

講義

冷間加工 (III)

成形加工

春日保男*

Cold Working (III)

Forming

Yasuo Kasuga

成形加工

曲げ加工に軽度の絞りや張出し加工を加味した中間加工を一般に成形加工とよんでいる。しかし字の含む意味から、成形を一層広義に用いることも少なくない。大抵の場合、単純曲げと絞りまたは張出しの組合せとして論ずることができるが、取扱う製品のサイズにも形態にも変化が多く、個々の問題に対して容易に核心がつかめないことも少なくない。

成形加工法の分類様式自体はそれほど大切でないが、成形品の形状による加工の難易、頼るべき成形法などに

ついては技術的問題がすこぶる多い。

形状分類は G. Sachs の著書¹⁾に見られ、さらに加工の厳しさと材料選定を目的とした一種の加工度分類が米国金属学会から公表されている²⁾。表 8 および 9 はこれを示す。

1. フランジング、パーリング

板をその一端に沿う任意の線を曲げ軸として曲げ、直角壁を成形する加工をフランジング (flanging) という。加工方法は前節曲げ加工の分類の 1・b に類似し、形成される直角壁の高さは板全体の長さ寸法に比し、元来小さいものとする。曲げ軸が直線の場合は単純曲げに

表 8 Sachs による金属板成形の分類。

I 単一曲げ部品	a. 直線断面をもつ部品 b. 直線フランジつき部品 c. 単一曲率で滑らかな形をもつ部品	
II 曲線フランジつき部品	a. 伸びフランジつき部品 b. 縮みフランジつき部品 c. 伸び縮みの両フランジの組合せをもつ部品	
III ほぼ一様な断面形をもち曲つた部品	a. 単一断面形をもち細長く曲つた部品 b. 単一断面形で短く曲つた部品 c. 断面形が均一でなく細長い曲つた部品	
IV 深絞り部をもつ部品	a. 垂直壁部をもつ深絞り部品	1. カップ形部品 2. 管状部品 3. 函形部品
	b. 傾斜壁をもつ深絞り部品	1. 傾斜壁をもつ容器形状部品 2. 一部が開放した部品 3. 管体を二つ割りにした形状の部品
V 浅い絞り部をもつ部品	a. 二つの曲率をもつ滑らかな形状の部品 b. 皿形の部品 c. ビード, エンボス, 波形補強のついた部品	

* 名古屋大学工学部教授

1) 文献 (85) 参照

2) ASM Committee of Formability of Sheet Steel, The selection of sheet steel for formability, Metal Progress V. 68 pp. 1~11 (1955)

表9 成形加工度分類および鋼板に要求される性質 (米金属学会)

(a) 板厚 0.062in までの 1008 冷間圧延鋼板の加工度の分類.

加工度の等級	成形法の型式	曲げあるいは伸びの程度(a)	最小オルゼン値(b) in	最大ロックウェル B 硬さ	1008冷間圧延鋼板の等級	
					露出部品	非露出部品
1 (CR)	90° 曲げ	最小半径 1×板厚	—	80(c)	普通の調質圧延リムド鋼(d)	普通の焼なましリムド鋼(d)
2 (CR)	180° までの曲げ	最小半径 0.01in	—	65	同上(e)	同上(e)
3 (CR)	絞り	10% まで	0.340	55	同上	同上
4 (CR)	絞り	10~20%	0.365	55	同上	同上
5 (CR)	絞り	20~30%	0.385	50	絞り用調質圧延リムド鋼	同上
5 R (CR)	絞り	30~35%	0.390	45	同上	絞り用焼なましリムド鋼
5 K (CR)	しわの恐れある絞り	30~35%	0.385	47	絞り用調質圧延キルド鋼	絞り用調質圧延キルド鋼
6 K (CR)	しわの恐れある絞り	35~40%	0.400	42	同上	同上

註 (a) これらの値は加工前にブランクに 1 in 間隔の格子を書いておいて、その線の間で測つた伸びの最大値であるから、標点距離が異なる場合には適用できない。

(b) 板厚が 0.036in に対する値を示し、他の板厚に対する値はオルゼン値 = $0.300 + 2.5t$ (0.001in) ただし t は板厚

(c) 圧延に平行な 90° 曲げでは最大 70.

(d) 1020鋼を用いてもよいが、1008 または 1010鋼の方が低廉

(e) 1010鋼も適当

(b) 板厚 0.250 in までの熱間圧延鋼板に対する加工度の分類

加工度の等級	成形法の型式	曲げ(a)あるいは伸び(b)の程度	最小伸び率% 2in間隔(c)	最大ロックウェル B の硬さ	熱間圧延リムド鋼の等級
1 (HR)	90° 曲げ	板厚 0.090in までは最小半径 1×板厚 板厚 0.250in までは最小半径 2×板厚	—	80	普通鋼 1008~1030
2 (HR)	90° 曲げ 180° 曲げ 絞り	板厚 0.250in までは最小半径 $1\frac{1}{2}$ ×板厚 板厚 0.090in までは最小半径 $\frac{3}{4}$ ×板厚 10% まで	30	68	普通鋼 1008~1015
3 (HR)	絞り	10~20%	35	35	普通鋼 1008
4 (HR)	絞り	20~30%	40	55	絞り用 1008

註 (a) 曲げ半径は圧延方向と平行な曲げ軸に対するものである。

(b) これらの値は加工前にブランクに 1 in 間隔の格子を書いておいて、その線の間で測つた伸びの最大値であるから、標点距離の異なる場合は適用できない。

(c) 示された値は、板厚 0.090in に対するものである。他の板厚に対する値は
伸び (HR) = $38 + 10 \log t$ ただし t は板厚 mm

(c) 冷間圧延鋼板の成形に対する必要な性質

鋼の等級	ロックウェル B 硬さ	降伏点(a) kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	弾性比	全伸び(b) % 2in 間隔	一様伸び(b) % 2in 間隔	(b) オルゼン値 inch
普通の焼なましリムド鋼	50	24.61	29.53	0.85	37	23	0.380
普通の調質圧延リムド鋼	55	24.61	30.94	0.80	35	19	0.370
絞り用焼なましリムド鋼	45	22.50	28.83	0.75	41	25	0.400
絞り用調質圧延リムド鋼	48	21.09	29.53	0.70	39	23	0.390
絞り用調質圧延キルド鋼	45	17.58	28.83	0.60	41	26	0.400

註 (a) 降伏点は圧延方向の値が与えられている。横方向の値は 14.06 kg/mm² だけ高い。

(b) 板厚 0.036in に対する値が与えられている。ほかの板厚に対する伸び率およびオルゼン値は
伸び (CR) = $41 + 10 \log t$ (mm) ただし t は板厚。
オルゼン値 = $0.300 + 2.5t$ (0.001in)

過ぎぬが、軸が曲線となると壁部を形成する材料（フランジ）に曲げ軸方向の引張または圧縮応力が必要になる。板の本体側から見て凸の曲げ軸では縮みフランジ (shrink flange), 凹の曲げ軸では伸びフランジ (stretch flange) となる。

縮みフランジの加工限界は、座屈によるしわ発生によつて与えられる。アルミニウム系合金に対する資料が従来から多く発表されている。

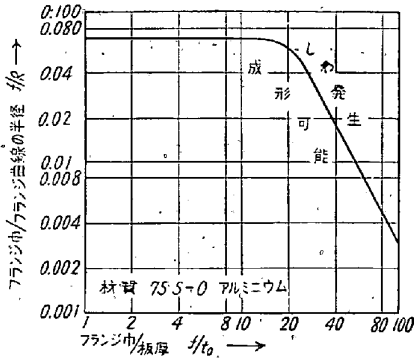


図 48 縮みフランジ座屈限界 (Wood)

図 48 はその一例である。伸びフランジにおいても、残留応力に起因すると見られる弾性座屈が生ずることがあるが、一般には伸びの方向に直角に生ずる破断亀裂が加工限界となる。

伸びフランジの一つの極端を示すタイプがバーリング (burring) によるカラーの形成である。バーリングにおいては有穴板の穴のまわりを立上らせて垂直壁を形成するのである。精密機器のねじ下穴の形成などによく見られる方法である。本加工法には、(1) あらかじめ穴をあけてこれを拡げる形式と、(2) 板の一部を成形しながら成形ポンチで同時に穴をあけて工程を終了させる形式とがある。

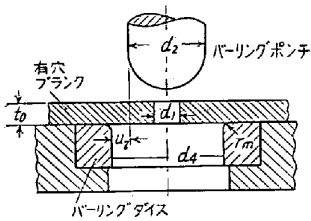


図 49 バーリング用型

(1) の場合には図 49 のごとき型を用いる。図のポンチは半球端をもつが、立上り部 (カラー) のプロフィール形状を好ましくするには

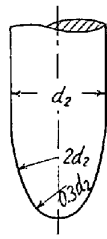


図 50 ポンチ形状

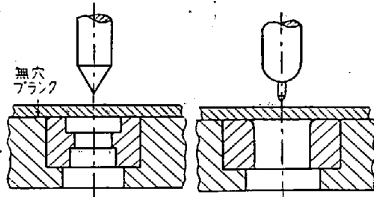


図 51 バーリング用型

(2) の場合には図 51 のごとき型を用いる。これは形成されたカラの形が深く、ねじの下穴などの成形に向い

ている。

カラーの高さは次式により計算される。

$$h = t_0 \cdot \frac{d_4^2 - d_1^2}{d_4^2 - d_2^2} \cdot C \dots\dots\dots (36)$$

C は補正係数で穴の拡大比と型のすき間寸法によつて異なり、図 52 から求める。

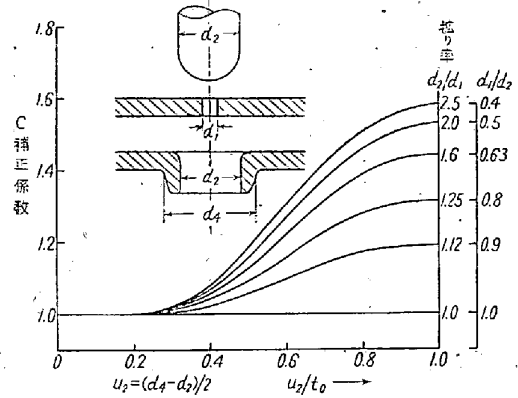


図 52 カラー高さ補正係数

表 10 バーリング加工限界値 (Kienzle)

材 質	表面状態	拡り率 d_2/d_1 の限界値		
		カラーが亀裂	わずかに亀裂	成形完了
StⅧ軟鋼	みがき面	>4.0	3.9~2.6	≤2.5
StⅢ鋼	わずかに黒皮	>3.8	3.7~2.5	≤2.4
Ms 63 黄銅軟		>4.0	3.9~2.4	≤2.3
Al99.5 軟		>6.0	5.9~3.5	≤3.4
Al99.5 硬		>3.5	3.4~2.4	≤2.3
パンタル		>3.0	2.9~2.0	≤1.9
Zn(99.5) 精製		>3.5	3.4~2.5	≤2.4
Zn(99.0) 工業用		>3.0	2.9~2.0	≤1.9

バーリング孔径の拡大比 d_2/d_1 に対する制限は表 10 の通りである。

2. カーリング

図 53 は最も簡単なカーリング用型の一例である。この例では単純曲げのみによつて板の端部を巻き込むものであるが、加工機構は前節曲げ加工の分類中には含まれておらぬ。

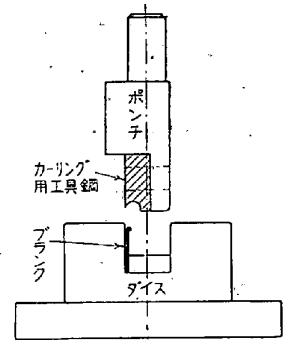
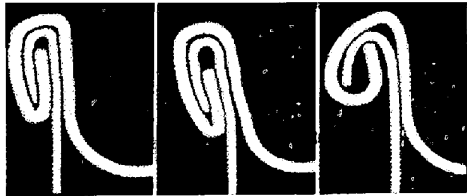


図 53 カーリング用型

円筒缶の口辺のカーリングなどでは素板面本来の曲りのために僅かながら曲げ軸方向の引張または圧縮変形を伴う。円筒の半径が板厚の 50 倍以上ではこの変形自体はほとんど問題にならぬが、カール部分は曲げ加工度が必ずしも小さくないので、この曲げにおける引張応力側では二軸引張応力となり、限界加工度が低くなる。こと

に缶の口端のせん断面が亀裂破断面をもち、それが曲げの場合の引張応力側にもち来たされることは好ましくない。

容器の口辺を内側にカールする場合は、蓋を組合せたりする要求のある場合以外、例が少ない。この場合曲げ軸方向の圧縮応力のため座屈し、カール部分にしわが生じ勝ちになる。



(a) (b) (c)
図 54 巻き締め状態 (Oehler)

カーリングの外半径 R は通常板厚の 2.5~5 倍とする。類似の加工に缶詰用缶などの巻締めがある。図 54 は 3 種の巻締め状態を示す。加工は 1 種のカーリングロールによるが、a は良好な仕上り状態で接合部に残された空間の少ない緊密なもの、b はロール間隔の調整を誤った例で接合部に空間が多過ぎる。c はロールの巻締め不足で製品としては使用不可能である。

自動製缶機ロールは板厚の不同を極度にきらうものである。

3. ネッキング, ノーシング

深絞りされた容器などの口辺を絞って細める加工をノーシング (nosing), 絞られた部分に容器軸に平行な円筒部(頸)を成形する場合をネッキング (necking) という。後の場合には頸部の上下に隣接部すなわち、絞られない材料部分があつて差支えない。加工は容器が軸方向に圧縮されても座屈せぬことを前提にして、円すい穴を

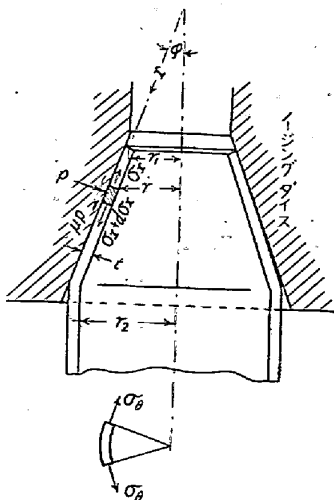


図 55 ノーシングにおける応力

もつダイスによつて容器口辺をすえこむか、スピニング旋盤とロールによる絞りである。軸方向圧縮によるノーシングは A. Nadai¹⁾ および G. Sontag²⁾ により解析されている。

Nadai の解は比較的厚肉で均等厚さなることを前提にし、しかも材料

1) 文献 (97) 参照
2) 文献 (98) 参照

の硬化性が少ない(熱間加工)ことを仮定してつぎのごとく得られた。図 55 において円周方向応力 σ_θ を一定と考えれば、ダイス壁に生ずる圧力は

$$p = -\frac{t}{r} \sigma_\theta \cos \varphi$$

である。ただし、 t は壁厚、 r は半径座標、 φ は円すい角である。微小セグメントについて壁長手方向の力の釣合を書くと

$$d\sigma_x = \sigma_\theta (1 + \mu \cot \varphi) \frac{dx}{x} \dots\dots\dots (37)$$

となる。ただし σ_x は壁の長手方向応力、 x は長手方向座標は、 μ はダイス壁面の摩擦係数。

仮定により、 $\sigma_\theta = -\sigma_e$, σ_e = 単純圧縮降伏応力(一定)とすれば、(37) は容易に積分できる。境界条件は

$x = r_1 / \sin \varphi$ において $\sigma_x = 0$ である。

$$\sigma_x = -\frac{\sigma_e}{K} \left(1 - \frac{r_1}{r} \right), \quad K = \tan \varphi / (\tan \varphi + \mu) \dots\dots\dots (38)$$

したがつて、ノーシングに必要な垂直荷重は

$$P = 2\pi r_2 t |\sigma_{x_2}| \cos \varphi, \quad \sigma_{x_2} = [\sigma_x]_{r=r_2} \dots\dots\dots (39)$$

である。

Sontag は口端部から基部まで変形抵抗(降伏応力)が変化する場合を取扱つた。変形抵抗が口端部で σ_{e1} , 基部で σ_{e2} とし、その間、軸方向に直線的に分布すると考えると、

$$\left. \begin{aligned} \sigma_\theta &= - \left[\sigma_{e1} + (\sigma_{e2} - \sigma_{e1}) \frac{r - r_1}{r_2 - r_1} \right] = -\sigma_e \\ \sigma_x &= -\frac{\sigma_{e2}}{K} \left[\frac{\sigma_{e1}}{\sigma_{e2}} \left(1 - \frac{r_1}{r} \right) + \frac{1 - \sigma_{e1}/\sigma_{e2}}{2(r_2/r_1 - 1)} \left(\frac{r}{r_1} + \frac{r_1}{r} - 2 \right) \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (40)$$

をうる。基部では

$$\sigma_{x_2} = -\frac{\sigma_{e2}}{K} \cdot \frac{1 + \sigma_{e1}/\sigma_{e2}}{2} \left(1 - \frac{r_1}{r_2} \right) \dots (41)$$

ノーシングの加工限界を考えるに、長手応力最大値 σ_{x_2} が周方向応力 σ_θ を凌駕すれば容器が膨む可能性を生ずるから、この点を限界条件とする。基部の周方向応力最大値は

$$\sigma_{\theta_2} = -\frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_{e2} \dots\dots\dots (42)$$

と考へて差支えぬ。この値が長手方向応力臨界値に等しいと考へ、(41) (42) を等しとおいて K を求めると、

$$K = 0.435 \left(1 + \frac{\sigma_{e1}}{\sigma_{e2}} \right) \left(1 - \frac{r_1}{r_2} \right) \dots\dots\dots (43)$$

をうる。 K は一方 (38) で与えられているから、円すい

角 φ と摩擦係数を与え材料の硬さ分布 σ_{e1}/σ_{e2} を与えれば r_1/r_2 の臨界値を知ることができる。図 56 はこのための図表である。冷間加工では $\sigma_{e1}/\sigma_{e2} > 1$ と考うべきである。

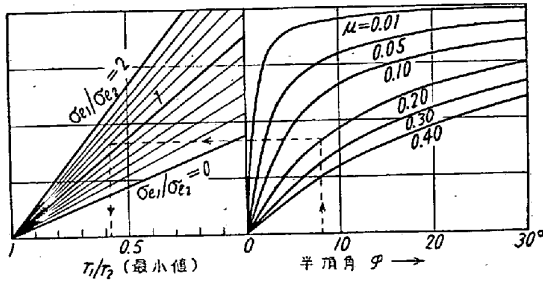


図 56 ノーシング限界比 (Sontag)
(例: $\varphi=8^\circ$ $\mu=0.20$, $\sigma_{e1}/\sigma_{e2}=1.2$, $r_1/r_2 \text{ mn}=0.57$)

宮川はノーシングの加工臨界を座屈問題として考察し、容器が有底の場合には円筒壁と底部の接続部に生ずる座屈が加工限界を決定することを指摘している。図 57 はアルミニウムに対する実験結果の一例であるが、図の限界応力は底部で半径方向の膨がみ急増する時期の軸方向応力である。

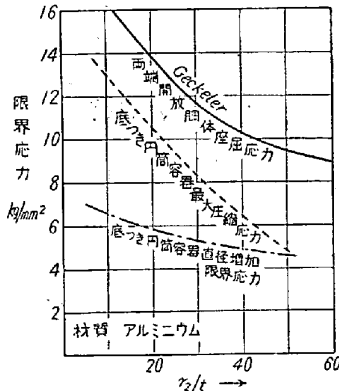


図 57 ノーシング限界応力 (宮川)

σ_e が一定で加工部が曲つたプロフィールをもつ場合の Nadai の解を図 58 に示す。ノーシング荷重はプロフィールの曲り半径と板厚のみにより定まり容器の直径には無関係である。

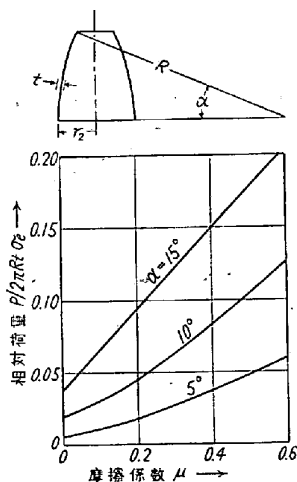


図 58 ノーシング荷重 (Nadai)

4. 張出し成形 (ストレッチフォーム)

大形の自動車の屋根板パネルのように圧縮成形するには過大な製品に利用される方法で、板面に沿う引張力による変形を利用する加工法である。特徴は、

- (1) 比較的小さい力で、迅速に所定の成形を達しうる。

- (2) 圧縮応力が働かないので座屈の危険が少ない。
- (3) スプリングバックの制御が自由にできる。
- (4) 板厚の不均一も少ない。
- (5) 工具の面と材料の間に相対迂りが少ないので面の仕上がり状態が良い。
- (6) 普通のプレス成形型では不可能な鋭い形状を一工程で成形し、しかもポンチ側工具のみ準備すればよい。などである。

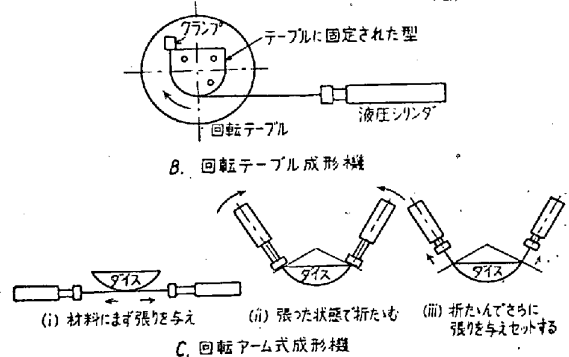
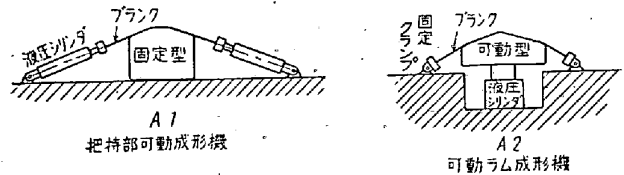


図 59 張出し成形法の分類

加工機構を分類すると図 59 のようである。材料把持部が半径方向に動き、これにより材料に引張を与えた状態において材料の一端をつかんだ型テーブルが回転する形式が最近のラジャルドロー成形法に見られるものである。(図 B 参照) この種の成形機を万能コントロール成形機ともいう。写真を図 60 に示す。

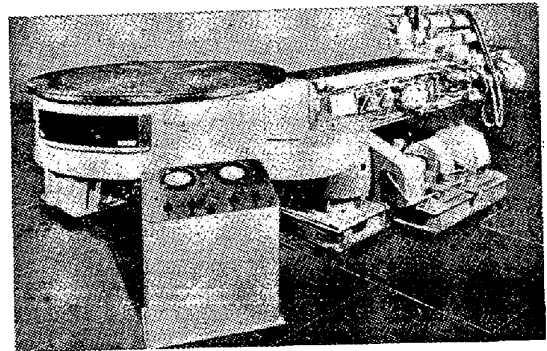


図 60 万能コントロール成形機

また、円形心金型ダイスを子午面で割り半径方向に伸縮できるように作り、これを水圧プレスで操作して軸対称殻体を半径方向に張出し成形するラジャル成形法もある。これは剛体ダイスによるバルジ加工の一種である。

- 1) 文献 (101) 参照

- 1) 文献 (95) 参照

る。

図 59 C のタイプは Hufford 社で製作している Hofford-Carousel-type の張出し成形機に見られる。この機械では中央に成形型を取りつける固定テーブルがあり、これを中心としてコンパスの両脚のごとく巡回可能な二つの翼テーブルがある。両翼テーブルには C 型ヘッドを載せこれが材料両端を固定する把持ブロックをもっている。把持ブロックは液圧シリンダにより半径方向（テーブル長手方向）に材料の両端を引張りながら中央の型に押しつけることができる。

従来の普通形張出し成形法では把持部は固定で、これによつて両端を把まれた材料に中央からポンチが上向きに作用するものが多い。（図 59 A 2 参照。）この方法は広範囲な成形には必ずしも適していない。

把持部の固定方法を変更し、縦軸のまわりに巡回可能にしたものもあるが、多少不規則形を成形できるが極く自由ではない。特に加工中の張力制御は自由に行いえない。

中央に固定された成形型の両側で把持腕が別個に 90° ずつ回転して加工を進める形式では、把持腕の任意の角度位置で張力を自由に制御できる。これが張出し折畳み成形法 (stretch-wrap-forming) といわれる数年前に

開発された新法である。

張出し折たたみ成形法にはつぎの利益がある。

1. 型のごく近くに把持部をもち来だしうるから廃却される材料部分が少ない。
2. 材料が型に接触し始める場所の傾角が自由に制御でき、工程を通じて一定の傾角とすることもできる。
3. プレスのアーム（把持部の取り付けられている腕）を単独に動かすので、不規則な型にも自由に厳密に従わせることができる。

最近の把持部は板をあらかじめ曲面として固定することが可能で、三次元的な深い成形が可能となつている。

図 61 はその一例を示す。

張出し成形を受ける材料は引張強さと降伏点との差が大きいことを要する。すなわち靱性を望まれる。表 11

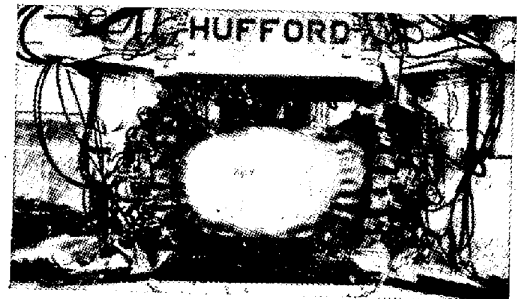


図 61 張出し折たたみ成形機 (Hufford)

表 11 諸種金属の張出し成形性 (Corral)

(a) アルミニウム合金の機械的性質と張出し成形性

材質とその熱処理	引張り強さ kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	伸び% 2in 間隔	張出し成形性 (%)
75 S Q*	33.75	14.06	19.0	100.0
24 S Q*	32.34	12.66	20.0	98.0
24 S-T3	45.00	30.94	18.0	95.0
61 S W	24.61	14.77	22.0	90.0
75 S O	22.50	9.84	17.0	80.0
24 S O	18.98	7.73	19.0	80.0
3 S O	11.25	4.22	30.0	75.0
61 S O	12.66	5.62	22.0	75.0
2 S O	9.14	3.52	35.0	70.0
75 S T6	53.44	47.11	11.0	10.0

* 焼入れ後すぐ熱処理をし加工する。

(b) 合金鋼の機械的性質と張出し成形性

材質とその熱処理	引張り強さ kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	伸び% 2in 間隔	張出し成形性 %
Sheet Spec. AN-QQ-772 Corr. Res. Ann.	52.73	21.09	40.0	100.0
Sheet Spec. QQ-S-636 1010	35.86	20.39	38.0	95.0
Sheet Spec. AN-S-11 Class A 1020	47.11	31.64	32.0	90.0
Sheet QQ-S-766 Class 3 Type 410	42.19	24.61	25.0	85.0
Sheet Spec. AN-QQ-772 Corr. Res. 1/4 Hard Class II	87.89	52.73	25.0	60.0
Sheet Spec. AN-QQ-772 Corr. Res. 1/2 Hard Class I	105.47	77.34	15.0	25.0
Sheet Spec. AN-QQ-772 Corr. Res. 3/4 Hard Class II	123.04	94.92	10.0	10.0
Sheet Spec. AN-QQ-772 Corr. Res. Full Hard Class II	130.07	98.43	3.0	2.0

1) 文献 (104) 参照

はアルミニウム合金とステンレス鋼類の張出し成形性を示すものである。一方では 75S の Q 処理材を 100% と見なし、一方ではステンレス鋼の焼鈍材を 100% と見なしている。

張出し類似の加工法は、型材、管材などの曲げにも盛んに応用されている。型材の曲げでは断面形状を崩さないために、成形ブロック

に接する部分にさらに‘たわみ性保護ブロック’(自在心金)(Snake)を当てている例が多い。ラジャルドロー成形で最も好都合な型材の断面は帽子型である。

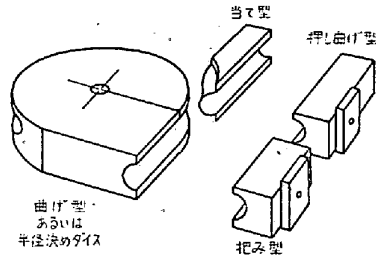


図 62 管のラジャルドロー曲げ型 (Dewitt)

図 62 はパイプのラジャルドロー成形に用いられる型である。心金の使用法はパイプ寸法により異なる。図 63

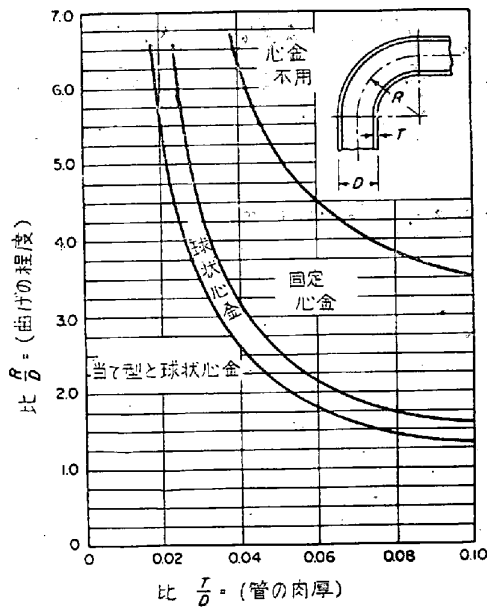


図 63 管のラジャルドロー曲げにおける心金の使用区分 (Dewitt)

5. ロール成形法

帯板を型材に曲げる連続成形法で、実は加工機構はほとんど単純曲げである。連続 5~6 組の成形ロールを直列に配置し U 字溝型材、パイプなどに曲げ成形を行わせる。ロール軸は水平を原則とするが、任意の角度を取らせて差支えぬ。

ロールパスの設計には製品の立上り寸法を基準に考える。図 64 のとき U 字溝型材を例に取ると、立上り H を達するのに、必要な成形率を、材料長手方向に対する立上り角によつて与え、これを 1 度 25 分に定めている。

したがつて、 H だけ立上がらせるに必要なパスの距離は

$$L = H \cot 1^\circ 25' = 40.436H$$

である。相隣るロールの平均間隔を 15 インチ (約 400 mm) とし、 L を平均間隔で割つて所要ロール組数 N を知る。

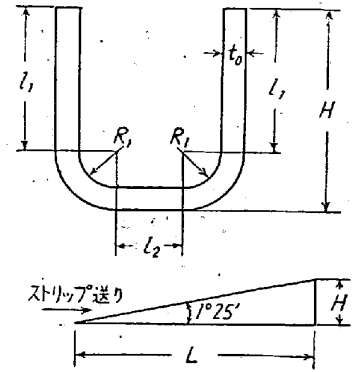


図 64 U 型材断面

さて、図 64 に必要な帯板の巾は

$$W = 2l_1 + l_2 + 2C, \quad C = \text{曲げ代}$$

$$(31) \text{ より } C = (R_1 + kt_0) \frac{\pi \alpha}{180} = (R_1 + 0.45t_0) \frac{\pi \alpha}{180} = (0.0175R_1 + 0.0078t_0) \alpha \quad \alpha = \text{曲げ角 (度)}$$

全組数 N のロールの m 番目のパス高さはつぎのように定める:

$$h_m = H \times m / N$$

ウェブ l_1 部の傾角 α_m はつぎのごとく定める。

$$(R_1 + t_0) \text{ vers } \alpha_m = \frac{m}{N}$$

$$\text{あるいは } \sin \alpha_m = \frac{1}{l_1} \left\{ h_m - \frac{m}{N} (R_1 + t_0) \right\}$$

m 番目のロールに設ける曲げ代は全曲げ代 C に等しくする。したがつて、 α_m に応じ曲げ半径 r_m を最終半径 R_1 より大きくとる。

$$r_m = \frac{180}{\pi \alpha_m} \cdot C - \frac{t_0}{2}, \quad \alpha_m \text{ (度)}$$

ロール成形に属さないが、従来から 3 本組のロールによる、板、棒、型材の曲げが行われている。曲げロールは 2 個のロールのみの間で材料を挟むことができるか否かによりピンチ型、ピラミッド型に分類され、前者では 2 個のピンチロールのみ駆動、他の 1 個は遊びロールとなる。後者では 3 本とも駆動ロールである。

曲げ精度を高め生産性を上げるためにラッピング、ロールというタイプがある。この場合には心金ロールによつて製品の内径を寸法決めすることができる。ただし、製品は全円周にわたるものでなくてはならぬ。

6. ロールフローイング加工

(しごきスピニング加工)

旋盤主軸とともに板を面に直角な軸のまわりに回転させ主軸に取りつけられた型の中心部から次第に外側に向つて押しつける作業はスピニングとか‘へら押し’などといわれ、すでに 1000 年以上の歴史をもつ技術である。しかし、加工機構の解析は進んでいるとはいえない。スピニング加工においてはすでに成形された部分の壁厚はブラ

ンク厚さよりやや厚くなる。ブランクの上でチャック(型)より大きい半径位置にあつた部分がチャックの半径まで圧縮されるからである。このような場合のスピニング加工の限界は、しわ発生により定まり、特別の方策を講じない限りブランク直径と、容器直径の比(絞り比)を1.5以上にするには困難である。しかし、スピニング加工で成形後の板厚をブランク板厚より積極的に減ずるような方策を講ずるならば、絞り比から予想されるより遙かに深い容器を成形できるはずである。この方式のスピニング加工をロールフローイング(しごきスピニング)という。

板厚減少を伴わぬ単純スピニングの場合は絞り比の最大限界(限界絞り比)は板厚の支配を受ける。たとえば板厚に対するチャック直径の値を大きくすると限界絞り比は低下する。図 65 は E. Siebel, K. H. Dröge のこの点に関する資料である。曲線はヘラロールの丸味により影響を受け、丸味が大きいほど限界は高い。理由はロールへの馴染み角が大きく板の安定性がよくなるためかと思われる。主軸の回転数は遠心力によつて板に半径方向に張力を与える効果があるともいわれているが、Siebelらは限界絞り比に大なる影響なしといっている。

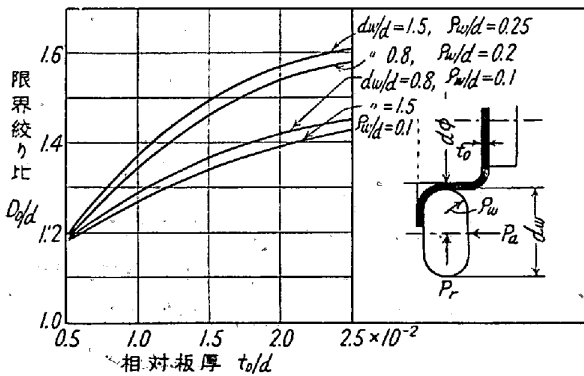


図 65 スピニングにおける限界絞り比 (Siebel)

a スピニング力

スピニングロールに加わる力、または加工力は図 65 に示すごとく水平面内に二成分とこの他紙面に直角方向に P_u なる成分がある。値は水平二成分が他の一成分に比し大である。実測によれば P_r, P_a とともに工程のある時期に最大値に達し、ことに P_a はプレス深絞りにおけるポンチ荷重のごとく送りの終末では零に帰する。この様子を図 66 に示す。両成分力ともにヘラロールの丸味の影響を受ける。工程中の最大値は、絞り比、板厚相対

チャック直径およびロール丸味の関数で図 66 a にこれを示す。

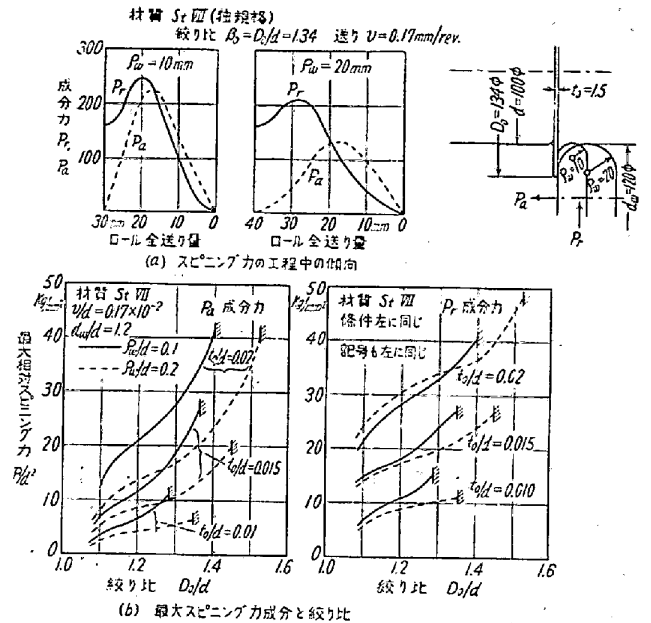


図 66 スピニング力の実験結果 (Siebel Drögl)

加工力の周方向成分 P_u は仕事量から見当づけられる。

$$\text{変形仕事量 } A \cdot \text{form} = \pi d \cdot b \cdot t \cdot \bar{\sigma}_e \cdot \bar{\varphi} / \eta_f$$

$$\text{ロールの仕事 } A \cdot \text{roll} = P_u \cdot n \pi d = P_u \pi d w / v$$

ただし、 d = チャック直径 $\bar{\sigma}_e$ = 平均変形抵抗

b = フランジ巾 $\bar{\varphi} = \ln \beta$ = 平均変形

t = 板厚 η_f = 加工効率

v = 1 回転当り送り量 w = 全送り量

である。 $A \cdot \text{form} = A \cdot \text{roll}$ とおくことにより、

$$P_u = \frac{b \cdot t \cdot v}{w} \cdot \frac{\bar{\sigma}_e \cdot \bar{\varphi}}{\eta_f}$$

$b = 17 \text{ mm}$, $t = 1.5 \text{ mm}$, $v = 0.17 \text{ mm/rev}$, $w = 30 \text{ mm}$, $\bar{\sigma}_e = 40 \text{ kg/mm}^2$, $d = 100 \text{ mm}$, $\varphi = 0.17$, $\eta_f = 15\%$

の場合には $P_u = 7 \text{ kg}$ である。

b ロールフローイング

板厚減少を伴うスピニングでは絞り比を大ならしめずに深い容器を成形することができる。本加工法は切削加工性に乏しい耐熱金属の胴体 (shell) を成形する特殊目的から発達したもので、従来のスピニングに比し、格段の精度と強力作業を要求されるものである。ブランクは十分厚い板材としてよく、円すい形チャックによる円すい胴の成形が最も多い。元来、機械加工の困難が本法の発達を招いたものであるから、著名な旋盤製作工場から専用旋盤が売出されている。

Lodge and Shipley 社では Floturn Lathe, Cin-

1) Siebel, E., Dröge, K. H. Werkst. u. Masch. bau. 45 Jg. Heft 1 ss. 6~9 (1955)

cinnati Milling Machines 社では Hydrosplin の名
でロールフローイング用旋
盤を出している。ドイツ系
には Bohner u. Köhler 社
の Hycoform や Leifeld
社のものなどがある。

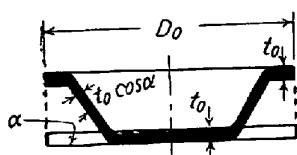
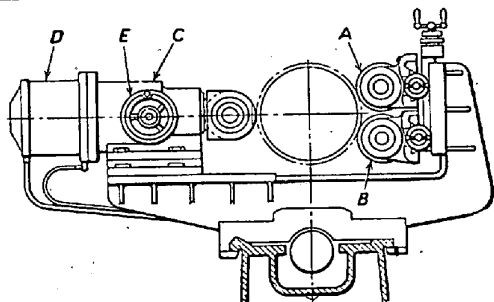
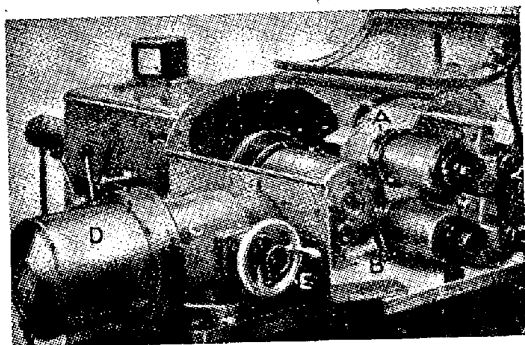


図 67 円すいのロール
フローイング

円すい胴の成形の場合に
は、図 67 のように半頂角 ϕ の円すい部壁厚は $t = t_0 \sin \phi$ となる。



- A, B. 対向ローラー
- C. 前部ローラー支持ハウジング
- D. 液圧シリンダ (ロール圧力用)
- E. マイクロメータねじ (ロール停止位置決め用)
把手

図 68 円筒胴のロールフローイング装置
(Leifeld 社) (ローラサドル)

したがって ϕ がある程度小さいと非常に深く、薄い殻
ができる。しかし $\phi < 30^\circ$ にすることは困難で、たと
えば平板から直接 $\phi = 0$ の円筒を絞る場合には対向ロ
ールを必要とし、図 68 のごとくに同時に 3 個のロー
ールを向い合せて成形せねばならぬ。この場合絞り比は 1.4
以下におさえる。

取扱う材料はステンレス鋼、チタン、モネル、K-モ
ネル、インコネル、インコネル X など耐熱合金を対象に
しているが、もちろん一般軟金属にも応用可能である。
加工の一例は図 69 のごとく、歩留りも従来の方法に比
しいちじるしく良い。また、強度、硬さが高まり、粒子
も改善されるという。ブランク厚さは 8mm (5/16") ま
では取扱い可能である。

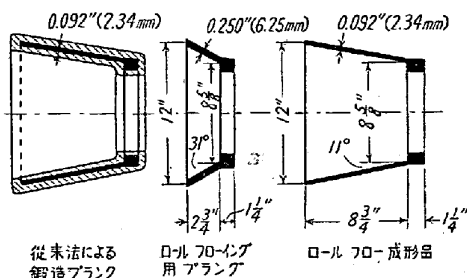


図 69 ロールフローイング用ブランクの例

チャックは特に心金 (Mandrel) ともいい精度高い頑
丈なものでなくてはならぬ。工具鋼製とし焼入れ硬さ
Rc 58~60 とする。

自動送りされるしごきロールの運動精度も大切であ
る。ロールは高速度鋼とし、Rc 78~70 に焼入れ Tim-
ken 軸受に支持されている。直径は 250~300mm (10
~12") で形状は図 70 のようである。

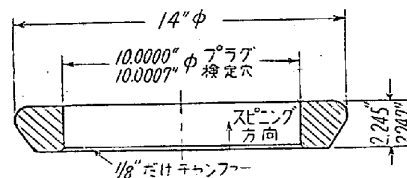
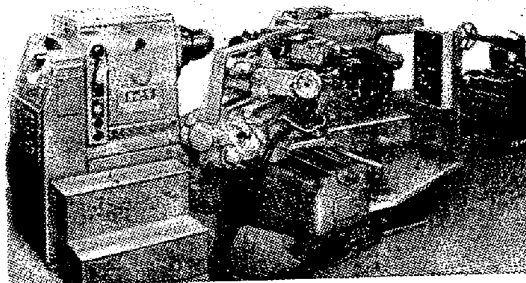
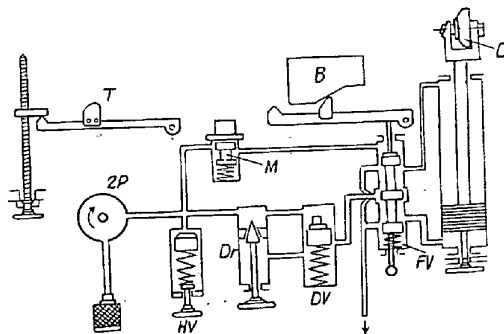


図 70 厚い平円板ブランクから円すいを絞る
ロールの一例



a. 液圧自動做いスピニング旋盤
(Bohner u. Köhler 社)



- ZP: 歯車ポンプ HV: 最高圧力調整弁
- Dr: 絞り DV: 差圧弁 FV: パイロット弁
- M: 電磁弁 T: 接触挺 B: 型板
- D: ロール

b. 上記写真 'Hycoform' における液圧自動做い機構
図 71 スピニング旋盤

表 12 しごきスピニングにおける主軸回転数と送り速度の一例

材 質	ブランク直径	ブランク板厚 inch	製品板厚 inch	主軸回転数 r.p.m.	送り速度 in/mn
AMS 5070 (Med. carbon)	14 ¹ / ₂ in	0.102	0.093	450	1 ¹ / ₂
AMS 5510 (Stainless)	7 ³ / ₄ in	0.093	0.027	600	2
Mild Steel	14 in	0.118	0.044	600	3
AMS 5510 (Stainless)	21 in sq	0.095	0.027	600	4 ¹ / ₂
Inconel X	51 in sq	0.120	0.060	1,000	3
Molybdenum	500~600°Fまでトーチランプであぶりながら				
SAE 4130(Chrome-Molyb.)	直径5 inの円筒	約0.125	0.080	500	3 ³ / ₄
AMS 5504	直径28inの円筒	0.250	0.160	400	1 ¹ / ₂
Copper	4 ¹ / ₄ in	0.312	0.115	250	1 ¹ / ₂
Copper	4 ¹ / ₄ in	0.350	0.130	1,000	2
Copper	3 ¹ / ₄ in	0.260	0.093	1,000	3
				1,000	1 ¹ / ₂ ~4 ¹ / ₂

表 13 Leifeld 社ロールフロー旋盤の資料

材 質	軟 鋼	ステン レス鋼	アルミニ ウム 99.5%
ブランク厚さ(インチ)	0.14	0.14	0.315
ブランク直径(インチ)	13 ³ / ₈	11	9 ¹ / ₂
製品最終外径(インチ)	8 ⁵ / ₈	8 ⁵ / ₈	6.3
最小壁厚さ(インチ)	0.047	0.032	0.080
製品高さ(インチ)	5 ³ / ₄	5 ⁵ / ₁₆	6 ⁷ / ₈
床から床までの時間(秒)	105	100	95
主軸回転数 r.p.m	264	264	492
サドル送りインチ/回転	0.013	0.011	0.016

- (88) Timmerbeil, F. W.: Das Durchziehen von Kragen an ebenen Blechen, Werkst. u. Masch. bau. 44 Jg. Heft 5, ss. 218~222 (1954)
- (89) Oienzle, O. u. Timmerbeil, F. W.: Mitteilungen für die Mitglieder der Forschungsgesellschaft Blechverarbeitung, Nr. 19 (1953), Nr. 1 (1954) Nr. 6 (1954)
- (90) Voigt, P.: Durchstechen und Durchziehen von Blech, Werkst. u. Masch. bau. Jg. 42 Heft 8, ss. 334~335 (1952)

3. カーリング

- (91) 富樫建造: 缶詰用ブリキ缶の巻締抵抗 (第1報) 機械学会論文集, 第4巻, 17号, 369ページ (昭13)
- (92) 富樫建造: 同上 (第2報) 同上 第5巻, 21号, IV~31ページ (昭14)
- (93) Langton, J. W.: Curling operations on light sheet-metal containers, Sheet Metal Industries, Vol. 34 No. 358 pp. 133~136, 137(1957)
- (94) Tangermann, D.: Die Bedeutung der Güteunterschiede an Feinblechen für die Herstellung von Konservendosen, Werkst. u. Masch. bau. Jg. 41, Heft 6, ss. 239~243 (1951)

4. ネッキング・ノージング

- (95) 宮川松男: 円筒容器の Nosing における座屈限界, 機械学会, 塑性加工専門講演会前刷 昭和 32 年度, 33~37 (昭32)
- (96) Hoffman, O., Sachs, G.: Introduction to The Theory of Plasticity for Engineers. pp. 249~262 (McGraw) (1953)
- (97) Nadai, A.: Plastic states of stress in curved shells, Forging of steel shells, T. ASME., March pp. 31~44 (1944)
- (98) Sontag, G.: Berechnung der Umformkräfte und der Umformmöglichkeit beim Stauchen achsensymmetrischer Schalen, Werkst. u. Masch. bau. Jg. 42, Heft 4, ss. 135~138

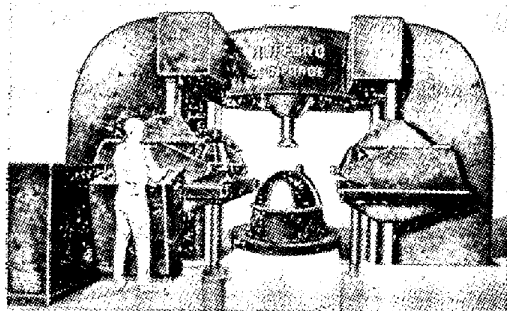
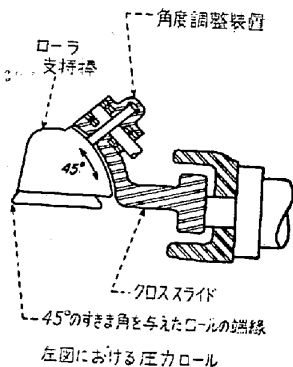


図 72 Hufford 社ロールフロー成形機 (案) (171 型主軸馬力75HP)



加工実施資料を表 12 および 13 に示す。

図 71 は Bohner Köhle 社の Hycoform に取られている自動働機構, 図 72 は Hufford の堅型ロールフローイング装置の計画図である。

文 献

1. 成形加工一般

(85) Sachs, G.: Principles and methods of sheet-metal fabricating, (Reinbold) (1951).

2. フランジング・パーリング

(86) 宮川松男: 金属薄板の塑性加工における挫屈問題機械の研究, 第 10 巻, 1号, 117~129 (昭 33)

(87) 吉田清太: 底孔がある円筒の成形における底孔の拡がり限, 科学研究所報告, 第 34 輯, 2号 113~107 (昭33)

- (1952)
5. 張出し成形
- (99) 吉田清太: 張出し加工の潤滑, 科学研究所報告, 第 34 輯, 1 号, 53~65 (昭33)
- (100) Lane, F. B.: Streckformen (eine neue Art der Blechformung in Flugzeugbau). Luftfahrttechnik, Bd. 1 Nr. 5 ss. 91~96 (1955)
- (101) — New radial forming techniques for fabricating Sheet-metal parts, Machinery (London) Vol. 84 No. 2156 pp. 551~553 (1954)
- (102) — Two-way stretch for missile skins, Metalworking Prod. Vol. 101, No. 33 pp. 1424~1425 (1957)
- (103) Rumble, O. L.: Stretching the wings of a DC-8, Machinery (A) Vol. 64 No. 5 pp. 121~128 (1958)
- (104) — Hufford Carousel-type stretch forming machine, Machinery (London) Vol. 85 No. 2187 pp. 822~823 (1954)
- (105) — Contouring tapered sections by radial draw forming, Machinery (London) Vol. 89, No. 2285 p. 504 (1956)
- (106) Rardin, G. N.: Shock forming with explosives, Metalwork. Prod. Vol. 101, No. 11 pp. 448~451 (1957)
- (107) Glassco, R. B. and Myklestad, N. O.: Analysis of stretch-forming double-curved sheet-metal parts, Trans. ASME Vol. 66, Apr. 161~168 (1944)
6. ロール成形
- (108) 加藤健三: ロールフォーミング, 機械の研究, 第 10 巻, 1 号, 78~84 (昭33)
- (109) 渡辺英世, 清水康夫: 建築材料のロールフォーミング, 機械の研究, 第 10 巻, 1 号, 85~89 (昭33)
- (110) Hölzer, C.: Maschinen zum Kaltwalzen von Blechprofilen, Werkst. u. Masch. bau. Jg. 42 Heft 6 ss. 230~235 (1952)
- (111) Hörmann, E.: Induktive Schweißen, insbesondere von Rohllängsnahten und seine Anwendung. VDI Zeit. Bd. 96 Nr. 3 ss. 65~72 (1954)
- (112) — Piercing operation performed on a roll-forming line Machinery (London) Vol. 92, No. 2358 pp. 209~210 (1958)
- このほか曲げロールに関しては文献 (82) (83) および (46) 参照.
7. ロールフローイング加工
- (113) Sporck, C. L.: Roll flowing, principle of fluturn process, Machinist, Vol. 98, No. 19 pp. 782~785 (1954)
- (114) Longley, R. G. and Hadley, W.: Metal flow-turning, Sheet Metal Ind. Vol. 33 No. 352 pp. 519~529 (1956)
- (115) — Leifeld hydraulic spinning and flow-forming lathes, Machinery (London) Vol. 84, No. 2153 pp. 383~388 (1954)
- (116) — U. S. satellite spotlights roll flowing, Metalwork. Prod. Vol. 102 No. 17 pp. 737~740 (1958)
- (117) Werksttech. u. Masch. bau. Jg. 47, Heft 8, ss. 410~413 (1957)
- 以上のほか本節全般に対し,
- (118) Bolz, R. W.: Metals engineering processes (ASME handbook) pp. 113~180 (McGraw) (1958) が参考になる.