終りに、本研究を行うにあたり御指導いただいた金属材料技術研究所粉末冶金研究室 武田室長ならびに研究に協力された鰐川研究員に厚くお礼申し上げます。

文 献

- (1) 内藤逸策：特許出願公告，昭 35-1503.
- (2) W.B.Pearson : *Handbook of Lattice Spacings and Structures of Metals*, (1958), p.934.

- (3) 電気製鋼研究会編集：特殊鋼便覧，(1969)，p.12-4.
- (4) 橋浦広吉：日本金属学会会報，**16**(1977)，681.
- (5) 今井勇之進，斎藤利生：日本金属学会誌，**26**(1962)，283.
- (6) 緒方和郎，河合伸泰，古田誠矢：粉体粉末冶金協会昭和 51 年度秋季大会講演概要集，(1976)，p.78.
- (7) Howard S Avery : *Metals Handbook*, American Society for Metals, Vol.1(1961)，834.

日本金属学会誌 第 44 巻 第 12 号 (1980) 1356~1361

引拔変形時の外周部変形帯の形成について*

稲 数 直 次** 山 本 久**

Deformation Band Developed in the Periphery of Drawn Copper Single Crystals

Naotsugu Inakazu** and Hisashi Yamamoto**

In order to study the forming process of the deformation band developed in the periphery of a copper single crystal rod during drawing, the behavior of the peripheral region was investigated by determining the pole figure.

The deformation banding mechanism in the peripheral region of wire rod was different from that in the central region, that is, no matter how the initial orientation may be, the end orientation was accompanied by the $\{111\}\langle 112 \rangle$ component and simultaneously by the twin component.

It was assumed that the shearing force acted on the periphery of a drawn wire rod during drawing, because of the friction between a die and material.

At the first stage of deformation, the cube structure was developed by the $\{100\}$ slip rotation in the $\{100\}\langle 110 \rangle$ slip system rather than the $\{111\}\langle 110 \rangle$ slip system, and at the second stage, the $\{111\}\langle 112 \rangle$ component was developed by the $\{111\}$ slip rotation around the circumferential axis, because of the inclination of the $\{111\}$ plane to become parallel to the compressive plane of the drawn wire rod, and at the same time the twin component was developed by the inverse rotation around the circumferential axis.

Consequently the deformation bands which resembled in appearance annual rings of a tree were developed at the peripheral region.

(Received February 15, 1980) J. Japan Inst. Metals, Vol. 44, No. 12 (1980), pp. 1356~1361

I. 緒 言

変形帯形成に関する研究は単結晶の変形に不均一性が見られることを報告した Barrett⁽¹⁾以来，多くの報告がなされている。Wassermann⁽²⁾⁽³⁾や Ahlborn⁽⁴⁾⁽⁵⁾らは面心立方金属の引拔変形時に，その横断面上に発生する変形帯について， $\langle 100 \rangle$ ， $\langle 111 \rangle$ 方位への回転を調べ最終方位量を変形度合の関数として求めている。すなわち銀は変形双晶により $\langle 100 \rangle$ への回転が起り，銅および黄銅は顕著な変形帯が形成され強加工に伴い $\langle 100 \rangle$ が減少し $\langle 111 \rangle$ の集積が大きくなることなどが報告されている。これらの

報告は試料の横断面上を，特に限定することなく一様にその挙動を考察しているが，実際には変形帯の形成は一様ではなく中心付近と外周部では大きな相違が見られる。著者らの最近の研究⁽⁶⁾⁽⁷⁾では，銅およびアルミニウム単結晶の横断面上に形成される変形帯の観察を行ない，引拔変形時の引拔力の実測値から平均変形強度を求めて変形帯の形成過程と対比させ，またワイヤ軸の回転挙動を相対的分解せん断応力線図から比較検討した。これらの研究においても，試料横断面上の中心付近と外周部では変形帯形成の様相が異なる事を確認した。したがってその後の研究⁽⁸⁾では

** 大阪府立大学工学部 (College of Engineering, University of Osaka Prefecture, Sakai)

* 1980 年 4 月日本金属学会東京大会に発表

試料中心部と外周部の変形帯形成過程の差異を明確にし、中心部の変形帯形成に関しては引張軸と圧縮軸よりなる2軸応力系での相対的分解せん断応力による解析を行ない、ワイヤ軸方位の移動を追跡することによって変形帯形成過程を説明した。

今回は試料外周部の変形帯の形成過程を、ダイスと材料との摩擦で生じたせん断力によるすべり回転として考察した。

II. 実験方法

単結晶試料は純度 99.99% の無酸素銅を Bridgman 法により埴形炉で炉引き上げ速度 6.9×10^{-6} m/s で $\phi 12.5$ mm $\times$ $L 200$ mm の寸法に作製した。これら単結晶の初期軸方位を Fig.1 に示す。単結晶の引拔きは低速引拔装置を用いて各回の断面減少率を約 3% に統一し、0.9 mm/s の速度で最終減面率約 83% まで行なった。変形帯の観察試片は引拔変形を受けた試料の後端より減面率約 10% ごとに摘出され、試料横断面を研磨した後硝酸に一定程度銅イオンを溶かした溶液または塩化第 2 銅アンモニウムで化学研磨後行なわれた。X線観察用試片は Fig.2 に示されるように試料外周部より長手方向に 3 mm、接線方向に 1 mm、半径方向に 0.04 mm の寸法になるよう切り出し電解研磨された。極点図は CuK α 線のマイクロビームを

Fig.1 Axial orientation of copper single crystals.

Fig.2 Sectioning procedure.

用いて、中心に圧縮面を、上方向にワイヤ軸を定めて、{111} 極点図を作成した。

III. 実験結果

変形帯の観察は引拔試料の後端部横断面上で行なったが、最初に試料の中心部にマクロ的な変形帯の形成が観察された。続いて外周部に樹木の年輪に似た変形帯が形成された。この外周部で観察された変形帯の形成過程を {111} 極点図を通して追跡してみた。

試料 1 の場合、減面率 35.5% で試料中心部に変形帯形成が起り、外周部では減面率 45.9% で変形帯が形成されはじめた。変形が進むにつれて変形帯は増々明瞭になった。

Photo.1 は減面率 82.9% のときの変形帯を示す。ワイヤ軸に $\langle 100 \rangle$ 方位をもつ棒材の典型的な模様である。Fig.3 にこの模様を方位関係とともにスケッチした。Fig.3 の $[0\bar{1}0]$ 方位を圧縮軸に持つ試片を所定の減面率に応じて切り出して、それぞれ極点図を作成した。その様子を Fig.4 に示す。減面率 35.5% でワイヤ軸の分離が起り $(071)[\bar{1}17]$, $(071)[117]$ の方位が形成される。さらに変形が進むと $(031)[\bar{1}13]$, $(031)[113]$ を経て減面率 66.7% で

Photo.1 Deformation band observed in the transverse section of specimen No.1 drawn to 82.9% reduction. ($\times 10$)

Fig.3 Sketch of the deformation band observed in the transverse section of drawn wire.

(021)[112], (021)[112]に達する。その後の変形ではワイヤ軸の回転は起らず、圧縮面の分離が見られる。すなわち(132)を経て(111)へ、また一方(132)を経て(111)へそれぞれ

Fig.4 {111} pole figures in the peripheral region of specimen No.1 with various reductions.

Fig.5 {111} pole figures in peripheral region of specimen No.5 with various reductions.

れ回転している。結局減面率 82.9% で(111)[112]または(111)[112]に到達している。同時に双晶成分(111)[112]または(111)[112]方位かそれに非常に近い方位が形成されている。

試料 2 の場合、減面率 45.9% までの変形でワイヤ軸並びに圧縮軸の回転が起り立方体成分(010)[001]が得られる。その後の変形では試料 1 の場合と同様にワイヤ軸の分離が起りそれぞれ{021}<112>方位を経て最終的に{111}<112>方位に到達する。また同時に双晶成分が形成されるのも同様である。

試料 3, 4 の場合、試料 2 と同様にそれぞれ減面率 35.5% および 45.9% までの変形で立方体方位が得られる。その後の変形では試料 1 と同様ワイヤ軸の分離が起る。{021}<112>方位に到達後は圧縮面の分離も起り、圧縮面はそれぞれ(111)と(111)へ回転して最終的に(111)[112]と(111)[112]方位に到達する。同時に双晶成分が形成される。

試料 5 の場合、今までの試料とは異なった回転を示した。Fig.5 に見られるように、ワイヤ軸は分離することなく(001)一(111)境界へ向って回転を起す。同時に(100)近傍の圧縮軸に関して見るならば、圧縮面の分離が起り変形の増大に伴って Fig.5(a), (c) のように(100)一(101)境界に沿って(201)へ向かう場合と、Fig.5(b), (d) のように(100)一(111)境界に沿って(111)へ回転する場合とが観察された (Fig.6 も参照)。最終的には減面率 82.9% で他の試料と同様に{111}<112>方位に到達し、双晶成分を伴うことがわかった。

IV. 考 察

前述の全試料に対する回転経路を(001)標準ステレオ投影図上に纏めてみると、Fig.6 のようになる。図中のWはワイヤ軸を、Cは圧縮軸を、添字は試料番号を表わす。この図に示されるように試料 1~4 までは、ワイヤ軸は変形の初期で(001)に集積している。それに伴い圧縮軸は外周大円上に存在することになる。その後変形の増加につれてワイヤ軸の分離が起り 4 ケ所の<112>方位へ回転している。一方圧縮面も(010)一(001)境界線上を{021}方位へ回転し、最終的に 4 ケ所の{111}方位へ分離し回転する。試料 5 の場合は、ワイヤ軸は(001)に集積することなく、また分離も起らず直接{112}へ回転している。一方圧縮軸は変形の初期ですでに分離して、それぞれ(111)と(201)へ回転している。以上の回転経路を分類するに、2 段階に分けられる。第 1 段階は変形の初期でワイヤ軸が(001)へ移動し立方体方位を形成するまでである。第 2 段階はワイヤ軸が分離して{112}方位へ回転し、一方圧縮軸が{111}方位へ回転するまでである。したがって上記 2 段階に分けて回転を考察してみる。

まず第 1 段階の回転を検討してみる。先の報告⁽⁸⁾では試料中心部に関して、2 軸応力下での相対的分解せん断応力

Fig.6 Standard (001) stereographic projection illustrating rotations of wire and compressive axes in the peripheral region during drawing.

Table 1 Relative resolved shear stress of primary and secondary slip systems under the binary axial stress condition.

Specimen	Primary slip systems(τ/σ)	Secondary slip systems(τ/σ)
S : 2	A3, C2(0.88)	A5, C5(0.75)
S : 3	A3, B1(0.97)	A4, B4(0.74)
S : 4	A5, A3(0.94)	B6 (0.77)
S : 5	A3 (0.94)	A5 (0.89)

から得られた $\{111\}\langle 110 \rangle$ 活動すべり系が議論されたが、今回の試料外周部に関してもまず従来から試みられてきた 2 軸応力系で考えてみると、すべり系の分解せん断応力は、引張応力と圧縮応力が等しいとすれば、 $\tau_1 = \sigma(\cos \lambda_1 \cos \phi_1 - \cos \lambda_2 \cos \phi_2)$ で表わされる。ここで $\cos \lambda_1$ と $\cos \phi_1$ は引抜方向に対するすべり面法線とすべり方向の方向余弦であり、 $\cos \lambda_2$ と $\cos \phi_2$ は圧縮応力軸に対するすべり面法線とすべり方向の方向余弦である。この式から、試料 1 はすでに立方体組織を呈するので除外し、試料 2, 3, 4 と 5 について算出した相対的な分解せん断応力(τ_1/σ)の上位 2 すべり系を纏めてみると **Table 1** のようになる。これらのすべり系の活動からは、試料 3 の場合を除いて立方体方位の形成は期待出来ない。したがってダイスから受ける拘束力すなわち摩擦力の影響が甚大であると考え、従来の様な相対的な分解せん断応力とは別な応力系を考慮しなければならない。すなわち試料外周部表面に働くせん断応力(τ_2)である。このせん断応力は棒状試料の表面でワイヤ軸に平行に存在し、かつその方向は引抜方向と逆方向に作用することになる。分解せん断応力(τ_1)では説明出来なかった立方体方位の形成を外周部のせん断応力(τ_2)で考えてみる。ここで、せん断方向と、せん断方向に対するすべりを誘発される結晶面上のすべり方向との角を θ 、そのすべり面との角を α とすると、外周部せん断応力(τ_2)に対して、結晶

面上にかかるせん断応力は、 $\tau_2 \cos \alpha (1 - \sin^2 \theta)$ で表わされる。立方体方位を形成するためのすべり系として、 $\{100\}\langle 110 \rangle$ すべり系と $\{111\}\langle 110 \rangle$ すべり系の両方を検討してみる。 $\{100\}$ 面上のすべりに関しては本研究では、棒状試料としての煩雑さから未だすべりを確認していないが、Richards と Pugh⁽⁹⁾ や Haeßner⁽¹⁰⁾ は純金属型の圧延集合組織を説明するのに $\{100\}$ 面すべりを提唱している。また Hartmann と Macherauch⁽¹¹⁾⁽¹²⁾ は多結晶銅およびアルミニウムにおいて、正八面体すべり以外の、 $\{100\}$ 、 $\{110\}$ 、 $\{113\}$ と $\{333\}$ すべりを確認している。またアルミニウムの単結晶では Beevers と Honeycombe⁽¹³⁾ が、白金の多結晶では McLean と Mykura⁽¹⁴⁾ が $\{100\}$ すべりを認めている。以上の実験事実から本研究も $\{100\}$ すべりを想定して考察を加えたい。**Fig.7** は各試料の立方体模形で、立方体組織が形成されるためにはすくなくとも図中のすべり系が活動しなければならないという意図のもとに $\{100\}$ すべり面上の $\langle 110 \rangle$ すべり方向を設定している。それぞれ上方向に引抜方向を定めると、各結晶の側面に引抜軸と平行で、そして下方向へせん断応力がかかる。試料 2 の場合、 $\{100\}\langle 110 \rangle$ すべり系では (010) 面および (100) 面に対して平行な (100) 面と引抜軸に平行なせん断力の作用面との面間角は 20° (0.349 rad) で、せん断方向とすべり方向 $[10\bar{1}]$ および $[0\bar{1}1]$ に対して 30° (0.523 rad) である。これに対してワイヤ軸を $[001]$ 方向に回転させるための $\{111\}\langle 110 \rangle$ すべり系ではすべり面 $(\bar{1}11)$ との面間角は 65° (1.134 rad) になり、すべり方向 $[0\bar{1}1]$ および $[\bar{1}0\bar{1}]$ に対して 69° (1.204 rad) になる。したがって $\{100\}$ 面上では $0.704 \tau_2$ 、 $\{111\}$ 面上では $0.055 \tau_2$ のせん断応力が作用す

Fig.7 Rotation of the cubic model by shearing.

る。その結果 $\{111\} \langle 110 \rangle$ すべり系の活動より、 $\{100\} \langle 110 \rangle$ すべり系の活動が活発になり $\{100\}$ 面すべりが誘発され、 $[225]$ に存在していた初期ワイヤ軸は $(001) - (\bar{1}11)$ 境界線上を回転して $[001]$ に到達し、立方体方位が形成され第 1 段階の回転は終了する。試料 3 の場合、 (100) 面とその平行な $(\bar{1}00)$ 面は引抜軸に平行で、 (010) 面とせん断力の作用面との面間角は $22^\circ (0.384 \text{ rad})$ である。せん断方向とすべり方向 $[10\bar{1}]$ および $[\bar{1}01]$ に対して $49^\circ (0.855 \text{ rad})$ である。一方 $\{111\}$ すべり系ではワイヤ軸を $[001]$ 方向に回転させるために必要な (111) 面および $(\bar{1}\bar{1}1)$ 面との面間角は $49^\circ (0.855 \text{ rad})$ で、せん断方向に対するすべり方向 $[01\bar{1}]$ は $63^\circ (1.099 \text{ rad})$ である。したがって $\{100\}$ 面上で、 $0.407 \tau_2$ 、 $\{111\}$ 面上で $0.135 \tau_2$ が作用する。したがって (010) 面上でのすべりにより、ワイヤ軸は $(001) - (\bar{0}11)$ 線上を回転して $[001]$ に到る。また試料 4 の場合、 (100) 面と $(\bar{1}00)$ 面はワイヤ軸に対してほぼ平行にある。 (010) 面とせん断力の作用面は $42^\circ (0.733 \text{ rad})$ で、せん断方向に対するすべり方向 $[10\bar{1}]$ は $54^\circ (0.942 \text{ rad})$ および $[\bar{1}0\bar{1}]$ は $61^\circ (1.064 \text{ rad})$ である。一方 $\{111\}$ すべり系では、 (111) 面に対して $51^\circ (0.890 \text{ rad})$ 、 $(\bar{1}\bar{1}1)$ 面に対して $59^\circ (1.030 \text{ rad})$ のひらきがあり、すべり方向 $[01\bar{1}]$ に対して $86^\circ (1.501 \text{ rad})$ である。したがって $\{100\}$ 面上で $0.260 \tau_2$ と $0.178 \tau_2$ がまた $\{111\}$ 面上で $0.006 \tau_2$ と $0.005 \tau_2$ が作用する。その結果 (010) 面上のすべりで試料 3 の方位に近づき、その後のすべりでさらに立方体方位へ接近することになる。次に試料 5 の場合、 $\{100\}$ すべりによる立方体方位は (010) 面と $(\bar{1}00)$ 面上のすべりに依存するが、せん断力の作用面との面間角はそれぞれ $35^\circ (0.611 \text{ rad})$ と $16^\circ (0.279 \text{ rad})$ で、せん断方向に対してすべり方向 $[10\bar{1}]$ および $[01\bar{1}]$ は $42^\circ (0.733 \text{ rad})$ と $19^\circ (0.331 \text{ rad})$ である。一方 $\{111\}$ すべり系では、 $(\bar{1}\bar{1}1)$ 面に対して $4^\circ (0.070 \text{ rad})$ で、すべり方向 $[01\bar{1}]$ および $[10\bar{1}]$ に対して $19^\circ (0.331 \text{ rad})$ と $42^\circ (0.733 \text{ rad})$ になり、 $\{100\}$ すべり系と同一方位角をもつ。したがって $\{100\}$ 面上で $0.452 \tau_2$ と $0.860 \tau_2$ が、また $\{111\}$ 面

上で $0.552 \tau_2$ と $0.893 \tau_2$ が作用する。その結果 $(\bar{1}\bar{1}1)$ 面上のすべりが起こりワイヤ軸は $[\bar{1}12]$ へ向かう。その後は (111) 面と $(\bar{1}\bar{1}1)$ 面上のすべりで平衡が保たれ立方体方位を得ることなく $[\bar{1}12]$ に安定する。今までのせん断応力を **Table 2** に纏めた。

以上のように試料中の結晶が分解せん断応力 (τ_1) に支配されるとき $\{111\} \langle 110 \rangle$ 系のすべりが起こり、外周部せん断応力 (τ_2) に支配されるときせん断方向に対してすべり方向およびすべり面によっては $\{111\} \langle 110 \rangle$ 系のすべりが起こることが考えられる。したがって外周部で $\{100\}$ すべりが起こることを仮定するならば立方体方位の形成が良く説明される。また極点図で追跡した結果とも良い一致が得られた。

次に第 2 段階の回転を検討してみる。上述したように $\{100\}$ すべりを仮定することで安定方位として立方体方位が得られたが、その後のせん断力ではもはや $\{100\}$ すべりは起こり得ない。そこで $\{111\}$ すべり系を考えてみる。試料 1 から 4 に関しては、纏めて立方体方位を初期方位として考えればよい。Fig. 3 からまずワイヤ軸に $[001]$ を、圧縮軸に $[\bar{1}\bar{1}0]$ を設定して考察してみる。圧縮面上に引抜方向とは逆方向にせん断力が作用したとき、 $(\bar{1}\bar{1}1)$ 面上で $(\bar{1}\bar{1}1)[01\bar{1}]$ および $(\bar{1}\bar{1}1)[10\bar{1}]$ のすべり系が活動する。その結果圧縮面に $\{111\}$ 面が近づこうとし、またすべり方向は合成されて $[\bar{1}12]$ 方向となり、試料側面にはワイヤ軸に関して $(\bar{1}\bar{1}1)[112]$ の優先方位が形成される。この回転挙動は **Fig. 8** に示されるように棒状試料の引抜および圧縮両軸に垂直な接線軸のまわりの回転と考えられる。上記の場合は $[\bar{1}\bar{1}0]$ 軸まわりの回転を示す。

次に圧縮軸を $[010]$ に設定して考察する。試料表面にせん断力が作用したとき、 $(\bar{1}\bar{1}1)[01\bar{1}]$ および $(\bar{1}\bar{1}1)[01\bar{1}]$ のすべり系が活動する。その結果圧縮軸は $(010) - (001)$ 境界線上を (001) 方向へ移動を開始する。一方すべり面 $(\bar{1}\bar{1}1)$ および $(\bar{1}\bar{1}1)$ が圧縮面に対して平行になろうとすることで、ワイヤ軸は分離して $(001) - (\bar{1}\bar{1}1)$ 線上を $[\bar{1}12]$ へ、また $(001) - (\bar{1}\bar{1}1)$ 線上を $[\bar{1}12]$ へ回転する事になる。さらにその後の変形ですべり面は圧縮面に平行になる傾向を強め、圧縮軸は (021) から $(\bar{1}\bar{1}1)$ と $(1\bar{1}1)$ へ分離して最終的に $(\bar{1}\bar{1}1)[112]$ および $(\bar{1}\bar{1}1)[112]$ の優先方位が形成される。この様子を 8 面体模形で **Fig. 9** に示す。上記の回転挙動は Fig. 4 で観察された結果と良く一致するものである。上述のようにして試料表面の第 1 層が形成されるが、この回転に伴って第 1 層とは方向を異にするところの引抜方向に沿った相対的な内部せん断を想定するならば、上記の逆の回転が考えられその結果 Fig. 8 の第 2 層が形成されることになる。この層は第 1 層に対して双晶関係にある。このことは Fig. 4(d) の極点図で第 1 層の $(\bar{1}\bar{1}1)[112]$ 方位に対して、それよりやや強度が低く、かつ総体的に横軸 $\langle 110 \rangle$ まわりのすそ拡がりを持った双晶成分またはそれに近い方位が認められることから分かる。

Table 2 Comparison with resolved shear stresses of $\{100\} \langle 110 \rangle$ and $\{111\} \langle 110 \rangle$ slip systems in the peripheral region.

Specimen	$\tau_2 \cos \alpha (1 - \sin^2 \theta)$	
	$\{100\} \langle 110 \rangle$ slip system	$\{111\} \langle 110 \rangle$ slip system
S : 2	$(010)[10\bar{1}] : 0.704 \tau_2$ $(100)[01\bar{1}]$	$(\bar{1}\bar{1}1)[01\bar{1}] : 0.055 \tau_2$ $(111)[10\bar{1}]$
S : 3	$(010)[10\bar{1}] : 0.407 \tau_2$ $(010)[10\bar{1}]$	$(111)[01\bar{1}] : 0.135 \tau_2$ $(111)[01\bar{1}]$
S : 4	$(010)[10\bar{1}] : 0.260 \tau_2$ $(010)[10\bar{1}] : 0.178 \tau_2$	$(111)[01\bar{1}] : 0.006 \tau_2$ $(\bar{1}\bar{1}1)[01\bar{1}] : 0.005 \tau_2$
S : 5	$(010)[10\bar{1}] : 0.452 \tau_2$ $(100)[01\bar{1}] : 0.860 \tau_2$	$(\bar{1}\bar{1}1)[01\bar{1}] : 0.552 \tau_2$ $(111)[10\bar{1}] : 0.893 \tau_2$

Fig.8 Octahedral model showing development of the deformation band in the peripheral region by shearing.

Fig.9 Octahedral model showing rotation around the $\langle 110 \rangle$ axis by shearing.

次に試料5に関しては、第1段階の回転で検討したように最初から $\{111\}$ すべりを起こしワイヤ軸は $[\bar{1}12]$ へ向かう。圧縮軸は (100) 近傍に初期方位を設定すると、変形の進行に伴って $\{111\}$ 面はせん断力の作用面に平行になる。一方 (100) — (101) 線上に沿って移動する圧縮軸はワイヤ軸が $[\bar{1}12]$ へ接近するにつれて (201) へ近づく。その後の強変形によって、 $\{111\} \langle 112 \rangle$ 優先方位が形成されること、そして双晶成分が認められることに関しては他の試料とまったく同様である。この回転挙動は Fig.5 で示された結果と良く一致する。

以上のごとく棒状試料中で、分解せん断応力 (τ_1) と外周部せん断応力 (τ_2) のいずれの応力が支配的であるかによって中心部と外周部の変形帯の区別が生ずることになる。本研究では外周部せん断応力によって第1段階の立方体方位

の形成と第2段階の $\{111\} \langle 112 \rangle$ 方位とその双晶成分の形成が起こり、その結果試料外周部表面に層状の変形帯が出現した。

V. 総 括

銅単結晶の引拔変形によって試料横断面の外周部に発生する変形帯の形成過程を検討した結果次のことを得た。

ダイスと試料との間で発生する摩擦力は試料表面で引拔軸に平行で引拔方向とは逆方向の外周部せん断応力 (τ_2) として作用する。この外周部せん断応力が試料表面で接線軸のまわりのすべり回転を誘発して、同心円状の外周部変形帯を形成することがわかった。すべり回転には2種類のすべりが考えられた。第1段階のすべりは $\{100\}$ すべりが優先的に起こる場合を意味する。すなわち試料表面での外周部せん断応力 (τ_2) によって、すべりを誘発する結晶面上には $\tau_2 \cos \alpha (1 - \sin^2 \theta)$ の応力が働き、その値は、立方体組織の形成には $\{111\} \langle 110 \rangle$ すべり系より $\{100\} \langle 110 \rangle$ すべり系の方が大きく、したがって $\{100\}$ すべりが優先する。

第2段階のすべりは $\{111\}$ すべりが優先的に起こる場合である。すなわちその後の変形により試料表面での外周部せん断応力で $\{111\} \langle 110 \rangle$ すべりが起こり接線軸まわりの回転によって $\{111\} \langle 112 \rangle$ 優先方位が形成され、さらにその内部に双晶成分が発生することによって試料外周部に層状の変形帯が形成された。

文 献

- (1) C.S.Barrett : *Structure of Metals*, McGraw-Hill, (1952), 372.
- (2) H.Ahlborn und G.Wassermann : *Z.Metallk.*, **54**(1963), 1.
- (3) W.Hueck und G.Wassermann : *Z.Metallk.*, **54**(1963), 37.
- (4) H.Ahlborn : *Z.Metallk.*, **56**(1965), 205.
- (5) H.Ahlborn : *Z.Metallk.*, **56**(1965), 411.
- (6) 稲数直次, 山本 久, 佃 市三 : *日本金属学会誌*, **42**(1978), 555.
- (7) N.Inakazu, H.Kawamoto and H.Yamamoto : *Bulletin, University Osaka Pref., Series A*, **28**(1979), 63.
- (8) N.Inakazu, K.Lücke and R.Musick : (to be published)
- (9) T.L.Richards and S.F.Pugh : *J.Inst. Metals*, **88**(1959/60), 399.
- (10) F.Haeßner : *Z.Metallk.*, **54**(1963), 98.
- (11) R.J.Hartmann and E.Macherauch : *Z.Metallk.*, **51**(1960), 694.
- (12) R.J.Hartmann and E.Macherauch : *Z.Metallk.*, **52**(1961), 353.
- (13) C.J.Beevers and R.W.K.Honeycombe : *Acta Met.*, **6**(1961), 513.
- (14) M.McLean and H.Mykura : *Acta Met.*, **13**(1965), 376.