

トを算出して、掛け合わせる。 A が t の関数であれば、
(単純な減少関数) $A=f(t)$ において

$$P_E = \sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi \int_{t_0}^{t_i} f(t) dt \quad (16)$$

とし A は一般に $A=A_0+ae^{-ct}$ の場合、ロールの起動時より安定するまでの電力を示す。 $A=f(t)$ の関数型は必ずしもこのような指数法則で示されるとは限らない。起動、停止を繰り返すような場合、アンペア計の指針は t に対し波形を示すし、また、その形のパラッキも一定しない場合がある。図-13 はその一例を示す。

5. 結 言

3本ロールミルのインプットは $\delta=\text{const}$ としての理論的な IP と実際データによる IP' および $IP'/IP=\varepsilon$, $(IP\text{-hr})/\text{kg}$, $(IP'\text{-hr})\cdot\mu/\text{kg}$ を評価基準尺度とすればよい。経済的なインプットコストは電力コストの他に、(ユーテリター), 利息, 減価償却, 租税, 保険, 修繕費, 人件費, 製造費例コストなどを算出して求められる。

記 号

- A : アンペア
- D : ロール直径
- ℓ : ズリ速度
- F : フルード数
- G_e : 分散度
- g : 重力加速度
- IP, IP' : 理論馬力, 実際馬力数
- K_I, K_{IM}, K_{IH} : インプットロール仕様恒数
- L : ロール長
- m, n, o : 指数
- M, M' : ロールアウトプット
- N_P : 動力数
- n : ロール回転比
- P_E : ロールの消費する電力 (kW)
- R_e : レイノズル数
- (rpm): ロールの回転数
- t : 時間
- V : 電圧
- $\delta_1=\delta_{fc}, \delta'_{fc}, \delta_{ca}, \delta'_{ca}$: ロールギャップ
- ε : 馬力効率
- ρ : 密度
- η : 粘度
- λ : 練和生産性
- ϕ_0, ϕ : 粗粉粒径と分散最大粒径
- $\cos \varphi$: 3相モーターの力率

文 献

- 1) T. C. Patton, Off. Dig., 35, 1328 (1963)
"Paint Flow and Pigment Dispersion" (1964)
Interscience Publishers.
- 2) A. C. Zettlemoyer and J. H. Taylor, Off. Dig., 32, 648 (1960)
- 3) L. Maus, Jr., W. C. Walker, A. C. Zettlemoyer, Ind. Eng. Chem., 47 (4) 696 (1955)
- 4) T. C. Patton, Off. Dig., 35, 1328 (1963)
- 5) G. W. Whitfield, Brit. Ink Mak., Feb. 99 (1965)