

## 純アルミニウム単結晶の切削機構 に及ぼす結晶方位依存性

加藤良雄\* 佐藤元太郎\*\* 土屋和博\*\*\*

(昭和53年5月31日受理)

### Effects of Crystal Orientations upon the Cutting Mechanism of Aluminium Single Crystals.

Yoshio KATO, Mototaro SATO and Kazuhiro TUTIYA

In order to study the cutting phenomenon changing with crystal orientations, orthogonal cutting test was conducted by the use of the specimens of aluminum single crystals of random and designated orientation.

The single crystals were produced through the Bridgeman method, and the crystal orientations were determined by the Laue X-ray back reflection method.

The main results obtained are as follows:

- 1) Variations of the cutting force in cutting process are divided into three patterns according to the differences in the crystal orientation against the cutting direction.
  - (a) Cutting force is stable.
  - (b) Cutting force increases gradually with the advance of cutting.
  - (c) Cutting force shows a periodic variation.
- 2) There is good agreement between the observed slip line and the theoretical one, the latter being based on the assumption that the slip deformation occurs theoretically by the slip system.
- 3) The finished surface appears excellent when cut with a small cutting force or at a large shear angle.

## 1 緒 言

金属の切削現象は材料の塑性変形と破壊である\*\*\*\*という観点にたてば多結晶体の切削もその切削機構をより厳密に解析しようとするならばミクロ的な考えを導入したものでな

\* 機械工学教室 教授

\*\* 機械工学教室 講師

\*\*\* 大学院修士課程

\*\*\*\* 塑性変形と破壊はミクロ的挙動を示し、塑性域の寸法は炭素鋼における銅メッキ法の測定によれば、0.01mm のオーダーでありこの寸法は結晶粒の寸法とほぼ同じである。

しかし切削における切削厚さ(切込み量)は一般的には被削材を構成する結晶粒径より小さいかあるいは同程度である。

くてはならない. すなわち多結晶体の切削現象もこれをミクロ的に見れば工具切刃近傍での単結晶の切削と同様である.

さらにまた圧延材など優先方位をもつ材料は特定の方位をもつ結晶粒の集合体, すなわち粗い近似をするならば優先方位と同じ方位の単結晶と見なすことができる.

以上のような観点から著者らは異方性材料の切削機構をより正しく把握するためにはまず単結晶の切削を行ない, 切削機構に及ぼす結晶方位依存性について考察する必要があると考える.

そこで本研究では種々の方位をもった純アルミニウム単結晶及び解析の容易さを考慮した指定方位単結晶を作成し, これらを乾式二次元切削することにより, 切削機構に及ぼす結晶方位依存性について検討した. さらに切削による変形が被削材の結晶方位によって理論的に定まったすべり系でおきているかどうかを検討するために, 理論的に求めたすべり線と, 実際に観察されたすべり線を対比させて考察を行なった.

## 2 実験方法

### 2.1 単結晶試料の作成

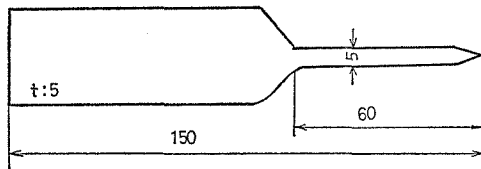


Fig.1 Shape and size of the single crystal.

素材は市販の99.99%アルミニウム, インゴットを用いた. まずインゴット内の铸巣をなくすために鍛造し, これを圧延機にて板状にしたのちに図1に示すような寸法に機械加工した. そしてこれを#2000までエメリー研磨し, さらに電解研磨にて鏡面仕上げを行なった.

#### 1) ランダム方位単結晶の作成

単結晶の作成はブリッジマン法によるタテ形引き上げ炉によった. すなわち電解研磨した試料をタンマン管内に先端の上がった方を下にして入れ, 酸化アルミニウムの粉末を固くつめ, 最高温度700°Cの温度勾配をもたせた炉中にセットし, 炉を30mm/hrの速度で引き上げるにより単結晶を育成した.

次に得られた試料は単結晶になっているかどうかを確かめるためにエメリー研磨→電解研磨の後に腐食液(組成: HCl: 50, HNO<sub>3</sub>: 74, HF: 3, vol%)でエッチピットを出し, 結晶粒界のないことを確かめた. また方位決定はX線背面反射ラウエ法によった.

X線条件は Cu K $\alpha$  線で電圧30Kv, 電流10mAである.

#### 2) 指定方位単結晶の作成

指定方位単結晶の作成は上記の手順を経て作成したランダム方位単結晶を試料とし, ス

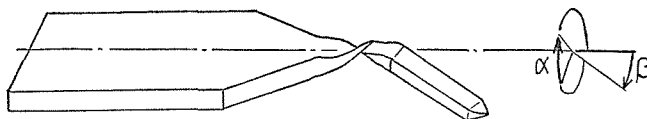


Fig.2 The technique of manufacturing single crystal with required orientation.

テレオ投影図を利用して指定方位がステレオ投影図の中心にくるように試料先端の細い部分を図2のようにねじりと曲げをほどこし、この部分が丁度融点に位置するようにタンマン管内にセットした。そしてこの位置から炉を引き上げて、先端の指定方位が試料全体に成長して方位調査が完了するようにした。

指定方位単結晶の確認はランダム方位単結晶と同様にX線背面反射ラウエ法によった。

3) 切削試料の切出し

試料の切出しは放電加工によった。なお切断による歪を除去するために再度切断面をエメリ研磨→電解研磨をほどこし、試料全体が無歪状態になるようにした。なお指定方位単結晶は試料の切出しにより多少の方位誤差が出るが、方位誤差 $4^\circ$ 以内のものを供試材とした。

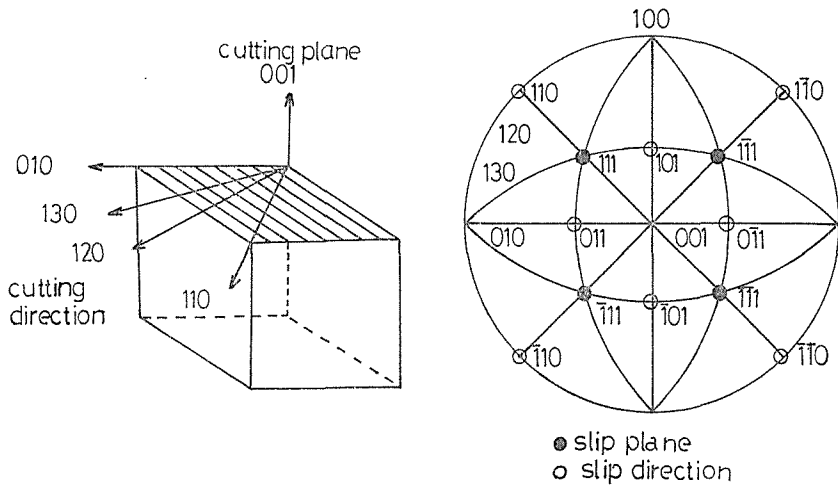


Fig.3 Cutting direction and active slip system. ((001) plane)

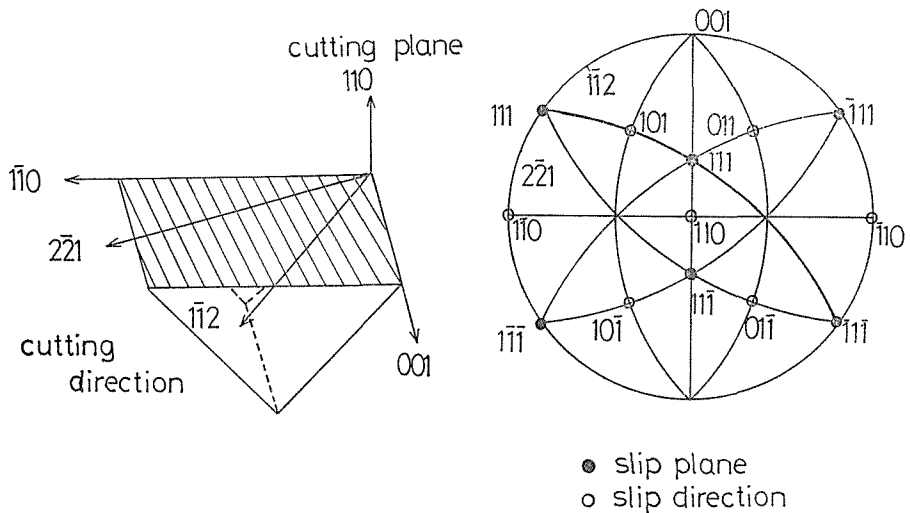


Fig.4 Cutting direction and active slip system. ((110) plane)

た.

本実験で使用した指定方位単結晶は作成および解析の容易さを考慮して図3, 図4に示したような結晶方位をもつ試料すなわち切削面が(001)で切削方向が[010], [130], [120], [110]の方位のものと, 切削面が(110)で切削方向が[001], [1 $\bar{1}$ 2], [2 $\bar{2}$ 1], [1 $\bar{1}$ 0]の方位のもの計8個の試料を供試材とした.

以後切削面が(001)の単結晶を Model 1, 切削面が(110)のものを Model 2 と呼ぶことにする.

Table 1. Cutting Condition

Tool material	SKH 4
Tool shape	Rake angle 35° Clearance angle 7° Nose radius 5~7 $\mu$
Cutting speed	100 mm/min
Depth of cut	0.1 mm
Width of cut	4 mm

## 2・2 切削実験

切削は立形フライスの横送りを利用した乾式二次元切削による。

試料をフライス盤のテーブル上にセットした工具動力計に固定して切削し, 切削抵抗の主分力と背分力を測定した. 横分力は結晶のすべりに横方向のすべりがあるために発生するはずであるが主分力に比較して小さいため, 本実験では測定しなかった.

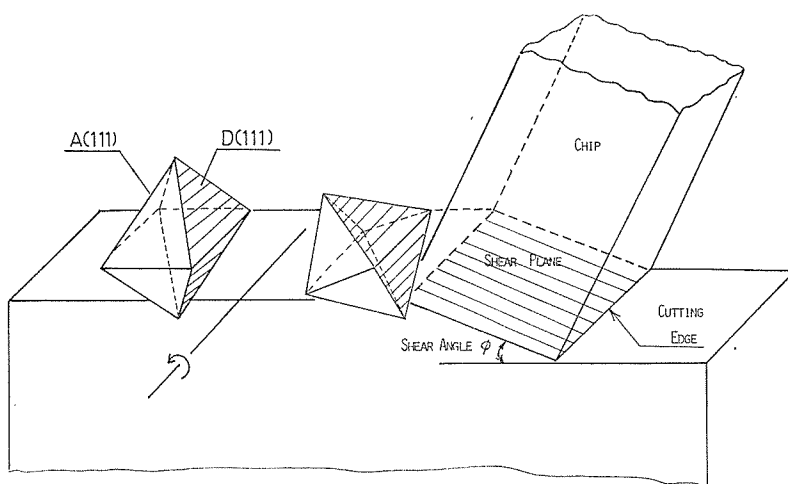


Fig.5 Schematic diagram of orthogonal cutting model.

切削中に生ずる試料の側面すべり線観察は切削を急停止させて行なった。切削条件を一括して表1に示した。切削速度が100mm/minと低速で行った理由は切削温度の影響を最小限にするためであり、また工具すくい角を $35^\circ$ と大きくしたのは構成刃先の生成を防ぎ安定した切削状態を得るためである。図5は切削模形を示したものである。

### 3 実験結果及び考察

#### 3.1 切削抵抗について

##### 1) 切削抵抗の変動と結晶方位

図6は結晶方位と切削方向がそれぞれ $(502)[26\bar{5}]$ 、 $(011)[5\bar{1}\bar{1}]$ であるような双結晶を切削したときの切削抵抗オシログラムである。これによると粒界(G.B)付近で主分力 $F_H$ と背分力 $F_V$ が明らかに変化しており、しかも粒界を堺にして両者の値は逆転している。このように切削抵抗はその値あるいは変動状態が結晶方位によって著しく影響を受けることがわかる。

次に Model 試料の切削について述べると結晶面が同一でも切削方向が異なると切削抵抗オシログラムの変動パターンが異なる。

Model 1, 2 試料の切削方向をそれぞれ変化させた8種類の試料のオシログラムからこれを大別してみるとおよそ次の3つのタイプに分類できる。

すなわち図7(a)のように切削中主分力がほとんど変化しないものと(b)に示すように漸増するもの、そして(c)のようにわずかながら漸増しながらかつ周期的に変動を繰り返すものである。表2に Model 1, 2の試料番号とその試料が属する変動パターンをまとめて示した。

(a) に属するものは切削状態が安定なもので、切くずは流れ形を示す。

(b) タイプに属するものは切削が進むにつれて切くず厚さが増加し、せん断角が次第に

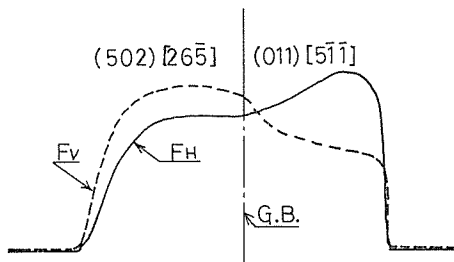


Fig.6 Cutting force oscillogram of bicrystal.

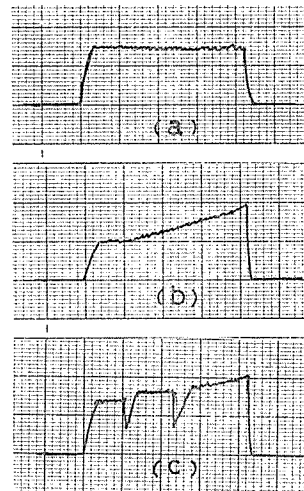


Fig.7 Cutting force oscillogram of model specimens.

Table 2. Cutting force and pattern of cutting force diagram.

No	CUTTING PLANE	CUTTING DIRECTION	CUTTING FORCE		PATTERN
			$F_H$ kg/mm <sup>2</sup>	$F_V$ kg/mm <sup>2</sup>	
11	(001)	[010]	42.5	20.0	A
12		[130]	31.8	10.2	A
13		[120]	70.8	15.2	C
14		[110]	85.5	33.0	C
21	(110)	[001]	60.5	26.8	B
22		[1 $\bar{1}$ 2]	54.6	40.2	B
23		[2 $\bar{2}$ 1]	46.6	44.1	A
24		[1 $\bar{1}$ 0]	32.8	36.1	A

小さくなることが観察された。切削抵抗の漸増する原因はせん断角が小さくなるためと考えられる。さらに特徴的なことは試料側面への横流れが大きく、いわゆるバリの発生が大きい。このことは塑性流動性の大きいことを意味している。

(c) タイプのものは後述の仕上面の項でくわしく述べるが、切削仕面上に切削方向に垂直な線がほぼ等間隔にあらわれ、仕上面状態が劣悪なものである。

## 2) 切削抵抗値と結晶方位

Model 1, 2 の比切削抵抗値を表 2 に示したが、表よりあきらかのように結晶方位が同じでも切削方向が変われば比切削抵抗の値は著しく変化する。例えば No. 12 と No. 14 の主分力を比較すると、2.69 倍の違いがみられ、また背分力においても No. 12 の 10.21 kg/mm<sup>2</sup> と No. 23 の 44.10 kg/mm<sup>2</sup> とでは約 4.32 倍の違いがある。

また結晶方位が違えば切削抵抗値もあきらかに違う。以上のことから切削抵抗に及ぼす結晶方位依存性は明らかである。

## 3) 切削抵抗の結晶方位依存性についての考察

切削抵抗が結晶方位により変化する原因については次のことが考えられる。

- (i) 結晶方位によってせん断角が違い、したがってせん断面積が変化する。
  - (ii) せん断面上のせん断応力  $\tau_s$  は結晶方位に依存する。
- (i) については次式で示される幾何学的関係から説明できる。

$$R = \frac{\tau_s A}{\cos(\phi + \beta - \alpha) \sin \phi} \quad (1)$$

ここで  $R$  : 切削抵抗,  $A$  : 切削面積,  $(\beta - \alpha)$  : 切削方向と  $R$  のなす角,  $\phi$  : せん断角,  $\tau_s$  : せん断面上のせん断応力である。

(1) 式において  $\tau_s, (\beta - \alpha)$  が一定であるという仮定が可能ならば上式より実験結果が説明できる。

(ii) については Ramalingan<sup>2)</sup> らの報告と矛盾するものである。彼等はアルミニウム単結晶について (a) 「せん断面せん断応力  $\tau_s$  は結晶方位に無関係に一定である」と報告している。

そこでさっそく本実験で得られた値にこの仮定を当てはめてみると例えば No. 11 と No. 23 の試料はせん断角が  $11.6^\circ$  と  $11.3^\circ$  であるから  $\tau_s$  の値はほぼ等しくなければならないのにそれぞれ  $\tau_s = 7.4 \text{ kg/mm}^2$  及び  $\tau_s = 7.0 \text{ kg/mm}^2$  であり、同様に No. 12 と No. 21 はせん断角がほぼ  $10^\circ$  であるにもかかわらず  $\tau_s$  の値は大きく食い違う。

さらにはまた (b) 「アルミニウムは積層欠陥エネルギーが大きく、しかも歪速度が大なる範囲では交差すべりを起し易いため、第3段階においては加工硬化は起らない」ことが通説である。このことはとりもなおさず歪の大きな領域ではせん断応力が一定であることを意味している。

しかしながら切削のように大きなせん断歪を伴う塑性変形の場合には上述の理論 (a) (b) をすぐに適用することは問題があるように考えられる。

そこで著者らは方位を異にする単結晶を切削することにより (b) の理論が切削の場合においても当てはまるかどうかを吟味してみた。

せん断ひずみ  $\gamma$  とせん断面せん断応力  $\tau_s$  は切削模形に単一せん断面を仮定すると次式であらわされる。

$$\tau_s = (F_H \cos \phi - F_V \sin \phi) \sin \phi \quad (2)$$

またせん断ひずみ  $\gamma$  は

$$\gamma = \cot \phi + \tan (\phi - \alpha) \quad (3)$$

ここで  $\alpha$  は工具すくい角である。

(2), (3) 式より  $\tau_s$ ,  $\gamma$  を計算し両者の関係によってプロットすると図8のような分布が得られる。

ここで No. 2~9 の試料はランダム方位単結晶であり実験例を多くするために用いたものである。

図によりいえることは  $\tau_s$  は  $\gamma$  の増加に伴って増える傾向にあり、バラつきはあるが明らかに加工硬化がみられる。しかも被削性の非常によい集団 (No. 2, 4, 9, 24) とそうでない集団に分かれており、前者は狭い範

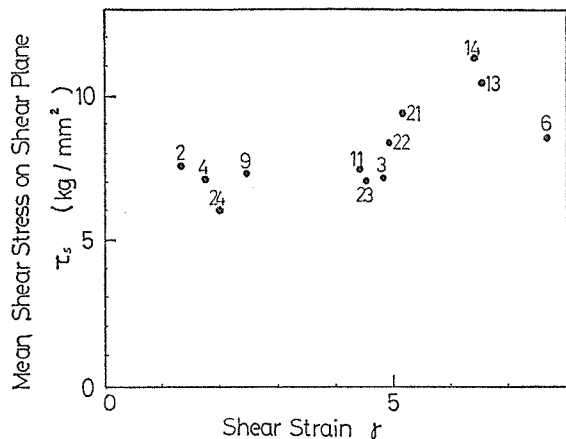


Fig. 8 Relation between shear strain and mean shear stress on shear plane

用 ( $\gamma: 1.4 \sim 2.5$ ,  $\tau_s: 6.0 \sim 7.5 \text{ kg/mm}^2$ ) に分布しているのに対して、後者は比較的広い範囲 ( $\gamma: 4.4 \sim 7.8$ ,  $\tau_s: 7.2 \sim 11.4 \text{ kg/mm}^2$ ) に広がっており、 $\tau_s$  は結晶方位に依存していることがわかる。

さらにまた静的な材料試験では顕著な加工硬化を示す材料でも、ひずみ速度が大となれば次第に加工硬化性は失われ、完全塑性体の状態に近づくという塑性理論の下に E. H. Lee と B. W. Shaffer<sup>3)</sup> は被削材を完全剛塑性体とみなし、すべり線理論による切削機構の解折を行なっているが、果たしてこの仮定が切削機構の解折に妥当であるかどうか今後検討する余地が十分あるような本項の実験結果であった。

### 3・2 セン断角について

#### 1) セン断角と結晶方位

せん断角は切削が単一せん断面模形に従うものとして、切くず厚さを測定し、次式による幾何学的関係より求めた。

$$\tan \phi = r_t \cos \alpha / 1 - r_t \sin \alpha \quad (4)$$

ここで  $r_t$  は  $t/t_c$  で  $t$  : 切削厚さ,  $t_c$  : 切くず厚さである。

Table 3. Experimental results of shear angle.

No	CUTTING PLANE	CUTTING DIRECTION	SHEAR ANGLE	
			DEGREE	INDEX
11	(001)	[010]	11.6°	[0 5 1]
12		[130]	10.3°	[40 120 23]
13		[120]	9.0°	[3 6 1]
14		[110]	8.2°	[5 5 1]
21	(110)	[001]	10.0°	[1 1 8]
22		[1 $\bar{1}$ 2]	10.3°	[2 $\bar{1}$ 3]
23		[2 $\bar{2}$ 1]	11.3°	[12 $\bar{8}$ 5]
24		[1 $\bar{1}$ 0]	24.2°	[29 $\bar{11}$ 0]

このようにして実験的に求めたせん断角を表3に示す。これによると(110)面切削の方が(001)面切削の場合よりもせん断角が大きく、全般的に被削性が良好であった。また切削面は同じでも切削方向が変わればせん断角は変化する。すなわち(001)面切削においては切削方向が[010]方向から[110]方向に回転するにつれてせん断角は小さくなる傾向を示し、また(110)面切削では切削方向が[001]方向から[1 $\bar{1}$ 0]方向に向かうにつれてせん断角は大きくなっている。

以上の結果より結晶方位のせん断角に及ぼす響は明らかである。

#### 3・3 セン断領域の顕微鏡観察



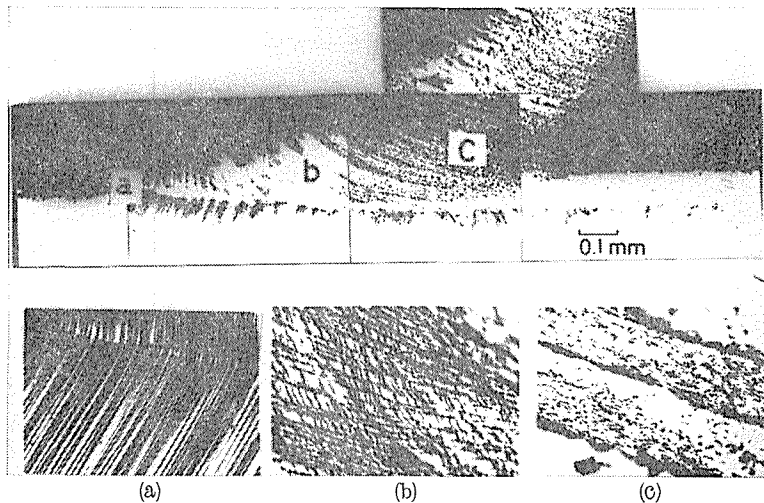


Photo. 1 Optical micrograph of thick deformation zone.  
((001) [110] orientation)

モデル 1, 2 試料の工具刃先近傍での顕微鏡観察を行った。

本実験では切削速度が低速で、かつ軟質であるためにせん断領域は広く、単一せん断面モデル近似はできず、したがって前項で求めたせん断角はこの事実を踏えた認識でなくてはならないと考えられる。

写真 1 は、切削抵抗値の最も高い No. 14 の試料の顕微鏡写真である。これによるとせん断領域は工具刃先のかかなり前方より始まり、扇形に広い範囲が広がっているのが観察された。

### 3・4 切削試料側面のすべり線観察

切削による変形が被削材の結晶方位によって理論的に定まったすべり系でおきているかどうかを検討するために、理論的に求めたすべり線と実際に観察されるすべり線を対比させて考察してみた。

#### 1) すべり系とすべり線の対応

試料側面に観察されるすべり線は図 9 に示すように結晶のすべり面ベクトル  $(l, m, n)$  と切削側面ベクトル  $(h, k, i)$  の交線ベクトル  $(a, b, c)$  として求めることができる。

すべり面ベクトル方程式は

$$lX + mY + nZ = 0 \quad (5)$$

切削側面ベクトル方程式は

$$hx + kY + iz = 0 \quad (6)$$

すべり面と切削側面の交線方程式は

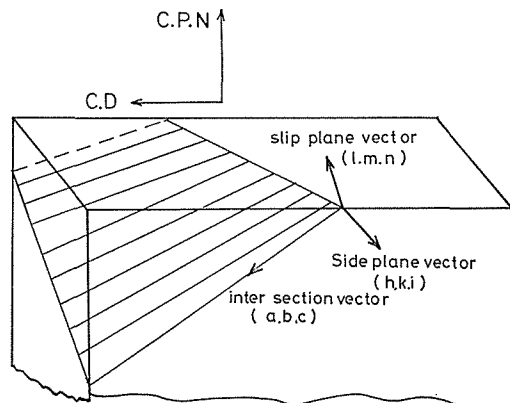


Fig.9 Correlation of slip line and slip system.

$$\frac{X}{a} = \frac{Y}{b} = \frac{Z}{c} = 0 \quad (7)$$

によってそれぞれあらわされる。

(5), (6)より(7)の形に書き換えると

$$\frac{X}{mi - kn} = -\frac{Y}{nh - li} = \frac{Z}{kl - mh} \quad (8)$$

したがって交線ベクトル  $(a, b, c)$  は

$(mi - kn, nh - li, kl - mh)$  であらわされ、すべり線が理論的に決定できる。

そこで Model 試料 1, 2 について理論的に求めたすべり線と、実際に観察された側面すべり線(写真)とを対応させて示した。以下その代表的なものを 2 例示す(写真 2, 3)。

SLIP PLANE V, $(1\ m\ n)$	A (1 1 1)	B ( $\bar{1}$ 1 1)	C (1 $\bar{1}$ 1)	D ( $\bar{1}$ $\bar{1}$ 1)
SIDE PLANE V, $(h\ k\ i)$	(1 1 0)			
INTERSECTION V, $(a\ b\ c)$	(1 1 $\bar{2}$ )	(1 1 0)	(1 1 0)	(1 1 2)
ANGLE OF SLIP LINE	54.7°	0°	0°	125.3°

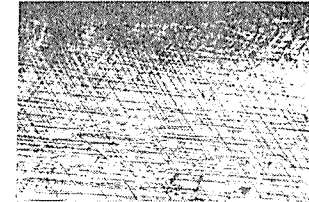


Photo.2 Optical micrograph of slip line.

SLIP PLANE V, $(1\ m\ n)$	A (1 1 1)	B ( $\bar{1}$ 1 1)	C (1 $\bar{1}$ 1)	D ( $\bar{1}$ $\bar{1}$ 1)
SIDE PLANE V, $(h\ k\ i)$	(1 $\bar{1}$ 0)			
INTERSECTION V, $(a\ b\ c)$	(1 1 $\bar{2}$ )	(1 1 0)	(1 1 0)	(1 1 2)
ANGLE OF SLIP LINE	35.3°	90°	90°	144.7°

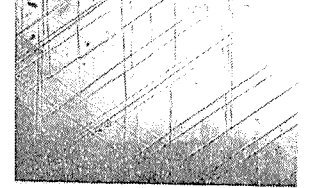


Photo.3 Optical micrograph of slip line.

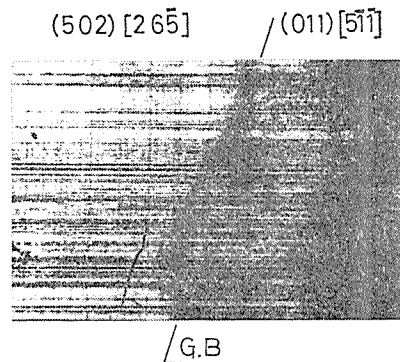


Photo.4 Cut surface of bicrystal.

得られた結果よりあきらかのように理論的に現われると予想された方向にすべり線は観察され、理論と実験はほとんど一致していると云える。

したがって試料側面のすべり線を観察することにより、切削の塑性変形に寄与するすべり面、すべり方向がかなり正確に推定し得ることが明らかになった。

### 3・5 切削仕上面観察

#### 1) 双結晶について

切削面、切削方向がそれぞれ(001),  $[5\bar{1}\bar{1}]$  方位及び(502)  $[2\bar{6}\bar{5}]$  である双結晶の仕上面の顕微

鏡写真を写真4に示す。写真より結晶方位によって仕上面性状に違いがみられ、結晶方位依存性があきらかである。

## 2) (001)面切削の仕上面観察

写真5(a), (b), (c), (d)は切削方向が $[010]$ ,  $[130]$ ,  $[120]$ ,  $[110]$ の切削仕上面の顕微鏡写真である。これより仕上面状態は大別して(a)(b)と(c)(d)に分けられ、前者の方が相対的に仕上面は良好である。後者は切削方向に対して垂直な線が周期的に入っている点に特徴がある。とくに(c)の切削面は(d)に比較して垂直線にうねりが認められる。

(d)の仕上面にあらわれる垂直線は(001)標準ステレオ投影図よりみれば分かるようにf.

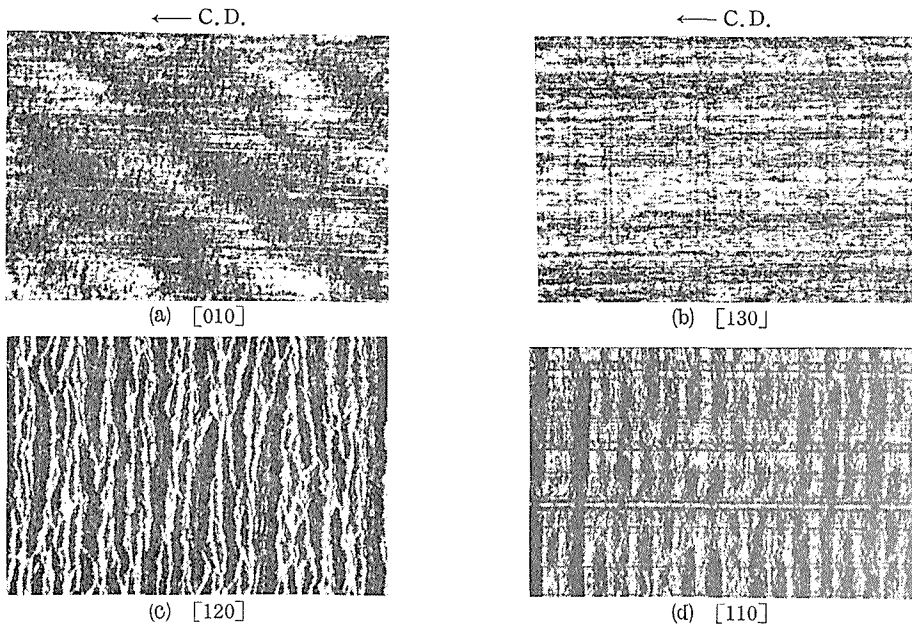


Photo.5 Cut surface of (001) plane.

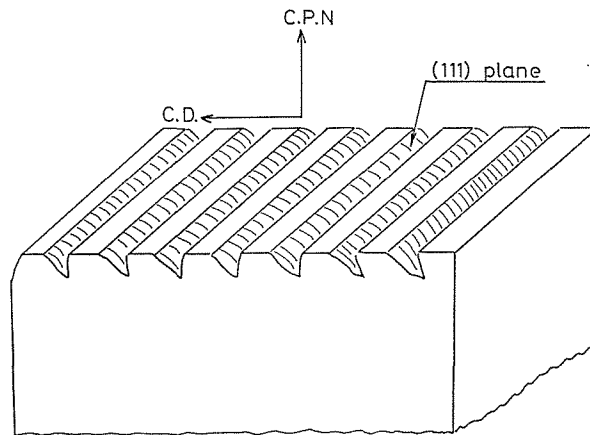


Fig. 10 Illustration of surface cut by active slip system.

c. c金属のすべり面である $\{111\}$ 面が切削面法線ベクトルと切削方向ベクトルによって作られる面に垂直に存在し、かつ切削方向に対して $\pm 35.3^\circ$ の位置にあることから考えて、 $(111)$ 面と $(\bar{1}\bar{1}1)$ 面がすべり面となっているためであると考えられる。

図10は仕上面にみられる垂直線の生成過程の説明図である。(c)の切削面についても同様なことが言える。ただ $[110]$ と $18^\circ$ ほど方向ずれているため、すべり面である $(111)$ 、 $(\bar{1}\bar{1}1)$ 面も(d)の位置と異なり、さらにまた新生面を作り出すのに $(\bar{1}11)$ 、 $(1\bar{1}1)$ 面も多少活動しているために垂直線が波うっているものと思われる。

一方仕上面の良好な写真(b)を観察すると、切削方向に対して約 $30^\circ$ の方向に大きな間隔の明暗がみられる。この方向はすべり系のすべり方向 $[110]$ に一致し、新生面生成にすべり系の影響が大きいことを示している。

ここで $[110]$ が作動するすべり面は $(\bar{1}\bar{1}1)$ と $(1\bar{1}1)$ であり、上述した(d)の場合と違い4つのすべり面がすべて作動しているものと考えられる。(a)についても(b)と同様に $(111)$ 、 $(\bar{1}\bar{1}1)$ 、 $(\bar{1}11)$ 、 $(1\bar{1}1)$ の4つの面が均等に新生面生成に作動している。その結果良好な仕上面が得られたものと考えられる。

また仕上面の程度が(a)→(d)の順に悪くなっているが、これは切削抵抗およびせん断角の大小に良く対応している。すなわち切削抵抗が大きく、しかもせん断角の小さいもの程仕上面は悪い。

しかしながらせん断角の変化する割合よりも仕上面の良否の度合の方が大きい。その原因は新生面生成にたずさわる活動すべり系とせん断面生成に寄与するすべり系が同一でないからであろう。

### 3) (110)面切削の仕上面顕微鏡観察

写真6 (a)(b)(c)(d)は切削方向がそれぞれ $[001]$ 、 $[1\bar{1}2]$ 、 $[2\bar{2}1]$ 、 $[1\bar{1}0]$ の切削仕上面の顕微鏡

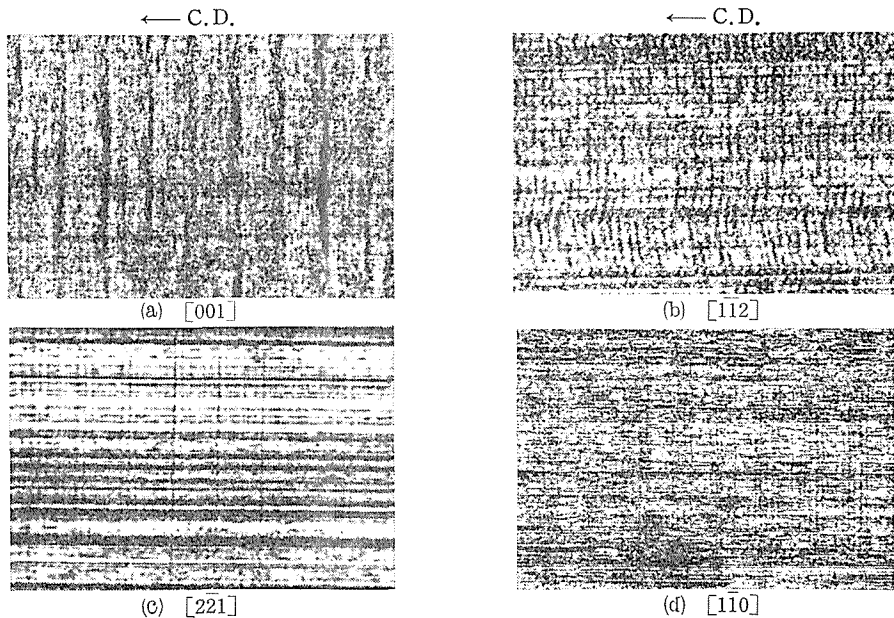


Photo.6 Cut surface of (110) plane.

写真である。これより仕上面の状態は(a)→(d)の順に良好になっており、(001)面切削の場合と同様に切削抵抗およびせん断角と良い対応を示している。(a),(b)の仕上面はともに切削方向に対して垂直線状の線が入っているが、とくに(a)は帯状の線が目につく。

これは切くず生成過程の観察から推定して、切くずがむしれによって生成された部分であり、せん断、むしれの作用が交互に繰り返されているためにこのような仕上面が生成されたものと考えられる。

ここで前述の(001)面切削の場合と同様な考え方から仕上面生成の過程を考察すると、(a)(b)の場合については切削方向ベクトルと切削面法線ベクトルの作る面上にすべり面(111)と(11 $\bar{1}$ )が存在するため、この面が新生面生成のために活動するものと考えられる。このように2つのすべり面だけが作用しているために周期的な等間隔の線が仕上面にあらわれる。

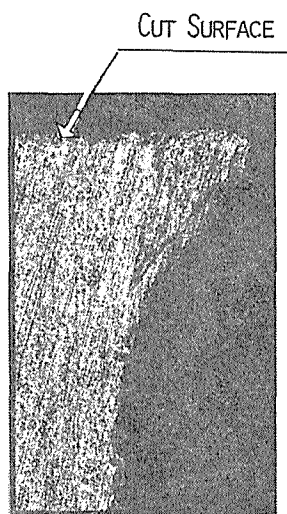


Photo.7 Optical micrograph of side flow.

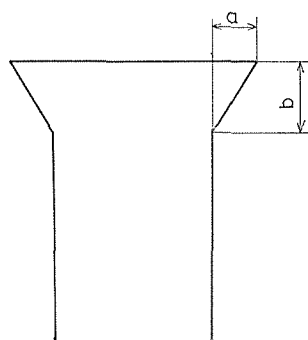


Fig.11 Amount of side flow.

Table 4. Amount of side flow

No	ORIENTATION		$a$ ( $\mu$ )	$b$ ( $\mu$ )
11	(001)	[010]	104	115
12		[130]	102	192
13		[120]	98	110
14		[110]	77	127
21	(110)	[001]	374	500
22		[1 $\bar{1}$ 2]	228	200
23		[2 $\bar{2}$ 1]	29	50
24		[1 $\bar{1}$ 0]	104	100

また(c)(d)が良好な仕上面となるのは、さきの(a)(b)では仕上面を悪くするように作用していたすべり面が、ここでは切削方向に平行になり、仕上面を悪くする作用がなくなるためであろう。

以上仕上面について新生面生成のために働くと思われるすべり系から考察した結果、仕上面生成の現象がよく説明できたものと考えられる。

### 3・6 仕上面の横流れ (side flow) について

切削仕上面は工具による圧縮力のために写真7に示すように試料側面への横流れ現象がおきる。横流れの程度は結晶の塑性異方法により異なる。そこで横流れ量を図11に示したように表示すると、モデル1, 2試料の横流れ量は表4に示すような値となる。

その結果(001)面切削については切削方向の違いにより横流れ量はあまり変わらないが、(110)面切削では大きな違いがみられた。このことは(001)面の場合、すべり系は均等に配置されているため、塑性異方性は小さく、横流れへの影響は少ないが、(110)面は前者より対称要素が少なく{(001)面は8個、(110)面は4個}、すべり系の配置も異方的であるために横流れ量が多いものと考えられる。

## 4 結 言

以上結晶方位を異にする純アルミニウム単結晶の二次元切削を行ない、結晶方位が切削機構に及ぼす影響について検討した結果次のことがあきらかになった。

1) 切削抵抗に及ぼす結晶方位依存性は明らかで、例えば双結晶の切削でみられるように結晶粒界を境にして切削抵抗は著しく変動する。

2) モデル試料の切削においてみられるように、同一切削面でも切削方向が変われば切削抵抗、せん断角に変化がみられ、切削方向によって切削機構が異なっている。

3) 切削試料側面に観察されるすべり線角度と活動すべり系より理論的に計算したすべり線角度を対比させて検討した結果、よい一致がみられた。

このことから試料側面のすべり線を観察することにより、切削変形に寄与するすべり面及びすべり方向が理論的にかなり正確に推定し得ることがわかった。

4) 切削仕上面はせん断角の値とよい対応を示した。すなわちせん断角が大きく、切削抵抗の小さな試料の仕上面は良好である。

なお切削による仕上面生成機構を結晶のすべり系から合理的に説明できることを明らかにした。

5) モデル試料の仕上面横流れ現象を検討した結果(001)面切削では切削方向の変化によって横流れ量はあまり違わないのに対して(110)面切削では大きな違いがみられた。

この原因は両者の結晶構造の違い、すなわちすべり系の配置が(001)面の場合には均等に位置しているのに対して(110)面の場合にはすべり系の位置が異方的であるためと考えられる。

## 文 献

- 1) H. Miyamoto, and M. Shiratori : J. Faculty Engng., Univ. Tokyo (B) 29-4(1968), 323.
- 2) S. Ramalingan and J. Hazra : ASME, Ser. B, (1973), 939.
- 3) E. H. Lee and B. w. Shaffer : J. App. Mech., 73(1951), 405.