

# 管端スピニング加工に関する研究（第2報）

## 加工部の組織変化について

岡村 俊一\*・田中 秀穂\*\*

（受理 昭和42年5月31日）

### EXPERIMENTAL STUDY FOR TUBE END SPINNING (Report 2) Examination of Stock Structure.

Shunichi OKAMURA\* and Hideho TANAKA\*\*

Further examinations on the experimental study of tube end spinning was made on the stock structure. The results obtained show that the structure of worked portion on the stock are recrystallized crystals meaning that the cold work method of shaping without the application of external heat, is changed into the hot state deformation during operation.

#### 1. 緒 言

前報<sup>1)</sup>で管端スピニング加工法を紹介し、銅管を絞る場合について、種々の加工条件のもとで、その加工性を調べ、最適加工条件などについて検討したが、その中で加工性に影響をおよぼすものとして、発生温度の関係からダイス回転数、試料の送り速度、あるいはダイス頂角の影響があげられた。

しかし、同一加工条件のもとではダイスに設けた溝によつて、その加工性に著しい影響を与えることがわかつた。従つて、今後、このダイスに設けられた溝の有意性、即ち変形過程中に果す役割を解明することが必要となる。

そこで、本報ではまづ本加工法の加工現象の本質および溝の有意性を確めるための一手段として、加工部の顕微鏡観察により、結晶粒度および肉厚の変化などと加工条件との関係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

##### 2-1. 顕微鏡観察

前報<sup>1)</sup>において加工された銅管を長手方向に切断し、その断面を電解研摩後、図1に示すように、加工部3ヶ所をその先端より I, II, III と顕微鏡（オリンパス金属顕微鏡 MF）観察し、粒度測定には比較法を採用し、その平均結晶粒度をもちいた。

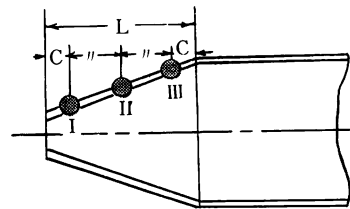


図1 顕微鏡観察位置

##### 2-2. 肉厚の測定

加工部の肉厚の測定にあつては、図2に示すように加工部を長手方向に3ヶ所  $a, b, c$  の各点について、円周方向に5点を板厚に直角に、ポイントマイクロメーターで測定し、その平均値を肉厚とした。

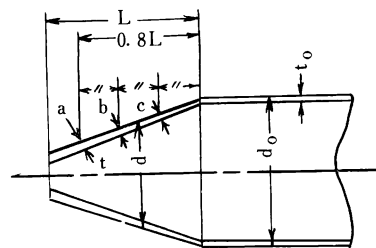


図2 肉厚測定位置

#### 3. 実験結果および考察

##### 3-1. 加工部の組織変化

図4～図10に加工部の顕微鏡写真を示すが、非加

\* 鹿児島大学工学部機械工学教室・教授

\*\* 鹿児島大学工学部機械工学教室・講師

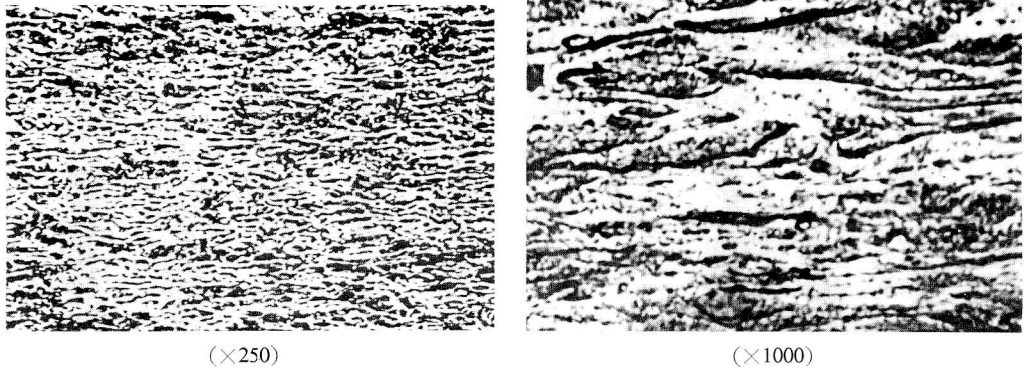


図3 非加工部の結晶組織

工部の組織を示す図3(試料として、もちいた銅管は、冷間引抜き管であるため、繊維状組織を呈し、結晶粒は長手方向に流れている)にくらべ、再結晶を起している。また、いずれの場合でも先端Ⅰの方がⅢの部分より結晶粒が大きいことより、先端部Ⅰの方が加工時の熱影響が大であることがわかる。

#### i) 溝の面積比( $Ar$ )の影響

図4～図6は、加工部の組織がダイスの内壁面に設けられた溝の面積比( $Ar=A'/A \times 100\%$ ,  $A'$ :溝の面積,  $A$ :ダイス内壁面積)をかえることにより、どのように変化するかを示したものである。試料の送り速度( $f_w$  mm/rev)が0.1 mm/revのとき、溝の面積比( $Ar$ )が大きくなるにつれ結晶粒が細くなっていく。これは図11—(イ)にてわかるように、この粒度の変化は、図中に示した温度の変化と似た傾向を示している。

試料の送り速度( $f_w$ )が0.5 mm/revとはやくなると、全面的に結晶粒は加工方向に流れた状態となり、 $f_w=0.1$  mm/revのときにくらべ結晶粒は微細である。図5では、溝の面積比( $Ar$ )によるはつきりした差異は認められないが、図6でみると、やはり溝の面積比( $Ar$ )による差異が認められる。このように、試料の送り速度( $f_w$ )が大きいと、あまりはつきりした差異がでないのは、試料の送り速度( $f_w$ )が大であると加工時間も短く、また加工中の発生温度も低く、且つ加工中の各加工部位における温度差も少いためと思われる。

#### ii) 試料の送り速度( $f_w$ )による影響

図7, 図8に加工部の組織が試料の送り速度( $f_w$ )

によつて、どのような影響をうけるかを示す。

$f_w=0.1$  mm/revのときにくらべ、 $f_w=0.23$  mm/revでは、結晶粒は細く、特に $f_w=0.5$  mm/revになると大半の結晶粒は加工方向に流れており、その中に微細な結晶粒が混在している。

図11—(ロ)でわかるように、送り速度が大きくなると発生温度も低くなり、且つ粒度変化も全く温度変化と同一傾向を示している。i)における場合と同じように、再結晶粒の成長の温度依存性がはつきりとうかがわれる。

#### iii) ダイス頂角( $2\alpha$ )による影響

図9, 図10にダイス頂角( $2\alpha$ )によつて、加工部の組織がどのように影響をうけるかを示す。

溝の面積比( $Ar$ )の大きい図10では、送りもはやいためにダイス頂角の変化による結晶粒度の変化はあまり認められないが、図9ではダイス頂角 $2\alpha=45^\circ$ のときが一番小さく、次いで $2\alpha=30^\circ$ ,  $60^\circ$ の順となる。

これを図11—(ハ)でみると明らかなように、i), iii)でみたような図中の温度変化と結晶粒度の変化の間には関係がないが、これはダイス頂角( $2\alpha$ )が異れば加工度も違い、加工時間も異なるために、温度からだけでは推論できず、加工変形速度および時間を考慮に入れる必要がある。

#### iv) 加工終点による影響

図12に加工終点、即ち加工の終了した位置による結晶粒度の差異を示す。同一加工条件で a) の程度に絞つたときと、b) のように少し絞り過ぎた(加工時間が長くなる)ときとでは、結晶状態は a') が b')

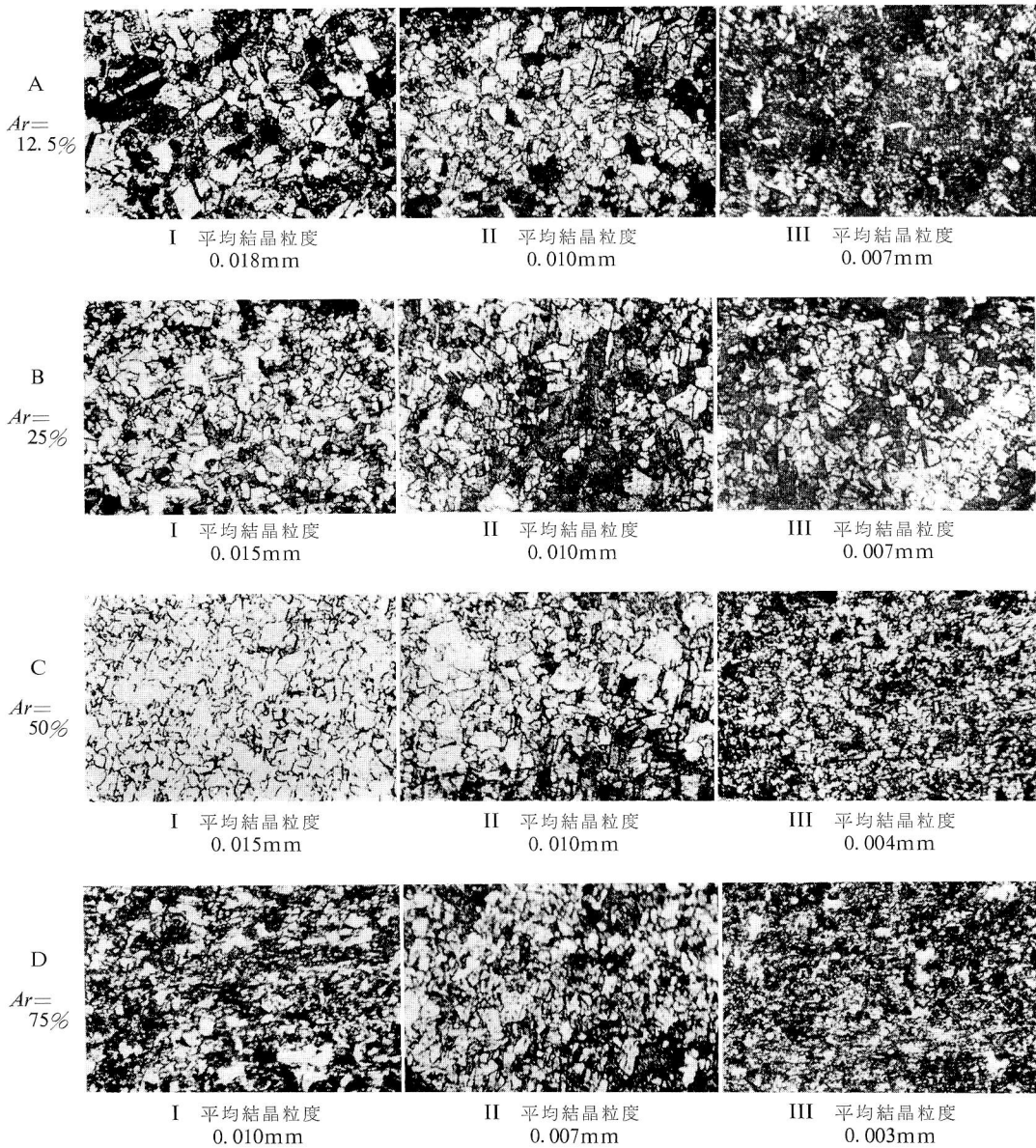


図 4 溝の面積比 ( $Ar$ ) による加工部の組織変化 ( $\times 250$ )

加工条件  $N_D : 3000 \text{ r.p.m.}$   
 $2\alpha : 60^\circ$   
 $Ar : (A) 12.5\% \quad (B) 25\% \quad (C) 50\% \quad (D) 75\%$   
 $f_w : 0.1 \text{ mm/rev}$

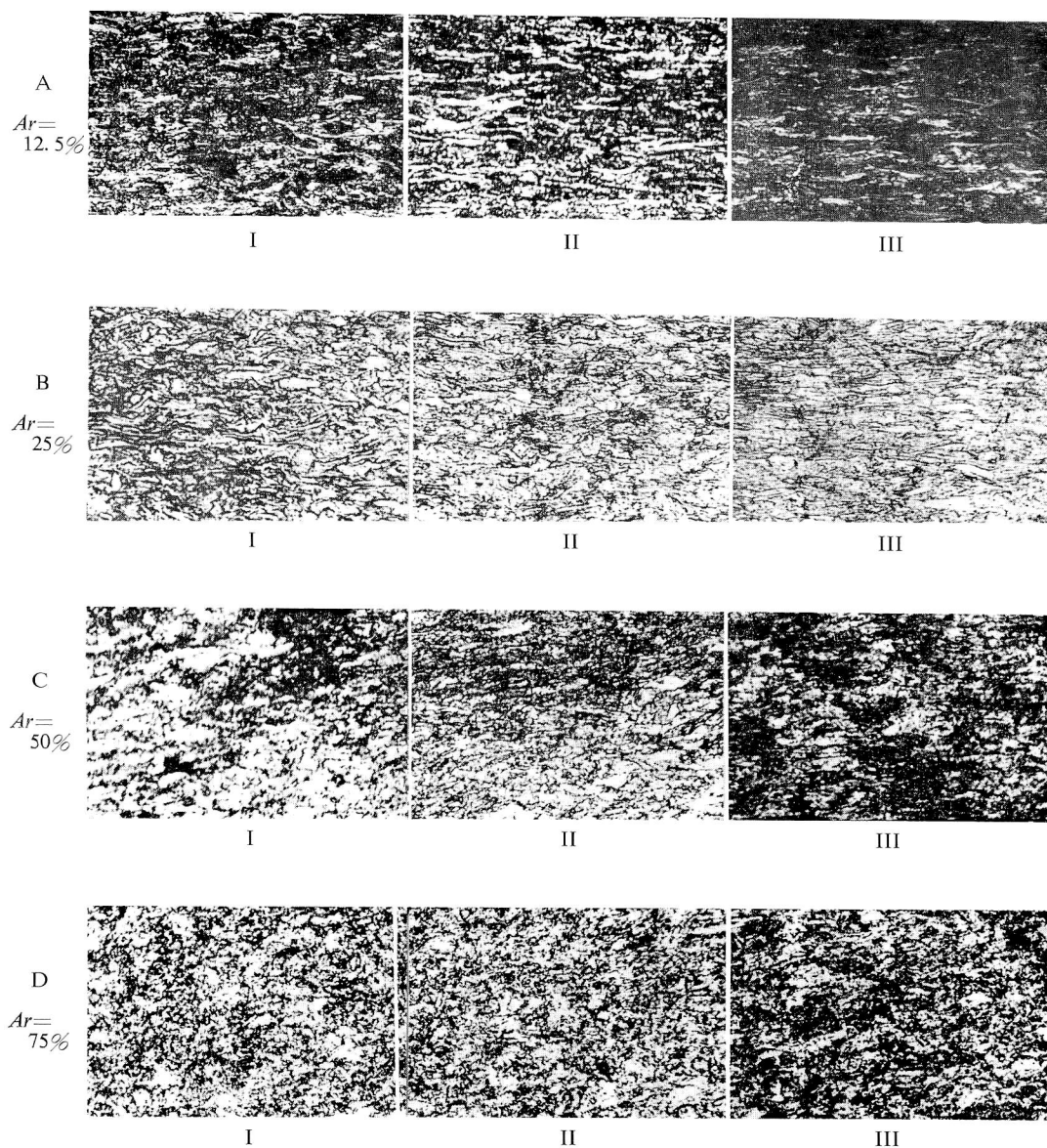


図 5 溝の面積比 ( $Ar$ ) による加工部の組織変化 ( $\times 250$ )

加工条件  $N_D$  : 3000 r.p.m.

$2\alpha$  :  $60^\circ$

$Ar$  : (A) 12.5% (B) 25% (C) 50% (D) 75%

$f_w$  : 0.5 mm/rev

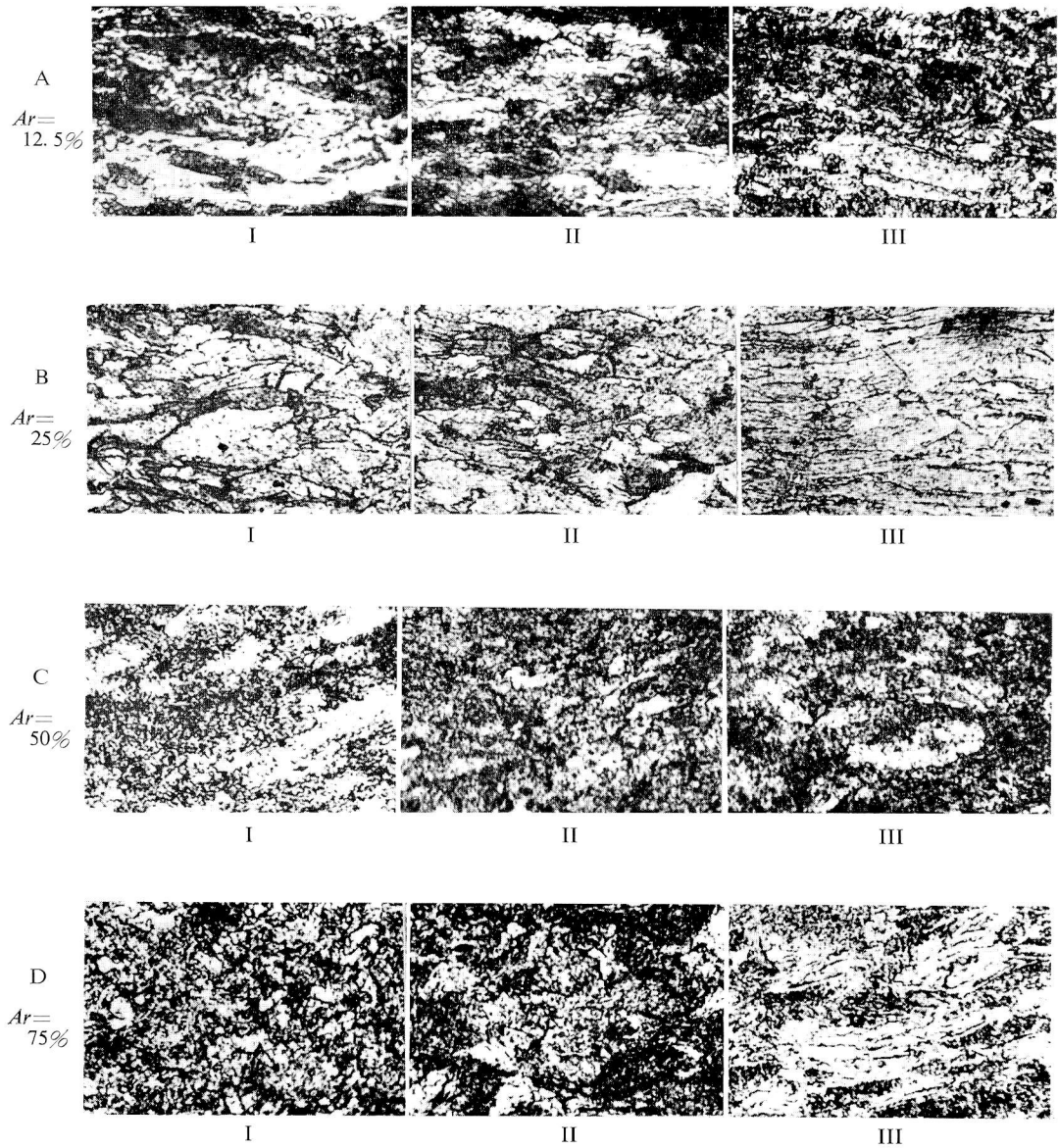


図 6 溝の面積比 ( $Ar$ ) による加工部の組織変化 ( $\times 1000$ )

加工条件  $N_D : 3000 \text{ r.p.m.}$   
 $2\alpha : 60^\circ$   
 $Ar : (A) 12.5\% \quad (B) 25\% \quad (C) 50\% \quad (D) 75\%$   
 $f_w : 0.5 \text{ mm/rev}$

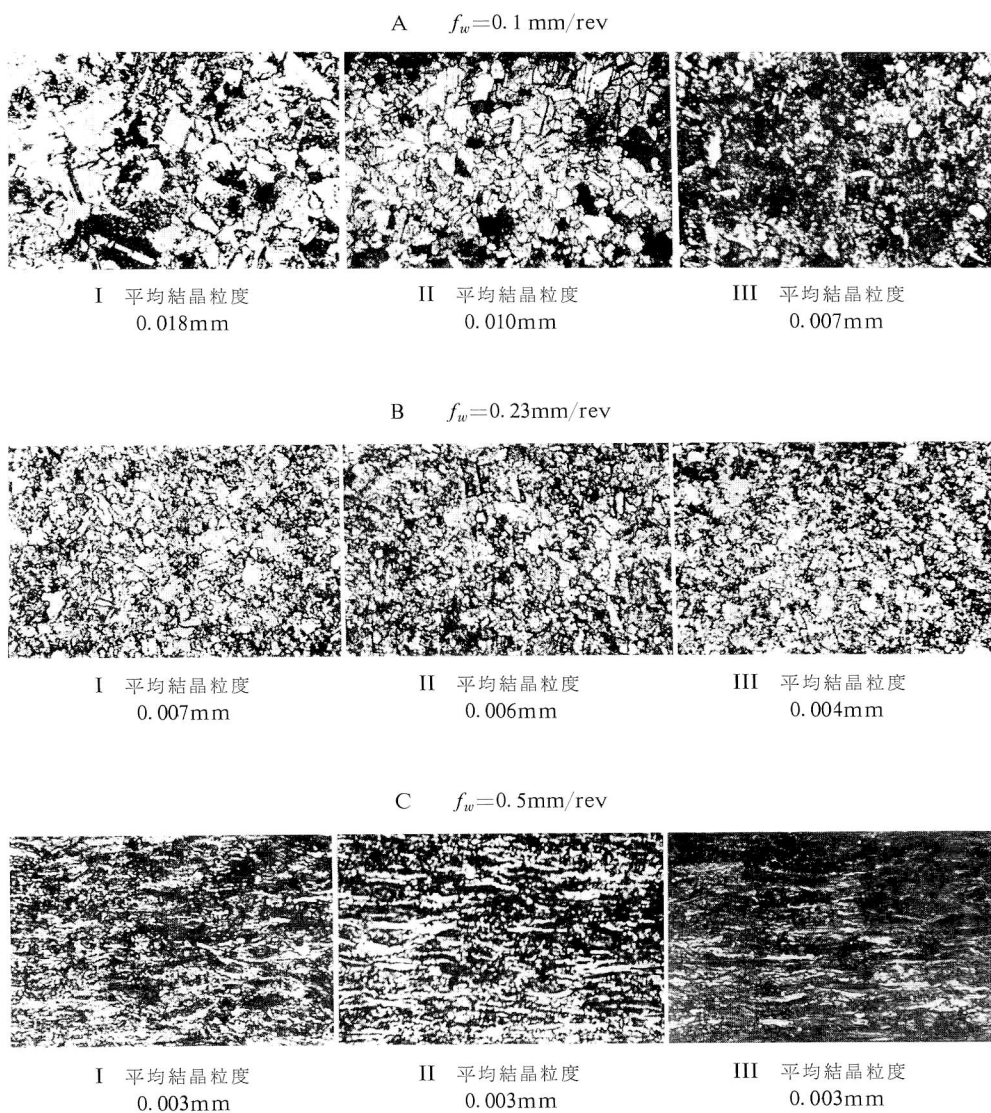


図 7 送り速度 ( $f_w$ ) による加工部の組織変化 ( $\times 250$ )

加工条件  $N_D : 3000 \text{ r.p.m.}$   
 $2\alpha : 60^\circ$   
 $Ar : 12.5\%$   
 $f_w : (A) 0.1 \text{ mm/rev} \quad (B) 0.23 \text{ mm/rev} \quad (C) 0.5 \text{ mm/rev}$

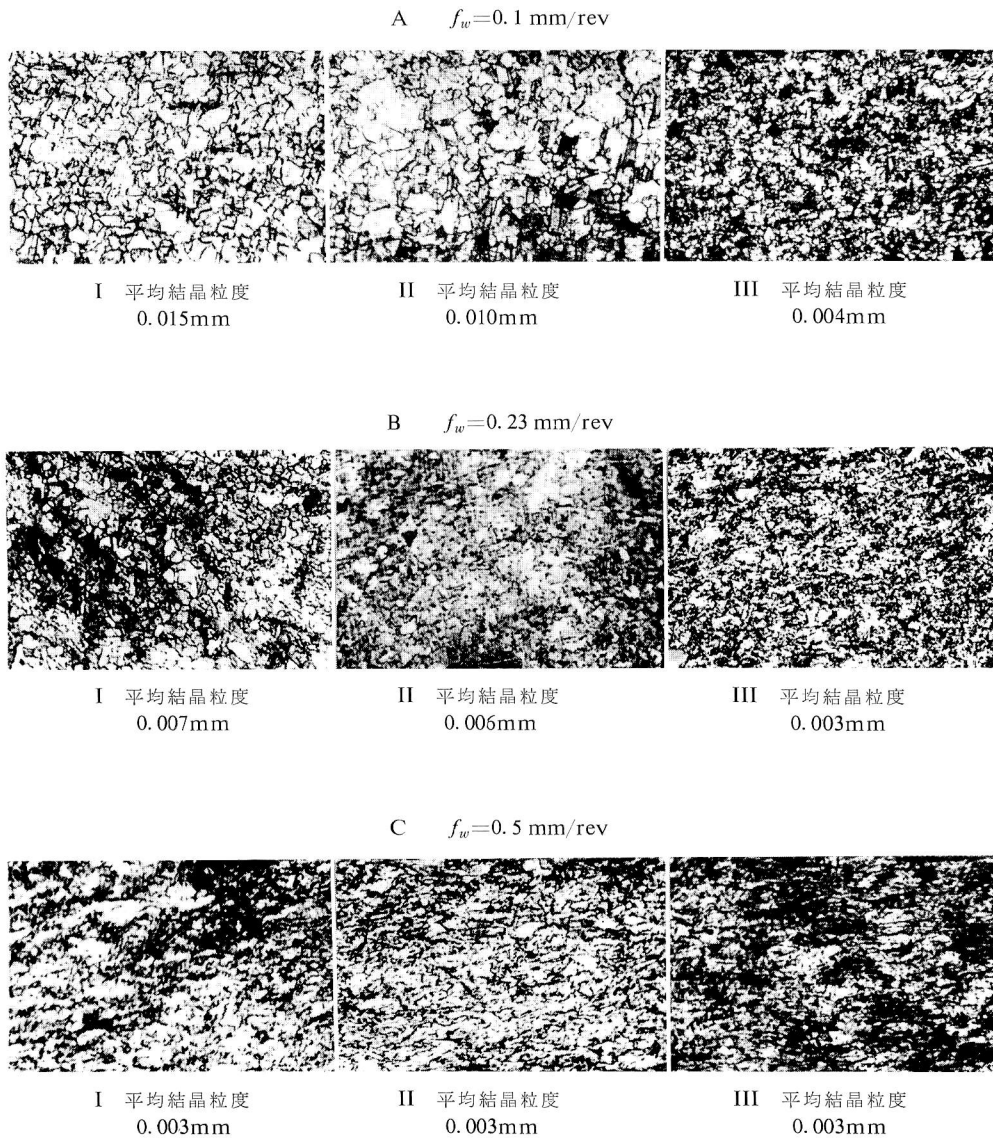


図 8 送り速度 ( $f_w$ ) による加工部の組織変化 ( $\times 250$ )

加工条件  $N_D : 3000 \text{ r.p.m.}$   
 $2\alpha : 60^\circ$   
 $Ar : 50\%$   
 $f_w : (A) 0.1 \text{ mm/rev} \quad (B) 0.23 \text{ mm/rev} (C) 0.5 \text{ mm/rev}$

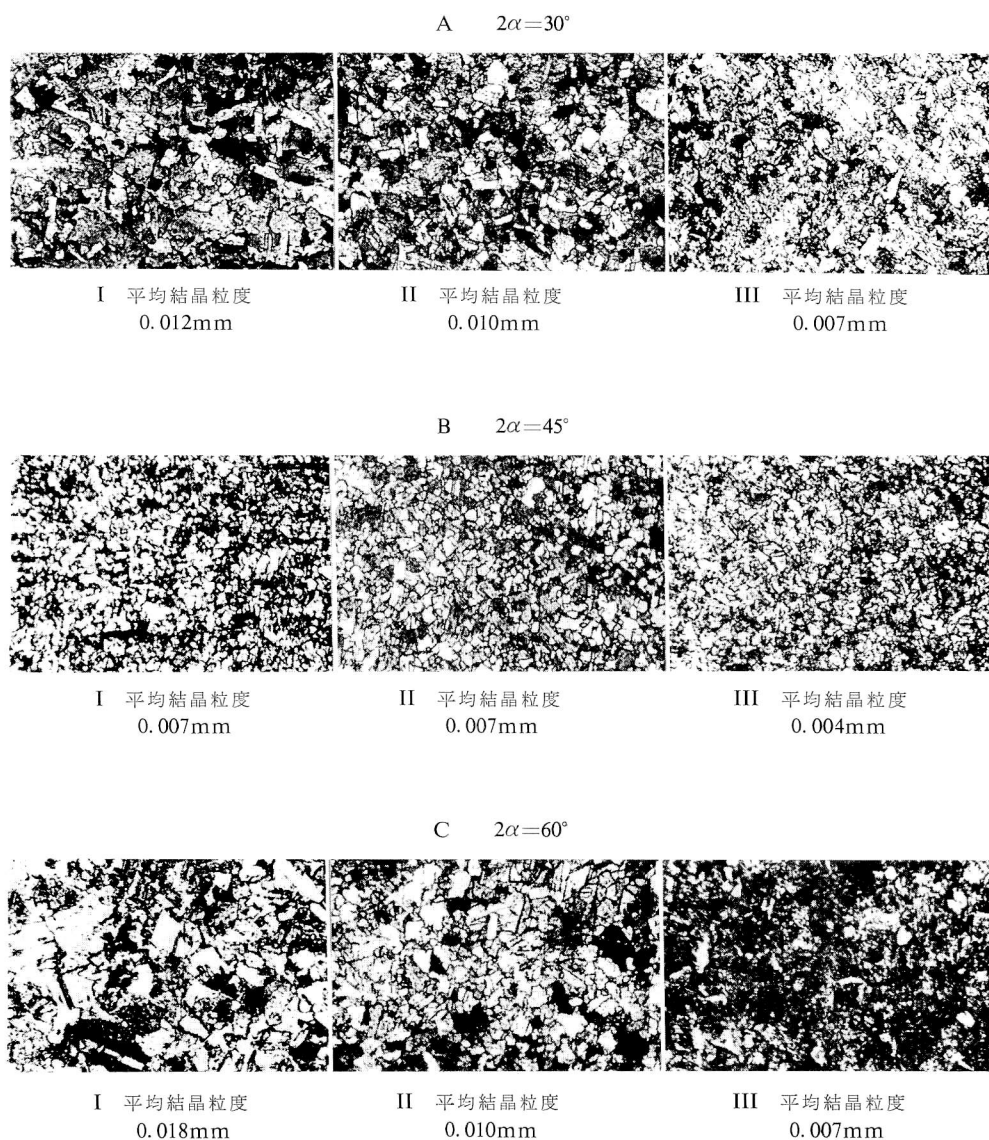


図 9    ダイス頂角 ( $2\alpha$ ) による加工部の組織変化 ( $\times 250$ )

加工条件     $N_D$  : 3000 r.p.m.  
 $2\alpha$  : (A)  $30^\circ$     (B)  $45^\circ$     (C)  $60^\circ$   
 $Ar$  : 12.5%  
 $f_w$  : 0.1mm/rev

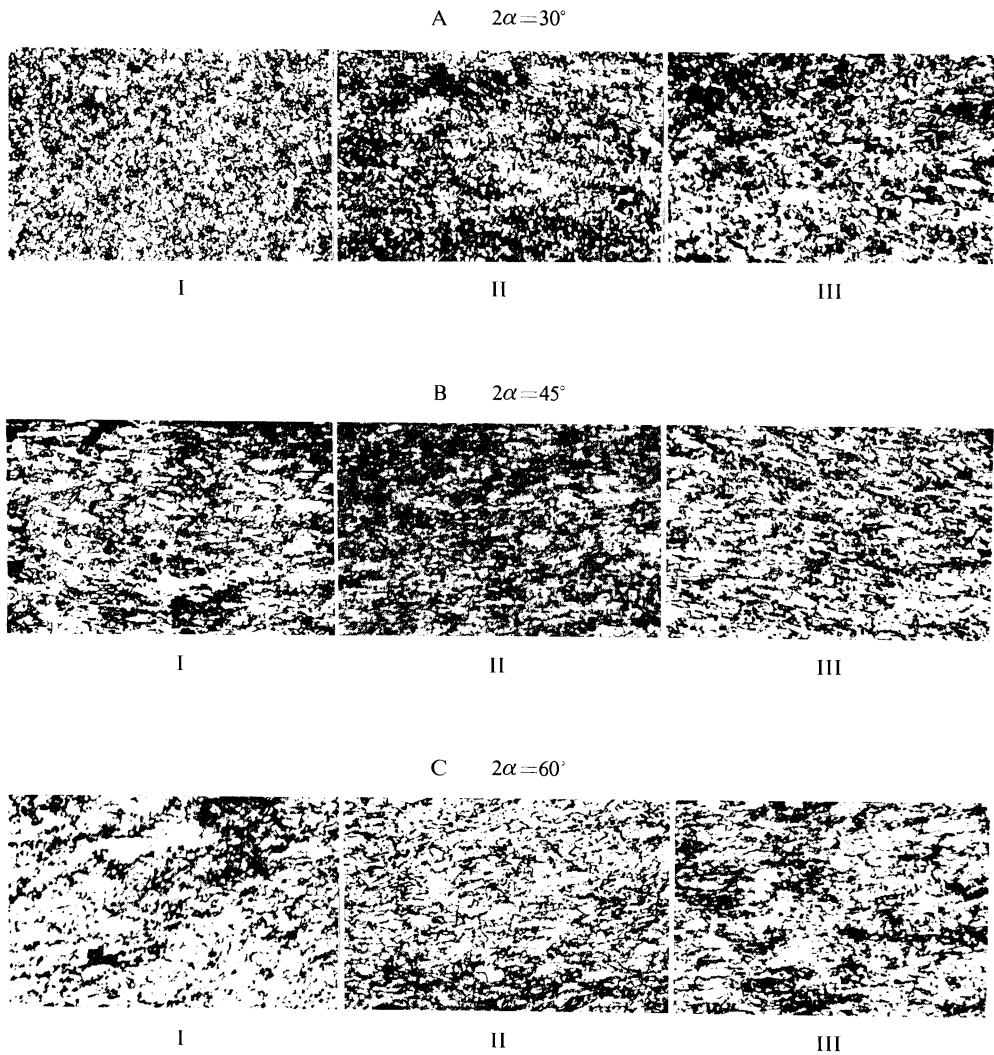


図 10    ダイス頂角 ( $2\alpha$ ) による加工部の組織変化 ( $\times 250$ )

加工条件     $N_D$  : 3000 r.p.m.  
 $2\alpha$  : (A)  $30^\circ$     (B)  $45^\circ$     (C)  $60^\circ$   
 $Ar$  : 50%  
 $f_w$  : 0.5 mm/rev

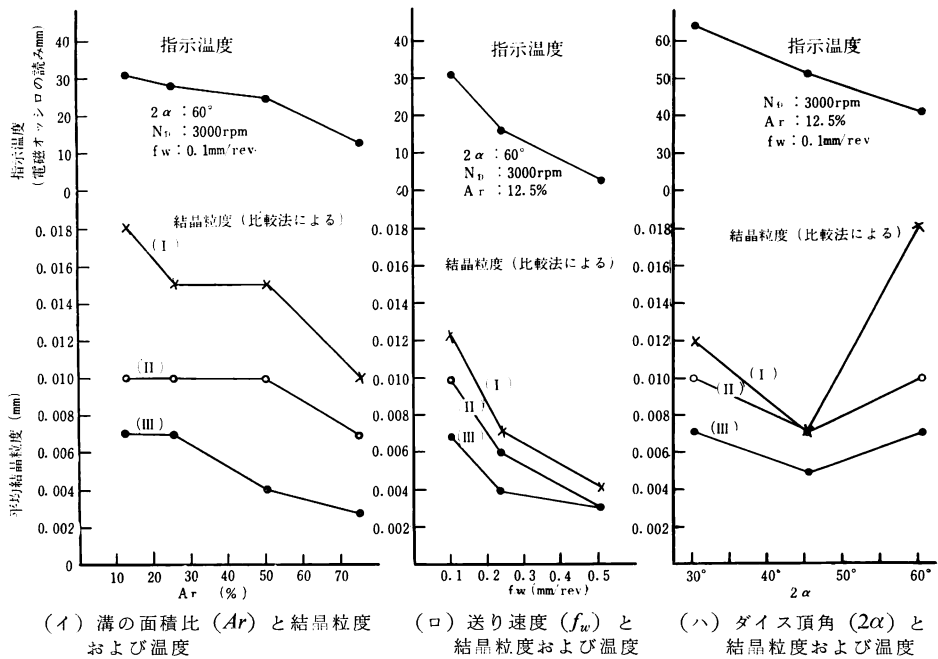


図 11 結 晶 粒 度 の 変 化

のように変化してくるので、本実験では加工終点はなるべく一定になるように心掛けた。

### 3-2. 肉厚の変化

図 13, 図 14 に加工部の肉厚の変化について示すが、縦軸に非加工部の肉厚 ( $t_0$  mm) に対する加工部の肉厚 ( $t$  mm) の比をとり、横軸に加工部の各測定位置における管の外径 ( $d$  mm) と、加工前の外径 ( $d_0$  mm) の比で測定位置を示している。

これからわかるように、管端スピニング加工においては、加工部の肉厚は素材の肉厚より厚くなり、また、いずれの場合でも加工部先端に向って厚くなっているが、 $d_0/d=1.15$  あたりまでは増加の割合が急で、あと徐々にゆるやかになっている。これは加工進行中の温度上昇割合と関係があるのではないと思われる。即ちダイス入口付近では(試料先端がダイス壁面に最初に接触するとき)試料の温度も低く、従ってスラスト ( $P_z$ ) の上昇も急勾配である。しかし、加工が進むにつれて試料の温度もあがり、だんだんスラストの増加割合も小さくなってくる。このため、ダイス内における試料の円周方向の圧縮力もこれに応じて小さくなるため、先端にいくほど、肉厚の増加の割合も小さくなるものと思われる。

また、ダイスに設けられた溝の面積比  $Ar$  が小さいときは、肉厚の増加割合も直線的であるが、溝の面積比  $Ar$  が大きくなると放物線となりゆるやかである。特に、試料の送り速度が小さいとき ( $f_w=0.1$  mm/rev) にその傾向がはつきりしているが、これは送り速度が小さいと加工状態が安定しているため、バラツキが少いためと思われる。

このように、本加工法においては加工部の肉厚は、大体、素材の肉厚の 1.5 倍から 1.7 倍程度に厚くなっている。図 15 に 1 例として冷間引抜きの際における肉厚変化を計算して求めたものと、本加工法の 1 例を比較したが、これでもわかるよう本加工法の肉厚変化は相当大きいことがわかる。

## 4. 結 論

以上、管端スピニング加工部の顕微鏡観察および肉厚測定から次のことがいえる。

1. 試料の送り速度が小さいとき ( $f_w=0.1$  mm/rev) は、明らかな再結晶組織が観察される。
2. 試料の送り速度が大きいとき ( $f_w=0.5$  mm/rev) は、小さいとき ( $f_w=0.1$  mm/rev) ほど、再結晶組織は明確ではないが、やはり再結晶組織が観察される。

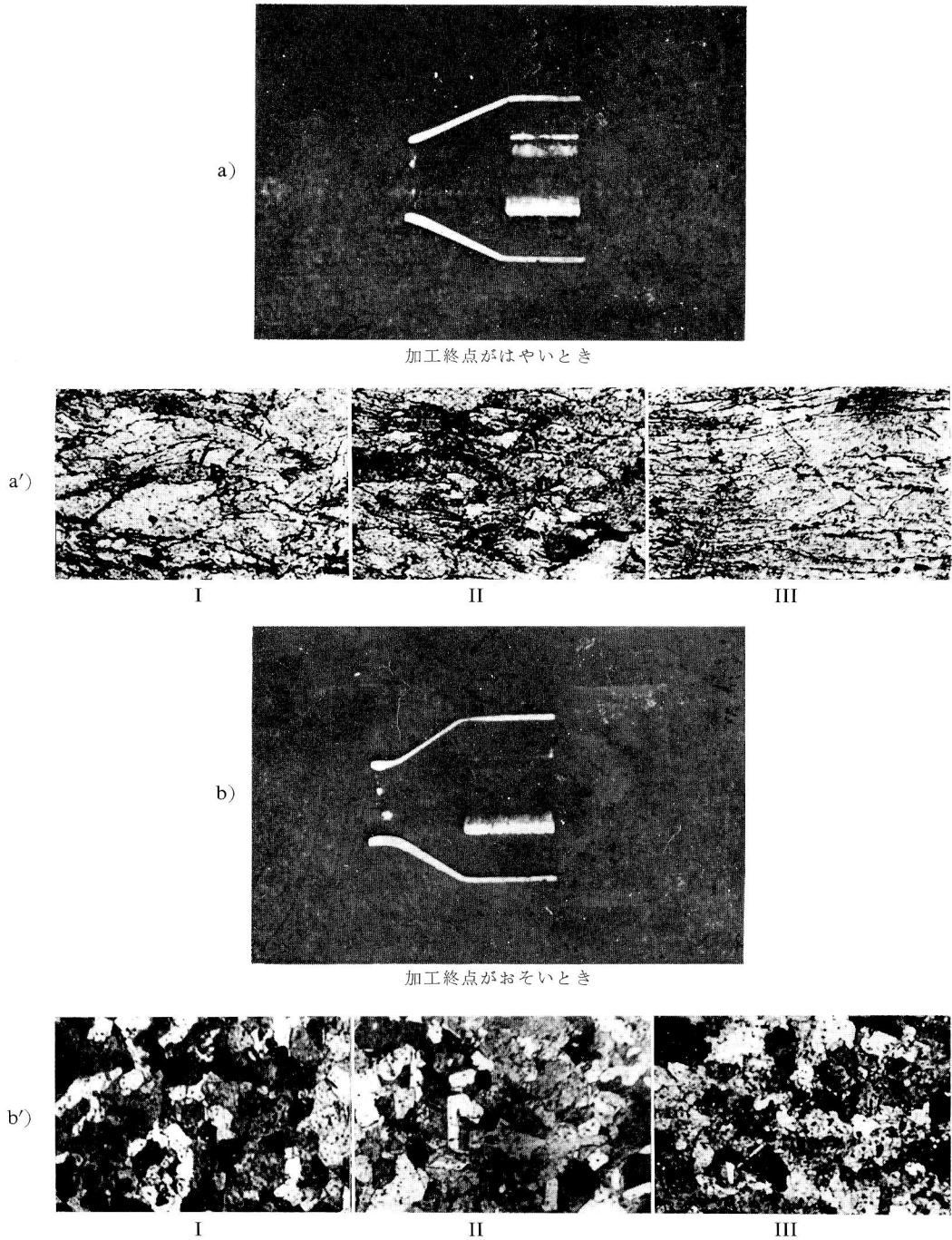
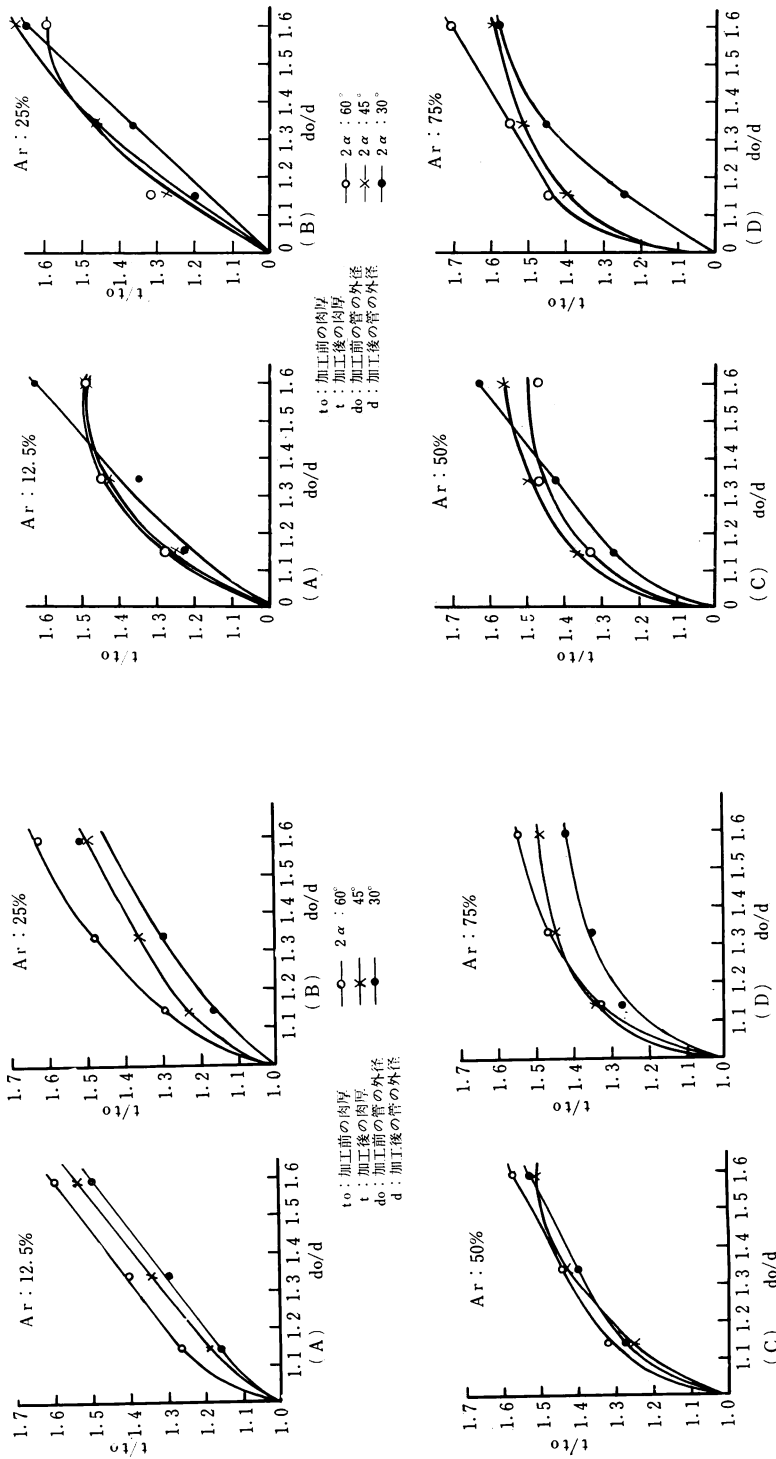


図 12 加工終点による結晶粒度の差異 ( $\times 1000$ )

加工条件  $N_D$  : 3000 r.p.m.  
 $2\alpha$  :  $60^\circ$   
 $Ar$  : 25%  
 $f_w$  : 0.5 mm/rev

図13 加工部の肉厚の変化 ( $f_w=0.1$  mm/rev)図14 加工部の肉厚の変化 ( $f_w=0.5$  mm/rev)

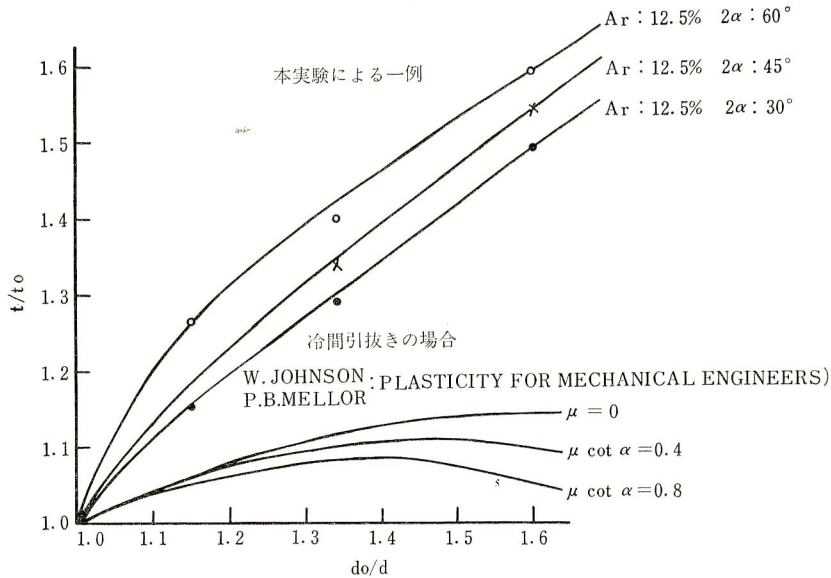


図 15 肉厚変化の比較

3. 結晶粒の大きさおよび組織は、同一加工条件では明らかにダイスに設けた溝の影響を受け、溝の面積比 ( $Ar$ ) が大きくなると結晶粒は小さくなる。

4. 試料の送り速度 ( $f_w$ ) が大きくなると、溝の影響があまりはつきりしないが、これは加工速度がはやいため、熱的影響が少くなるためと思われる。

5. 肉厚は、加工部の方が素材の肉厚よりも厚くなり、先端ほど厚くなるが、これは他の冷間加工の場合にくらべ、肉厚比  $t/t_0=1.5\sim1.7$  と大きくなっている。

6. 以上加工条件により再結晶粒度に、ある種の規則性を認めることができ最高加熱温度の変化を予想できる<sup>2)</sup>。

また、いずれも加工部は再結晶を完了しており、変形過程において熱間塑性域にあつたことがわかる。

#### あ と が き

急速な熱変化を伴う塑性変形過程において、熱移動

の余裕なく、冷間加工から熱間加工に至る本加工法を、変形抵抗を仮定する塑性力学によつては解析することはできない。そこで、基本的に変形過程における熱的挙動、即ち発熱現象とその熱移動、ならびに材料の変質に伴う変形抵抗を求めることにより、冷間から熱間塑性域に至る連続的な塑性力学的解析が可能となると考えられるので、今後、これらの基礎的研究に移ることとする。

なお、本実験にあたり、協力を惜しまれなかつた中西賢二助手に対し謝意を表するものである。

#### 文 献

- 1) 岡村・田中：管端スピニング加工に関する研究（第一報）加工性に関する基礎的研究，鹿大工学部研究報告，8号，42年 月，p. 19.
- 2) B. Chalmers: Progress in Metal Physics 3, 1952, p. 276.