

# 管端スピニング加工における鋼管の定圧加工 による成形性について

岡村 俊一・田中 秀穂・南 俊美\*

(受理 昭和47年5月31日)

## THE WORKABILITY OF A STEEL MATERIAL FOR THE TUBE END SPINNING OPERATED UNDER A CERTAIN (CONSTANT) THRUST PRESSURE

Shunichi OKAMURA, Hideho TANAKA  
and Toshimi MINAMI

The experimental examinations were performed on the workabilities of steel tube stock, STKM 13 A, for the tube end spinning using the tube end spinning machine which was manufactured on trial recently and on which the tube stock was fed into the revolving die under a certain (constant) thrust pressure by using the hydraulic piston.

According to the experimental results, it was cleared that the forming limit of a steel material for the tube end spinning is defined by the seizure. So, in this report, the operating conditions of spinning that do not cause seizure during the forming process, were examined. The obtained results are as follows:

1. The forming limit defined by seizure is decreased according to increment of die revolution and conical angle of die and is increased according to increment of ram pressure.
2. Under a certain die revolution, seizure is occurred at the approximately same time and this is not depend on ram pressure.
3. The time to seizure is shorter according to increment of conical angle of die.
4. The torque as a working resistance is not depend on ram pressure.

### 1. 緒 言

高速回転するみぞつきダイスの回転摩擦熱を利用し、短時間で高絞り比をうることを目的とする、管端スピニング加工では、試料管の送りに、機械的ネジ送りを利用する、いわゆる、定速加工より、油圧を利用し、一定ラム圧力で試料管を送りこむ、定圧加工の方が、成形中の試料の変形抵抗の変化に応じた変形速度の得られる効果的方法であると考えられる。

したがって、本報では、新しく設計試作した油圧式管端スピニング加工機により、鋼管を円錐状に口絞り成形する場合について、その成形性について、主として焼つき限界に対する2、3の実験的考察を加えたものである。

すなわち、管端スピニング加工では、その加工の本質が回転摩擦熱を利用するため、鋼管加工の場合は、銅管加工の場合にくらべ成形加工中に、焼つきを生じ

やすく、潤滑剤を使用しても、その成形可能な範囲はせまく、加工抵抗の制御要因であるダイス回転数、試料管の送り速度、ダイス内壁に設けるみぞの面積比などの選定におのずと制限をうける。そこで、実用上の加工条件に近い範囲で種々の加工条件の中より表2に示すような、ダイス回転数、ラム圧、ダイス頂角、みぞ面積比を選定し、成形可能な範囲を決定しようとした。

### 2. 実験装置および方法

#### 2.1 試作加工機

図1に、新しく設計試作した油圧式管端スピニング加工機の外観を示す。操作は、自動および手動の二方式とし、アキュムレーターの併用により圧力変動を、できるだけ少くし、且つ、小容量のポンプで高速作動を行うことができる。また、流量調整弁により、ラムの作動速度を最高100mm/sec、最低3mm/secの間に自由に変換できるようにし、ソレノイドバルブ、リミットスイッチにより、ラムを所定の位置で正確に

\* 都城高専

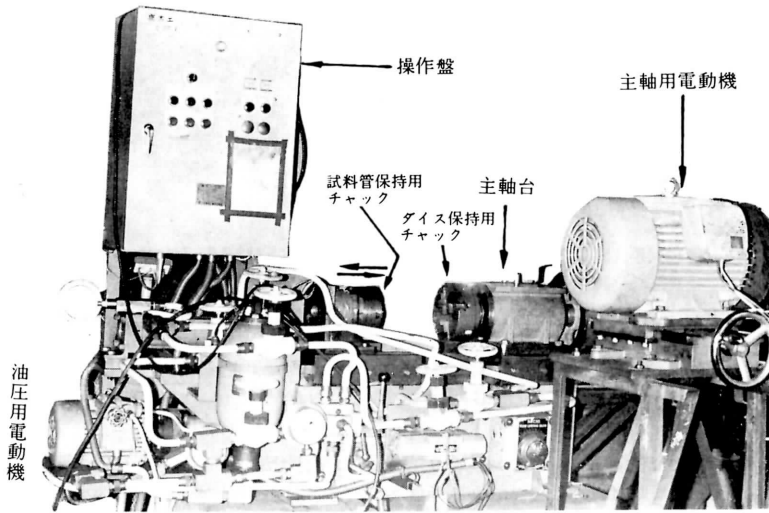


図1 試作加工機

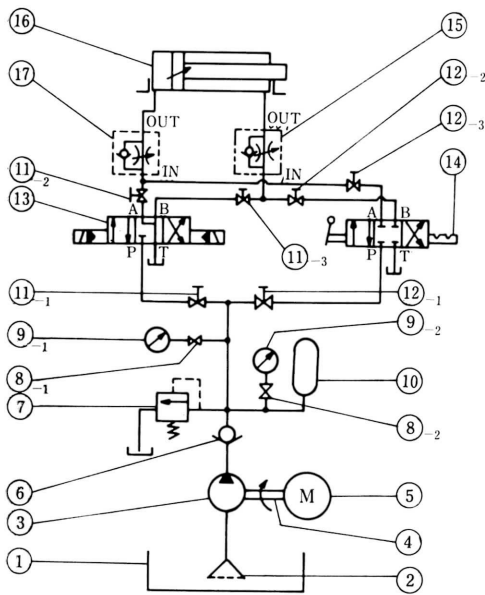


図2 油圧系統図

17	絞り弁	1	CFS-To6
16	シリンダー	1	
15	フローコントロール V	1	CF-Go6-75k
14	マニュアルバルブ	1	D <sub>4</sub> -3M5-To6
13	ソレナイドバルブ	1	D <sub>4</sub> 6S6C-Go6
12	〃	3	〃
11	ストップバルブ	3	PT $\frac{3}{4}$ B70k用
10	アキュムレータ	1	
9	圧力計	2	Au $\frac{3}{8}$ 100 $\phi$ ×150k
8	ゲージコック	2	
7	リリーフバルブ	1	R <sub>1</sub> -To6-2
6	チェックバルブ	1	C <sub>3</sub> -To6-1
5	モーター	1	0.75kw
4	カップリング	1	
3	ポンプ	1	V12A
2	ストレナー	1	
1	オイルタンク	1	
番号	名称	個数	形式

表1 加工機諸元

ベットの長さ	1400 mm
ベッド上の振り	150 mm
主軸用電動機	7.5 kw, 1140 rpm
主軸回転数	700~3200 rpm
変速装置	三木式無段変速 (PDK-300)
油圧用電動機	2.2 kw, 1700 rpm
油圧ポンプ (ペーンポンプ V12A型)	吐出量 11.3 l/min 最高圧力 70 kg/cm <sup>2</sup>
油圧シリンダー	ストローク 200 mm ボア径 80 φ

反転、停止できるようになっている。本機に採用される油圧系統図を、図2に示し、加工機の諸元を表1に示す。

### 2.2 実験条件

1でのべてきたように、鋼管加工の場合は、鋼管加工の場合にくらべ、成形加工中にダイス内壁面と試料管の間で焼つきが多く、潤滑剤を使用せねばならないが、液体潤滑剤より固体潤滑剤の方が効果的で、予備実験でよい結果の得られた、二硫化モリブデン（住鋳潤滑剤株式会社製、ローフルベアスト）を加工部表面とダイス内壁面に塗布する方法を用いた。しかしながら、この潤滑剤を用いるにしても、加工条件には、かなりの制約をうけ、そのため、採用できる加工条件

表2 加工条件

ダイス回転数 ( $N_D$ )	1000, 1400, 2000 rpm
ラム圧 ( $P$ )	40, 30, 22.5 kg/cm <sup>2</sup>
ダイス頂角 ( $2\alpha$ )	30°, 45°, 60°
みぞ面積比 ( $Ar$ )	12.5, 25, 50 %
ダイス材質	SKD 11, 焼入硬さ $H_{RC}$ 80

表3 供試鋼管

品 種	機械構造用炭素鋼管（電縫管） STKM 13A
成 分	C0.25 % 以下
硬 度	$H_V$ 180
寸 法	径×厚さ×長さ 19.05φ×1.0×60

は、鋼管加工の場合にくらべ、せまい範囲のものにならないを得ない。そこで、種々の加工条件の中より、実用に近い範囲で、表2の加工条件を選定し実験を行った。すなわち、ダイス回転数 ( $N_D$  rpm), ラム圧 ( $P$  kg/cm<sup>2</sup>), ダイス頂角 ( $2\alpha$ ), みぞ面積比 ( $Ar$ %) を加工抵抗の解析に都合のよいように、要因計画にしたがい、3要因3水準として選定した。なお、試料管として採用した鋼管は、表3に示すものである。

### 3. 実験結果

一般に、管端スピニング加工では、成形中に発生する温度、適正な歪み速度との相関関係によつて、成形が可能であり、成形中の材料の変形能に合致しない過



図3 成品形状

度の歪み速度は割れ、過度の温度は焼つきの原因となる。

鋼管加工の場合は、加工中に、加工条件によつては、図3—(イ)に示す割れもみられるが、採用した加工条件の中では、同図(ロ)の焼つきが多く、いちぢるしく製品価値を劣化させる。そこで、ラム圧 ( $P$  kg/cm<sup>2</sup>) を、種々に変化させ、その時の口絞り応力 ( $\sigma_A$  kg/cm<sup>2</sup>\*) と対応させて、成形可能な限界絞り比 ( $K_{L1}$ ) を求めると図4の結果がえられる。ここで、みぞ面積比 ( $Ar$ %) が、成形範囲に大きな影響を与えており、 $Ar=25\%$  のダイスによる場合が、最も成形範囲が広く、 $Ar=12.5\%$  の場合は、同一ダイス回転数で成形温度が高いため、焼つきを生じやすく、採用した加工条件では、ほとんど、割れはみられなかつたが、 $Ar=50\%$  の場合は、そのほとんどが成形温度不足のため、割れをきたす。また、ダイス回転数の増加にともない、焼つきにより成形限界はせまくなり、ダイス頂角の大きい方が、成形限界が小さくなる。これ

\*  $\frac{\text{押込荷重}}{\text{素管断面積}} = \frac{P_z}{A}$

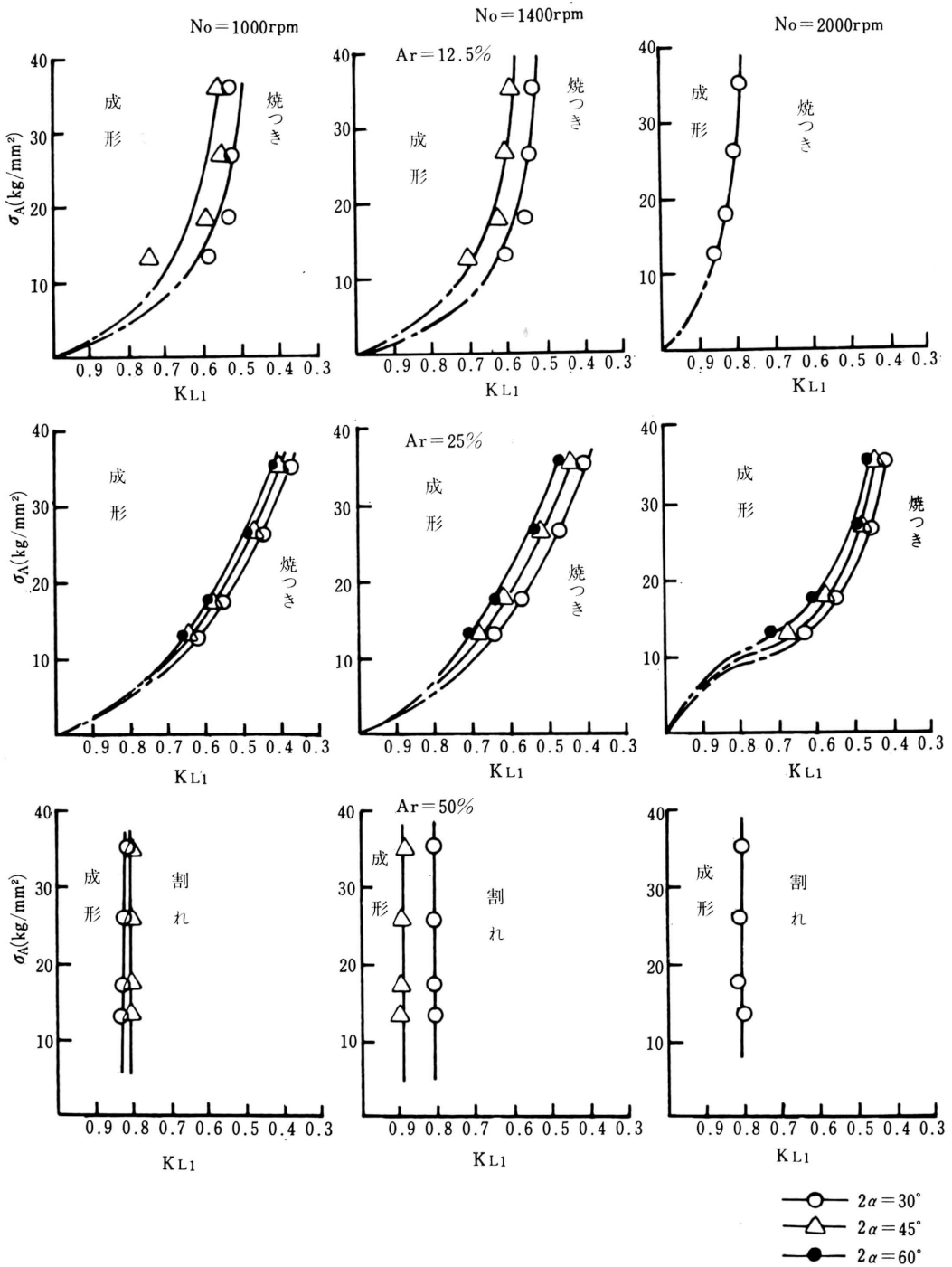


図 4 口絞り応力 ( $\sigma_A$ ) と限界絞比 ( $K_{L1}$ ) の関係

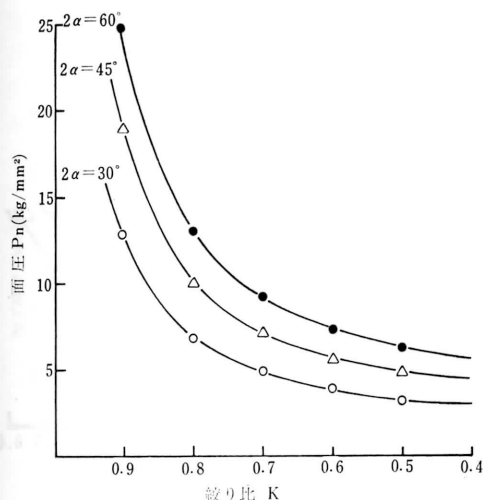


図5 面圧と絞り比の関係  
( $P=40 \text{ kg/cm}^2$   $A_r=25\%$ )

は、図5にてわかるように、ダイス頂角の大きい方が、面圧 ( $P_n$ ) が、大きくなるためと考えられるが、一般に、焼つきは、潤滑膜の機械的擾乱、もしくは熱的擾乱により生ずるものとされ、機械的擾乱に対しては、潤滑膜は、かなり大きな抵抗を示すものであるが、熱的擾乱に対しては、摩擦面の温度が、転移温度と呼ばれる一定値をこえると、潤滑膜は、機械的擾乱を受けずとも、金属表面から、はがれてしまうといわれている<sup>1)</sup>。例えば、鋼と鋼の接触で、 $200\sim 300 \text{ kg/mm}^2$  の高圧まで潤滑膜は耐えうるとい報告もあり<sup>2)</sup>、ダイス頂角増加のための成形範囲のせまばりを、単に、面圧 ( $P_n$ ) の増加のための潤滑膜破断によるものとは考えられない。面圧 ( $P_n$ ) の増加は、間接的に、接触面の温度上昇をうながすことにより、この温度上昇による影響の方が大であると考えられる (かなりすぐれた潤滑剤でも、 $200^\circ\text{C}$  前後で潤滑剤の破断がおけるといわれる<sup>3)</sup>)。鋼管の管端スピニング加工においては、この焼つきは、加工部先端には生ぜず、加工部中央より後方に生ずるのが普通であるが、これは、つぎの原因によるものと推察される。すなわち、

- 1) 加工部表面における面圧 ( $P_n$ ) の分布は不均一で、後方へ高い。
- 2) 加工部先端の方が、表面温度が高いため、もし焼つきの核発生があつても、酸化膜による修復が行なわれ、焼つきまでの核成長がない (焼つきは、まず、焼つきの発生源となる核の発生があり、ついで、これが、或る面積に亘つて成長しなければ、焼つきは生じ

ない)。

3) 単位面積あたり単位時間に発生する接触点の数は、後端部の方へ多くなる。すなわち、接触点の数  $I$  は、 $I = nV/b^2$  ( $n$ : 接触点の密度、 $V$ : 摩擦速度、 $b$ : 摩擦方向に測つた1個の接触点の長さ) で示され、加工部後端部の方へ  $V$  が大きい。

4) 加工中に発生する微細な金属摩耗粉は、加工の進行とともに後方へ蓄積し、溶融状態となつて溶着を起す原因となる。  
などが考えられる。

一方、ラム圧 ( $P$ ) が高いほど、深く絞れるのは、いま、流量調整弁の開度を一定 (無負荷時のラム速度で  $53.6 \text{ mm/s}$ ) としたため、加工速度は、ラム圧 ( $P$ ) の増加につれ、無負荷時のラム速度以内で、大きくなり、加工中の温度上昇は低くなり、焼つきを生ずることなく深く絞れることを示しているが、この加工速度も余り大きくすると成形温度不足のため、逆つて、割れ発生の原因となる。

本実験で採用した、ダイス内壁に設けるみぞ面積比 ( $A_r$ ) は、12.5, 25, 50% の3種類であつたが、最もよい結果を示した、 $A_r=25\%$  のダイスについて、焼つきまでの加工時間を調べたのが図6、図7である。当然のことながら、ダイス回転数の大きい方が、短い時間で焼つきを生じており、同一ダイス回転数では、ラム圧によらず焼つきまでの時間は、測定誤差の範囲内ではほぼ一定とみなしてよい。このことは、前にのべたように、ラム圧の高い方が、加工速度は大きいので、焼つきを生ずるまでの時間は同じであつても深く絞れることになる。また、図6に示される限界絞り比 ( $KL_1$ ) に対する加工時間の曲線の変化は、加工中の加工抵抗とラム圧 ( $P$ ) のバランスを保つための加速度の変化を示唆するもので、図8の下段の加工中の加工速度の変化をみても明らかである。

図8は、成形加工中の加工抵抗としてのトルクの変化と加工速度の変化を示す代表例であるが、トルクは加工進行につれ増大するが、その増加曲線は通常、I, II, III の3段階を示すが普通で、ラム圧の高いほど明瞭な変化を示す。このトルク変化と、加工速度の変化の間には、明白な相関性がみられ、加工初期においては、加工速度は、いずれも一時ドロップするが、ラム圧の大きい方が無負荷速度までの速度回復は大きく、以後、加工速度の増加につれ、トルク増加曲線の増加率は急で凹となり、総体的トルク増加のため加工速度が減少をはじめると、トルクの増加率に減少がみ

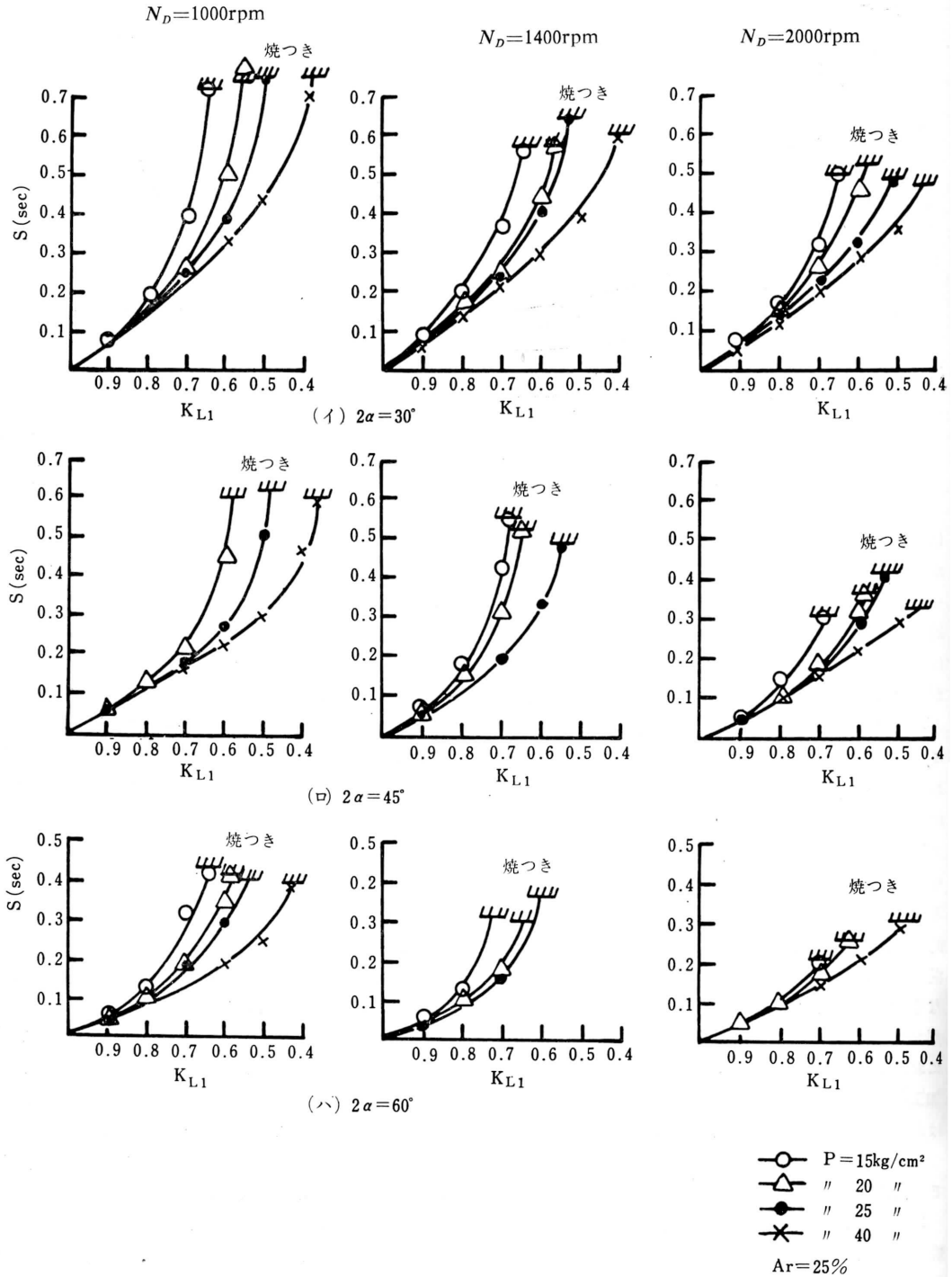


図 6 焼つき限界 ( $K_{L1}$ ) までの加工時間 ( $S$ )

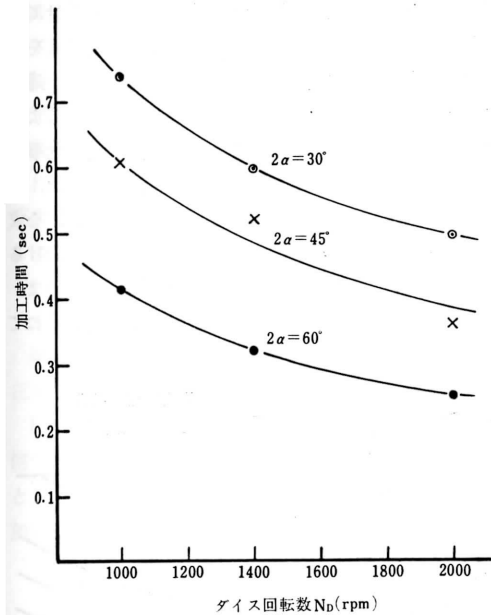


図7 ダイス回転数と焼つきまでの時間の関係

られるが、この時点では、摩擦面温度は相当な温度となり、更に加工進行につれての総体的トルク増大のため、加工速度は、減少し、ついには、摩擦面温度上昇のため焼つきを起し、加工速度は零となる。このように、トルクの増加曲線の変化による加工速度曲線の変化は、ラム圧に対する加工速度と加工抵抗のバランスを示す本加工方式の特長を示すものといえる。

つぎに、各加工条件に対する加工抵抗としてのトル

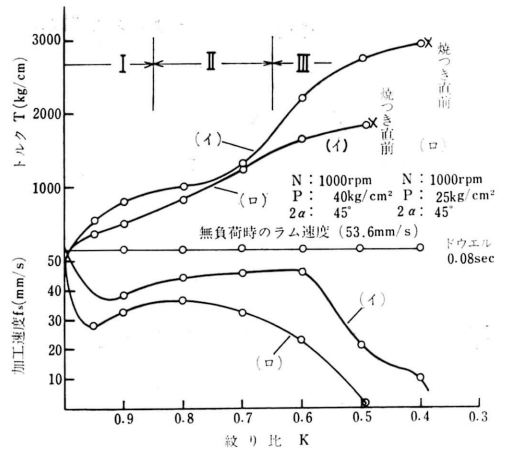


図8 加工中のトルクおよび加工速度の変化 ( $A_r=25\%$ )

クの変化の関係は、前にのべたように、鋼管加工の場合は、焼つき、割れ、などの発生のため、加工条件の選択範囲は限られたものになり、また条件によつては、潤滑剤の分布が不均一となるためか、加工条件の変化に対するトルクの変化には、一応の定性的な傾向はうかがえるにしても、測定値にバラツキも多く、定量的に明確な関係をうる事ができなかった。

そこで、このトルクと、その制御要因であるダイス回転数 ( $N_D$ )、ダイス頂角 ( $2\alpha$ )、ラム圧 ( $P$ ) の関係を、成形範囲の最も大きかつた、みぞ面積比  $A_r=25\%$  のダイスの場合について、その成形範囲内で要因計画に従い、3 要因、3 水準として、図9に示す線

表4 トルクの分散分析

要 因		S	$\phi$	V	F	$\rho$
(イ)						
A	ダイス回転数 $N_D$	791554.436	2	395777.218	38.13**	
B	ダイス頂角 $2\alpha$	248059.938	2	124029.969	11.94**	
C	ラム圧 $P$	37765.916	2	18882.958	1.82	
	A × B	158293.832	4		3.81	
	A × C	17964.227	4	4491.056	0.43	
	B × C	301492.368	4	75373.486	7.26**	
	誤差 $e$	83035.889	8			
(ロ)						
要 因		S	$\phi$	V	F	$\rho\%$
A	ダイス回転数 $N_D$	791554.436	2	395777.218	39.93**	47.1
B	ダイス頂角 $2\alpha$	248059.938	2	124029.969	12.51**	13.9
	A × B	158293.832	4	39573.458	3.99*	7.2
	B × C	301492.368	4	75373.092	7.60**	16.0
	プールした誤差 $e'$	138766.032	14	9911.859		

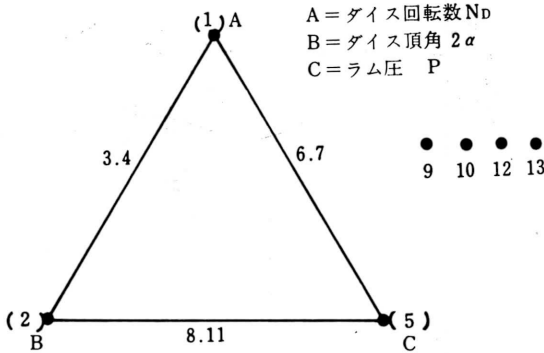


図9 わりつけ線点図

点図にて  $L_{27}(3^{13})$  に割つけ、分散分析の結果、表4が得られた。ここで、表4の(ロ)は、(イ)で、有意性の得られなかつた各要因に対して、誤差の不偏分散の同程度のものを、あらためて、誤差の中にプールして分散分析したものである。この結果、本実験の範囲内では、採用した3要因の中では、ダイス回転数( $N_D$ )、ダイス頂角( $2\alpha$ )に99%で有意性が認められ、ラム圧( $P$ )には、独立に有意性は認められない、このことは、一定圧で、試料管を送りこむ本加工方式の特長を示すものと考えられ、ラム圧変化による加工速度の変化は、加工抵抗の変化にバランスしながら、加工が行なわれることを示し、ラム圧独自の変化は加工抵抗の変化には、影響を与えず、ダイス頂角の変化と相関連して影響を与えることになる。加工抵抗を制御するものとして、ダイス回転数の寄与率が47%で最も大きく、ついで、ダイス頂角とラム圧の交互作用が16%、ダイス頂角13.9%、ダイス回転数とダイス頂角の交互作用が7.2%の順で加工抵抗に影響を与えている。

以上のように本加工法では、ダイス回転数の影響が最も大で、これを大きくすることは、加工抵抗を減少させるには有利であるが<sup>3)</sup>、逆に、焼つきのためには、不利となる。一般に、加工中発生する過度の温度が焼つきの原因であり、加工進行中の温度上昇を、何らかの方法で押えることが、焼つきによる成形限界を広めることができ、管端スピニング加工においては、所要の絞り比まで加工するにみ合う、必要最少限の熱量が、加工材に与えられれば、成形可能で、余分の熱量は、焼つきの可能性もあり、動力消費にも不経済である。

したがって、いま、本加工の本質が回転摩擦熱を利

用するため、トルクによる仕事量はほとんど熱量に変るものとして、所要の絞り比まで絞るに、焼つきを生じないで最少の仕事量を与えるダイス回転数が、適正なダイス回転数( $N_{opt}$ )といえるであろう。このような意味で、各回転数に対して、各絞り比ごとの仕事量を求めてプロットした1例を図10に示す。なお、ここでは、仕事量を無次元化するため、 $\eta = W/W_0$ を求めてある( $W_0$ : 基準とすべき任意の絞り比における仕事量、 $W$ : 任意の絞り比における仕事量)。いま、図10で、同一絞り比ごとに  $\eta$  の最少な点を連らねて

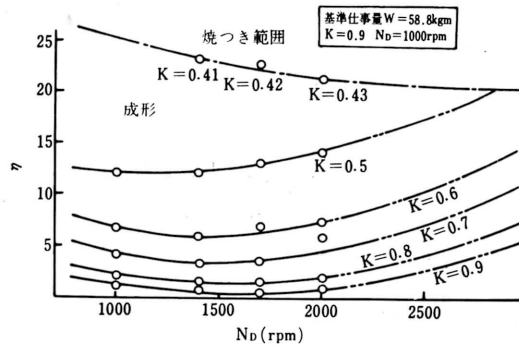


図10 仕事比( $\eta$ )とダイス回転数( $N_D$ )の関係  $2\alpha=30^\circ$   $A_r=25\%$   $P=40\text{kg/cm}^2$

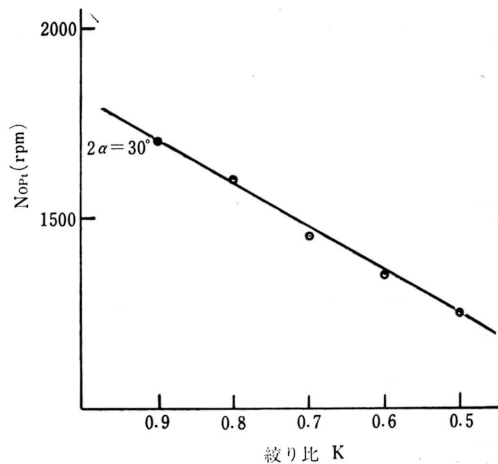


図11 加工進行に伴う適正なダイス回転数

いけば、各絞り比における適正なダイス回転数( $N_{opt}$ )が得られることになる。

このようにして、求めたのが図11で、これによれば、加工中にダイス回転数( $N_D$ )は終始同一回転数



である必要はなく，加工初期には，ダイス回転数を上げて摩擦温度を上げてやる必要があるが，加工が進むにつれて，試料管の温度上昇があるのでダイス回転数を下げてやれば，余分な熱量の発生がなく，動力消費の点からも有利であり，焼つきによる成形限界も広められると考えることができる。したがって，今後，油圧式管端スピニング加工の専用機を設計のためには，この点を考慮に入れる必要があろう。

#### 4. 結 論

鋼管を試作せる油圧式管端スピニング加工機にて定圧加工して，つぎの結論をえた。

1. 鋼管加工の場合は，加工中の主たるトラブルは焼つきが多く，これによる成形限界は，ダイス回転数とダイス頂角の増加につれ，せまくなり，ラム圧の増加により，広くなる。

2. 同一ダイス回転数の場合は，焼つきまでの時間は，ほぼ一定で，ラム圧には無関係である。

3. 焼つきまでの時間は，ダイス頂角の大きい方がはやい。

4. ラム圧とトルクの間には，ラム圧独自には，関連性がみられない。

#### 文 献

- 1) 木村：潤滑，第12巻，第13号（1967）
- 2) 曾田：日本機械学会誌，昭34-10.
- 3) 岡村・田中：鹿大工学部 研究報告，第 8 号，昭42-9.

註 1. 焼つきという現象は，その判定には全くの主観に頼らざるをえず，本実験では，加工部表面およびダイス内壁面に少量の溶着があれば焼つきとすることにした。