講　　義

冷　間　加　工　(V)

その他の加圧成形

春　日　保　男*

Cold Working (V)

Other Squeezing Operations

Yasuo ***Kasuga***

本節では成形力を見積ることに主眼を置いて話を進める.

1. プレス鍛造

平行平面アンビルの間で，直円柱が軸方向に圧縮される場合，材料とアンビル面間に摩擦の無い理想状態を仮想すれば，単軸圧縮の応力歪状態である．力の釣合方程式を解くまでもなく解はつぎのようになる筈である．

円筒座標 z, r, θ において z 方向が，円柱の軸で力の方向と一致しているものとする．応力状態は軸対称で z 方向にも一様分布である．主応力および主全歪の成分を σ_z, σ_r, σ_θ および $\overline{\varepsilon}_z$, $\overline{\varepsilon}_r$, $\overline{\varepsilon}_\theta$ と書けば，

$$\left.\begin{aligned} &\sigma_z=-\sigma_e,\quad \sigma_r=\sigma_\theta=0\\ &\overline{\varepsilon}_z=-\varepsilon_e=\ln\left(\frac{h}{h_0}\right),\\ &\overline{\varepsilon}_r=\overline{\varepsilon}_\theta=-\frac{1}{2}\overline{\varepsilon}_z=-\frac{1}{2}\ln\left(\frac{h}{h_0}\right) \end{aligned}\right\}\cdots(59)$$

ただし，σ_e は材料の単軸引張降伏応力，h_0 は円柱の最初の高さ，h は加工後の高さとする．

柱の最初の断面積を A_0 とすればプレス荷重は

$$P=A_0\frac{h_0}{h}\sigma_e=A_0\cdot\sigma_e\cdot e^{\varepsilon_e}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(60)$$

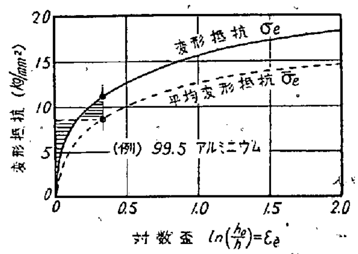
で，h まで圧縮するに必要な仕事は，

$$W=\int_h^{h_0}Pdh=A_0h_0\int_h^{h_0}\sigma_e\frac{dh}{h}=V\cdot\overline{\sigma}_e\ln\frac{h_0}{h}$$
$$=V\cdot\overline{\sigma}_e\cdot\varepsilon_e\ \cdots\cdots\cdots\cdots(61)$$

ただし，$\overline{\sigma}_e$ は全歪 ε_e にいたる間の平均圧縮応力（引張応力）の絶対値で，Vは材料容積とする．理想仕事量が材料容積×平均変形抵抗×対数全歪の形で表現されることは加圧成形の大切な関係である．

σ_e—ε_e 関係は材料の塑性曲線で与えられるが，場合により図 82a のごとき σ_e—ε_e 曲線が便利に使用される．図 82b は諸種の金属における塑性曲線である．

(a) 平均変形抵抗



(b) 塑性曲線

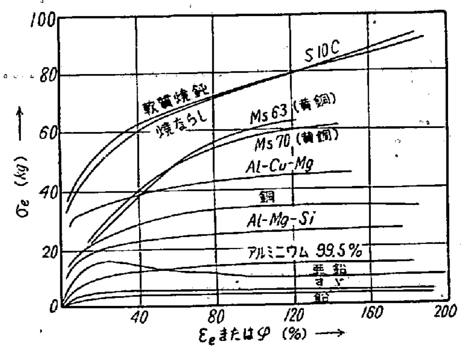


図 82　塑性曲線および平均変形抵抗

a. アンビル面に摩擦のある場合の近似解

E. Siebel の近似解を紹介する．アンビル面に摩擦せん断力が作用するので主応力軸が一般的に加工軸の方向と一致しない．半径方向の力の釣合式は，

$$\frac{\partial\sigma_r}{\partial r}+\frac{\partial\tau_\theta}{\partial z}+\frac{\sigma_r-\sigma_\theta}{r}=0\ \cdots\cdots\cdots\cdots(62)$$

である．

ここで $\sigma_r=\sigma_\theta$ と考えて，これを z について積分すると，

$$\left[\frac{\partial\sigma_r}{\partial r}\right]h+\Big[\tau_\theta\Big]_0^h=0$$

* 名古屋大学工学部教授

$$\therefore \left[\frac{d\sigma_r}{d\ r}\right] h + 2\mu\sigma_z = 0 \quad \cdots\cdots (63)$$

ただし, $\frac{\partial\sigma_z}{\partial\ z} = \frac{\partial\sigma_r}{\partial\ z} = 0$　とする.

主応力軸が, 一般的に判明していないので厳密な降伏条件は書けないが, 近似的に σ_z, σ_r, σ_θ のみにより表示されるものとし, (10) より

$$\sigma_r - \sigma_z = \sqrt{3}\ k = \sigma_e \quad \cdots\cdots (64)$$

を導いて用いることにする. σ_e が r に無関係と考え (64) を r で微分すれば,

$$\frac{d\sigma_r}{d\ r} = \frac{d\sigma_z}{d\ r}$$

をうる. これを (63) に入れると,

$$\frac{d\sigma_z}{d\ r} = -\frac{2\ \mu}{h}\sigma_z$$

境界条件 $r=r_0$, r_0=材料の外周半径, で $\sigma_z = -\sigma_e$ を用いて σ_z を求めると,

$$\sigma_z = -\sigma_e\, e^{\frac{2\ \mu}{h}(r_0 - r)} \quad \cdots\cdots (65)$$

をうる. これがアンビル面上の近似圧力分布である.

平均圧力は

$$\overline{p} = \frac{-\int_0^{r_0} 2\pi r\sigma_z dr}{\pi\ r_0^2} \fallingdotseq \left(1 + \frac{2\mu r_0}{3\ h}\right)\cdot$$

$$\sigma_e = \left(1 + \frac{\mu\ d}{3\ h}\right)\sigma_e \quad \cdots\cdots (66)$$

すなわち $\frac{\mu}{3}\cdot\frac{d}{h}$ だけ平均圧力が余分に高まると考えるのが, Siebel の近似解である. 歪については全く触れていない.

b. 冷間プレス鍛造所要力の公式

ボルト, リベット等の頭部のプレス鍛造の実験式を示す. 思想は単純圧縮加工に基づいている.

$$P = A_1 K\sigma_e \quad \cdots\cdots (67)$$

P = プレス力 kg,

A_1 = 頭部の軸に直角な投影面積　mm²

K ≒ 図 83 より定まる係数

σ_e = 変形抵抗 (歪硬化を考慮に入れる)　kg / mm²

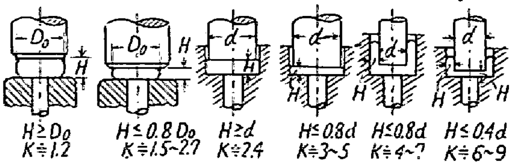


図 83　鍛造力補正係数 K

S. J. Gubkin は K に対しつぎのごとき形を与えている.

$$K = Z \cdot n \cdot m \quad \cdots\cdots (68)$$

Z = 変形の不均一性を示す指数で頭部の形により定まる.

n = 三応力成分の影響を表わす指数.

m = 外部摩擦の影響を表わす指数でつぎのごとく書かれる.

$$m = 1 + \alpha_1\mu\frac{A_2}{UH} = 1 + \alpha_1\mu\ \frac{D^0}{4\ H} \quad \cdots\cdots (68')$$

α_1 = 頭部の形状により定る係数.

μ = 摩擦係数, A_2 = 材料工具接触表面の投影面積 mm²

U および H = 加工を受ける部分の周長と高さ, mm.

D_0 = プレス成形後の頭部直径, mm.

したがつて

$$P = A_2 Z n\sigma_e(1 + \alpha_1\mu\ D_0/4H) \quad \cdots\cdots (69)$$

が Gubkin のプレス力の式で, これは Siebel の平均圧力式と類似の形をもつている. 表 16 は (69) 式に必要な諸係数の値, 表 17, 18 は参考資料である.

c. コイニング圧力

コイン (貨幣) に対するブランクは押出し同様スラグ (sulg) といわれ圧延された Cupro-Nickel, Ni-Brass 板から打抜いたものである. (66), (69) における d/h,

表 16　(69) 式に対する係数

Z	工程の初期に簡単な形状を取るもの	1·0～1·2
	最終形状が中等程度複雑なもの	1·2～1·5
	最終形状が複雑なもの	1·5～1·8
n	初加工では開放した型による工程末期	1·0
	閉塞型で張りのない工程末期	1·75～2·0
	閉塞型で薄い張りの出る工程末期	2·5
α_1	円柱形	1·3
	正方柱, 六角柱	2·0
	矩形	2·3
	複雑な非対称形部品	2·5～3·0
μ	研削仕上上面黒鉛潤滑	0·05～0·10
	〃　　無潤滑	0·10～0·15
	工具材料共上仕上面の場合	0·15～0·20
	両者共荒仕上面の場合	0·20～0·30

表 17　ボルト頭部の冷間鍛造所要力, 材質 S20C

素材棒径 mm	D_0/H	頭の高さ H mm	所要力 t
6	2·1	5·6	17
8	2·4	6·6	24
10	2·6	7·7	32
12	2·4	9·7	48
14	2·6	10·7	60
16	2·7	11·8	80
18	2·5	13·8	122

*　本講 (I) 45 年 5 号 558 ページ

表 18 すえこみに必要なプレス工程数
素材棒のすえこみ長さ h/棒直径 d

h/d	所要工程数
2•5～2•8	1
3•5～5•5	2
6～8	3

D_0/H が大なる場合で，たとえば Siebel の摩擦修正項も $(1+10\mu)$ 程度になり圧力の増大を期さねばならぬ．ただし，コイン打圧用型には彫刻された溝が這入つていてこれが加工中の平均圧力を低下させる効果をもつ．材料は溝に向つて押出されるように流れるので，溝を中心にして外に向う摩擦せん断力が作用する．コイン面上の圧力分布は図 84 のごとく仮定できる．図は J. B. Hawkyard によるものである．99•7% アルミニウムスラグのコイニング圧力の理論値と実験値の比較の一例を図 85 に示す．

終りに Hawkyard の結論をまとめると，

（1） 打圧用型の溝山角度 α が増せばコイン圧力は減ずる．

（2） 型に溝数が多いほどコイン圧力は減ずる．

（3） 円形溝の場合，溝直径が大なるほど材料の流動容易となり圧力は減ずる．

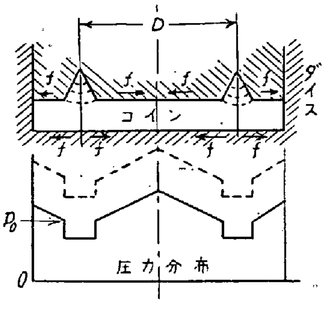


図 84 コイニングの圧力分布 (Hawkyard)

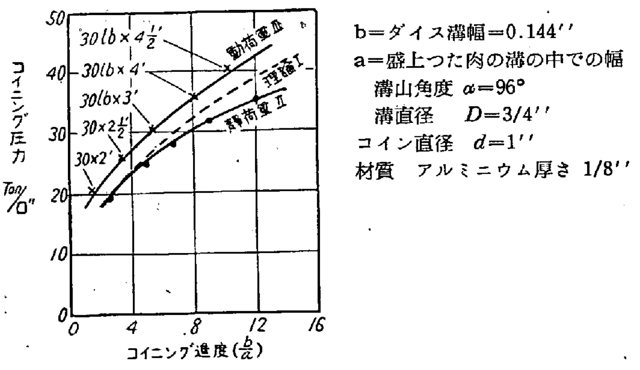


図 85 コイニング圧力 (Hawkyard)

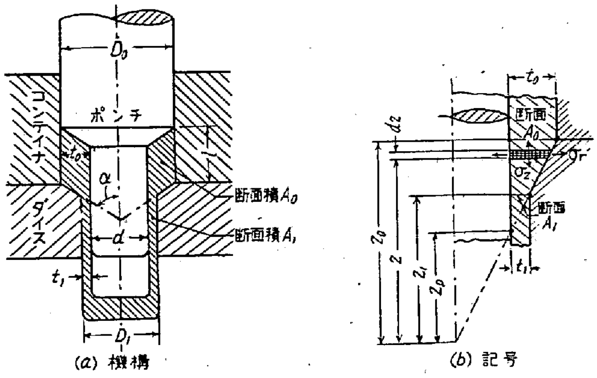
（4） 潤滑剤によりコイン圧力を減じうるが過度に与えると仕上精度が劣る．

2. 円筒胴の冷間押出し

円筒胴 (Cylindrical shell) の成形には押出しと深絞りが対立的で，ある場合には互に角逐を演ずる．

円筒胴の押出しには前方押出し，後方押出しの別があり，前者では Hooker Process (U.S.A. 1906) Neumeyer Verfahren (G. 1934)，が有名である．この機構を図 86 に示す．

加工軸を主軸と考え円筒座標 z，r，θ を取り，簡単のために摩擦を無視して z 軸方向の応力釣合方程式を書くと，



（a） 機 構 （b） 記 号

図 86 前方押出し機構

$$\frac{d\sigma_z}{dz}+\frac{2}{z^2-z_p^2}(z\sigma_z-z_p\sigma_r)-\frac{2}{z+z_p}\sigma_\theta=0 \qquad \cdots\cdots(70)$$

σ_z，σ_r，σ_θ はそれぞれ主応力成分とする．

やや大胆であるが，簡単のため変形中，材料の平均変形抵抗が一定，すなわち $\overline{\sigma}_e$ を一定と仮定して降伏条件を書いてみる．

たとえば，円胴の直径に対しブランク壁厚が薄い場合には，$d\varepsilon_\theta=0$ なる平面歪を仮定し，

$$\sigma_\theta=\frac{1}{2}(\sigma_r+\sigma_z) \qquad \cdots\cdots(71)$$

をうる．(71) を (10) に入れて，

$$\sigma_r-\sigma_z=2\overline{k}=\frac{2}{\sqrt{3}}\overline{\sigma}_e \qquad \cdots\cdots(72)$$

(71)，(72) を (70) に入れると方程式は

$$\frac{d\sigma_z}{dz}-\frac{1}{z-z_p}\cdot\frac{2}{\sqrt{3}}\overline{\sigma}_e=0$$

$z=z_1$（ダイス出口）で $\sigma_z=0$ なる境界条件を用いれば

$$\Big[\sigma_z\Big]_{z=z_0}=-\frac{2}{\sqrt{3}}\overline{\sigma}_e\ln\frac{z_0-z_p}{z_1-z_p}=-\frac{2}{\sqrt{3}}\overline{\sigma}_e\ln\frac{t_0}{t_1} \qquad \cdots\cdots(73)$$

を理想押出し圧力の式として求めうる．

ブランク壁厚が厚い場合には $\sigma_r=\sigma_\theta$ を仮定する．鍛造の場合と同じで降伏条件は

$$\sigma_r-\sigma_z=\overline{\sigma}_e \qquad \cdots\cdots(74)$$

となる．$\sigma_r=\sigma_\theta$ および (74) を (70) に入れると，

$$\frac{d\sigma_z}{dz}-\frac{2z}{z^2-z_p^2}\overline{\sigma}_e=0$$

前同様の境界条件により積分すれば

$$\left[\sigma_z\right]_{z=z_0}=-\bar{\sigma}_e\ln\left(\frac{z_0^2-z_p^2}{z_1^2-z_p^2}\right)=-\bar{\sigma}_e\ln\frac{A_0}{A_1}\quad\cdots\cdots(75)$$

をうる.

いまもし，$\varphi=\ln\left(\frac{A_0}{A_1}\right)$ とおき，これを押出しの歪量を表わすものと考えると，前節の仕事量の関係から，

$$W=V\cdot\bar{\sigma}_e\cdot\varphi\quad\cdots\cdots(76)$$

と書きうる筈である．ただし，W＝仕事量，V＝材料容積，いま $V=A_0$ (押出しポンチ断面積)×h (ポンチ行程) とすれば，押出し力Pは

$$Ph=W=V\cdot\bar{\sigma}_e\cdot\varphi=A_0\cdot h\cdot\bar{\sigma}_e\varphi$$

$$P=A_0\cdot\bar{\sigma}_e\cdot\ln\frac{A_0}{A_1}$$

となり，押出し圧力が (75) となることはただちに判る．変形自体がそれ程簡単でなくても平均歪量を適当に表示できれば，圧力を求めることは容易になる．

a. 前方押出し力の公式

(76) のWは理想仕事量であるからこれを W_i と表わす．

現実の仕事量は W_i より大きな W_a で，この比を変形効率という．

$$\eta_f=W_i/W_a\quad\cdots\cdots(77)$$

W_a の中には外部摩擦成分のみならず，付加的変形仕事の成分も含まれる．よつて，η_f は材料，工具形状，潤滑によつて 25～80% までのかなり広い変域をもつ．

実押出し力の近似値は

$$P_a=\frac{1}{\eta_f}A_0\bar{\sigma}_e\varphi\quad\cdots\cdots(78)$$

となる．Siebel によれば η_f に対しつぎの表示を与えている．

$$\frac{1}{\eta_f}=1+\frac{2\mu}{\alpha}+\frac{1}{2}\cdot\frac{\alpha}{\varphi}\quad\cdots\cdots(79)$$

ただし，μ＝摩擦係数，α＝ダイス円すい部半頂角 (Rad.) で，式の右辺第２項は摩擦による付加圧力成分，第３項は変形部における付加的せん断歪に対する圧力成分にそれぞれ対応するものである．

さらに，変形部以外の摩擦としてスラグ保持部の壁面摩擦がある．スラグ直径を D_0，スラグの，ある瞬間の長さを l として，この摩擦成分力を書くと

$$P_R{}'=\pi D_0\,l\,\sigma_{e0}\,\mu$$

ただし，σ_{e0} は変形部入口の材料の変形抵抗で $\bar{\sigma}_e$ より低い値とする．結局この成分を付加して押出し力の公式を書くと，

$$P_a{}'=P_a+P_R{}'=A_0\bar{\sigma}_e\varphi\cdot\left(1+\frac{2\mu}{\alpha}+\frac{1}{2}\frac{\alpha}{\varphi}\right)+\pi D_0\,l\,\sigma_{e0}\,\mu\quad\cdots\cdots(80)$$

となる．断面積比 $A_0/A_1=4$　$\alpha=60°\fallingdotseq 1$ ラジアン，$\mu=0{\cdot}1$ の場合 $P_R{}'$ を除外した押出し圧力値は約 2･2 $\bar{\sigma}_e$ となる．このように平均押出し圧力は平均変形抵抗の 2～3 倍になるものと考えて差支えぬ．

P_a を求めるには φ/η_f の傾向を知つておれば便利である．図 87 はこれを示すが，あるダイス角で最低値が表われる．その角度よりαを大きくしても格別の不都合はない．これはダイス角決定の参考になろう．

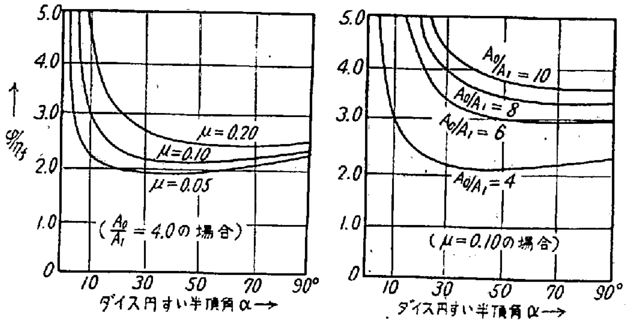


図 87　押出し力付加係数 (Siebel)

b. 後方押出し力

薄い管体の衝撃押出し等に用いられるのは後方押出しである．図 88 はその一種 Al 管の衝撃押出し機構である．最近は砲弾用鋼薬きようの押出しにも用いられている．

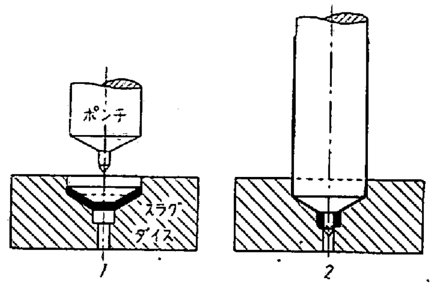


図 88　衝 撃 押 出 し

後方押出し力を簡単に把握するには，再び仕事量の式 (76) を利用する．図 89 において，

$A_0=\frac{\pi}{4}D_0^2$，$a=\frac{\pi}{4}d^2$，$A_1=A_0-a=\frac{\pi}{4}(D_0^2-d^2)$ とすれば，加工度あるいは平均歪量を

$$\varphi=\ln\frac{A_0}{A_1}$$

と見なすことができる．コンティナ底面にかかる押出力とポンチによる押出し力が等しいと考えると，前同様

$$P=A_0\bar{\sigma}_e\varphi$$

をうる．押出し圧力は

$$p=\frac{P}{a}=\frac{A_0}{A_0-A_1}\cdot\overline{\sigma}_e\cdot\varphi \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(81)$$

となる．

H. J. Kühne によれば φ に対し半径方向対数歪の平均値を採用している．すなわち

$$\overline{\varphi}_r=\ln\frac{D_0d}{D_0^2-d^2}+\frac{D_0^2}{D_0^2-d^2}\ln\left(\frac{D_0}{d}\right)$$
$$=\frac{1}{2}\left[\ln\frac{A_0}{A_1}+\ln\left(\frac{A_0}{A_1}-1\right)-\frac{A_0}{A_1}\ln\left(1-\frac{A_0}{A_1}\right)\right] \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(82)$$

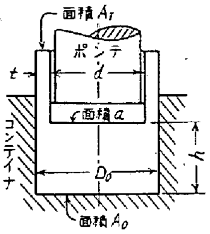


図 89　後方押出機構

理想ポンチ圧力の式は，したがつて，

$$p=\frac{A_0}{2(A_0-A_1)}\overline{\sigma}_e\left[\ln\frac{A_0}{A_1}+\ln\left(\frac{A_0}{A_1}-1\right)-\frac{A_0}{A_1}\ln\left(1-\frac{A_1}{A_0}\right)\right]\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(83)$$

となる．表 19 は (83) による押出圧力の値を示す．

この p を実際値に近づけるための修正は壁厚 1 mm の場合の p を基準に行う．すなわち　$t=\frac{1}{2}(D_0-d)$ mm とするとき，実押出圧力は次式で計算される．

$$p_a=\frac{1}{t^{0\cdot21}}\left(\frac{A_0}{A_0-A_1}\right)\overline{\sigma}_e\cdot\overline{\varphi}_r\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(84)$$

Siebel の考えは，後方押出し仕事量を二成分に別けて，これらに対する圧力成分を加算する方式になつている．

$$\left.\begin{array}{l} p_1=\overline{\sigma}_{e1}\left(1+\dfrac{\mu}{3}\dfrac{d}{h}\right)\cdots\cdots\cdots(\mathrm{a}) \\ p_2=\overline{\sigma}_{e2}\left\{1+\dfrac{h}{t}\left(\dfrac{1}{4}+\dfrac{\mu}{2}\right)\right\}(\mathrm{b}) \end{array}\right\} \quad (85)$$

で，(a)は両端面に摩擦を受ける直径 d，高さ h の円柱のすえこみ式 (66) に相当するもの，(b)は厚さ t なる中空円筒が壁厚方向に打ち伸ばされる形で変形すると考えたときの圧力式である．$h/4t$ の付加項は全せん断力 $(\pi/4)dh\overline{\sigma}_{e2}$ が円筒断面 πdt に均布すると考えた付加圧力成分，また，コンテイナの摩擦成分として $(h\mu/2t)\cdot\overline{\sigma}_{e2}$ を考えたのである．

押出しポンチ圧力は

$$p=p_1+p_2 \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(86)$$

となる．明らかに p は h が減ずるにつれて増し，p_2 は h とともに減ずる．図 90 は実験されるポンチ力の傾向を示す一例であるが，この傾向は (85) (86) によりある程度説明がつく．

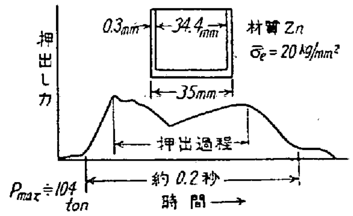


図 29　押出しポンチ荷重経過

3. しごき加工（アイオニング）

変形機構は前方押出しと類似で，応力釣合方程式は，(70)（摩擦の影響無視）である．

しごきの場合には，$d\varepsilon_0\doteqdot0$ を仮定してよいので，降伏条件は　$\sigma_z-\sigma_r=2\overline{k}=\frac{2}{\sqrt{3}}\overline{\sigma}_e \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(87)$

となる．(71)，(87) を (70) に入れ，

$$\frac{d\sigma_z}{dz}+\frac{1}{z-z_p}\cdot\frac{2}{\sqrt{3}}\overline{\sigma}_e=0 \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(88)$$

をうる．境界条件は $z=z_0$ で $\sigma_z=0$ である．積分は，

$$\Big[\sigma_z\Big]_{z=z1}=\frac{2}{\sqrt{3}}\overline{\sigma}_e\ln\left(\frac{z_0-z_r}{z_r-z_p}\right)=\frac{2}{\sqrt{3}}\overline{\sigma}_e\ln\frac{t_0}{t_1} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(89)$$

となり (73) の符号が変つたに過ぎない．すなわち，材料はダイス入口で加圧される代りに出口で軸方向に引張

表 19　Kühne の押出し圧力表

D_0 mm	t mm	d mm	A_0 mm²	a mm²	φ_r	p kg/mm² $\overline{\sigma}_e=30$ kg/mm²	=40 〃	=50 〃
25	0·2	24·6	491	475	3·916	121	162	202
	0·8	23·4		430	2·553	87	117	146
	2·0	21·0		346	1·639	70	93	116
35	0·2	34·6	962	939	4·224	130	173	216
	0·8	33·4		876	2·891	95	127	159
	2·0	31·0		753	1·992	76	102	127
45	0·2	44·6	1591	1563	4·586	140	187	233
	0·8	43·4		1475	3·111	101	134	168
	2·0	41·0		1320	2·262	82	109	136
	5·0	35·0		962	1·331	66	88	110

られる．

しごきの場合，ダイス壁とポンチ壁では摩擦の働らく方向が逆になる．このため摩擦がしごき応力におよぼす影響を無視することができる．前方押出しにおける Siebel の修正項 (79) において μ の項を除外すれば

$$\frac{1}{\eta_f} \fallingdotseq 1+\frac{\alpha}{2\varphi},\quad \varphi=\ln\frac{t_0}{t_1},$$

よつて，
$$\sigma_{za} \fallingdotseq \frac{2}{\sqrt{3}}\cdot\overline{\sigma}_e\cdot\varphi\left(1+\frac{\alpha}{2\varphi}\right) \cdots (90)$$

が実しごき応力式となる．ポンチ荷重は

$$P_a \fallingdotseq A_1\cdot\frac{2}{\sqrt{3}}\overline{\sigma}_e(\varphi+\alpha/2),\quad A_1=\text{加工後の容器断}$$

面積，　　　　　　　　　　…………………(91)

である．

H. W. Swift が厚さ 1·04 mm の深絞り用軟鋼板で絞り比 2，内径 51 mm のカップを絞り，これを角度の異なるダイスでしごき加工し，しごき力を実測した結果は図 91 のようである．あらゆる減面率に対し，荷重を最低ならしめるダイス角がほぼ 15° なることがわかる．この点 (91) 式では説明できないので，摩擦の影響を全く無視することの妥当性については一考を要する．

Swift のしごき力に対する実験式は

$$P=a+bA_r \cdots\cdots (92)$$

で，a，b ダイス角によつて定まる定数，(表 20 参照)

A_r は減小する面積を口″で与えるものとする．(以上)

表 20　(92) 式に対する数値

ダイス角 (半頂角°)	a 英トン	b 英トン/口インチ
5	0·49	55
7·5	0·40	47
10	0·62	36
15	0·71	33
20	1·38	26
25	2·32	18
30	3·12	12

1 英トン＝2240ポンド≒1016 kg
1 英トン/口インチ＝1·573 kg/mm²

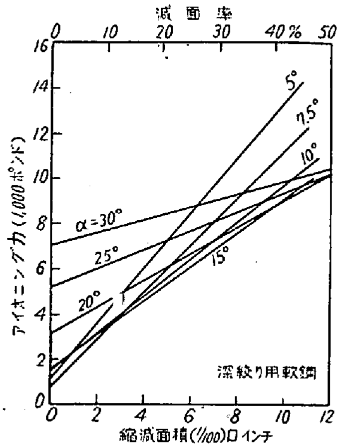


図 91　しごき力 (Swift)

鉄鋼技術共同研究会編

"平炉製鋼法の進歩" 出版について

鉄鋼技術共同研究会製鋼部会では最近 4 年間における部会の研究成果を取りまとめて「平炉製鋼法の進歩」(昭和 30 年—昭和 34 年) を去る 8 月刊行しました．部会委員幹事に配布しました残部多少がありますので，御希望の方に実費でお頒けします．御希望の方は頒価 1 部 660 円に送料実費 (最低小包料金) を添え，日本鉄鋼連盟技術課 (東京都千代田区丸ノ内 1 の 1) あてお申込下さい．

B 5 判　タイプオフセット印刷　383 ページ　ビニル装　紙箱入