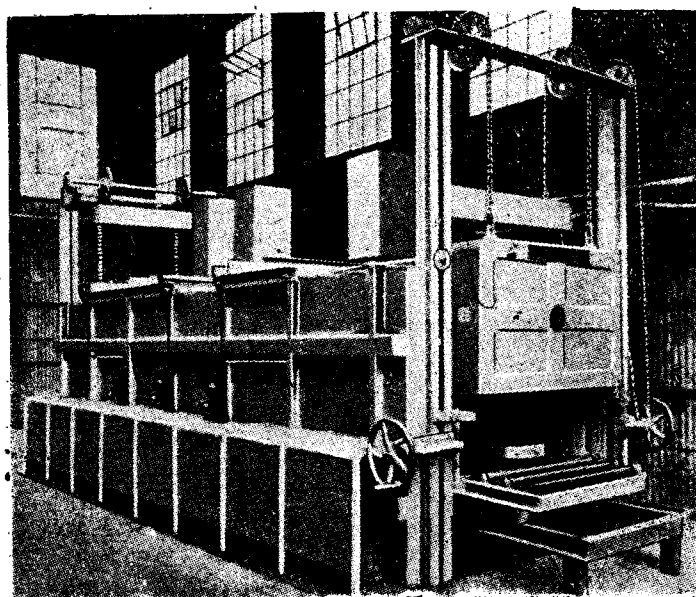


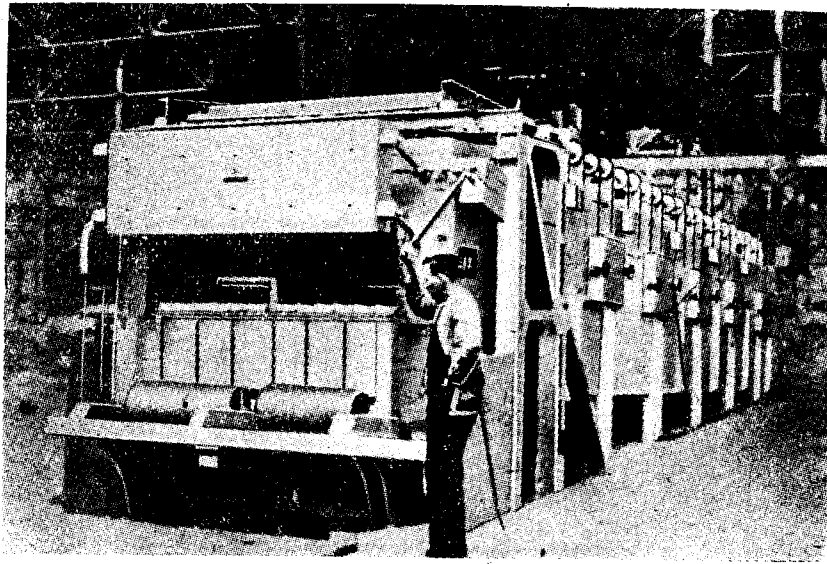
第四章 チュラルミン鑄塊の加熱

(1) 加熱 爐

壓延，押出及び鍛造用の鑄塊は加工溫度迄加熱し，高溫加工を行ふ。加熱溫度は組成に依つて多少の相違はあるが大體 $380\sim 430^{\circ}$ の範圍である。加熱方式としては，大別して電熱式加熱爐と燃料式加熱爐の二種類に分類出来る。電熱式加熱爐にも直接加熱式のものとマツフル式のものがあり，後者の方が局部的加熱の懼れがなく，爐内の溫度を均一に保持し得る特徴がある。燃料式加熱爐を用ひると鑄塊の表面が煤で汚されるし，溫度の調節が困難である。第22圖は電熱式加熱爐，第23圖は燃料式加熱爐の一例で滑臺上に鑄塊を載せて連続的に爐中を通過させる型式のもので，電熱式加熱爐にもこの型式のものが多い。最近は爐内の溫度を均一にすると共に，

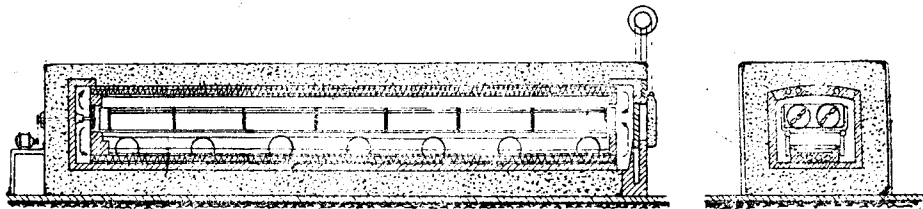


第22圖 電熱式加熱爐



第 23 圖 燃料式加熱爐

熱的效果を大にする目的で強制熱風爐がある。この種の爐では圓筒型直立式のものも多く、加熱部の底部に取付けられたファンで熱風を循環せしめてゐる。強制熱風の理論を應用して大型のものが現はれ、第 24 圖は、こ



第 24 圖 強制熱風爐

の型に屬する新しい鑄塊加熱爐である。加熱される鑄塊は滑臺上に載せて装入し、爐の後壁には二つのファンが装備されてゐる加熱空氣の循環を司る。瓦斯燃燒式の爐もあつて、この型では瓦斯は加熱室の上部にある燃燒室内で燃燒し、發生した熱瓦斯はファンに依て爐内を循環するものである。これ等の強制熱風爐では溫度の調節は比較的容易で、大型爐に於ても $\pm 2^\circ$ の溫度範圍に於て調節が可能であると云はれてゐる。勿論この型の爐は鑄塊の單な加熱のみでなく焼入爐にも使用されるものである。

(2) 鑄塊の加熱温度及び時間

鑄塊を加熱する場合には、加熱温度及び加熱時間は鑄塊の大小に比例するもので、デュラルミンの加熱温度は 400~440°の範囲であるから、加熱温度は一定で加熱時間のみが問題になる。加熱様式に依り加熱時間は変化するが、静止した空気中でデュラルミン鑄塊を加熱したときの諸問題に就て W. Roth⁽¹⁴⁾の研究がある。

加熱又は冷却の際に於ける温度の時間的変化は次の如くである。

$$t = t_0 + G.C(t_1 - t_0) / L.Z.K \dots\dots\dots(6)$$

但し t : 塊の或時間に於ける温度

t₁ : 塊の最初の温度

Z : 時間

C : 比熱

G : 塊の表面 1 cm² 當りの重量

K : 温度通過率

冷却速度は次式の如くなる。

$$-dt/dz = k/G.c(t - t_0) \dots\dots\dots(7)$$

又長い圓柱形のものの温度分布は近似的には次式の如くである。

$$\Delta t = dt/dz \cdot x^2 / 4a \dots\dots\dots(8)$$

依て中心と表面との温度差は

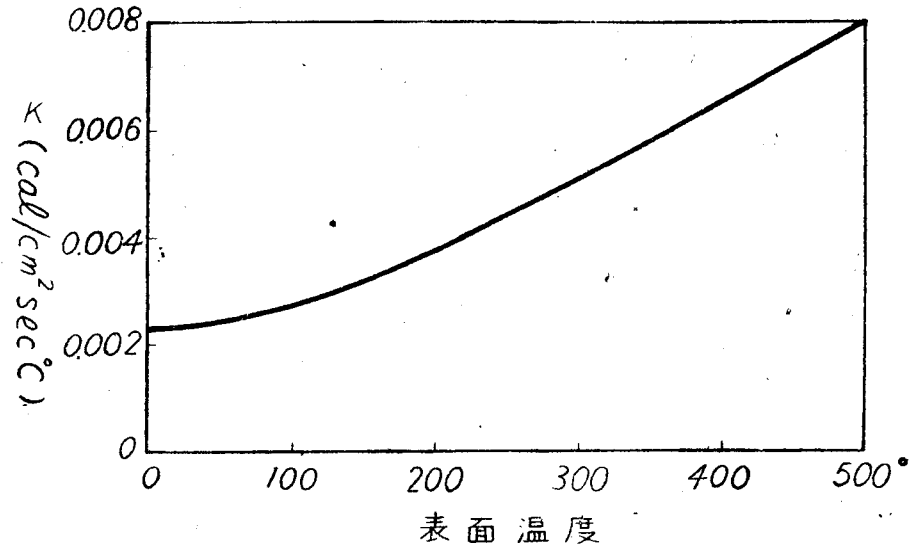
$$\Delta t = dt/dz \cdot d^2 / 16a \cdot k(t - t_0) d / 4\lambda \dots\dots\dots(9)$$

但し a : 温度傳導係數

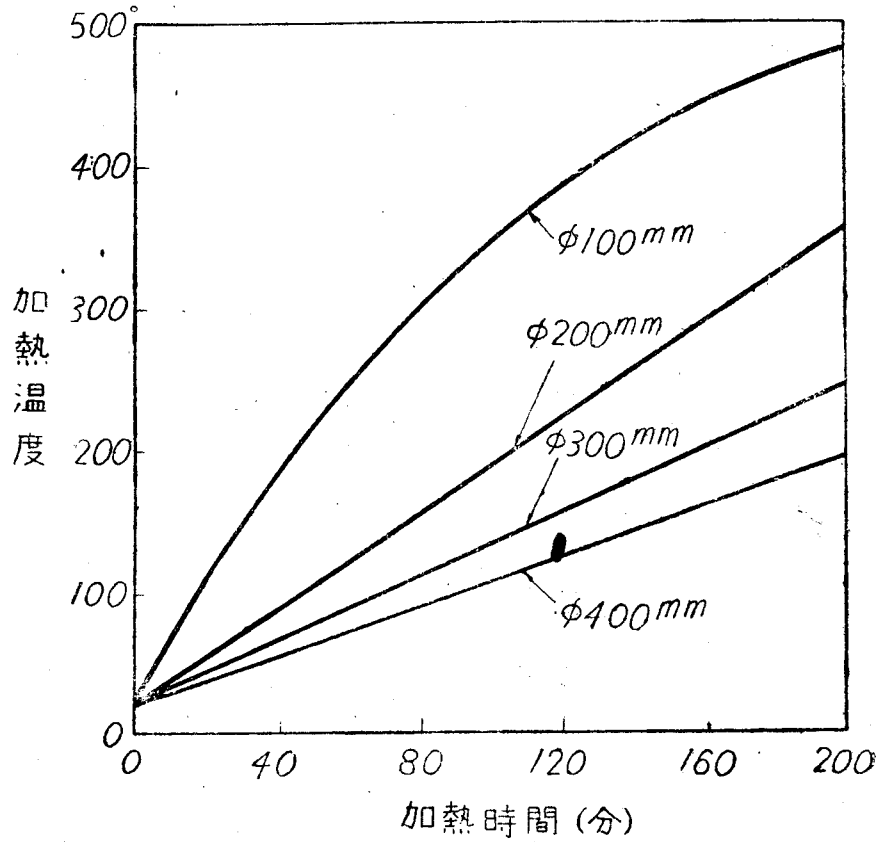
d : 直径

λ : 熱傳導率

表面を削らないデュラルミン丸棒を静止した空気中で加熱してKと表面温度との関係を求めれば第25圖の如くで、表面温度の上昇と共にKの値は

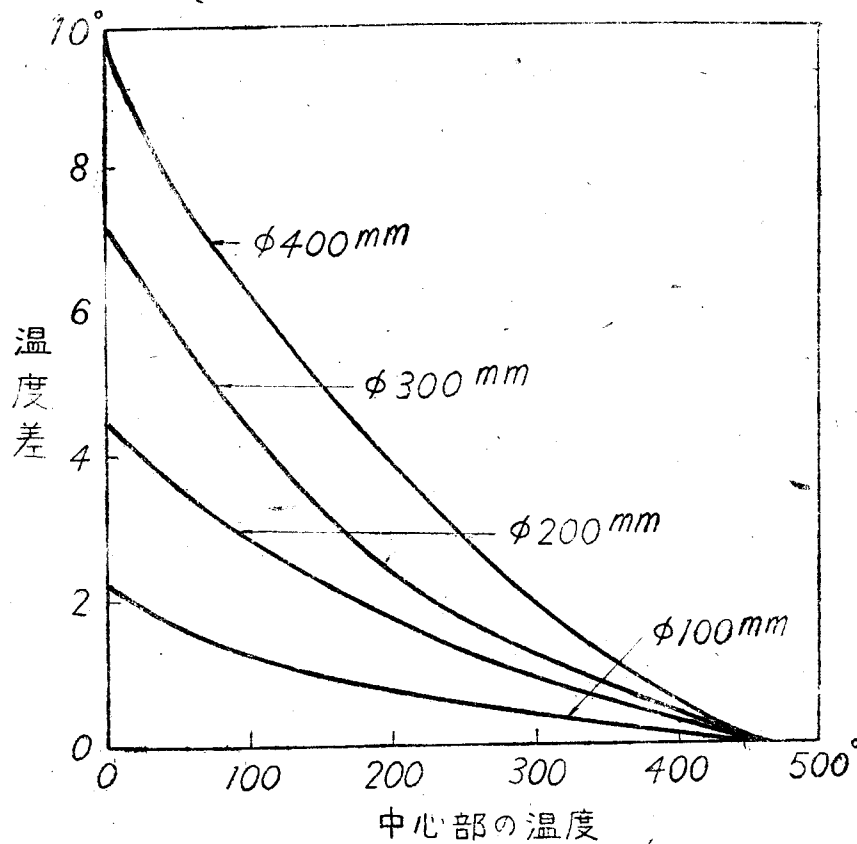


第 25 圖 鑄塊の表面温度とKとの關係



第 26 圖 鑄塊の加熱曲線

増加して行き、 K は温度に依て變る量である。同一加熱時間でも鑄塊の小さい程、加熱時間が短くても所定の加熱温度に早く達することは、常識的には良く知られてゐることであるが、この K の値を用ひて理論的に 500° までの加熱曲線を求めた結果を第 26 圖に示す。(9) 式から鑄塊の中心部と表面との温度差を求めると第 27 圖の如くで徑 400mm の丸棒に於ても、その差は僅かに 10° 内外で實際問題としては無視出来る。



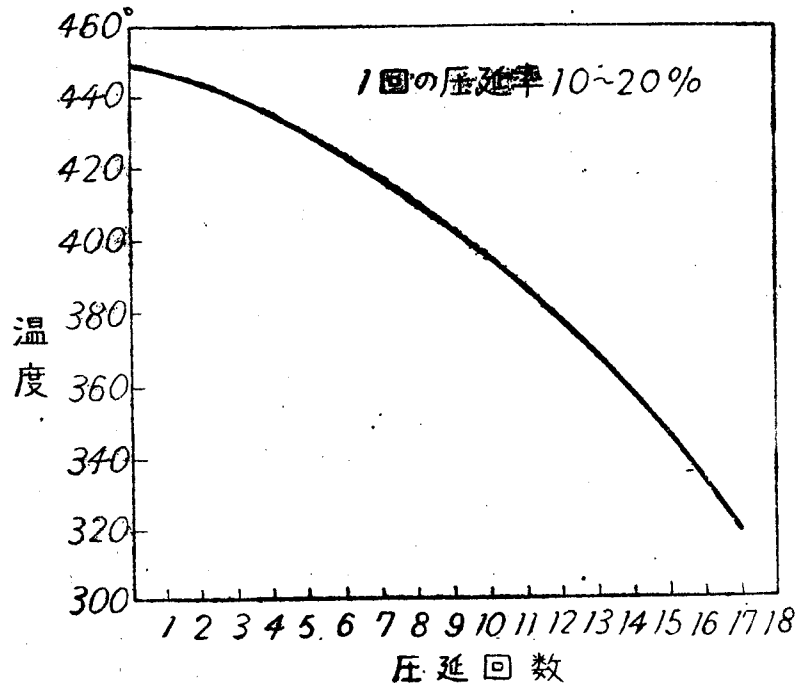
第 27 圖 鑄塊の中心部と表面との温度差

第五章 デュラルミンの壓延

(1) 熱間壓延

同じ輕合金であつても比較的壓延の容易なものと壓延の困難なものがある。後者に屬するものゝ一つはデュラルミンで、壓延に際して特別の注意が要求される。従つて壓延法としては鑄塊→加熱→熱間壓延→中間加熱→冷間壓延の順に進むのが普通の工程である。熱間壓延は金屬の高溫に於ける降伏點の低下に依る加工性の増大と加工硬化しない點を利用したものである。さらに有利な點は結晶粒の微細化、組織の均一化、偏析の消失及び氣孔、收縮孔等の消失に依る比重の上昇等が擧げられる。翻つて熱間壓延性を害する因子は、第一に鑄塊の組織であつて、鑄塊の組織が不適當であれば、如何に優秀な壓延技術を以てしても充分な結果を擧げ得ない。第二は鑄造したまゝの鑄塊の組成は不均一で熱間壓延前に加熱して均一にすることは前述の通りであるが、著しい逆偏析を起した鑄塊は如何に長時間加熱しても均一化は殆んど困難で、かゝるものは表面が硬く割れ易く壓延に耐えない。

以上の如き缺點のない場合でも表面に全然割れを生じないとは云へないので、一旦割れが発生したら内力集中の理に依て割れ目は内部に進行するから割れは早期に除去することが肝要である。熱間壓延に依り鑄造組織が壓延組織に變化すれば、大きな壓延率を用ひて中央部迄充分に練り、この際の壓延率は10~20%で、壓延速度は0.8~1.2m/secと云はれてゐる。

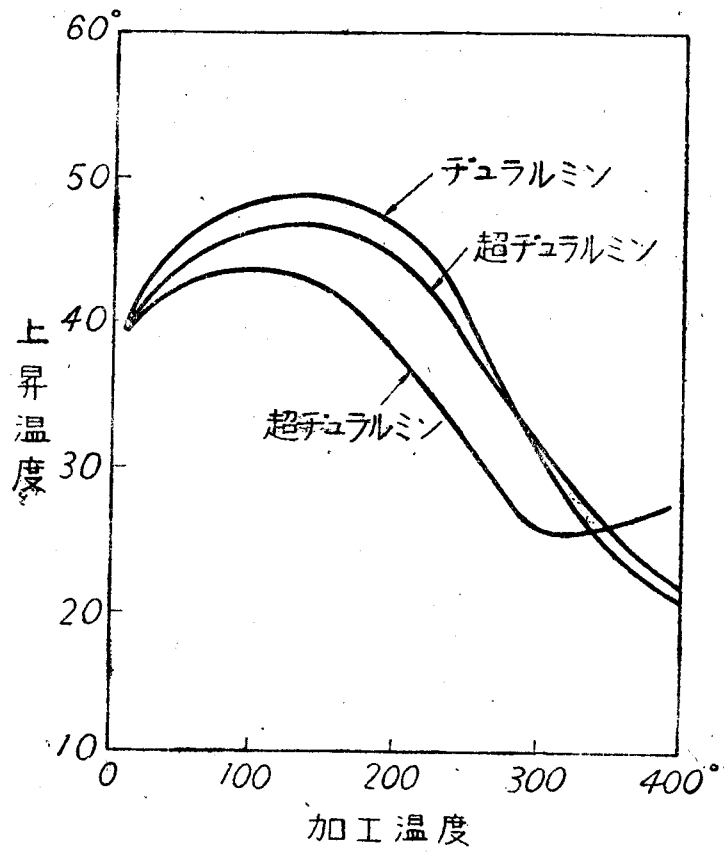


第 28 圖 鑄塊の温度降下と壓延回数との關係

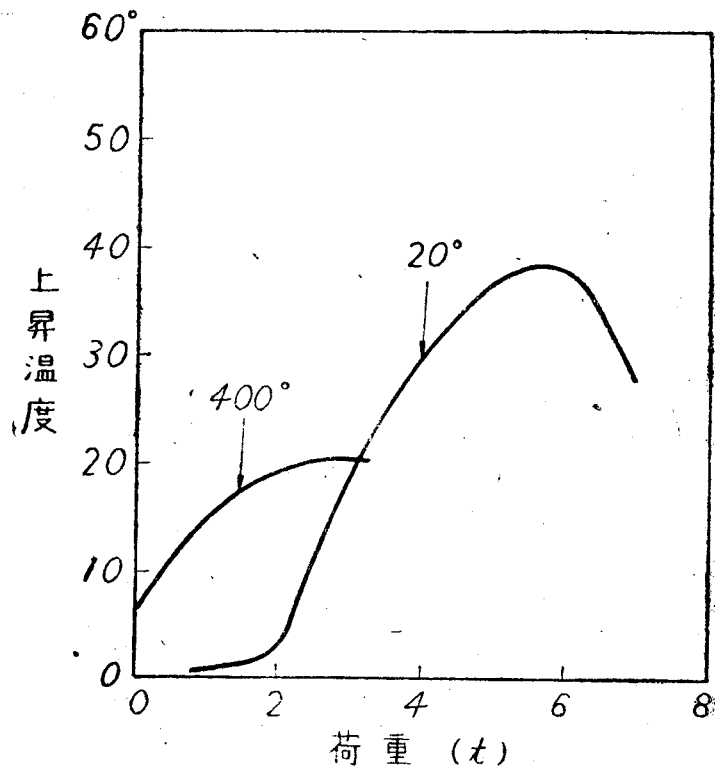
第 28 圖⁽¹⁵⁾は一回の壓延率を 10~20% とした場合の壓延回数と壓延材の温度の降下の傾向を示すもので、最初の鑄塊の温度 450° のものが 17 回のパスで 10mm 板になるまでに 300° になり、最低壓延温度を 360° とすれば、約 13 回のパス後に再加熱を必要とするわけである。

(2) 加工熱

チユラルミンが壓延される場合には著しい變形を起すのであるから熱を發生するものである。加工熱の發生に就ては五十嵐博士及び小玉氏⁽¹⁶⁾の研究がある。この場合は單にチユラルミンが壓縮變形をうけた場合の加工熱を測定したものであるが、加工に依る熱發生は比較的少ないことが判る。第 29 圖はチユラルミンを壓縮した場合の荷重の變化と加工熱の發生狀況を示すもので、熱は荷重の増加と共に増し、最高温度に達すれば、それ以上に荷重を増しても温度は降下する。400°で壓縮すると僅かな荷重で發熱



第 29 圖 加工温度と最高加工熱との関係



第 30 圖 壓縮に依るヂュラルミンの加工熱

を始め、最高温度も常温加工のものに比して遙かに低い。第 30 圖はデュラルミン及び超々デュラルミンの最高加工熱と加工温度との關係を示すもので常温加工では大差なく、何れも加工温度 100~150° に於て加工熱は最大となり、400° に到る迄急激に減少してゐる。200~300° の加工熱は超々デュラルミンが最小である結果が得られてゐる。

(3) 冷間壓延

熱間壓延に依て得られた荒引鋳は 330~370° で、6~8時間焼鈍後徐冷し表面を清淨にして冷間壓延を行ふ。冷間壓延の際は特に耳割れを生じ易いから、幅に充分の餘裕を持たせ、豫め仕上げ寸法を考慮する必要がある。1 mm のデュラルミン鋳を製造するには、7 mm の荒引鋳を中間焼鈍して約 30~50 回のパスで 2.5 mm の鋳にする。この間壓延方向は熱間壓延の方向と直角の方向に壓延するのが普通である。次に第 2 回の焼鈍を行ひ、熱間壓延の場合と同一方向に約 80~120 回のパスで 1.2 mm 鋳に壓延し、さらに平坦壓延機で約 40~60 回壓延して 1.02 mm 鋳になし、これを焼入後矯正して所定の 1 mm 鋳に仕上げる。

(4) 冷間壓延回数の影響

前述の如く數百回のパスに依て所定の厚さの鋳にするのであるが、多段壓延機に依る場合は壓延率が大きくなるから壓延回数を減少せしめることが出来る。

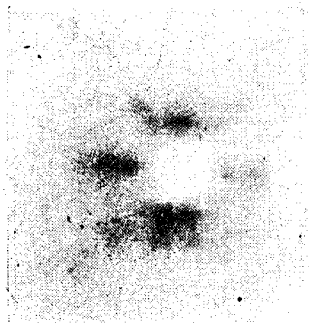
壓延率の相違は材質の塑性變形或は結晶粒の流れに差異を生ずるから、製品の性能も相違する筈であらう。大日方博士及び著者⁽¹⁸⁾は純アルミニウムに就て 1 回の壓延率に相違に基く壓延材の性能を比較試験したが著し

い相違は認められなかつた。その後著者⁽¹⁹⁾は再び同様な方法で、超デュラルミンに就て第6表に示す如き一回の壓延率を變化して鋳を製作し、壓

記 號	常 温 壓 延 方 法	壓延回数
1	0.5 mmづゝ 10 回で 1 mm	10
2	0.5mmづゝ 5 回, 第6回目より0.25mmづゝで1mm	15
3	0.25mm づゝ 20回で 1 mm	20
4	0.25mmづゝ 8 回, 第 9 回目より0.1mmづゝで1mm	38
5	0. mmづゝ 60回で 1 mm	60

第 6 表

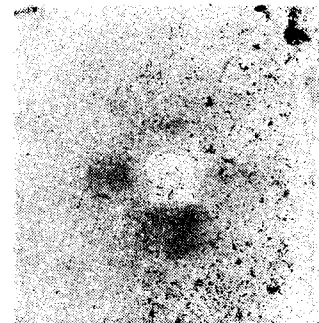
延方向に垂直にラウエ寫眞を採つて壓延回数の影響を調べたが、第 31 圖に示す如く纖維構造には何等の差異を認めなかつた。



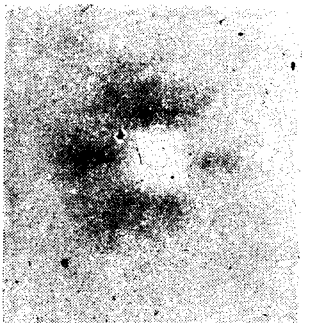
記 號 (1)



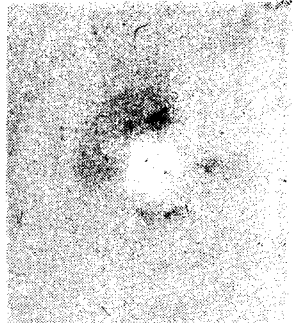
記 號 (2)



記 號 (3)



記 號 (4)



記 號 (5)

記號番號は第6表の記號を示す。

第 31 圖 壓延回数と纖維構造との關係

さらにかくして得た 1 mm 鋳を焼入して常温時効後抗張力, 降伏點及び

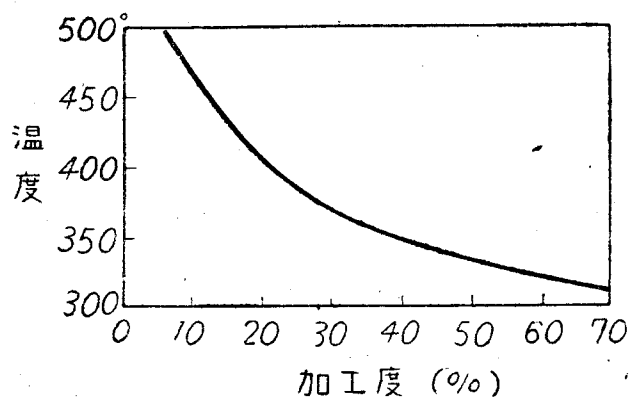
記 號	抗張力kg/mm ²	降伏點kg/mm ²	伸 %
1	41.2	25.0	21.9
2	42.5	25.3	20.0
3	42.0	26.5	21.1
4	42.0	25.6	22.1
5	41.7	24.7	20.4

第7表 超デュラルミンの機械的性質と壓延回数

伸を求めた結果は第7表の如くで著しい影響は認められない。これ等の諸點に就ては尙詳細な實驗を必要とするであらうが、本實驗では冷間壓延回數は仕上鋳の機械的性質に著しい影響を與へない様に推定出来る。

(5) 加工度と再結晶溫度

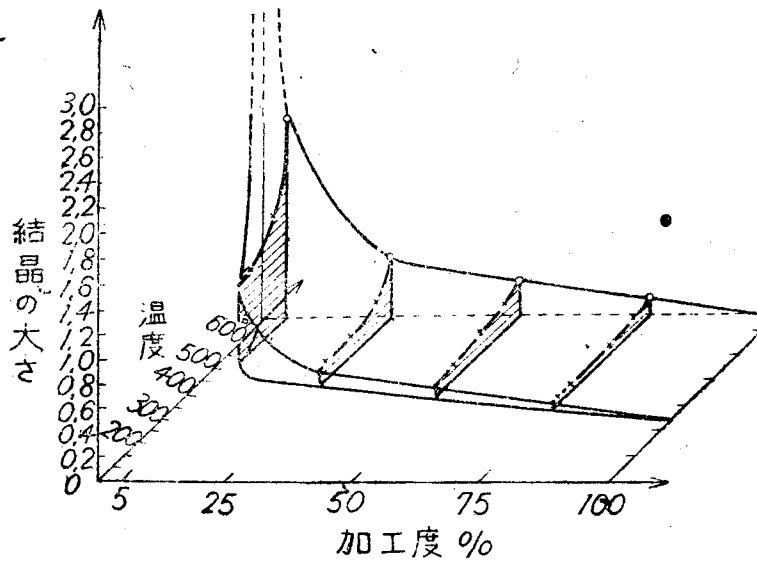
デュラルミンの加工度と再結晶溫度に就ては M. Hansen 及び G. Moritz 等の研究がある。第 32 圖はその結果で再結晶溫度は加工度に比例して低



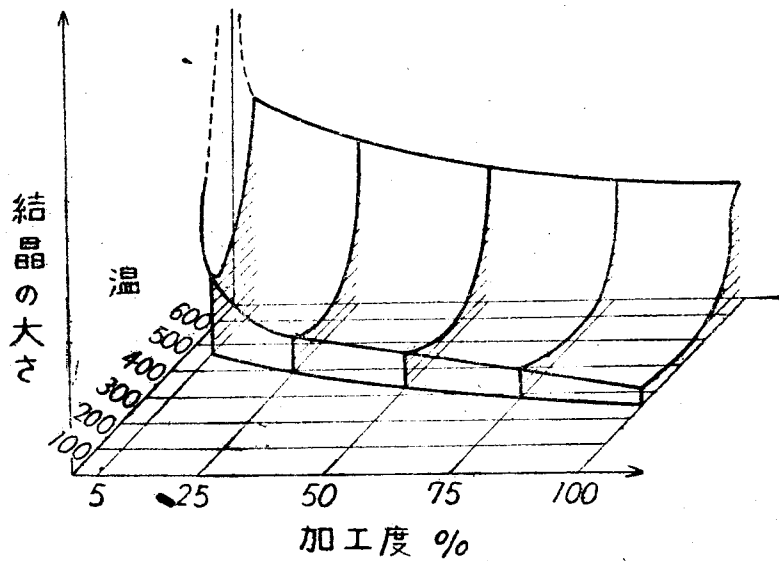
第 32 圖 デュラルミンの再結晶開始溫度

下する。加工度 40~60% 毎に中間加熱を行ふものとすれば、デュラルミンの再結晶溫度は 330° 附近である。従來の常識に依れば、再結晶開始溫度以上の可及的低溫に於て焼鈍する程、再生した結晶粒子は細くなるものと

考へられてゐた結果、デュラルミンの焼鈍は 360 附近に數時間加熱することになつてゐる。この考へ方は加熱時間のみを考へて、加熱速度を考へてゐない。加熱速度が再結晶開始温度に及ぼす影響に就ての研究は最近に至り旺んに検討される様になつた。V. Fuss⁽²¹⁾ が H. Röhrig⁽²²⁾ の結果を基礎として工業的純アルミニウムに對して急速に加熱した場合の再結晶圖は第 33 圖の如くで、これを E. Rassow 及び L. Velde²³ 等の得た第 34



第 33 圖



第 34 圖

圖の再結晶圖に比較すると明かに相違し、後者に於ては明かに結晶粒子の大きさに極小點が認められる。この極小點の存在に就て L. Graf⁽²⁴⁾ は加工再結晶生成、表面再結晶生成及び聚合再結晶生成の3つの因子を基礎として詳細な説明を與へてゐるが、要するに再結晶溫度が低い程結晶核數が少ないために、高い再結晶溫度のものよりも大なる結晶粒子となる。然しながら加熱速度が小さい場合には最後の溫度が高くとも、徐々に少數の核數の範圍を通るために大きい結晶粒子となり、加熱速度を考慮に入れない再結晶圖が得られる。

従つて加熱速度が大であれば、焼鈍溫度が高くとも再生する結晶粒子は微細となるわけであるから、再結晶溫度は可及的に高溫を選ぶ方が有利である。

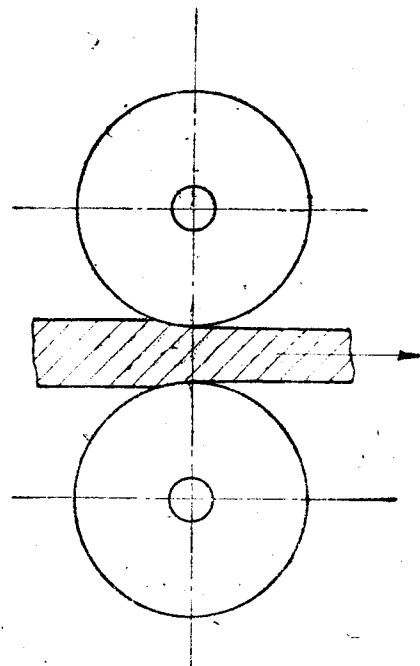
(6) 壓延機の種類

デュラルミンの壓延には一般に鋼及び眞鍮の壓延に使用すると同様な壓延機が使用

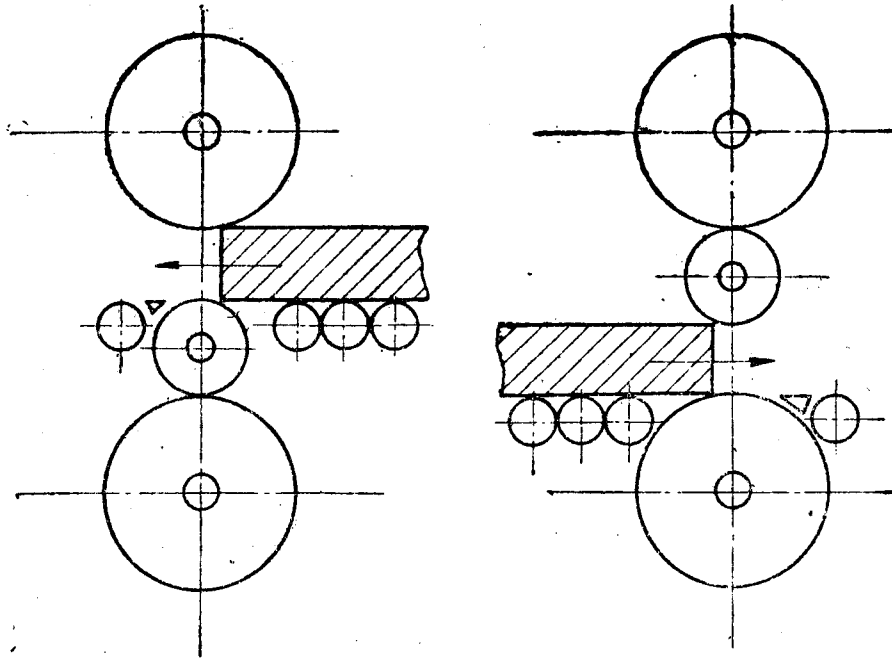
- される。大別すると次の四種類となる。
 - a. 二段ロール
 - b. 三段ロール
 - c. 四段ロール
 - d. 集團ロール

これ等各種ロールを圖示すれば第35～38圖の如くである。

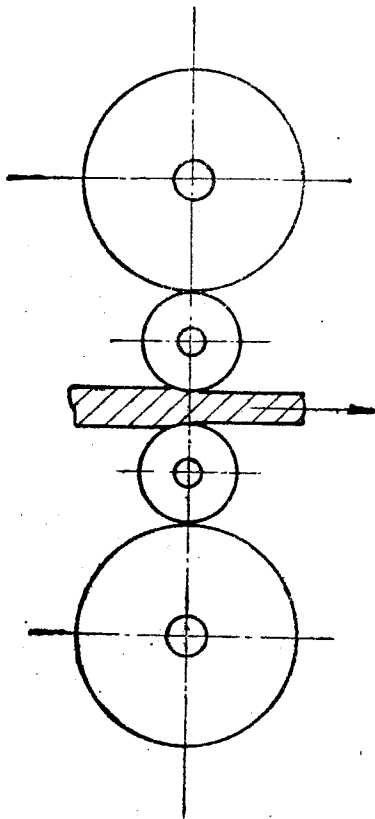
第35圖に示す如き二段ロールでは固定ロールと可動ロールとがあり、材料は二つ



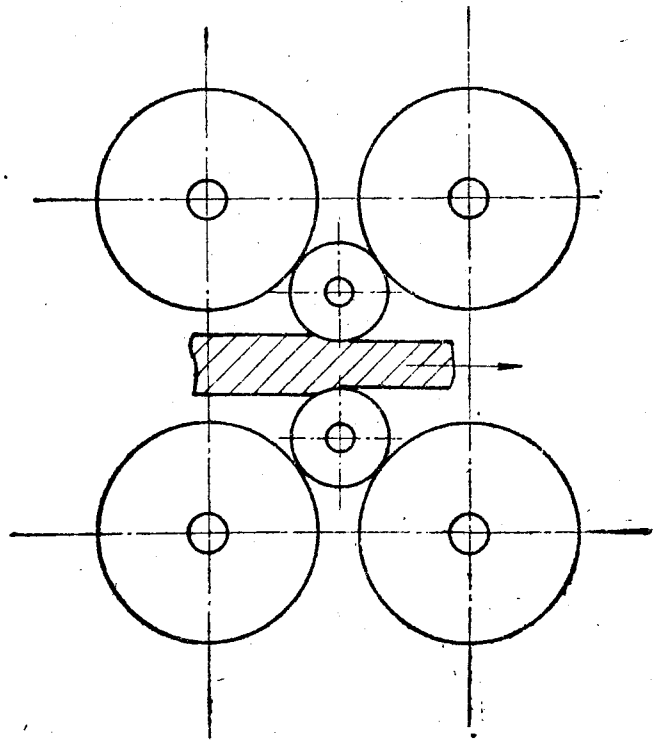
第35圖 二段ロール



第 36 圖 三 段 ロ ー ル

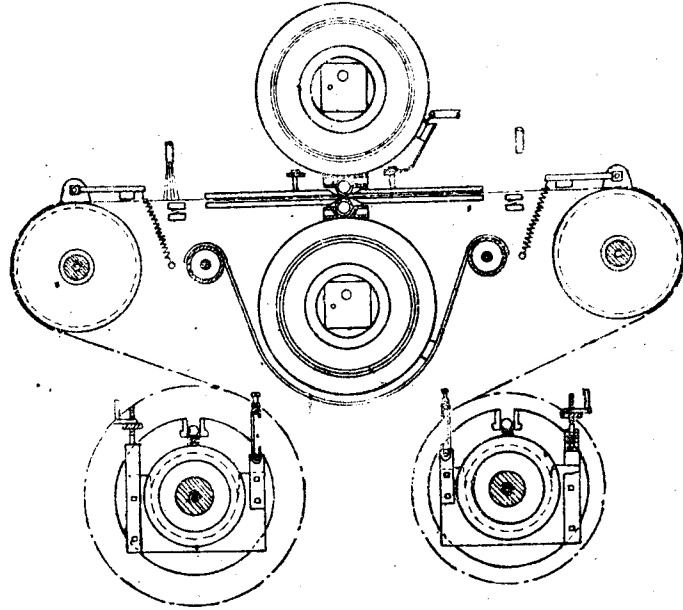


第 37 圖 四 段 ロ ー ル



第 38 圖 集 團 ロ ー ル

のロール間で潰されて次第に壓滅されて行く。操業に依てはロールの回轉方向は材料が1回パスする毎に變へられる様になつてゐる。方向を變へてからロール間を狭めて材料を通し、幾度も同様なことを繰返して行くわけである。然しながら逆轉ロールでない場合にはハズミ車を使用して瞬間的の荷重に耐える様にしてあつて、壓延材はロールを一回通す毎にロールの上部に載せてこの嚙せる側に返してやらなくてはならぬ。第 36 圖に示す三段ロールでは回轉方向は不變であるが、壓延材は下ロールと中ロールとの間で或る方向に壓延され、今度は上ロールと中ロールとで反對の方向に壓延される。三段ロールの利點は能率が良く而も動力が少なくてすむ點であるが、缺點としては調整が複雑困難で、一ヶ所を修理すると全部を直さねばならぬし、構造及び組立が複雑である。且つ製品の寸法精度が劣るから熱間壓延に適する。第 37 圖はロールを四段にしたもので、中央の加工用ロールの彎曲を上下のロールで保たんとするものである。加工用ロールの彎曲を多くのバツキングロールで支へることは結局ロールの數が増して軸承部分の摩擦に依る動力の損失が多くなる缺點がある。従つて前述の如く三段ロールは主として熱間壓延に、四段及び集團ロールは仕上げ或は冷間壓延用として使用される傾向がある。壓延機の改良に依てロール數が多くなり、軸承部分の摩擦が問題となつて來た。このために適當な減摩油及び軸承部分の給油法が考へられると共にローラーベアリングの使用が旺んになりつゝある。最近に於ては壓延ロール軸承部に合成樹脂軸受が使用され、從來の青銅軸受に比して摩擦係數及び摩耗の少い特徴が擧げられてゐる⁽²⁵⁾。以上の外に捲取壓延機がある。大體の構造は第 39 圖に示す如きものである。主要なる點は、加工用ロールには極度に小直徑のロールを用ひ、彎曲はバツキングロールに依て防ぐのであるが、加工用ロールを極



第 39 圖 捲取 壓延機

度に小さくしてあるために、従來の壓延機の如く加工用ロールを原動機に依り廻轉せしめたのではロールの直徑が小さいので外力に耐えなくなるから金屬板自身を巻き取り引き出すものである。又一回毎に廻轉方向を變へ一回の加工率が比較的小さくしてある。

(7) 壓延の理論

延壓の理論に就ては E. Siebel⁽²⁶⁾, M. Karman⁽²⁷⁾ 及び L. weiss⁽²⁸⁾ 等の研究があつて、これ等の結果を引用することにする。第 40 圖に於て水平方向の力の平衡から、

$$h dp = 2 \left(\mu q \cos \frac{dx}{\cos \alpha} - q \sin \alpha \frac{dx}{\cos \alpha} \right)$$

$$dp = \frac{2q}{h} (\mu - \tan \alpha) dx$$

q, h を近似的に一定とすれば $x=0, p=0$ であるから

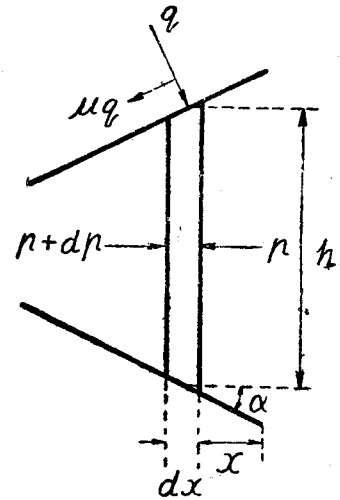
$$p = \int_0^x dp = \frac{2q_m}{h_m} \int_0^x (\mu - \tan \alpha) dx$$

μ に相當する靜止角を ρ とすれば

$$\mu = \tan \rho$$

$$\text{故に } p = \frac{2q_m}{h_m} \int_0^x (\tan \rho - \tan \alpha) dx$$

ロールの速さは一定であるが材料は次第に速く流れる。従つて途中でロールと同じ速さで流れる所があり、これを境としてロールより早く押出される部分とロールより遅く押出される部分に區別される。



第 40 圖

従つて前上りの部分では

$$dp = \frac{2q}{h} (\mu + \tan \alpha) dx$$

上の場合と同様に

$$p = \frac{2q_m}{h_m} \int_0^x (\tan \rho + \tan \alpha) dx$$

一般には

$$p = \frac{2q_m}{h_m} \int_0^x (\tan \rho \pm \tan \alpha) dx \dots\dots\dots (10)$$

但し $h_m : h$ の平均値

$q_m : q$ の平均値

従つて第 41 圖の如き作圖で流れる所が求められる。圖で黑色の部分の高さが $\int (\tan \rho + \tan \alpha) dx$ を示すことになる。

第 42 圖に於て

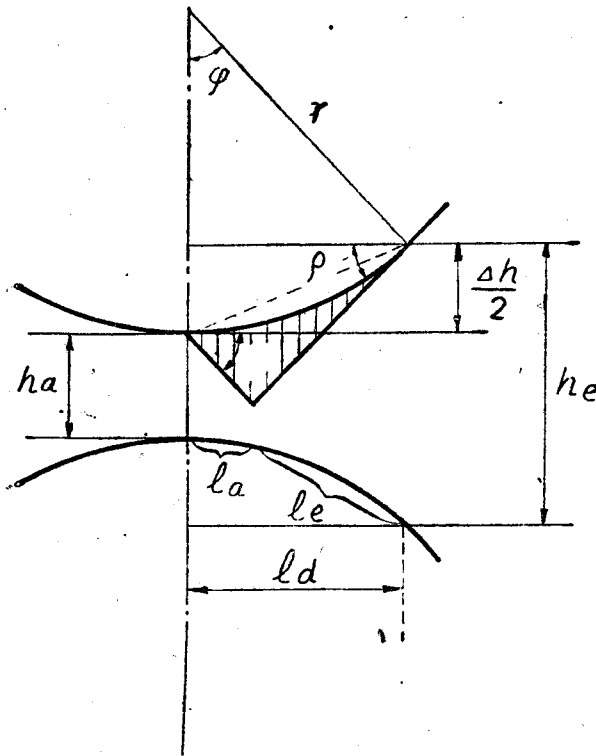
$$\frac{\frac{\Delta h}{2}}{1} = \frac{1}{\gamma}$$

$$l = \sqrt{\gamma \Delta h}$$

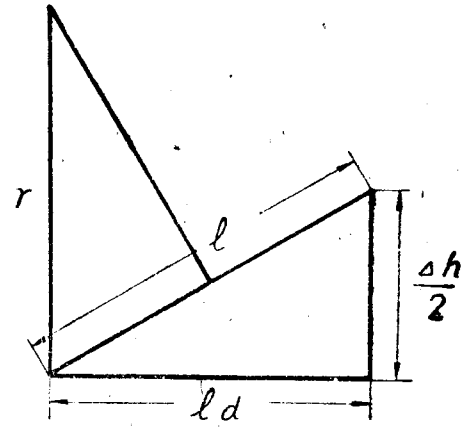
$$l_a = \sqrt{l^2 - \frac{\Delta h^2}{4}} = \sqrt{\gamma \Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}} = \sqrt{\gamma \Delta h} \dots\dots\dots (11)$$

第 43 圖から壓延される長さを求めると

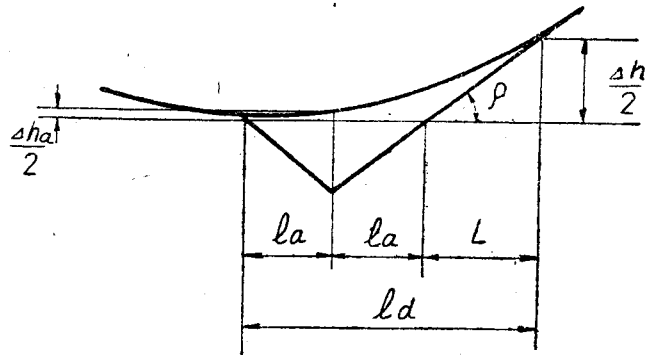
$$L \tan \rho = \frac{\Delta h}{2}$$



第 41 圖



第 42 圖



第 43 圖

$$l_a = \frac{l_a - L}{2} = \frac{l_a}{2} - \frac{\Delta h}{4\mu}$$

故に $l_a = \frac{\sqrt{r\Delta h}}{2} - \frac{\Delta h}{4\mu}$ (12)

μ が小さくなると l_a は次第に小さくなるから $l_a > 0$ であるためには、

$$\frac{r\Delta h}{4} > \frac{\Delta h^2}{16\mu^2}$$

故に $\mu > \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\Delta h}{r}}$ (13)

又 $l_a = \sqrt{\gamma \Delta h_a}$

故に $\Delta h_a = \frac{l_a^2}{\gamma}$

故に前上り v は次式の如くなる。

$$v = \frac{1-2\pi\gamma}{2\pi\gamma} \div \frac{\Delta h_a}{h_a} \times 100(\%) \dots\dots\dots(14)$$

この v は γ , h_a , h_e が一定であつても μ と共に變化することが判る。

鋳の壓延では鋳の幅は殆んど變らないから加工度を λ とすれば

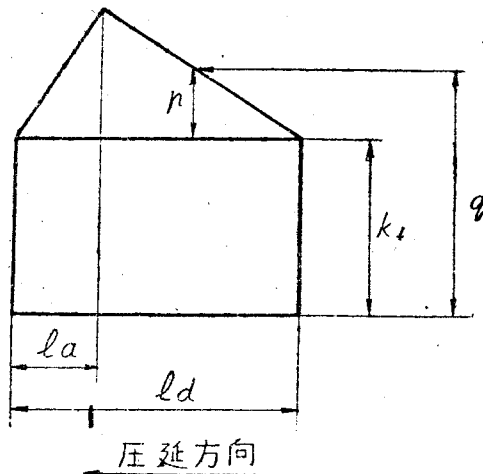
$$\lambda = \frac{h_e - h_a}{h_e} = \frac{\Delta h}{h_e}$$

これを書き直せば

$$\Delta h = \lambda h_e \dots\dots\dots(15)$$

$$1 - \frac{h_a}{h_e} = \lambda \quad h_a = (1-\lambda)h_e \dots\dots\dots(16)$$

壓延壓力及び必要な馬力を求めると次の如くなる。



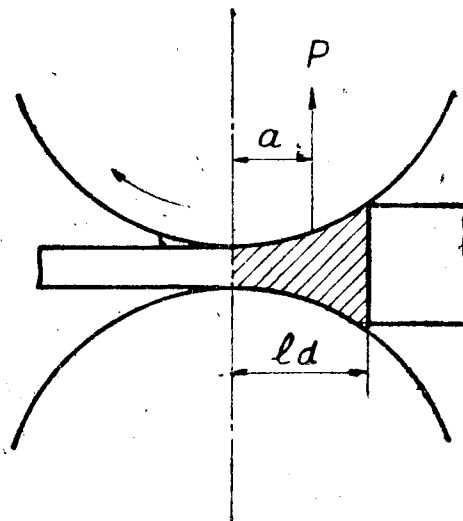
第 44 圖

第 44 圖に於て變形抵抗 k_f は近似的には $k_f = q - p$

正確には

$$k_f = \frac{q-p}{1.15}$$

従て $\left. \begin{array}{l} q = p + k_f \\ \text{或は } q = p + 1.15k_f \end{array} \right\} \dots\dots\dots(17)$



第 45 圖

従つて壓延壓力は次式の如くなる。

$$P = \int_0^{ld} q dx \dots \dots \dots (18)$$

第 45 圖に於て、ロールを廻すモーメント $M = 2Pa$

ロールを廻す仕事 $A = M\varphi = 2Pa \varphi = Pl d \varphi$

壓延された la は $la = r\varphi$

la を単位時間の長さとするれば次式 A は所要馬力を示すことになる。

$$A = Pl d \frac{la}{r} \dots \dots \dots (19)$$

ロール面に摩擦がなく一様に變形すれば

$$A_0 = 1.15 k_{fm} V/n \frac{h_0}{h_a} \dots \dots \dots (20)$$

実際には各部分の摩擦、減壓油の種類及び鉄の厚さ等が關係するから、

(20)式は次の如くなる。

$$A = k_{fm} V/n \frac{h_0}{h_a} \dots \dots \dots (21)$$

$$\text{但し } k_{fm} = \frac{P}{la \times \text{幅}} \dots \dots \dots (21)$$

壓延自身の能率は次式の如くなる。

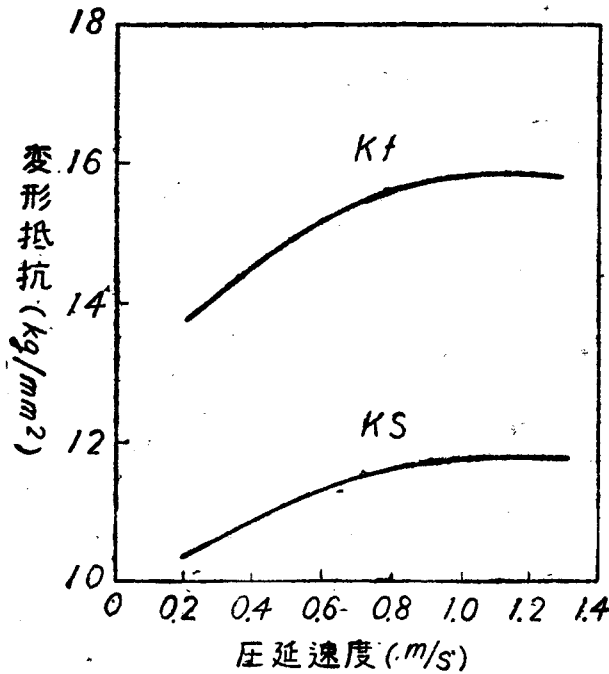
$$\eta = \frac{A_0}{A} = \frac{1.15 k_{fm}}{k_{wm}} \dots \dots \dots (22)$$

$k_w = q = h + 1.15k_f$ とすれば

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{p}{1.15k_f}} \dots\dots\dots (23)$$

(a) 壓延速度の影響

壓延速度が變形抵抗に及ぼす影響は壓延能率の増進の點から考へて大切な問題である。この問題に就ては O. Emicke 及び K. H. Lucas⁽²⁹⁾等の研究がある。Fink の式 $A = v k l n \frac{F_0}{F}$ を用ひて靜的には壓延より計算して變形抵抗 k_s 、動的には廻轉數及び廻轉能率等より算出して k_f を求めてゐる。デュラルミンを壓延速度 0.2~1.3m/sec. の範圍で k_f 及び k_s を求めた結果は第46圖の如くである。 k_f 及び k_s も壓延速度 0.8~1.0m/sec までは増加するが、それ以上に及ぶと増加しない。壓延速度の如何に係らず常に $k_f > k_s$ で、且つ壓延速度 1m/sec の頃より k_f 及び k_s はあまり増加しない事實から、壓延速度が大きくなつても變形抵抗は増加しないこ



第 46 圖 430°に於けるデュラルミンの變形抵抗(壓延速度0.2~1.3m/s)

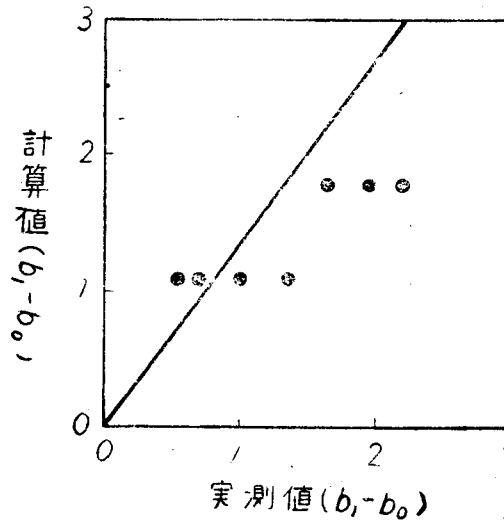
とが判る。従つて熱間壓延に於ては壓延速度を増大した方が良い。

(b) 幅の擴り

デュラルミンを熱間壓延した場合の素材の擴りに就ては H. Sedlaczek, M. Zapp 及び B. Stockbauer等⁽³⁰⁾の研究がある。鋼に對して Sedlaczek の與へた擴りの式は次の如くである。

$$b_1 - b_0 = c \frac{b_0 \sqrt{b_0 \frac{d}{2} (h_0 - h_1)}}{3(b_0^2 + h_0 h_1)} \dots\dots\dots(24)$$

この式で h_0 及び h_1 , b は夫々パスの前後に於ける素材の厚さ及び幅を示し, $\frac{d}{2}$ はロールの半径を示す。この式を基礎としてデュラルミン素材の擴りを熱間壓延に就て求めてゐる。この場合の熱間壓延温度 420° , 壓延速度 1.79m/sec. である。第 47 圖は Sedlaczek の與へた式から計算した素材の擴りと實測値との關係を示し, デュラルミンに對しては次式の如くになる。



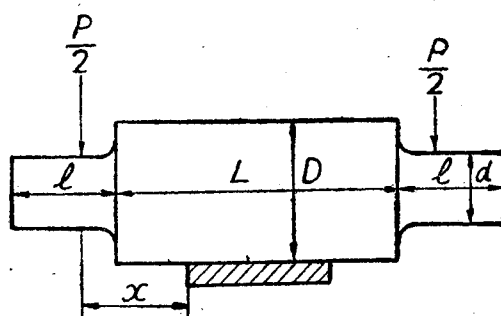
第 47 圖 デュラルミンの幅の擴りに對する計算値と實測値との關係

$$b_1 - b_0 = \frac{0.75 \sqrt{b_0 \frac{d}{2}} (h_0 - h_1)}{3(b_0 + h_0 \cdot h_1)} \dots \dots \dots (25)$$

著しい事實としては壓延率は同一であつても、第2回目のパスで著しく幅が大きくなる。これに相當する點は第47圖の黒點で示した所である。次に380~410°の溫度範圍に於ける素材の擴りに對する組成の影響を見るに、銅の含有量が多くなると壓延溫度の上昇と共に素材の擴りは減少し420~440°の範圍に最小點が認められるも、マグネシウムの多いものは上記の溫度範圍に於ける素材の擴りは増加する傾向を示してゐる。

(c) 一樣な厚さの鋳を得る條件

ロールは壓延作業中撓むから任意の部分の撓み量は第48圖に於て次式の如くである。



第 48 圖

$$\delta x = \frac{P(L+l)^3}{48E(0.0491D^4)} \cdot \left(\frac{3x}{L+l} - \frac{4x^3}{(L+l)^3} \right)$$

薄鋳ロールの場合、

$$d = 0.74D$$

$$l = 0.8d = 0.59D$$

$$L = 2.2D \text{ のとき } L+l = 2.79D,$$

$$E = 8,000 \text{ kg/mm}^2 \text{ (但し鑄鋳の彈性係數)}$$

$$D = 660 \text{ mm}$$

$f_e = 1,000 \times 1\text{mm}$ (但し壓延材の斷面積)

$\lambda = 10\%$

$\Delta h = 0.1\text{mm}$

(11) 式より $l_d = 8.1\text{mm}$

$L + l = 1,840\text{mm}$

$k_{fm} = 14\text{kg/mm}^2$ (但しアルミニウムの平均變形抵抗)

$\eta = 70\%$

(22) 式より $k_{wm} = 23\text{kg/mm}^2$ の値が得られる。

故に $P = 186,300\text{kg}$

従つて最大撓み量

$\delta_{max} = 0.33\text{mm}$ となる。

今 $x = 420\text{mm}$ として、この點に於ける撓み量を求むれば、

$\delta_{420} = 0.21\text{mm}$

最大撓み量と $x = 420\text{mm}$ の點の差は 0.12mm であつて、上下のロールが撓むから差は 0.24mm となる。

従つて鋳の厚さの不同は 0.24mm となり實際の場合の鋳の厚さの誤差範圍より大きい値を示してゐる。

次にロールに依る窪みを考へるに Mertz に依り次の如き式が與へられてゐる。

$$b = 4 \sqrt{\frac{P}{\pi} \frac{\frac{1}{E_1} \left(1 - \frac{1}{m_1^2}\right) + \frac{1}{E_2} \left(1 - \frac{1}{m_2^2}\right)}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}}} \dots\dots\dots (26)$$

但し P : 壓力

b : 接觸面の長さ

$\frac{1}{m_1}$ 及び $\frac{1}{m_2}$: 各材質のポイソン比 0.3 にとる。

E_1 及び E_2 : 各材質の弾性係數

接觸面上の内力分布は楕圓で

$$\sigma_{max} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{P}{b} \text{ となる。} \dots\dots\dots(27)$$

ロール壓延に依る場合の γ_2 は α であるから (26) 式は次の如くなる。

$$b = \sqrt{\frac{14.6F_f\gamma}{\pi} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right)} \dots\dots\dots(28)$$

従つて $P = \frac{b^2\pi}{14.6\gamma} \cdot \frac{1}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}}$

$$\sigma_{max} = 1.15K_f = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{P}{b} \dots\dots\dots(29)$$

故に $b = 1.2k_f\gamma \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) \dots\dots\dots(30)$

さらに次の如き條件を與へてアルミニウムに就て b を求めると、

$$\gamma = 330\text{mm}$$

$$k_f = 14\text{kg/mm}^2$$

$$E_1 = 8,000\text{kg/mm}^2 \text{ (鑄鐵の弾性係數)}$$

$$E_2 = 7,000\text{kg/mm}^2 \text{ (アルミニウムの弾性係數)}$$

$$b = 5.2\text{mm} \text{ となる。}$$

前述の如き關係を考慮に入れて均一な厚さの鋳を得る條件として次の如き諸點が擧げられる。

a) ロールが壓延作業中彎曲しても尙ロールの間隙を平行に保ち壓延された鋳の中央と外縁と厚さを均一にするためにはロールに反りを與へる。

b) 壓力を減らす。壓力を減らせば (21) 式から判る如く ld 及び k_{rem} も減少する。

c) b を小さくすること。

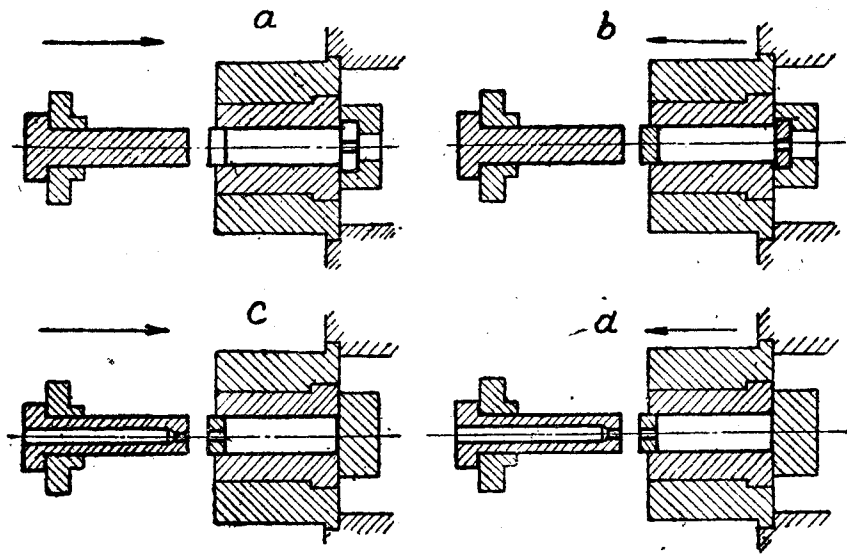
d) ロールの中央部に白絞油を塗布するか、ロールの表面を平滑に仕上げて摩擦を少なくする。

第六章 デュラルミンの押出

(1) 押 出

航空機の骨組となる各種デュラルミンの桁材には、種々の断面を有するデュラルミン棒材、或は型材が使用されてゐる。我國に於ては主として押出加工法に依て製造されてゐる様である。この押出加工法は高温鍛錬加工法の一つで、普通のロール或は鍛錬加工法に比して作業が簡単で最近非常に利用されて來た。押出機には水平型と垂直型の二つの型式があつて、主として水壓に依り 500~5,000t に及ぶも、大體の標準は 1,000t 以下の場合には垂直型に、それ以上のものに於ては水平型とする様である。第 49 圖(a) は直接押出法でダイスはラムと反對の位置にあつて押飯はダイスに向つて進む。第 49 圖 (b) は (a) の場合と逆で、コンテナーが移動してビレットを装入する方式のもので、押出機の長さが短くなる利點がある。第 49 圖 (c) は間接押出法でダイスは中空のラムの一端にあつて、コンテナーの他端は閉ぢられてゐる。ラムが中空になつてゐる關係上コンテナーの断面積の極く僅かな部分だけしかダイスの穴に利用出來ない。第 49 圖 (d) はコンテナーが移動する場合を示す。何れにせよ間接押出法では、あまりダイスの穴の方に面積をとりすぎると相手のラムの肉厚では押出に堪えぬ危険があるから、輕合金の押出には不適當とされてゐる。

以下簡単に直接押出法に就て説明を加えよう。何れの押出機に於ても一つのコンテナーを有し、その中に押出ビレットが入れてあるが、高温加

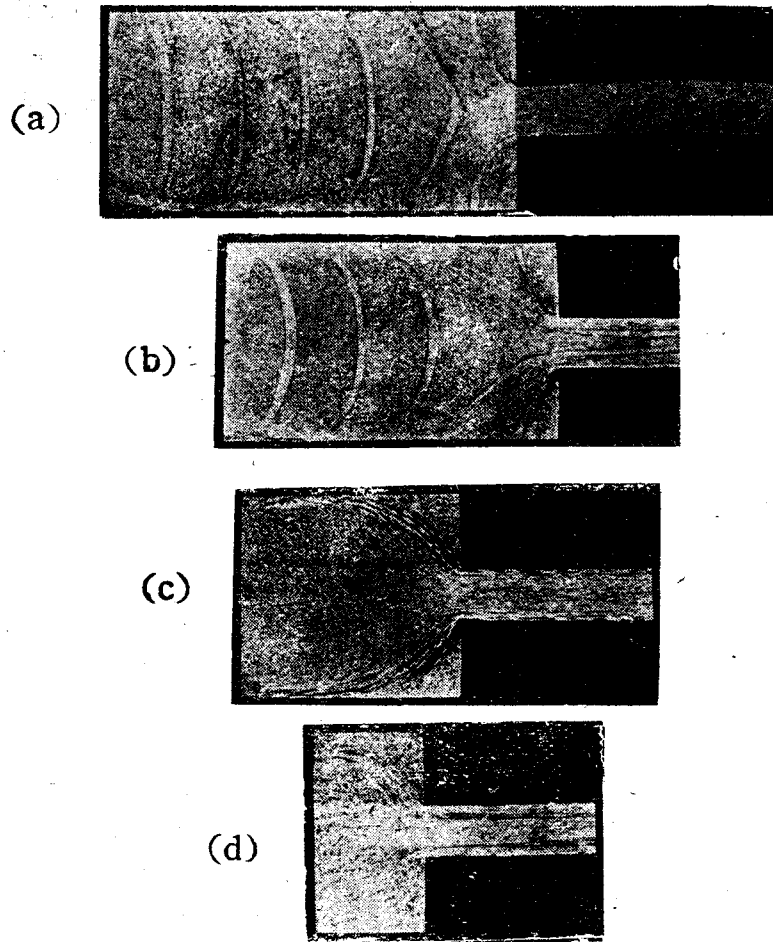


第49圖 押出方法

工であるからピレットがコンテナの中で冷えぬ様にコンテナは電気式加熱を行ふ。コンテナの一方にダイスがあり、他方には押出があつて、この押出はピレットの方に動く。ピレットは變形壓力をうけてダイスから押出される。押出用ラムは押出した後にコンテナ中を引戻す關係上コンテナ壁との間に數の間隙が置いてある。ピレットの形狀は丸棒或は角棒で直徑と長さとの關係は長さは直徑の約5倍で、直徑は10~400 mm 程度である。然しながら均一な材質を得ようとする場合、或は押出困難な材質のときはピレットの長さは短くする。要するに鑄造組織を充分に破壊して可及的に大きい押出率で押出し材質の性質を改善するのが主要な目的である。デュラルミンの押出溫度は $380\sim 460^{\circ}$ で、押出壓力 $85\sim 110 \text{ kg/mm}^2$ と云はれる。

(2) 押出に依る材料の流れ

材料に依て流れ方は一樣ではないが、理想的の場合には流體の流れに近いものである。即ちピレットとコンテナとの摩擦の少ない場合は流體



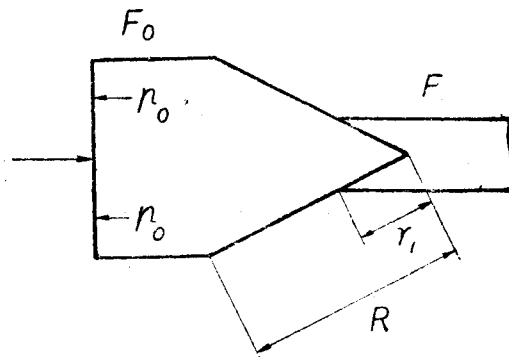
第 50 圖 ビレット内の金属の流れ

の流れと略々等しいものであると考へられてゐる。⁽³¹⁾ ビレット内の金属の流れの状況は第 50 圖⁽³²⁾ の如くで、記號 (a), (b), (c) 及び (d) はビレットの體積の $1/8$, $1/4$, $1/2$ 及び $3/4$ を押出したときのマクロ組織である。圖から流れの状況を見るに、ダイスの穴からそのまま押出された部分があつて、これに亘いで中心部がビレットの軸に沿つて進む。コンテナの壁に接する部分は流れが緩慢なるために中間部に結晶の流れが大きく、ダイスの手前で絞られる部分に近づくと共に流れは激しくなつてゐる。押残りが少なくなると共にコンテナの壁に接してゐた部分がブランチヤーの面を傳つて中心部に流れ込む。コンテナ内部での變形が中心部に於てはダイスの穴の附近までは殆んど認められず、中心部から離れた部

分に於て大きく、これが圓錐形をなしてダイスの穴に向つて進行するものであるから、押出棒の内部に於ての結晶の變形量は中心部で低く、外周部で高いことが判る。

(3) 押出の理論

圓錐形ダイスを考へると引抜の場合の理論と同様で、ただ境界條件が相違するのみである。問題を簡単にするために、摩擦のない場合の押出に要



第 51 圖

する力を求めよう。

引抜の場合の式から

$$2(p+q) = -\gamma \frac{dp}{dr} = 2K_f$$

$$-dp = 2K_f \frac{dr}{r}$$

$$-p = 2k_f \ln r + c$$

引抜と反對に出口では $r=r_1$ で $p=0$ となるから第 51 圖に於て、

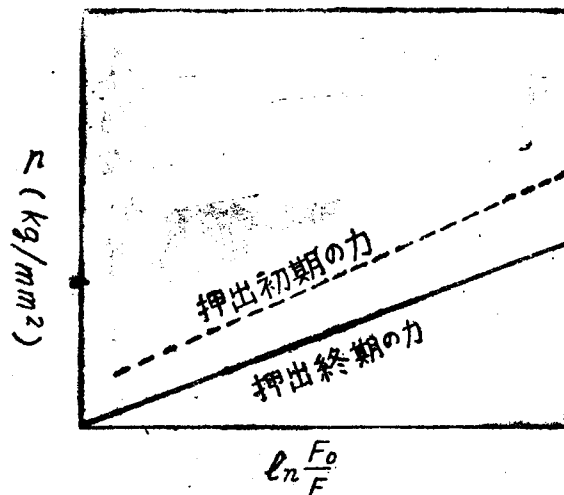
$$-p_0 = 2k_f \ln \frac{R}{r_1}$$

$$-p_0 = 2k_f \ln \frac{F_0}{F} \dots \dots \dots (31)$$

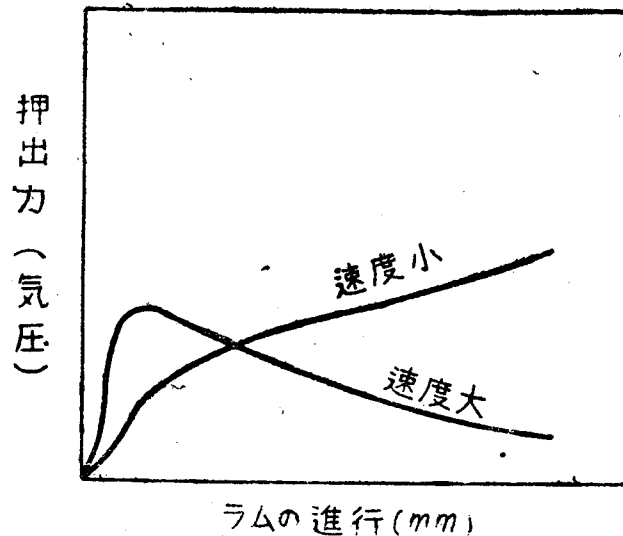
故に $P=F_0 \cdot p_0$ となる。.....(32)

従つてダイスの押出に要する力は $\frac{F_0}{F}$ に比例する。換言すれば、押出に要

する力は断面収縮が大きい程大となる。p と $\ln \frac{F_0}{F}$ との関係は第 52 圖の如くで、簡単な對數關係で現らはされる。摩擦と變形の不均一に依る最初の押出力は高いが、押出の終り頃には減少するものである。押出の全體に最も影響を與へるのは加工速度である。第 53 圖に於て最初の押出力は一般



第 52 圖 γ^2 と $\ln \frac{F_0}{F}$ との関係



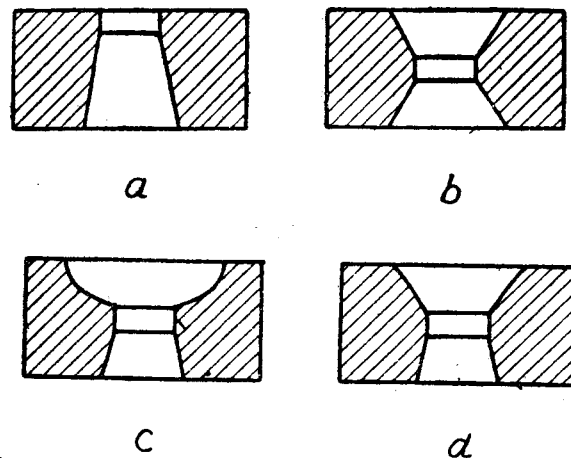
第 53 圖 押出力と加工速度との關係

に加工速度の速い程大となることが判る。又加工速度は加工温度に著しく影響され、加工温度が高くなるに従つて加工速度は増大し、押出力は逆に加工温度の上昇に従つて減少するものである。

Ch. Bernhoeft⁽³³⁾の研究に依ればアルミニウム及び軽合金の加工温度を次の如くに述べてゐる。アルミニウムの加工温度は 450~500°, この際の押出力は 30~40kg/mm², アルミニウム—銅—マグネシウム合金に於ては, 加工温度 380~460°, この際の押出力は 85~110kg/mm² とし, さらにアルミニウム—マグネシウム合金の場合の加工温度は 380~420°, 押出力は 120~150kg/mm² としてゐる。

(a) ダイス孔の幅及び形状

ダイスの幅 l は摩擦の少ないときには押出力に影響を與へないが, 摩擦の多い場合には壓出力に影響を與へる。この幅が長くなると摩擦が多くなり, 逆に短過ぎると寿命が短くなるので設計に注意を要する點である。第 54 圖に示す如き種々のダイスの形状に對する p_1 (始動直後に押込に作用す



第 54 圖 ダイスの形状の影響

る壓力) 及び p_0 (押出過程中に作用する壓力) との関係は第 8 表の如くである。使用した材料は鉛で, その他の條件は次の如くである。コンテナーの直径 22mm, ラムの行程 20 mm, 押出棒の直径 6 mm, ダイスの幅 1.2mm 及びラムの速さ 0.2mm/sec. である。この表からダイスの形状の p_1 及び p_0 に及ぼす影響は, p_1 より p_0 大きく影響を與へる。第 9 表は押出用

工具材を示す。

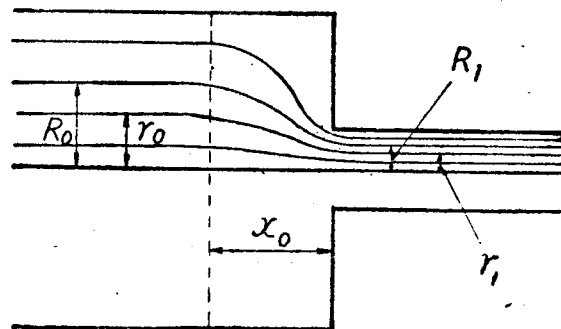
第8表 ダイスの形状の影響

ダイス	l_1 kg/mm ²	p_0 kg/mm ²
a	15.3	11.9
b	15.1	12.0
c	15.4	13.0
d	16.5	14.3

第9表 押出用工具材

部分品名	材質記号	組成 %					抗張力 kg/mm ²
		炭素	クロム	ニッケル	タングステン	モリブデン	
コンテナ	ニッケル, クロム鋼 クロム, タイグステン, モリブデン鋼	0.4	1.5		2.5	0.5	130 —
ラム	ニッケル, クロム鋼	0.3	1.5	4.0			140~150
押 飯	ニッケル, クロム鋼 クロム, タングステン 鋼	0.3	1.5	4.0			130
		0.3	3.0	2.0	8~10		140~150
ダイス	クロム, タングステン 鋼	0.3	3.0	2.0	8~10		110~170

(b) 変形速度



第 55 圖

第 55 圖に於てピレット内の中心線より任意の点線に至る距離を R_0, r_0

押出した後の距離を R_1, r_1 とすれば加工度は次式の如くなる。

$$q = \frac{R_0^2 - r_0^2 - (R_1^2 - r_1^2)}{R_0^2 - r_0^2} \dots\dots\dots(33)$$

一様に流れる理想的の場合の有効変形速度を φ とすれば、

$$\varphi = -\frac{1}{f} \frac{df}{dt}$$

$$q = \frac{F_0 - f}{F_0}$$

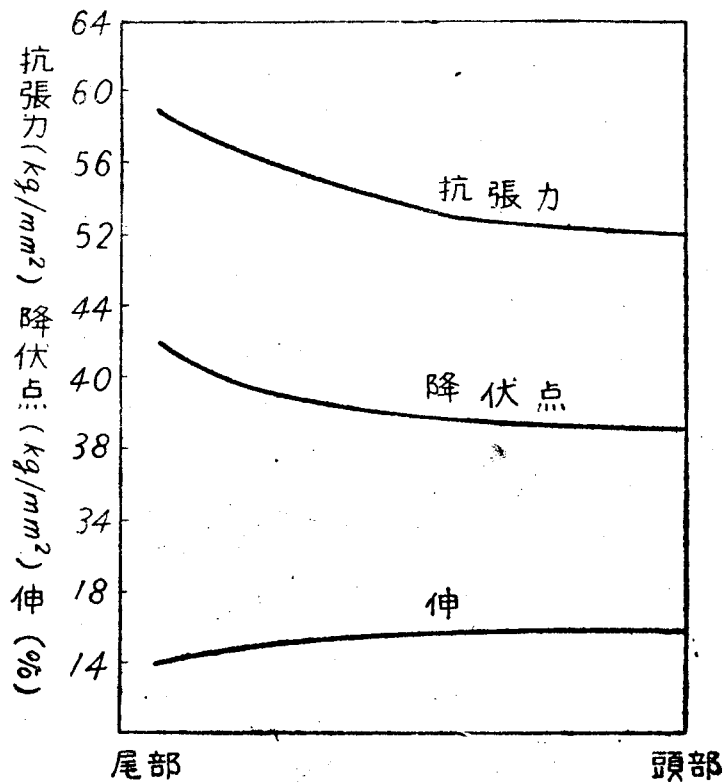
$$\frac{dq}{dt} = -\frac{1}{F_0} \cdot \frac{df}{dt}$$

$$\varphi = \frac{F_0}{f} \cdot \frac{dq}{dt} = \frac{1}{1-q} \cdot \frac{dq}{dt}$$

$$\varphi = \frac{1}{1-q} \cdot \frac{dq}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}$$

故に $\varphi = \frac{1}{1-q} \cdot \frac{dq}{dx} \cdot v \dots\dots\dots(34)$

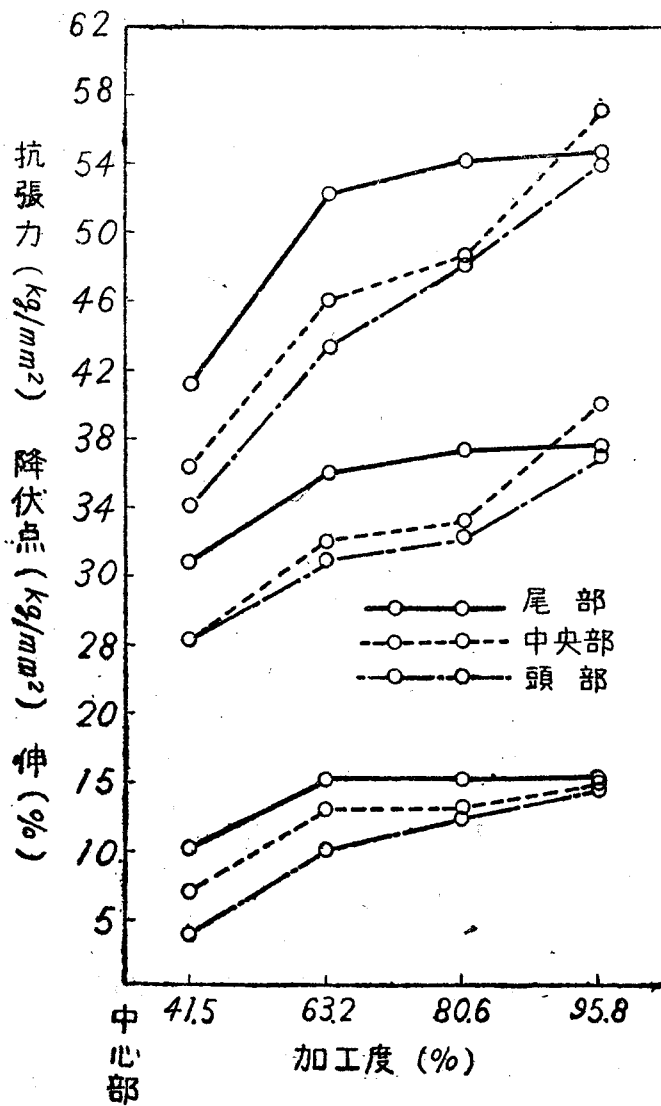
この有効変形速度の単位は %/sec. で現はす。



第 58 圖 超ヂュラルミン押出棒性能

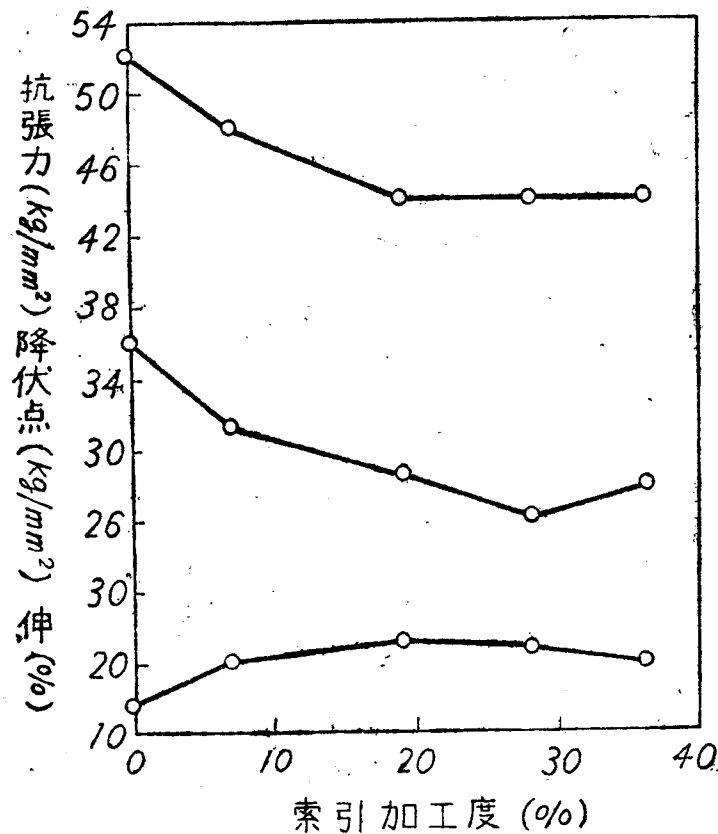
(4) 押出材の特性

押出棒は長さの方向及び半径の方向に於て機械的性質が變化してゐる。第 56 圖⁽³²⁾は超デュラルミン押出棒の尾部と頭部との機械的性質の變化を示すものである。抗張力及び降伏点は尾部に於て大で、抗張力は略々 60kg/mm^2 に達し、伸は 15% 前後である。かくの如き押出加工法に依る優秀な性能は壓延加工法では得られないものとされてゐる。超デュラルミ



第 57 圖 超デュラルミンの加工度と機械的性質

ン押出棒の中心部に於ける機械的性質を尾、中央及び頭部に就て加工度と関係せしめると第 57 圖に示す如くなる。加工度の影響は頭部より尾部に大きく、凡て加工度と共に抗張力、降伏点は上昇し、伸は加工度の小さい間は僅かに上昇し、その後は殆んど變化しない。前述の如く押出材特有の強力性は 80% 以上の加工度に於て認められる。第 58 圖は押出棒を



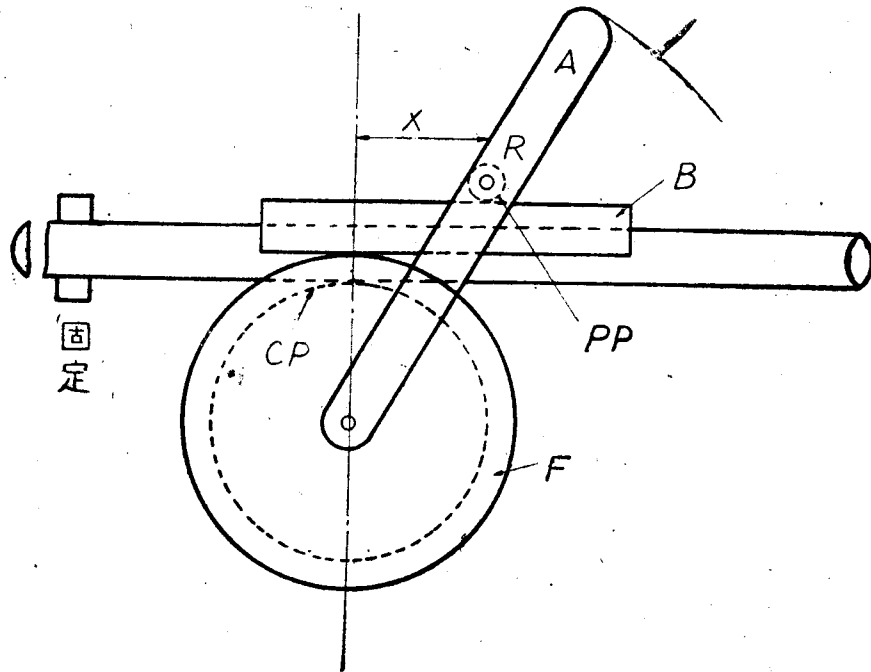
第 58 圖 超デュラルミン押出棒の軟化
後索伸加工と機械的性質

一旦焼鈍して索伸を行ひ熱処理したものに就ての結果である。押出に依て得た特有の強力性は消失して、通常の鍛造材の性能に落ちる。この傾向は壓延及び鍛造加工を行つても同様な傾向があると云はれてゐる。これ等押出材の特性は滿庵、或はクロームを含む輕合金にのみ認められ、これ等金屬元素量の増加と共に特性は強調されるが、その極限は合金の高温に於け

る溶解度限に止まるものとし、合金が加工組織を保持し且つ時効硬化するが如き適当な温度から焼入れした場合には、敢て満俺及びクロームの存在を必要としない結果を得てゐる。(34)

(5) 押出材の曲げ加工

棒、管及びプロフィール等は種々の形状に曲げて使用する場合が多く、殊に航空機及び自動車関係には非常に多く行はれてゐる。棒及びプロフィール等の曲げ加工は比較的容易であるが、管の曲げ加工に於ては管が歪んだり平くなつたり、或は破壊する恐れがある。これ等の危険を防ぐために管中に充填物を入れて曲げ加工を行ふことは良く知られてゐる。この充填物を適当に撰ばぬと管の化学的、或は機械的性質に悪影響を及ぼし、種々の故障の原因となる。薄肉管曲げ用充填物としては、低熔融點合金が用ひられ、この種の合金では水の沸騰點以下の温度で熔融し、曲げ様とする管に良く密着する。薄肉管を曲げ加工する場合には一端をゴム、木材、或はコルク等で密封し、管は沸騰水中で豫熱し、豫め沸騰水中で熔融してある充填物を流入すれば水は充填物と置換されて管を充填する。これを冷却後曲げ加工を行ふ。デュラルミンの管を小半径に曲げるときは一回で行ふよりも數回に分けて行ひ、曲げ加工終了後は管を沸騰水中に入れれば溶けて容易に除去され、これは繰返し使用が可能である。ロール、或は押出しに依る型材を曲げるには、鐵板で四角な箱を製作し、この中に型材を固定する。然る後に管の場合と同様に充填物を入れ冷却後これを取り出す。然るときは充填物の中に型材が埋め込まれた状態となるから、これをそのまま曲げ加工すると型材は擴がつたり、縮んだりすることなく曲げ得る。第 59 圖は充填物を充した管を曲げる場合の屈曲機の一例で、管は溝付車 F に固定し、曲げ壓



第 59 圖

力は F の中心に廻轉心を有するスウキングアーム A の上のローラに依り溝付承飯 B から傳へられる。若し壓力を受ける點 PP が管と溝付車との接觸點 CP から遠すぎるときは曲げられた部分の内壁は、その抵抗限界以上に壓縮をうけることとなり外側が歪められる。又 PP 點が CP に近過ぎると曲げ壓力は管を押へつける様になる。従つて歪や押へ込みのない完全な曲げ加工を行ふには PP と CX との距離 X を注意して調節せねばならぬ。この距離 X は通常管の直徑の 2/3 位であるが實際には管の材質にも關係するから經驗に依り定めなければならぬ。