

アルミニウム管の管端スピニング加工について

岡村 俊一・田中 秀穂

(受理 昭和45年5月31日)

ON THE TUBE END SPINNING OF ALUMINUM

Shunichi OKAMURA, Hideho TANAKA

Severe adhesion has been observed at the contact surface of the revolving die after the operation of the TUBE END SPINNING of Aluminum. And also, the surface of worked tube stock has been damaged, this means to decrease the ware worth.

In this paper, the experimental examinations on the SPINABILITIES of Aluminum have been carried out using turbin-oil as lubricant, and the results of this works make clear that working resistances show qualitative tendency for the variations of the feedings of tube stock (f_w mm/rev), the ratio of relief area (A_r %), and the tube thickness (t_0 mm), and are equal to about 1/10 of that for the unlubricated TUBE END SPINNING of Copper.

1. はじめに

筆者らは、さきに¹⁾、銅管の管端スピニング加工について報告したが、本報ではアルミニウム管の管端スピニング加工について行つた 2, 3 の実験結果について報告する。

一般に、アルミニウムは、機械加工においては加工抵抗が小さくその加工性はよいといわれているが製品の仕上表面性状を重視する場合は、あながち加工性がよいとはいえない。特に、局部的に高温、高圧を受けよう加工法、たとえば切削加工、研削加工などにおいてよくみられる。工具への溶着のための仕上面の劣化などしばしば経験することであるが、管端スピニング加工においても同様に、その加工の本質が回転摩擦熱を利用するため、また、ダイス内壁面と試料の間で局部的に高圧をうけるために銅管加工の場合にくらべてダイス内壁面への溶着がはげしく、製品の加工部表面を極度に傷つけるので、銅管の加工のときのように無潤滑でも成形加工はできるにしても、製品価値をいちぢるしく劣化させる。そのためダイス内壁面の仕上程度をよくするとともに、潤滑油を使用しなければならない。

したがつて、本報では、潤滑剤を使用し、アルミニウム管を成形加工する場合の加工性、および加工抵抗、所要動力などについて検討する。すなわち、ダイス回転数 (N_D) 試料送り速度 (f_w) ダイスに設けるみぞ

面積比 (A_r) 管厚 (t_0) を変化させ実験を行つた結果について報告するものである。

2. 実験装置および実験方法

実験装置および実験方法はさきに¹⁾ 発表したものと大略同じであるので省略するが、実験は表1に示す、アルミニウム管を表2の加工条件を種々組合せて行い潤滑油は、モービル油、タービン油、グリース、ラードの4種を用いグリース、ラードは、直接、ダイス内壁と試料管の外表面に塗布し、タービン油、モービ

表1 加工条件

ダイス回転数 N_D (rpm)	480, 760, 1220
試料送り f_w (mm/rev)	0.1, 0.23, 0.5
ダイス頂角 $2\alpha^\circ$	30, 45, 60
みぞ面積比 A_r (%)	25, 50, 75
ダイス材質	SKD4

表2 使用アルミニウム管

材質	AITW 3-0, Al: 99.5% 以上, 溶接管
管径 mm × 管長 mm	19.05 ϕ × 約 50
管厚 mm	0.8, 1.0, 1.2
硬度 H_v	約 60

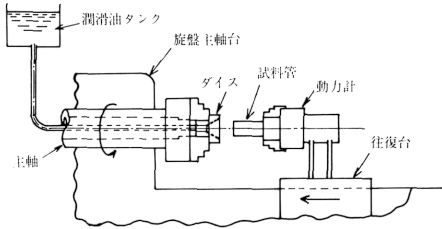


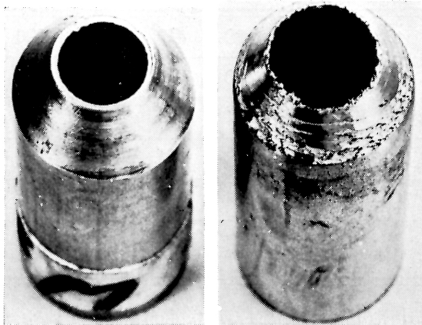
図1 加工装置略図

ル油は、図1に示す方法で旋盤の主軸台後方より主軸穴にビニールパイプを通してダイス内壁全面に潤滑させる方法をとった。

3. 実験結果および考察

3-1. 潤滑剤の効用

アルミニウム管を管端スピニング加工するとき、潤滑剤なしでは加工部表面が傷つけられ製品価値を劣化することは、1でのべたがこの例を図2に示す。この図でわかるように無潤滑加工における加工部表面にはいちじるしいむしれがみられるが、このむしれ現象は、詳細に観察すると、本加工の本質上生ずる高温、局部的高圧下での機械的摩擦による物理的現象（摩擦きず）とは考えがたく、アルミニウムは銅にくらべ融点が低く、熱伝導性にも劣るため加工中の試料表面は直ちに融点付近まで上昇しやすくなり塑性流動が助長されるための溶着による離摩耗というべきで、これは、ダイス材と、アルミニウム管材との親和性が問題になるような、化学的意味での溶着がおり、しかるのち物理的にその溶着物が加工部表面より持ちさら



(a) (b)

図2 加工部表面の比較
(a) タービン油で潤滑
(b) 無潤滑

れたと考えた方が妥当である。そのために潤滑剤を使用することは、機械的意味において接触面を疎隔させるのみでなく、表面のエネルギーレベルを下げて²⁾溶着をふせぐことになる。

表3 潤滑剤による製品の良否

$D_0=19.05 \phi$ $N_D=760 \text{ rpm}$
 $A_r=50 \%$ $2\alpha=60^\circ$

潤滑油	$\frac{V_{\text{潤滑油}}}{L_0}$ mm	$\frac{V_{\text{潤滑油}}}{L_0}$ mm		
		0.1	0.23	0.5
モービル油 #30	0.8	□	△	○
	1.0	◎	○	○
	1.2	◎	○	○
タービン油 #140	0.8	◎	◎	◎
	1.0	◎	◎	◎
	1.2	◎	◎	◎
ラード	0.8	□	□	○
	1.0	○	□	□
	1.2	□	□	○
グリース (A1ファイバーグリース)	0.8	□	◎	◎
	1.0	◎	◎	◎
	1.2	◎	◎	□

◎ 加工表面、形状ともに良好
□ 正しい円錐状とならず多角形に絞られる。
○ 製品としては使えるがバリ多し
△ 溶接部にき裂

表3は、使用した潤滑剤の種類による製品の良否を示すもので、ラード、グリースを塗布したときは、加工中の加工表面における潤滑剤の均一分布がなされないためか、円周方向の応力の不釣合による正しい形状の円錐状に絞られず多角形状に絞られる現象がよくみられ製品としては、不適な場合が多い。モービル油においても加工条件によつて加工部後端部にバリが発生することがありタービン油が全加工条件にわたつて最も良好な加工面が得られた。図3に各潤滑剤による加工抵抗の変化を示すがトルク (P_0)、スラスト (P_2) ともに潤滑剤の種類による明確な差異は認めがたく、したがつて、最も加工表面の性状の安定した製品の得られる、タービン油を図1に示す方法で 300 cc/min の割合で潤滑し、実験を行った。

3-2. 加工抵抗

図4に、各種加工条件の下でのトルク (P_0)、スラスト (P_2) の変化の代表例を示す、これは、絞り比 $K=0.6$ のときにおけるものであり、絞り比 $K=0.5$

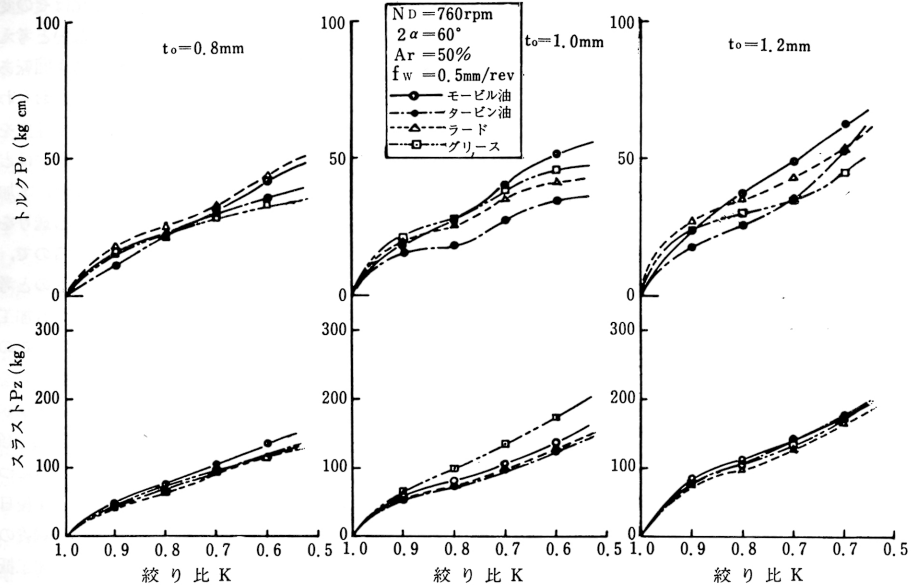


図 3 潤滑剤と加工抵抗の関係

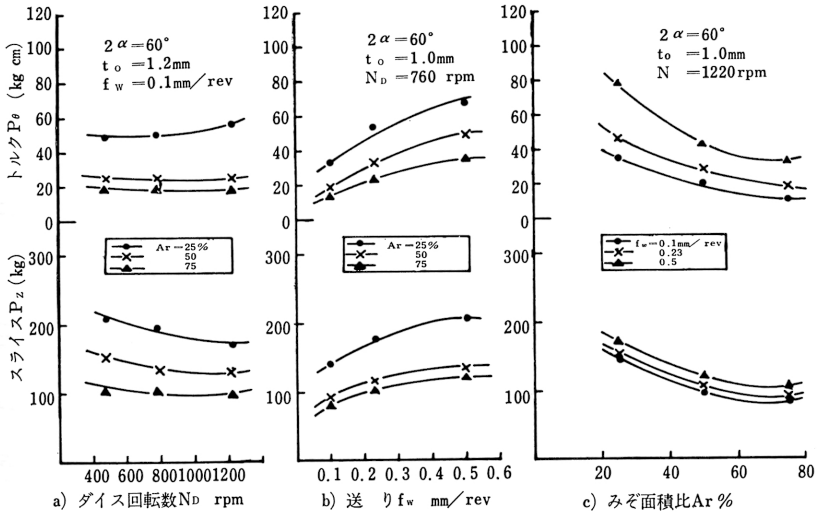


図 4 加工条件と加工抵抗

まで絞ることを目的としているが、加工終点を正確に一致することはむずかしい、したがって、絞り比 $K=0.5$ における設定加工距離を 100% とした場合、その約 80% 点に相当する絞り $K=0.6$ のときの加工抵抗を採用したものである。

3-2-1. ガイス回転数 (N_D) の影響

アルミニウム管の加工においては、溶着を抑止するために、回転摩擦熱の発生をある程度抑える意味においても、また、潤滑剤を使用するため、加工中の加工部表面への潤滑剤の均一な分布を期するためにも、ダ

イス回転数 (N_D) を銅管加工の場合にくらべてさげやられなければならない。そのため、本実験では、ダイス回転数を銅管加工の場合の約 1/3 におとして加工を行った。

ダイス回転数 (N_D) の変化の影響については、銅管加工の場合のようにダイス回転数 (N_D) の増加につれて減少の傾向をはつきり示さずダイス回転数 (N_D) の増加につれ減少したり、あるいは、増加したりまたはほとんど不変であったり一定した定性的傾向はうかがえないが (図 4 a にはダイス回転数の増加につれ減少する例を示してある。) これは、加工に潤滑油を使用したためと、ダイス回転数 (N_D) が低い範囲での変化であったため、ダイス回転数 (N_D) 増加による摩擦温度上昇による試料軟化の現象が銅管加工の場合のように顕著でなかったと考えることができる。したがって、試料の送り (f_w) の大きい加工条件では、さらに温度の影響が少なくなるためかえてダイスの回転数の増加にともなつてトルクが増加するような、銅管加工の場合と逆な現象もみられた。

3-2-2. 試料の送り (f_w) の影響

管端スピニング加工において、送り (f_w) の増大につれてトルク、スラストが増加することは、銅管加工の場合、ダイス 1 回転あたりの加工量増加と加工温度の低下による変形抵抗の増加によるものと考えたが、アルミニウム管の加工の場合には、潤滑油を使用してい

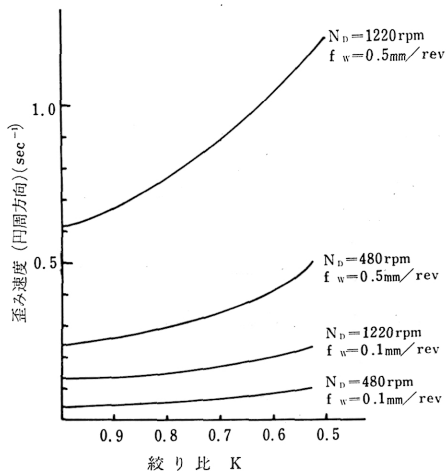


図5 加工中の歪み速度の変化
($2\alpha=60^\circ$ $D_0=19.05\phi$)

るため、送り (f_w) の変化による温度変化はその変形抵抗に影響を与えるほど大きいものではないと考えられ、そのために、送り量増加によるダイス 1 回転あたりの加工量増加が大きい影響をあたえたとおもわれる。図 5 に示すところの試料の円周方向の歪速度を計算した結果でわかるように送り (f_w) の大きいほど歪速度が大となるための影響と考えられ、また、本加工においては試料の送りに旋盤の往復台のねじ送りを利用したいわゆる定速送り (mm/rev) であるので、送り (f_w) の増加につれ比例的に増加すべきものと考えられるが、実際には、送り (f_w) の増加につれ加工抵抗の増加割合は減少し心ずしも比例的でない。この現象は、葉山、室田ら^{3),4)}の実験結果と同じ傾向を示し、アルミニウム管における本加工法の変形機構が、一般の絞りスピニング、しごきスピニング加工と類似していると考えられるところであるが、これらについては詳細な変形機構の検討を行なわねばならず後日にゆずりたい。図 6 は、同一加工条件の下での銅管の無潤滑加工時とアルミニウム管の加工の場合の加工抵抗の比較を示すが、アルミニウム管の加工抵抗は、銅管加工時の 1/10 である。

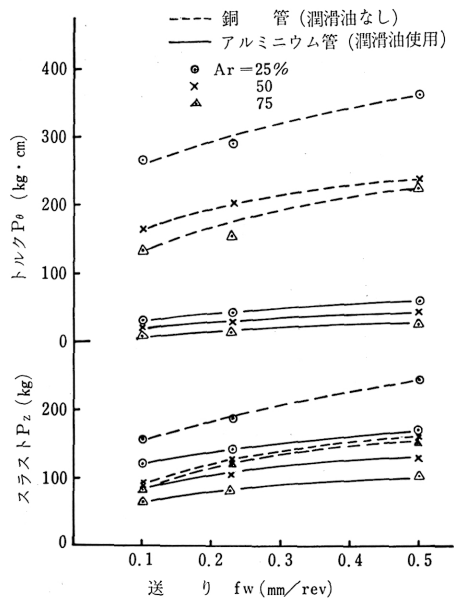


図6 銅管とアルミニウム管の加工抵抗の比較
($2\alpha=60^\circ$ $N_D=1220\text{rpm}$)
($t_c=0.8\text{mm}$)

3-2-3. ダイスに設けるみぞ面積比 (A_r) の影響

ダイスに設けるみぞは、本来は管端スピニング加工における加工の特質が試料とダイスの回転摩擦熱を利用し、試料の軟化を目的とするため、冷間加工から熱間加工に移行する本加工現象において、ダイスと試料の焼き防止のため heat relief を目的としてつけられたものであり、また、このみぞのために試料はみぞ内でくりかえし変位をうけながら加工されることを確認している。⁹⁾同一加工条件の下では加工抵抗はこのみぞの面積比 (A_r) の増加によつて減少し、また、加工性に大きな影響をあたえる。

本実験においては、潤滑油の使用と銅管加工の場合より回転数をおとしているため、焼き防止の目的は論外としても、やはり、銅管加工の場合と同様みぞ面積比 (A_r) の増大につれ加工抵抗は減少している。したがつて、加工動力においてはみぞ面積比 (A_r) を大きくすることは有利なわけであるがあまりみぞ面積比 (A_r) を大きくすることは、ダイス試料間の面圧 (P_n) を増大させる結果となり (図7)、試料の破壊にもつながり、そのため、このみぞ面積比 (A_r) の選定には充分注意すべきである。アルミニウム管加工の場合は大体 50% 程度までがよく、これは図7でもわかるように、面圧 (P_n) は、50% まではほとんど変わらず 75% になると急に増加している。このみぞ面積比 (A_r) の増加にともなう加工抵抗の減少は、面圧 (P_n) 増加にともなう摩擦係数の減少と、外部への検出トルクに

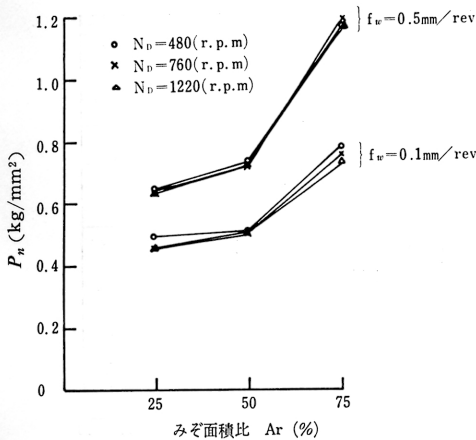


図7 みぞ面積比 (A_r) の変化と面圧 (P_n) の関係

$t_0=0.8\text{ mm}$ $2\alpha=60^\circ$ $D_0=19.05\phi$

含まれる摩擦抵抗は接触面積に比例すると考えれば、その接触面積に反比例して減少するものと考えられる。ところが、この加工抵抗の減少の様子は、必ずしも直線的減少でなく、みぞ面積比 A_r の増加につれその減少割合は小さくなり $A_r=75\%$ 以上になるとむしろ逆に加工抵抗は増加してくる傾向を示すようになる。

このことは、面圧 (P_n) 増加による流体摩擦から固体摩擦への移行が局部的に起こり、摩擦係数の増加をきたすためと考えられると同時に、みぞ内での試料のくりかえしたわみに起因するみぞ端部での回転方向のしごき (ここでいうしごきとは、試料の回転方向の肉厚減少はないので、厳密な意味でのしごきではない。) 現象が大きくなるため、その円周方向成分がトルクとなつて外部へ検出されるためと考えられる。アルミニウム管加工の場合は、加工抵抗よりむしろ加工表面の性状を重視することにより、みぞ面積比は $A_r=25\% \sim 50\%$ 程度がよい結果が得られる。

3-2-4. 肉厚 (t_0) およびダイス頂角 (2α) の影響

図8は、肉厚 (t_0) の変化による加工抵抗の変化を示すが肉厚 (t_0) の増加とともに加工抵抗は増加するがその増加割合は、肉厚 (t_0) の増加とともに大きくなることを示している。

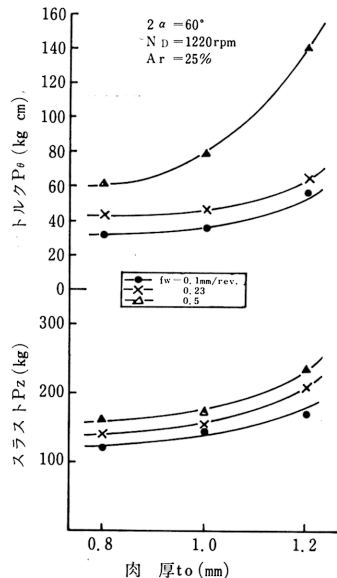


図8 肉厚 t_0 と加工抵抗との関係

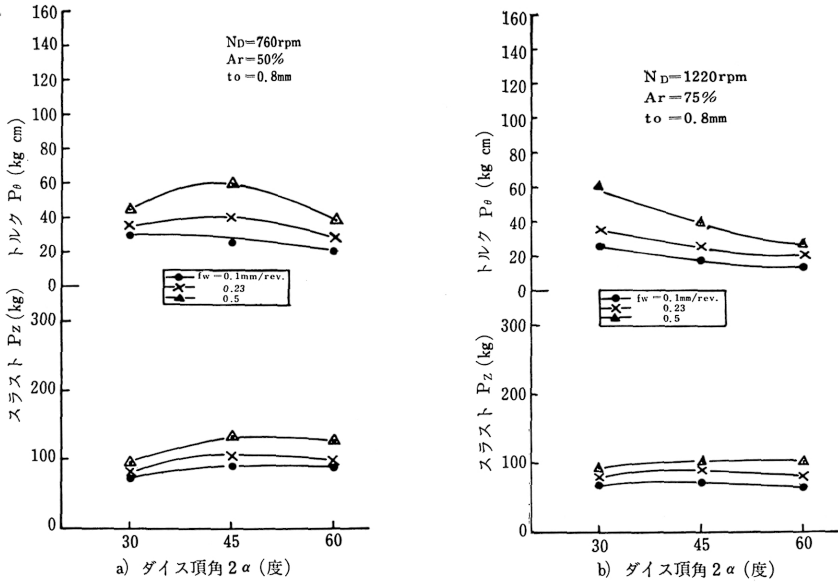


図9 ダイス頂角と加工抵抗

つぎにダイス頂角の影響については、ダイス頂角が小さくなると同じ送り比をうるに加工距離がながくなるため、 $2\alpha=30^\circ$ のときは潤滑油の均一な分布が困難となるためか、ダイス頂角 $2\alpha=45^\circ, 60^\circ$ の場合に比べて加工部表面がわるくなり製品価値が劣るが加工抵抗だけの比較をすれば、図9のように回転数によ

り2通りの結果を示すこととなり定性的な傾向はえられなかった。図9aの $2\alpha=30^\circ$ の場合トルクが小さくなっているのは、おそらく潤滑がうまく行なわれたためと考えられるが、図9bの場合は、ダイス頂角が大きくなるにつれトルクが小さくなっている、これは銅管加工の場合と定性的に同じ傾向を示している。

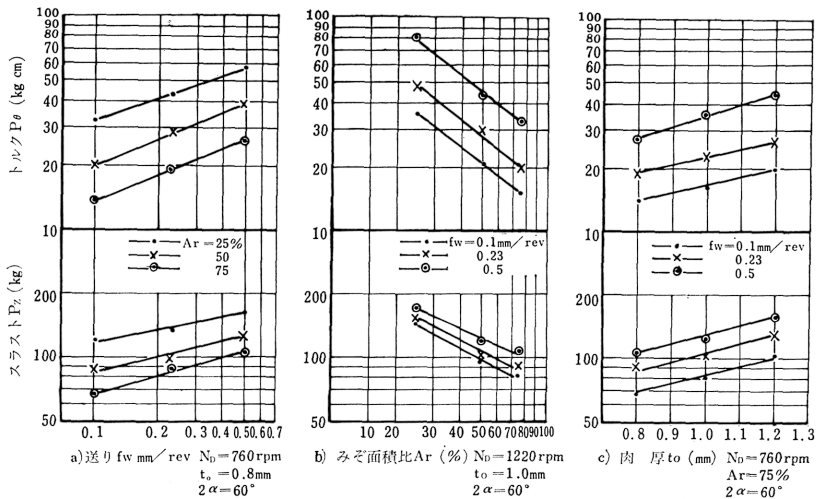


図10 加工条件と加工抵抗

以上図4, 図8で示したように, 加工抵抗は, ダイス回転数 (N_D) 試料の送り (f_w), みぞ面積比 (A_r) および素管の肉厚 (t_0) の影響をうけるが, ダイス回転数 (N_D) の変化についての定性的傾向が得られないほかは加工抵抗は, トルク (P_θ) スラスト (P_z) ともある規則性をもつて変化している. いま, これを送り (f_w), みぞ面積比 (A_r) について両対数グラフ, 肉厚 (t_0) について片対数グラフで整理してみると図10のようになる. 図に示さない他の条件でも同様な結果を示し定性的傾向がうかがえる. (なお, ダイス頂角 $2\alpha=30^\circ$ のときは, 製品不良の多いため省略した), したがって各ダイス回転数 (N_D), ダイス頂角 (2α) について,

$$P_\theta = K \cdot f_w^B \cdot A_r^C \cdot e^{D t_0}$$

$$P_z = K' \cdot f_w^{B'} \cdot A_r^{C'} \cdot e^{D' t_0}$$

の形に整理できる. ここで $K, K', B, C, D, B', C', D'$ は, 加工条件によつて定まる定数である.

3-3. 加工仕事量および所要動力

本加工の加工仕事量は, トルクによる仕事量 (W_t) とスラストによる仕事量 (W_{th}) にわけて考えられるが, いま, この加工中の変化を図11に示す. 図中, スラストによる仕事量を100倍の値で破線で示してあるが, 本加工においては, 加工仕事の大部分はトルクによつてなされ, スラストによる仕事は, ほとんど無視してもかまわない程度である.

図12は, 加工条件別の所要動力の変化を示したも

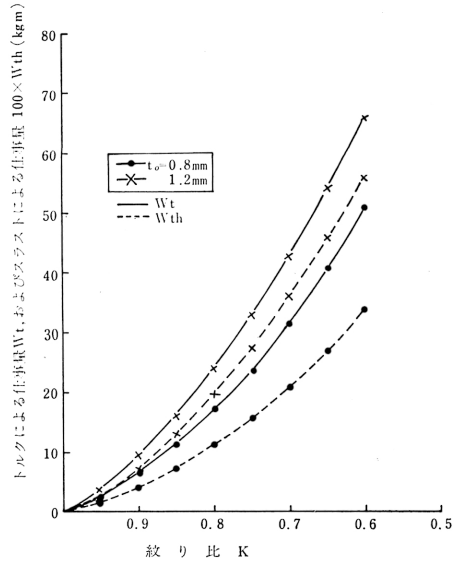


図11 加工中の仕事量
($2\alpha=60^\circ, A_r=50\% N_D=760\text{rpm}$
 $f_w=0.1\text{mm/rev}, D_0=19.05\phi$)

ので加工仕事量がトルクによつて代表されるためトルクの変化と定性的に同じ結果を示す.

アルミニウム管の加工のときは, トルク (P_θ) が, 図6で, 示したように約 1/10 程度であるので所要動力も約 1/10 程度となる.

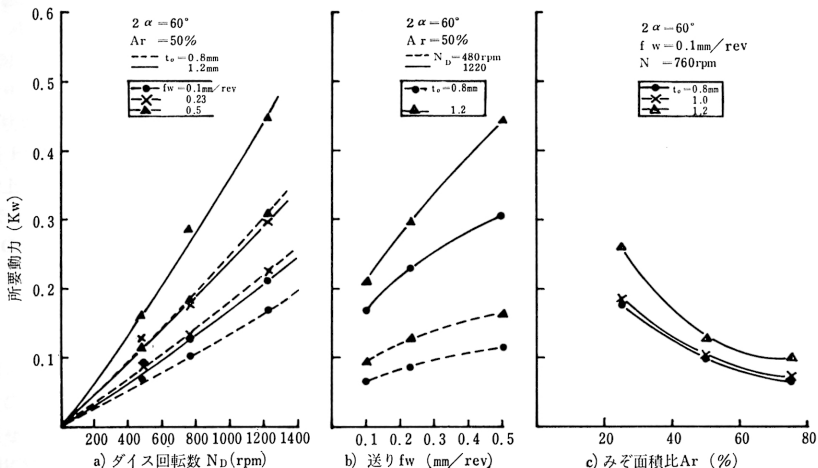


図12 加工条件別所要動力

4. ま と め

アルミニウム管の管端スピニング加工を行い次の結論を得た。

1. アルミニウム管の加工には、ダイスへの溶着を防止するため潤滑油を使用し、ダイス回転数を銅管加工の場合より低くしなければならない。
2. 加工抵抗は、銅管の加工時の約 1/10 となり、したがって、所要動力も約 1/10 となる。
3. 加工抵抗、トルク (P_θ)、スラスト (P_z) の変化は、ダイス回転数 (N_D) の変化については、定性的な傾向を示さなかつたが、試料の送り (f_w)、みぞ面積比 (A_r) 変化に対しては、明瞭な変化を示し、また、素管肉厚 (t_0) の変化に対しても明瞭に変化しこれらに関して次の形で整理できる。

$$P_\theta = K \cdot f_w^B \cdot A_r^c \cdot e^{D't_0}$$

$$P_z = K' \cdot f_w^{B'} \cdot A_r^{c'} \cdot e^{D't_0}$$

あ と が き

本実験では、使用した4種類の潤滑剤うちで、タービン油がよい結果を示したものの、アルミニウム管の管端スピニング加工では、さらに、加工表面の性状を重視するときは、使用潤滑油の適否が重要な問題となることは明らかで、最適潤滑剤の決定には詳細な検討が望まれる。したがって、これら潤滑剤の性質など基礎的問題については、今後さらに詳しく調べる予定である。

参 考 文 献

- 1) 岡村・田中：鹿児島大学工学部研究報告，第8号（昭42—9）19.
- 2) 竹山：潤滑，第12巻—第2号（1967）56.
- 3) 葉山・室田・ほか1名：日本機械学会論文集，第30巻—第220号（昭39—12）1450.
- 4) 葉山・室田・ほか1名：精密機械，第29巻—第5号（1963）31.
- 5) 岡村・田中・ほか1名：鹿児島大学工学部研究報告，第9号（昭43—3）9.