



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



bcc金属単結晶の切削機構について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山村, 秀美, 菊地, 千之 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3693

b c c 金属単結晶の切削機構について

山 村 秀 美・菊 地 千 之

On the Cutting Mechanism of bcc Metal Single Crystals

Hidemichi Yamamura and Kazuyuki Kikuchi

Abstract

Many works have been done on the cutting mechanism of polycrystalline metals, but a few works were reported on the cutting mechanism of single crystal which involved plastic anisotropies due to the crystal structures and orientations.

To investigate the influence of crystal orientations on the cutting forces and the chip formations, Fe-3 1/2% Si alloy single crystal was cut two dimensionally. The cutting forces and the shear angles were determined as a function of the angle (θ) about the normal to the side plane. For the crystal orientations with the maximum and minimum cutting forces, the distributions of crystal rotation angles and slip traces in the shear zones were observed. The slip mechanism in the cutting process is discussed, and following results are obtained.

1. The cutting forces change periodically with the angle θ , but they invert the phase with the shear angles. The maximum value in the force (A) is about 4 times that of the minimum (B).
2. The $\phi - (\beta - \alpha)$ relationship is out of the solution by Merchant or Lee-Shaffer.
3. In the case of (A), the narrow plastic zone agrees well to the simple shear model.
4. No quantitative relation is obtained between the rotational angle and the displacement and the stress, containing the distribution and the magnitude of them.

要 約

多結晶金属材料の切削機構については多くの研究がなされているが、結晶構造、結晶方位による塑性異方性を考慮した単結晶の切削機構に関する研究は少ないように思われる。

結晶方位の切削抵抗への影響を調べるため、Fe-3 1/2% Si 合金単結晶を二次元切削した。試料側面法線に関して順次回転しながら、切削抵抗を測定し、せん断角、変位、ひずみ等を決定した。切削抵抗の最大値および最小値を示した結晶方位について、せん断領域における結晶回転角、すべり線を観察し、切削過程のすべり機構を検討し、次の結果を得た。

1. 切削抵抗は試料角 θ とともに周期的に変化し、せん断角はその逆位相で変化する。切削抵抗最大値 (A) はその最小値 (B) の約 4 倍である。
2. $\phi - (\beta - \alpha)$ の関係は Merchant, Lee-Shaffer の切削方程式の解の範囲内には存在しない。

3. (A) の場合、せん断領域は非常に狭く、単純せん断模型とよく一致する。
4. 結晶回転角と変位、ひずみの間には、その分布、大きさを含めて定量的な関係は得られない。

1. 緒 言

一般に金属切削において要求される事項は仕上げ面精度、切りくず処理のよいこと、工具摩耗が少ないことなどである。これらの事項について従来から材料の被削性、工具材の開発などを含めて多くの研究がなされており、多結晶金属材料に対する切削機構が明らかにされてきている。しかしながら、金属切削機構を大変形機構とみなし、結晶学的すべり、転位などをも考慮し、結晶構造の相違、または結晶方位の相違によって生じる塑性異方性をもとにした研究は少ないように思われる。

以上のことから bcc, fcc 金属単結晶について材料物性の面から切削機構を解明するため、bcc 構造の Fe-Si 合金および fcc 構造の Al, それぞれの単結晶を被削材として切削加工を行った¹⁾²⁾。その結果、結晶方位の相違により切削抵抗、切削面の状態、転位の分布状態ともに大きな差異を示すことがわかった。また、切りくず塑性域の観察から、安定した切削状態の良好な仕上げ面が得られる流れ型の切りくず生成をする結晶方位と、多結晶材料でもろい材料の切削にみられるせん断型の切りくずを生成する結晶方位とが存在することを確かめている。さらに、同一条件でも切削抵抗は結晶方位に依存して著しく変化し、仕上げ面性状、加工変質層も大きく異なることを示した。

この研究では、Fe-Si 合金単結晶を用いて、特徴的な切削抵抗を示す結晶方位について、塑性流れ、結晶学的なすべり、切削変形領域の転位によるエッチピット分布状態の観察を行った。その結果にもとづき、最大せん断ひずみ速度の分布と結晶回転角との関係を得ることにより、切削加工の微視的変形機構について検討を加えた。

2. 実 験 方 法

被削材としての単結晶試料は表-1 に示す化学組成の珪素鋼板を用いた。単結晶を作成する場合試料厚さの影響が大きく、できるだけ薄いことが望ましいが、切削加工における

表-1 化学組成(Wt%)

Si	C	S	P	Mn	Al
3.18	0.008	0.003	0.002	<0.01	0.002

二次元性を保持するため試料厚さ 1.2 mm とし、圧延方向に沿って長さ 180 mm, 幅 20 mm の寸法とした。この試料についてひずみ焼鈍法により単結晶を作成し、試料面の面方位が目的とする方位と±5°の範囲で一致するものを選び出した。図-1 に被削材試料、図-2 に試料の面方位を示す。

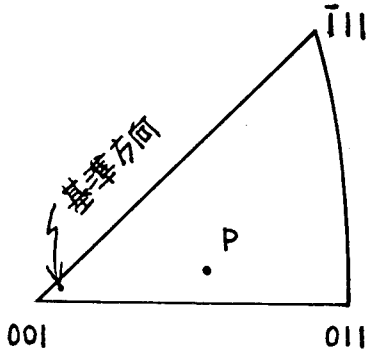
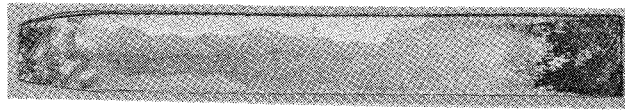


図-2 単結晶試料の面方位

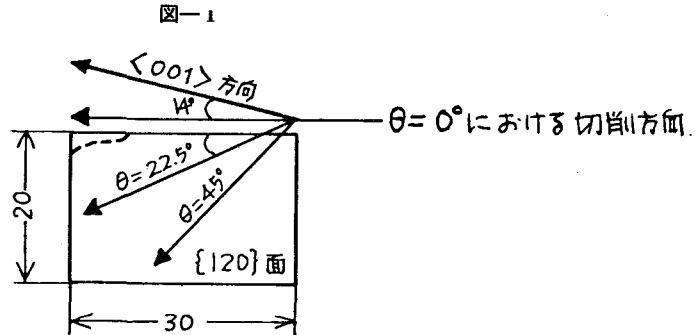


図-3 各試料角における切削方向

切削抵抗の測定は、 $\{210\}$ 面の試料を図-3に示すように $\langle 100 \rangle$ 方向より 14° 傾いた方向から 22.5° ずつ試料面法線に関して順次回転させながら側面を二次元切削することによって行った。切削加工条件は、切削温度の変形過程への影響を少なくするため、切削速度 100 mm/min 、切込み 0.10 mm とし、切削工具は高速度鋼工具SKH-4を用い、すくい角 $\alpha = -10^\circ, 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ 、逃げ角 6° とした。切削にはフライス盤横送りを利用した。切削抵抗の測定は弾性リング動力計を用いて、主分力、送り分力の2成分について行った。

最大、最小の切削抵抗を示す結晶方位については切込みを 0.40 mm と増大させ、定常状態に達した点で急停止させ、切削機構の差異を光学顕微鏡観察、極図上の結晶回転により比較検討した。なお、切込みが 0.10 mm から 0.40 mm に増大したことにより切削状態が変化しないことは予め確認した。結晶方位は全てマイクロ・エッチピット法により決定し、転位の観察もエッチピット法によった。

せん断面近傍におけるひずみ速度と結晶の回転角の変化を定量的にみるため、また最大せん断ひずみの分布を求めるためvisioplasticity法による解析を行った。試料の $\langle 100 \rangle$ 方向を極図上で決定し、これを試料角 θ の基準とし、切削抵抗の最小($\theta = 112.5^\circ$)、最大($\theta = 157.5^\circ$)となる結晶方位を $1.2 \times 20 \times 30 \text{ mm}$ に切り出し、その試料側面に $\theta = 112.5^\circ$ の場合横線間隔 $= 0.05 \text{ mm}$ 、縦線間隔 $= 0.06 \text{ mm}$ 、 $\theta = 157.5^\circ$ の場合横線間隔 $= 0.08 \text{ mm}$ 、縦線間隔 $= 0.16 \text{ mm}$ の方形を刻線し、切削速度 100 mm/min 、すくい角 30° 、切込み 0.40 mm で二次元切削した。

3. 実験結果および考察

3-1 切削抵抗の変動

表-2, 3, 4, 5に切削抵抗, 切りくず厚さの測定結果とこれにもとづく切削機構に関与

表-2 $\alpha = 30^\circ$ における $F_P, F_Q, t_2, \phi, \tau_s, \sigma_s, \mu, \beta, \gamma$ の値

θ	14°	36.5°	59°	81.5°	104°	126.5°	149°	171.5°
$F_{P_{AG}}$	12.76	24.86	27.06	42.90	16.72	22.22	42.90	37.18
$F_{Q_{AG}}$	6.15	8.40	8.40	14.70	6.90	9.45	7.80	9.75
t_2 (mm)	0.158	0.158	0.164	0.305	0.141	0.148	0.360	0.351
ϕ (deg)	40°46'	40°46'	39°11'	19°48'	45°46'	43°35'	16°29'	16°58'
τ_{AG} (mm)	30.72	72.56	82.49	99.98	40.18	54.98	92.13	79.57
σ_{AG} (mm)	70.68	122.94	124.35	80.16	100.41	127.18	46.53	49.10
μ	1.47	1.12	1.08	1.00	1.30	1.33	0.87	0.99
β (deg)	55°47'	48°15'	47°13'	45°00'	52°26'	54°04'	41°02'	44°43'
γ	1.35	1.35	1.39	2.60	1.26	1.29	3.14	3.05

表-3 $\alpha = 15^\circ$ における $F_P, F_Q, t_2, \phi, \tau_s, \sigma_s, \mu, \beta, \gamma$ の値

θ	14°	36.5°	59°	81.5°	104°	126.5°	149°	171.5°
F_P	23.76	31.46	38.94	50.38	22.44	29.48	56.10	56.10
F_Q	15.75	16.35	17.70	25.35	12.30	15.60	25.35	24.00
t_2	0.181	0.183	0.208	0.465	0.158	0.181	0.445	0.496
ϕ	32°49'	32°27'	28°46'	13°07'	37°10'	32°49'	13°23'	11°58'
τ_2	29.40	79.53	102.76	81.94	52.63	73.66	93.80	86.08
σ_2	117.93	137.35	137.30	68.34	117.56	131.35	72.43	60.53
μ	1.13	0.915	0.82	0.89	0.96	0.93	0.82	0.79
β	48°30'	42°28'	39°22'	41°41'	43°50'	42°56'	39°22'	38°19'
γ	1.87	1.89	2.07	4.26	1.73	1.87	4.18	4.67

表-4 $\alpha = 0^\circ$ における F_P, F_Q の値

θ	14°	36.5°	59°	81.5°	104°	126.5°	149°	171.5°
F_P	86.24	73.04	61.60	80.52	42.24	36.96	61.60	76.64
F_Q	50.10	45.00	35.70	36.30	27.60	24.90	30.60	35.40

表-5 $\alpha = -10^\circ$ における F_P, F_Q の値

θ	14°	36.5°	59°	81.5°	104°	126.5°	149°	171.5°
F_P	87.12	66.88	84.48	66.00	36.96	49.28	69.52	55.44
F_Q	58.20	43.20	47.40	33.00	28.20	38.40	37.20	31.80

θ ; 試料角
 F_P, F_Q ; 切削抵抗の主成分および送り成分 (kg)
 t_2 ; 切りくず厚さ (mm)
 ϕ ; せん断角 (deg)

τ_s, σ_s ; せん断面せん断角および垂直応力 (kg)
 μ ; すくい面摩擦係数
 β ; すくい面摩擦角 (deg)
 γ ; せん断ひずみ

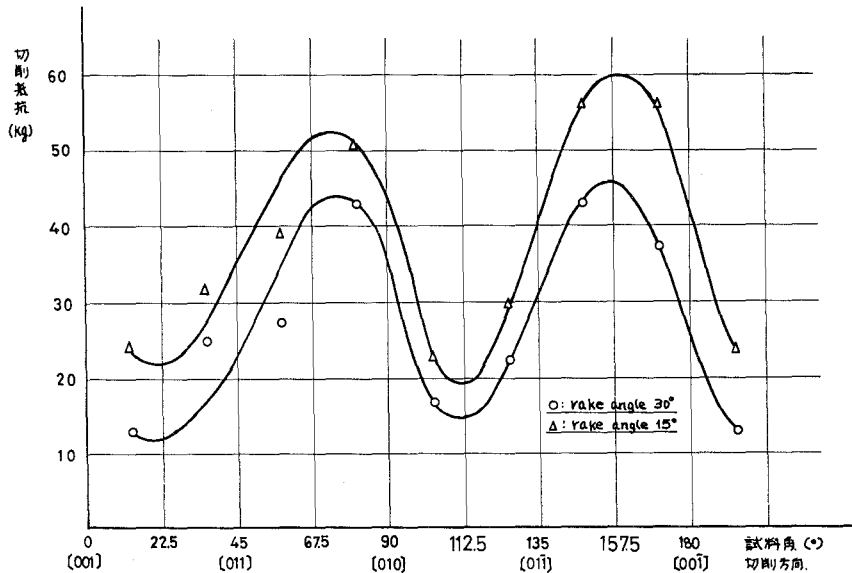
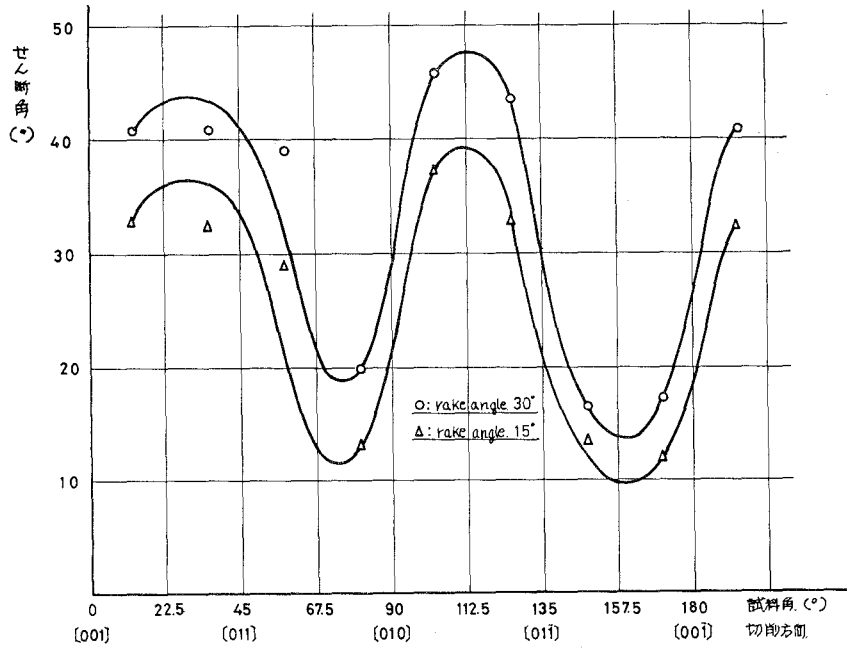
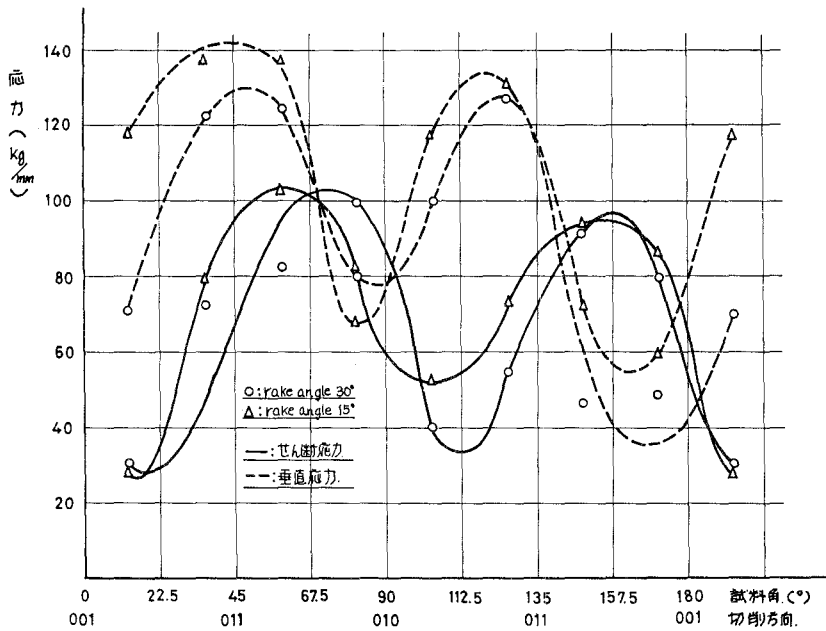


図-4 切削抵抗主成分の変化



図—5 せん断角の変化

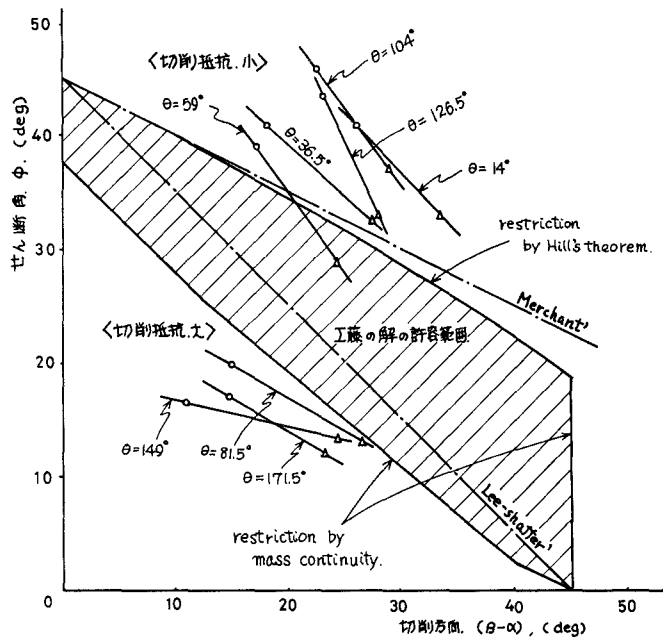


図—6 せん断応力、垂直応力の変化

する諸量を示した。図一4に試料角 θ に対する切削抵抗の変化を示す。これより明らかなように、切削抵抗主成分は θ に対し周期的に変化し、強い結晶方位依存性を示しており、その最大値は最小値の4倍程度である。また、同じ化学組成の多結晶試料の切削抵抗は、粒界の存在にも拘わらず、最大値の6割程度であった。すくい角 α を変化させた場合、 α が小さくなるにしたがい切削抵抗が増大するのは多結晶試料の場合と同様であるが、その変動状態は θ の変化にともない変動し、その周期は 90° よりむしろ 180° とみるべきであろう。 $\theta=22.5^\circ, 112.5^\circ$ で最小値、その中間で最大値を示した。

図一5, 6にせん断角 ϕ およびせん断応力、垂直応力の変化を示す。図から明らかなようにこれらの量は試料角 θ により大きく変動している。切削抵抗最大を示す θ においてせん断角 ϕ は最小値となり、これとは逆に切削抵抗最小を示す θ で最大値を示し、 ϕ の変化率はすくい角が大きくなるほど大きい。

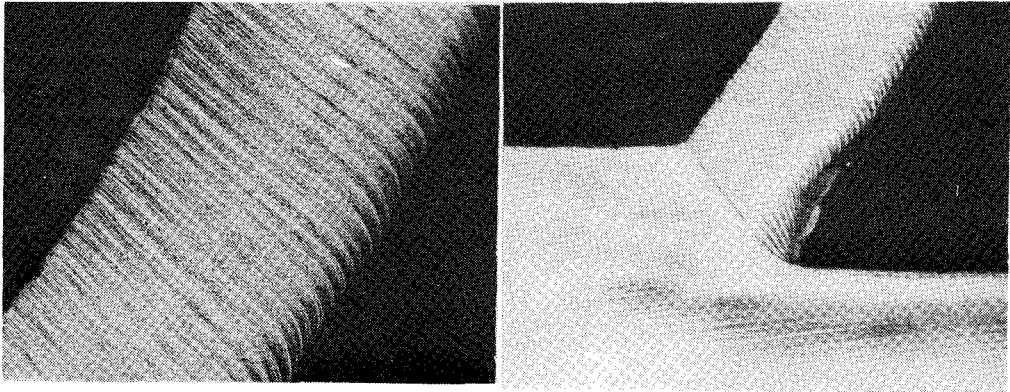
図一7にせん断角 ϕ と $(\beta-\alpha)$ (β ; すくい面摩擦角) の関係を示した。同図中一点鎖線は Merchant の切削方程式; $2\phi + \beta - \alpha = 90^\circ$ と Lee-Shaffer の切削方程式; $\phi + \beta - \alpha = 45^\circ$ を示し、斜線部はすべり線場の解法による工藤の解³⁾の許容範囲を示す。測定値はこれらの切削方程式および許容範囲からはずれているが、 θ をパラメーターとして整理すると、切削抵抗の小なる場合は Merchant の解の上側領域にあり、大なる場合は工藤の許容解の下側に存在して



図一7 ϕ と $(\beta-\alpha)$ の関係

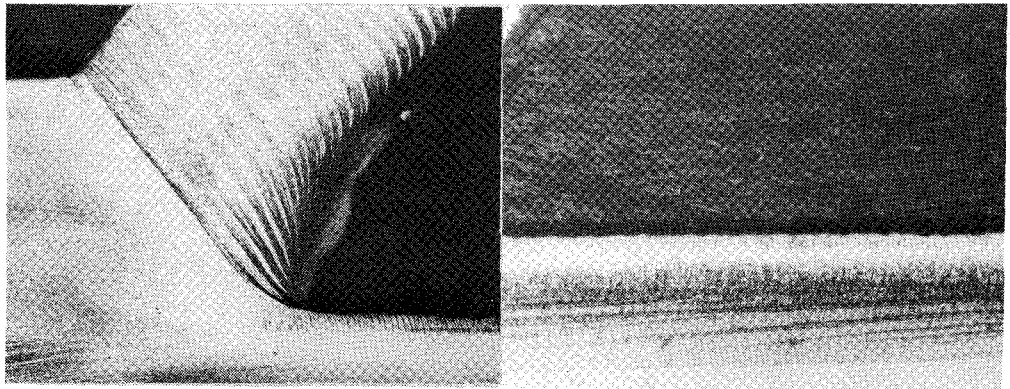
いる。このことから切りくず生成の塑性条件式として ϕ と $(\beta-\alpha)$ の関係を求めようとするとき、異方性材料においては切削方向と異方性主軸の関係を明らかにした上論じなければならないことがわかる。

図一8, 9に $\theta=112.5^\circ, 157.5^\circ$ におけるすべり線の trace と転位の分布を示した。bcc 金属には3種類の代表的なすべり面が存在することが知られている。図一8では異なったすべり線が2種類観察されるが、濃淡の強いすべり線の方が優先的に切りくず生成に関与していると思



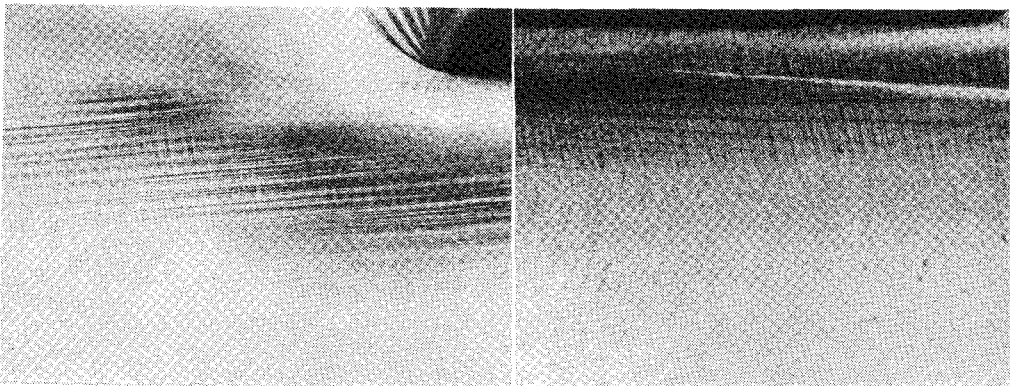
(a)切りくずに生ずる転位 (×75)

(b)下部に強い主すべり線がみえる (×37.5)



(c)転位ピットによるすくい面
摩擦効果とせん断面 (×75)

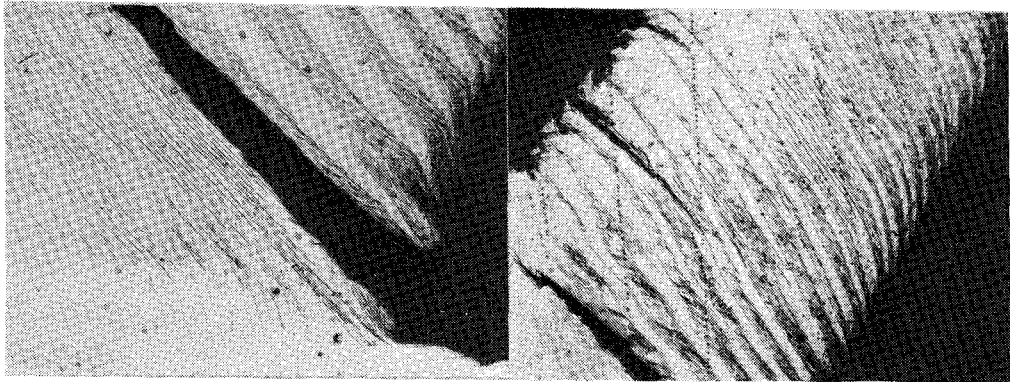
(d)新切削面に生ずるすべり線 (×75)



(e)主すべり線の拡大 (×15°)

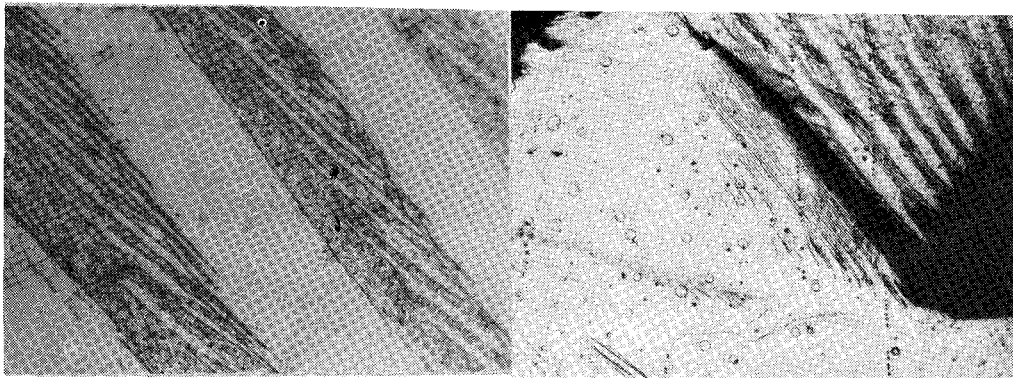
(f)未切削部分に生ずるすべり (×75)

図一8 $\theta=112.5^\circ$ におけるすべりと転位

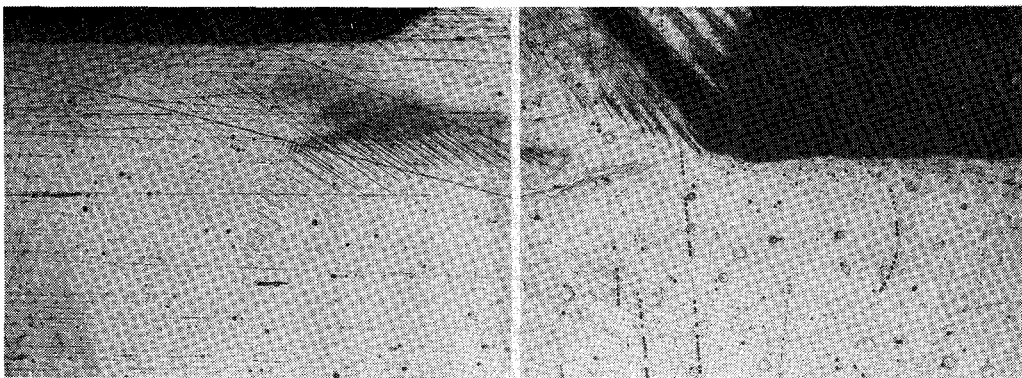


(a)せん断領域における転位の集積 (×50)

(b)切りくずに生じる転位 (×37.5)

(c)(a)の拡大 (×100)
変形帯 (黒い縞部分) は極端な方位の違いを示す

(d)せん断領域におけるすべり線と転位 (×37.5)



(e)未切削部に生じるすべり線 (×37.5)

(f)切削部に生じる wavy slip と二重すべり (×37.5)

図一 9 $\theta=157.5^\circ$ におけるすべりと転位

われる。それゆえ濃淡の強いすべり線についてその方位を測定した結果、 $\theta=112.5^\circ$ では $\{110\}$ 面であることがわかった。このことから $\theta=112.5^\circ$ においては $\{110\}$ 面が強い優先性を示し、それ以外のすべり面は切りくず生成機構に関与していないと考えられる。また、 $\theta=157.5^\circ$ の場合、2, 3種類のすべり面が濃淡から推定して同程度の強さであるといえよう。それらのすべり面は $\{110\}$ および $\{112\}$ 面であることがわかった。これより切削抵抗の大きい場合は関与するすべりに強い優先性が存在せず、図-9から明らかのように複雑なすべり機構をな

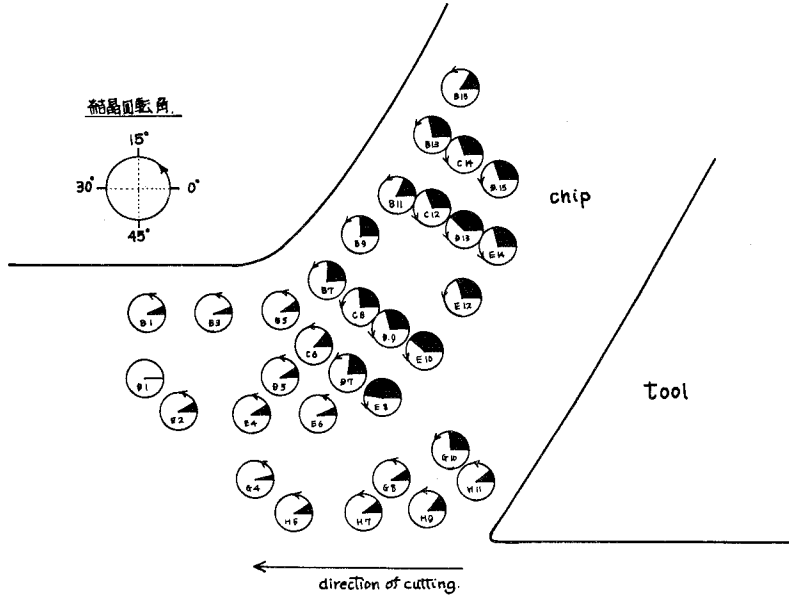


図-10 $\theta=112.5^\circ$ におけるせん断面近傍の結晶回転

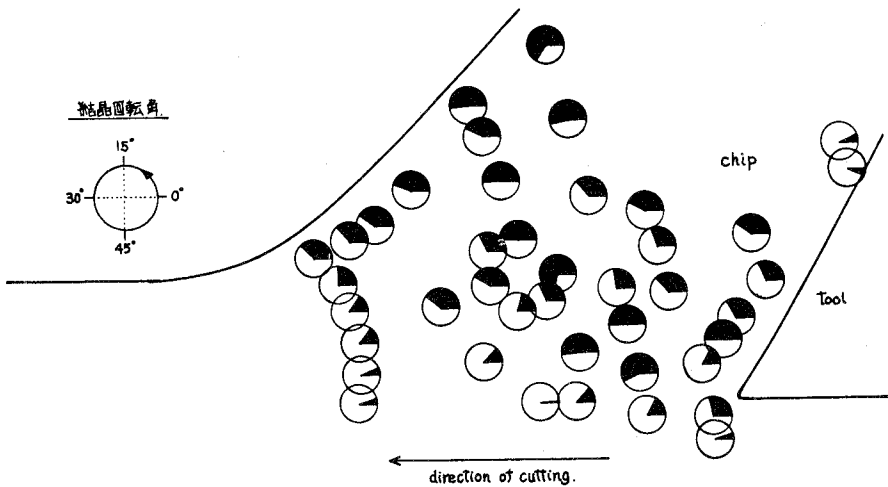


図-11 $\theta=157.5^\circ$ におけるせん断面近傍の結晶回転

している。

特徴的な切削抵抗を示した結晶方位について結晶回転を測定した。図—10, 11に $\theta=112.5^\circ$, 157.5° における matrix を基準とした結晶の回転を示した。切削における切りくず生成機構は塑性変形機構であり、この結晶回転角は、すくい面から切りくずが離脱するまでは結晶回転はせん断面での変形による結晶の剛体回転はわずかにしか含まないと仮定し、結晶がすべり変形する場合選択すべりを行うため、切削側面すなわち $\{210\}$ 面の面法線に関する回転になると考えてよい。図—10 と図—11 とを比較すると切削抵抗の大きい場合は、低い切削抵抗に比べて回転が大きくなっていることがわかる。このことから $\theta=157.5^\circ$ においては優先的なすべりが存在しないといえよう。また、 $\theta=157.5^\circ$ の場合、結晶回転の度合とその分布に多くのむらが見られる。このことは関与するすべりが局部に変化していることを示していると考えられる。

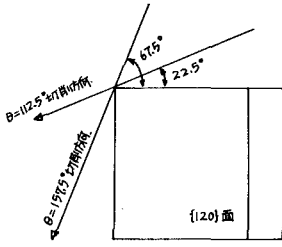
以上の測定および観察結果から切削抵抗の変化を結晶方位のちがいによってすべり挙動が異なるためと考える。bcc 金属のすべり面は、 $\{110\}$, $\{112\}$, $\{123\}$ 面の3種類である。本実験試料の切削抵抗最小である $\theta=112.5^\circ$ では切りくず生成機構には $\{110\}$ のみが作動し、また切削抵抗最大である $\theta=157.5^\circ$ では関与するすべりに優先性が乏しく、 $\{110\}$ および $\{112\}$ 面が同程度関与し、その変形機構が複雑であることを明らかにした。

変形に関与するすべり系が単純であればあるほど、その系の作動の優先性が強く、切削抵抗は小さい。試料側面は $\{210\}$ 面で、切りくず生成機構に関与するすべり面は主として $\{110\}$ 面である。 $\{110\}$ 面のすべり系は方向をも含めると12種類存在するが、切削方向は試料角 θ が決まると一定であるので、すべり変形の容易さは6種のすべり面によってのみ定まる。いま、すべり変形の難易度についてつぎのように考える。

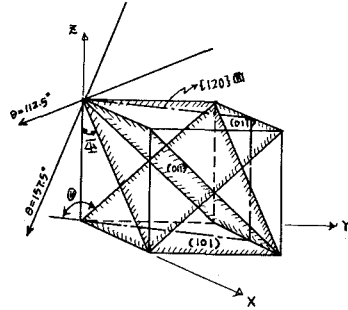
すべり面のすべり変形は最大応力説の立場に立つと、切削方向を変形荷重方向とみなした場合、切削方向と6種類の $\{110\}$ 面のなす角度が $\Theta=45^\circ$ のとき容易におけると考えられる。ここで Θ は本来変形荷重方向と $\{110\}$ 面のなす、試料側面法線に関する角度である。また、 $0^\circ < \Theta < 90^\circ$ の範囲に2つ以上の $\{110\}$ 面が存在するときは、 $\Theta=45^\circ$ からはずれる度合でそのすべり面の作動容易さが決定し、つぎに切削方向に垂直な平面における個々の $\{110\}$ 面の試料面法線となす角の大小によって決定すると考えられる。そのとき結晶は $\Theta=45^\circ$ に近づくように回転をおこすと考えられる。

$0^\circ < \Theta < 90^\circ$ に $\{110\}$ 面が一つしか存在しないときはその $\{110\}$ 面だけが優先的に作動し、切削抵抗は小さくなる。 $0^\circ < \Theta < 90^\circ$ に $\{110\}$ 面が存在しない場合は、 $\{112\}$, $\{123\}$ 面などの他のすべり面がすべりに関与し始め、多重すべり等をおこし切削抵抗が大きくなると考えられる。

図—12は結晶方位ピットを用いて平面的に表した切削試料に対する $\theta=112.5^\circ$, $\theta=157.5^\circ$ の切削方向である。また、図—13に cube を用いた各切削方向に対する個々の $\{110\}$ 面の位置を



図—12 方位ビットにおける切削方向



図—13 切削方向と {110} 面の位置

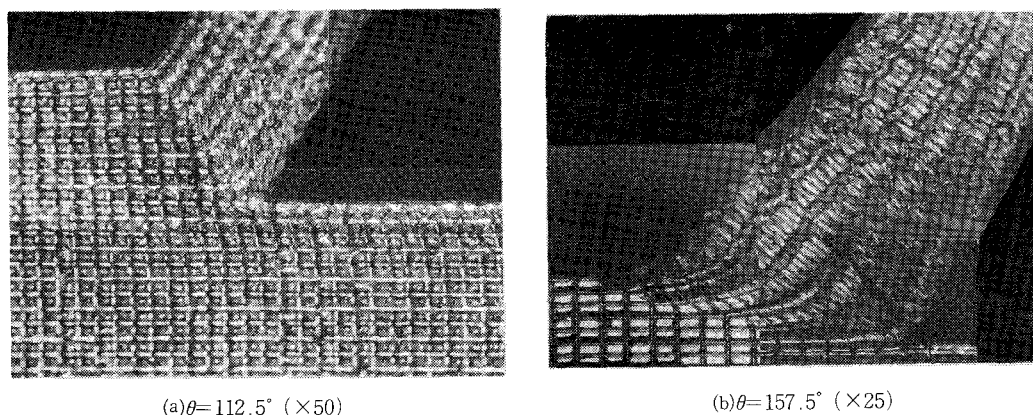
示す。上述の考え方により切削抵抗の変動を以下に検討した。

i. $\theta=112.5^\circ$ の場合 $0^\circ < \Theta < 90^\circ$ に存在する $\{110\}$ 面は (011) , $(\bar{1}01)$, (101) の 3 種類であるが、このうち $(\bar{1}01)$, (101) は試料側面法線からの傾き角 ψ が大きく、すべりに関与しない。たとえ作動したとしても side-flow をおこす原因と考えられる。また、 (011) 面と切削方向のなす角度は $22.5^\circ + 45^\circ = 67.5^\circ$ となり、 (011) 面が優先的にすべり切削抵抗は小さくなる。それゆえせん断面近傍では $67.5^\circ - 45^\circ = 22.5^\circ$ だけ反時計方向に結晶回転しなければならない。このことは図—11 におけるせん断面近傍での平均的結晶回転角 20° とよく一致する。

ii. $\theta=157.5^\circ$ の場合 $0^\circ < \Theta < 90^\circ$ にある $\{110\}$ 面は、 $(01\bar{1})$, (101) , $(\bar{1}01)$ の 3 種類あるが、このうち (101) , $(\bar{1}01)$ 面は試料側面法線からの傾きが大きく、たとえすべりがおこったとしても side-flow となるであろう。それゆえ可能なすべり面は $(01\bar{1})$ 面のみであり、この面の切削方向に対する傾きは $\Theta = 67.5^\circ + 90^\circ + 45^\circ - 180^\circ = 22.5^\circ$ となり、 $\theta=112.5^\circ$ の場合と同様すべり易いという結果になり、図—11 の結晶回転は説明できない。

上述の切削方向を変形荷重方向とした考え方では切削抵抗大なる場合に現象を説明できない。そこですくい面に垂直な方向を変形荷重方向として検討してみる。 $\theta=112.5^\circ$ では、 $0^\circ < \Theta < 90^\circ$ の範囲に (011) , $(\bar{1}01)$, (101) 面の 3 種類が存在する。このうち (101) , (101) 面は前述の理由により除外され $(01\bar{1})$ 面が優先的なすべりをおこすと考えられる。さて、 (011) 面と変形荷重方向のなす角は $\Theta = 45^\circ - (30^\circ - 22.5^\circ) = 37.5^\circ$ となり強い優先性を持ち、切削抵抗が最小となると考えられる。

つぎに $\theta=157.5^\circ$ では $0^\circ < \Theta < 90^\circ$ の範囲に (011) , $(\bar{1}01)$, (101) 面の 3 種類が存在する。このうち (010) , $(\bar{1}01)$ 面は前述した理由により除外され、 (011) 面のみがすべり可能である。しかし、 (011) 面と変形荷重方向のなす角度は $\Theta = 37.5^\circ + 45^\circ = 82.5^\circ$ と大きく $\theta=112.5^\circ$ に比べてすべりにくいことがわかる。また、 (011) 面がすべりにくいということは他のすべり面が作動する度合も大きくなることを示し、double slip を生じている説明にもなる。この場合、 (011) 面がすべると仮定したときの回転角 $82.5^\circ - 45^\circ = 37.5^\circ$ となり、せん断面近傍での平均的結晶回転 35° とも比較的一致する。



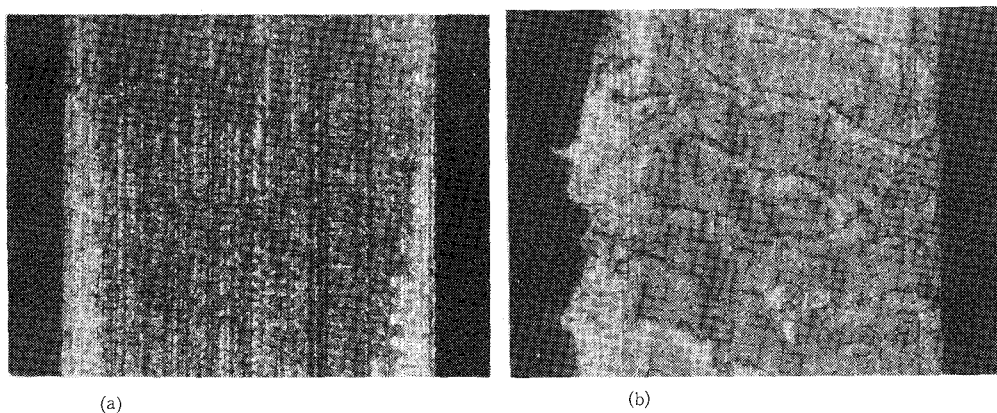
図一14 格子変形状態

以上のように、単結晶の場合、切削抵抗の変化の原因としては、すべり機構の単純さ、もしくは作動するすべり面の数によると考えられる。また、変形に関与するすべり系の数は、切削方向よりむしろすくい面に垂直な変形荷重方向と主すべり面とのなす角度によるものと考えられる。

3-2 visioplasticity法による切りくず生成過程の解析

図一14に格子線変形状態を示す。図14-(a)は試料角 $\theta=112.5^\circ$ の場合で、せん断角は 50° となり、その切削機構は流れ型で塑性域は極端に狭く、せん断面切削模型が成立すると考えられる。これに対して試料角 $\theta=157.5^\circ$ ではせん断角は 12° で極端に小さな切削状態になっている。このような切りくず生成の例としては、多結晶材料の場合一般にむしろ型の切削状態において実現し易い。せん断面における塑性変形領域は大きな広がりを示している。

・図一15に試料角 $\theta=112.5^\circ$ (a)、 $\theta=157.5^\circ$ (b)の場合の切削面の状態を示した。同図から明らかに $\theta=157.5^\circ$ ではむしろ型に近い切削状態を示している。



図一15 切削面の状態

図-14の格子線変形写真をもととして、各流線に沿って格子点の座標を決定し、ひずみ速度の分布およびせん断ひずみの分布を求めた。 $\theta=112.5^\circ$ (a)、 $\theta=157.5^\circ$ (b)における格子点変位を図-16に示した。これより $\theta=112.5^\circ$ の方が $\theta=157.5^\circ$ に比べ切りくず流出速度が大きく、その分だけせん断速度が小さいことがわかる。

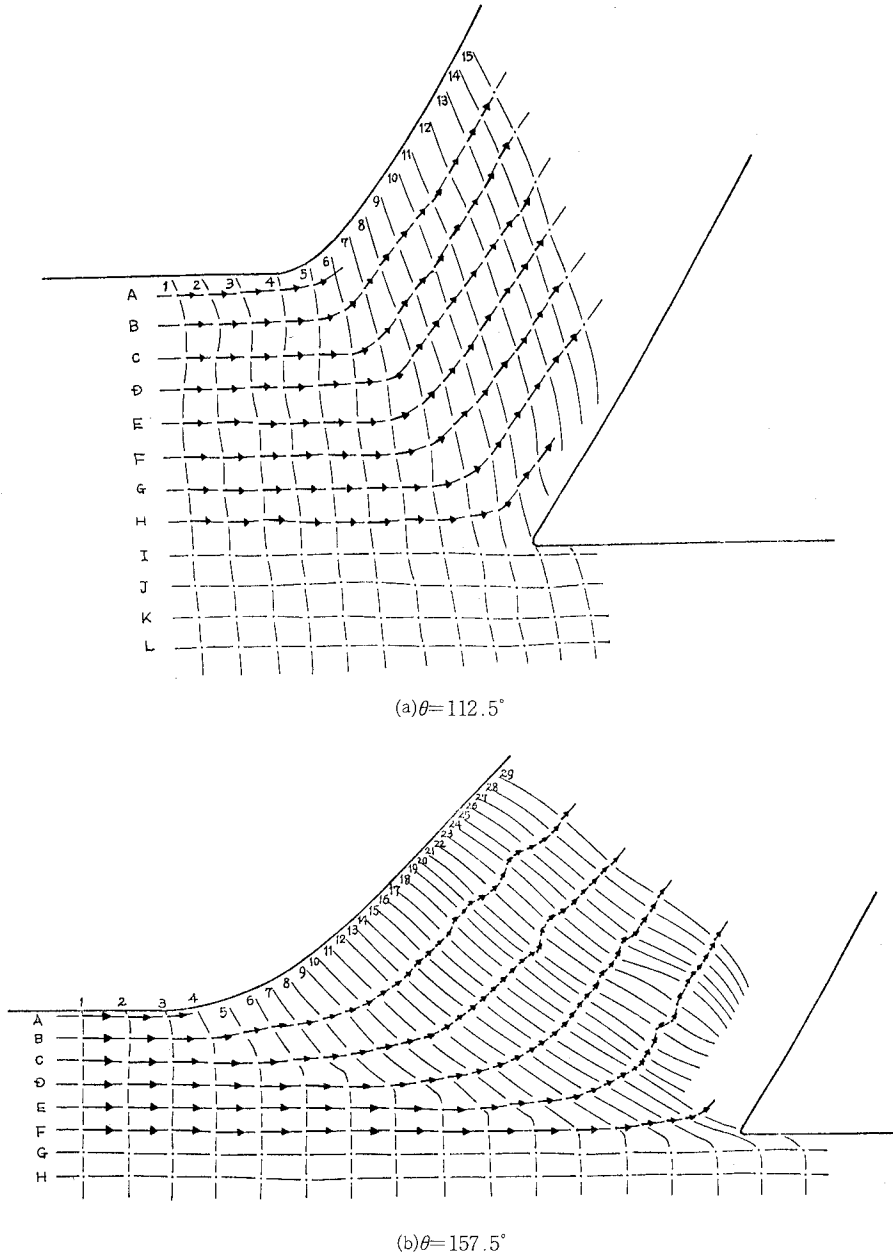
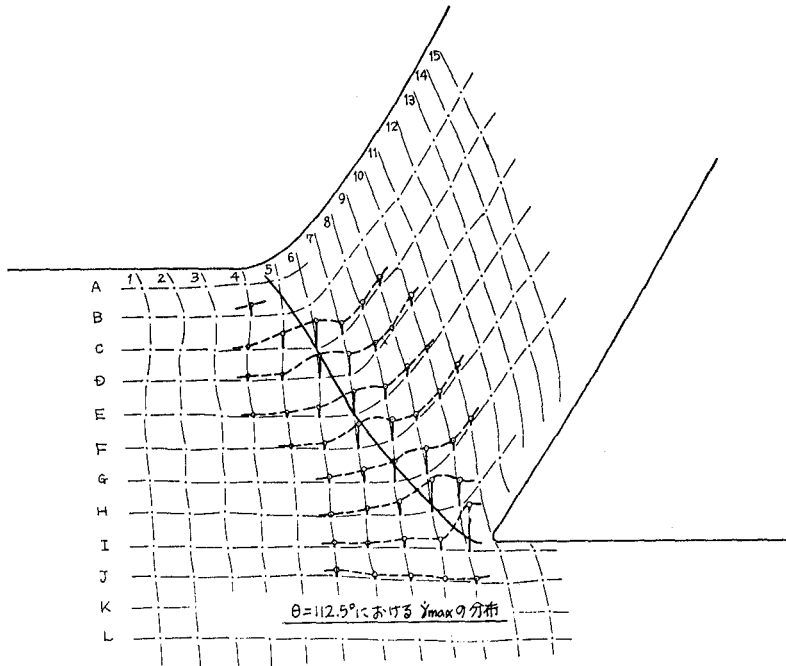
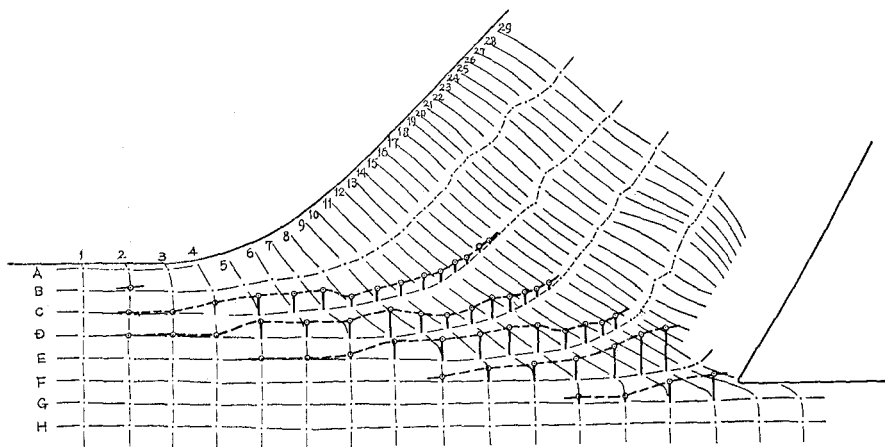


図-16 格子点の変位分布（工具静止、被削材移動）

図一17(a), (b)に最大せん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}_{max}$ の分布を示した。これにより $\theta=112.5^\circ$ では $\dot{\gamma}_{max}$ の各流線における最大値を結ぶことによりせん断面が得られるが, $\theta=157.5^\circ$ ではせん断面模型は成り立たず, 広がりをもったせん断領域での切りくず生成を考えるべきである。

以上のことから, 切削抵抗最小を示す試料角 $\theta=112.5^\circ$ の場合にはせん断面切削模型がよく成り立ち, 図一16(a)の最大せん断ひずみ速度の分布にもよく一致する。これに対し切削抵抗最

(a) $\theta=112.5^\circ$ (b) $\theta=157.5^\circ$

図一17 最大せん断ひずみ速度の分布

大を示す $\theta=157.5^\circ$ では塑性域がかなり広く、せん断面切削模型が成り立たない。それゆえ、せん断角は一義的に決定することができず、その応力分布は加工硬化を考慮したすべり線にもとづいて求められなければならない。

つぎに、選択方位をとるために生ずると思われる結晶の回転は変位、ひずみの分布とはよく一致するものの、結晶回転角と変位およびせん断ひずみの大きさとは規則的な関係は認められないと考えられる。それゆえ、結晶回転は作用する応力の度合よりも、3-1で論じたように変形荷重の方向、すなわち応力の方向によって決定されることができると考えることができる。

4 結 論

{210} 面方位を側面とする Fe-Si 合金単結晶を、 $\langle 100 \rangle$ 方向を基準とした切削方向とのなす角 θ を順次変化させて二次元乾式切削を行い、切削抵抗、せん断角等を測定した。それらの結果を要約すればつぎのとおりである。

1. 切削抵抗主成分力は試料角 θ によって周期的に変化し、 $\theta=22.5^\circ$ 、 112.5° で極小値を、その中間で極大値を示す。
2. せん断角 ϕ も同様に周期的に変化し、切削抵抗が、極大値をとるときは極小値に、切削抵抗が極小値をとるときは極大値になる。
3. ϕ と $(\beta-\alpha)$ の関係は Merchant および Lee-Shaffer の式からずれており、工藤のすべり線場による解の許容範囲にも存在しない。切削抵抗が小さいときは許容範囲の上限より上に存在し、切削抵抗が小さいときは許容範囲の下限より下に存在している。しかし、本実験値はほぼ θ をパラメーターとして表すことができる。
4. viscoplasticity 法を切削抵抗の最小である $\theta=112.5^\circ$ と最大である $\theta=157.5^\circ$ に適用した結果、 $\theta=112.5^\circ$ では塑性域が狭く、典型的に単純せん断模型が成り立ち、 $\theta=157.5^\circ$ の場合塑性域は広く単純せん断模型は成り立たない。
5. 方位マイクロ・ピット法で結晶の回転角を測定した結果、変位、ひずみの分布および大きさと、回転角との間には定量的な関係は成り立たず、回転角は応力の方向によって決定されると考えられる。
6. 1. ~ 5. を考察することにより、切削抵抗の変化は主としてすべり変形機構の差異によって生ずると考えることができる。すべり機構が単純であれば切削抵抗は小さくその逆も成り立つ。

[謝辞] 本研究の実験に協力された安岡秀憲氏に感謝する。

(昭和53年5月20日受理)

文 献

- 1) 昭和 46 年度精機学会春季大会学術講演会前刷 p. 61
- 2) 昭和 47 年度精機学会春季大会学術講演会前刷 p. 99
- 3) H.Kudo : Some New Slip-Line Solution for Two Dimensional Steady-State Machining, Int. J. Mech. Sci., 7 (1965), 43