

114 Al単結晶の超精密切削における結晶方位依存性

北海道大学 工学部 ○越田 仁 柴田隆行 高橋義美 牧野英司 池田正幸

要 旨

Al単結晶のすべり面{111}について、 $\langle 011 \rangle$ 方向、 $\langle 112 \rangle$ 方向、 $\langle 123 \rangle$ 方向の3方向で超精密切削実験を行った。切削面のX線回折、切りくずのSEM観察から切削方向と結晶の切削異方性の関係を調べた。

1.はじめに

超精密切削において、切込み深さが $1\mu\text{m}$ 以下になると、被削材の結晶粒の大きさが切込み深さより相対的に大きくなるため、結晶粒の方位の影響が大きくなるものと考えられる。そこで、Al単結晶の{111}面について3方向の切削実験を行い、切りくず形状と加工変質層の結晶方位依存性を検討した。

2.実験装置および方法

本実験には超精密旋盤¹⁾を用いた。主軸には空気静圧軸受を使った。また、空気静圧スライドを使用した送りテーブルの上に圧電アクチュエータを用いた微小切込み工具台を固定した。工具には単結晶ダイヤモンドR刃バイト(ノーズ半径 5mm)を用いた。試料には、{111}面の部分を純度99.99%のAlブロックから $\phi 11\text{mm}$ のロッド状で抜き出し厚さ 2mm に切断したものを使った。結晶方位の測定はX線背面反射ラウエ法で行った。切削条件は主軸回転数 1000rpm (切削速度 $3.14\sim 4.29\text{m/s}$)、送り量 $8.1\mu\text{m/rev}$ 、切削方向 $\langle 011 \rangle$ 、 $\langle 112 \rangle$ 、 $\langle 123 \rangle$ 、切込み深さは、 $0.2\mu\text{m}\sim 2.0\mu\text{m}$ とした。また、切削油(白灯油)を噴霧給油した。

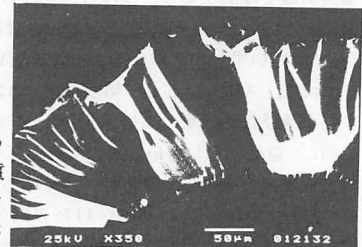
3.実験結果および考察

図1は切りくずのSEMによる外観写真である。写真上の切りくず幅から実質切込み深さを計算した。(A)は $\langle 011 \rangle$ 方向に切削したものであり、実質切込み深さは約 $2.21\mu\text{m}$ である。切りくずは、全体的に緩やかな波形を描いている。切りくずの上側部分の切りくず厚さの小さいところではしわが見られる。また、切りくずの下側部分の切りくず厚さの大きいところではしわがなく滑らかな面になっているが、その下端部の薄い部分にはしわが見られる。実質切込み深さ約 $1.00\mu\text{m}$ の切りくず形状も同様であったが、薄い部分では、しわの周期が短くなりところどころで亀裂が入っていた。

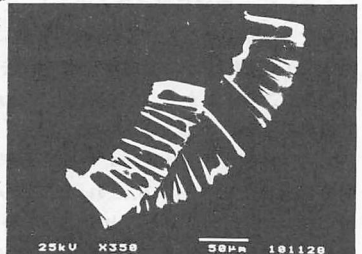
(B)は $\langle 112 \rangle$ 方向に実質切込み深さ約 $0.38\mu\text{m}$ で切削したものである。周期的なしわが切りくず幅いっぱいに見られる。これは、全体的に切りくず厚さが小さいためと思われる。実質切込み深さ約 $0.77\mu\text{m}$ の切りくずの外観も同様であったが、切りくず幅全域にわたる周期的なしわが、中央部でところどころ途切れていた。

(C)は $\langle 123 \rangle$ 方向に切削したものであり、実質切込み深さは約 $2.10\mu\text{m}$ である。外観は波状に折れ曲がった形状をしている。(A)と同様、切りくずが薄い部分にはしわが見られ、厚い部分はしわのない滑らかな面となっている。実質切込み深さ約 $1.07\mu\text{m}$ の切りくずには、全体としては周期的なしわがあったが、中央部でところどころ途切れていた。

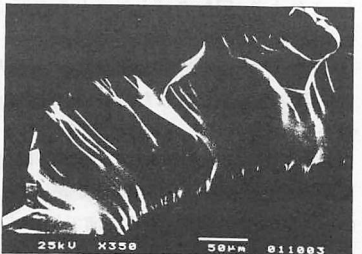
切りくず厚さを計算すると、約 $0.1\mu\text{m}$ 以下の部分にしわが生じていた。しわの発生は、切りくずが薄いため工具すくい面を流れるように排出されずにすくい面で折れながら排出される、あるいは、バイト刃先の丸みの影響が大きくなり切削状態が変化するためと思われる。(A)(C)には、長手方向に平行な筋が見られる。これは、バイト刃先部の微小な凹凸が転写されたためと思われる。



(A) 切削方向 $\langle 011 \rangle$



(B) 切削方向 $\langle 112 \rangle$



(C) 切削方向 $\langle 123 \rangle$

図1 切りくずのSEM写真

図2はX線背面反射法による切削面のラウエ写真である。(A)は $\langle 011 \rangle$ 方向、(B)は $\langle 112 \rangle$ 方向、(C)は $\langle 123 \rangle$ 方向へ切削したものである。切削方向は図中の直線に平行である。図中の $a \sim \delta$ はすべてラウエ写真の中心からはほぼ等距離にあることからデバイ環の一部と考えられ、反射面は $\{012\}$ 面に相当する。これより、X線入射方向で結晶の方向性のない多結晶層が存在すると思われる。しかし、円弧の長さが短いことからX線入射方向を法線とする平面内では結晶方位の揃った多結晶組織であることが推察される。(A)中の a は、切削面の表面から約 $1.3 \mu\text{m}$ 電解研磨で除去すると完全に見られなくなったので、これはデバイ環の一部であったと判断できる。(B)中の β は、切削面の表面から約 $0.7 \mu\text{m}$ 電解研磨で除去すると消失した。(C)中の δ が、 $\langle 011 \rangle$ 方向に楕円状になっていることから、 $\{012\}$ 面が $\langle 001 \rangle$ 方向を軸に微小角度回転していると推定できる。切削面の表面から約 $0.8 \mu\text{m}$ 電解研磨で除去すると図中の γ および δ も消えた。このことから、多結晶層は切削方向によらず厚さ約 $1 \mu\text{m}$ 程度の層であることがわかった。

(A)-(C)上の、 a は $\{111\}$ 面、 b は $\{122\}$ 面、 c, f は $\{112\}$ 面、 $d, \{113\}$ 面、 e, g は $\{133\}$ 面からの反射スポットである(A)では、スポット a, d, g の形状は切削方向 $\langle 011 \rangle$ に平行な方向に長く尾を引いた形となっている。これは、スポット a は $\{111\}$ 面が $\langle 112 \rangle$ 方向を軸に約 5° 、スポット d は $\{113\}$ 面が $\langle 233 \rangle$ 方向を軸に約 3° 、スポット g は $\{133\}$ 面が $\langle 334 \rangle$ 方向を軸に約 4° 回転していることを意味している。表面から約 $1.3 \mu\text{m}$ 電解研磨で除去すると、これら三つのスポットは多少短くなったが尾は残っていた。さらに、約 $1.1 \mu\text{m}$ 合計約 $2.4 \mu\text{m}$ 電解研磨で除去した面では、いずれのスポットにも尾を引いた形状がなくなった。

(B)では、スポット a, d は、切削方向 $\langle 112 \rangle$ に平行となる方向にわずかに尾が延びた形状をしている。スポット a は $\{111\}$ 面が $\langle 011 \rangle$ 方向を軸に約 1° 程度回転していることを表している。また、スポット a, d は切削方向に直交するすべり方向 $\langle 011 \rangle$ にも平行な延びが認められる。これは、スポット a は $\{111\}$ 面が $\langle 112 \rangle$ 方向を軸に、スポット d は $\{113\}$ 面が $\langle 114 \rangle$ 方向を軸に回転していることを示している。この切削面を表面から約 $0.7 \mu\text{m}$ 電解研磨で除去すると、スポット a, c, e の尾部分の延びはなくなったが、スポット a, d の楕円形状には変化がなかった。さらに、約 $1.7 \mu\text{m}$ 合計約 $2.4 \mu\text{m}$ 電解研磨で除去すると、スポット a, d は円形となった。このことから、回転角は小さいがこの層の厚さは(A)と同程度であることがわかる。

(C)では、図中のスポット a, d, e は、切削方向 $\langle 123 \rangle$ に平行に長く尾を引いた形状になっている。これは、スポット a は $\{111\}$ 面が $\langle 145 \rangle$ 方向を軸に約 4° 回転していることを示している。切削面を表面から約 $0.8 \mu\text{m}$ 電解研磨で除去した面では、これら三つのスポットの形状は円形となった。これより、回転角は大きいがこの層は薄いことがわかる。

4.まとめ

(1)切りくず形状は、切削方向によって大きな差異はないが、切込み深さにより違いが見られた。切りくず厚さが約 $0.1 \mu\text{m}$ 以下になるとしわが多くなる。

(2)切削面の表層から約 $1 \mu\text{m}$ 程度には、多結晶層があり、その下には、結晶面が数 $^\circ$ 回転している層があった。

(3)すべり方向に直交する方向で切削すると、切削方向とすべり方向の2方向へ結晶面が回転しており、その回転角は小さいが、この層の厚さはすべり方向に切削した面と同程度であった。

文献 1)高村 ほか:1991年度精密工学会春季大会論文集,p257

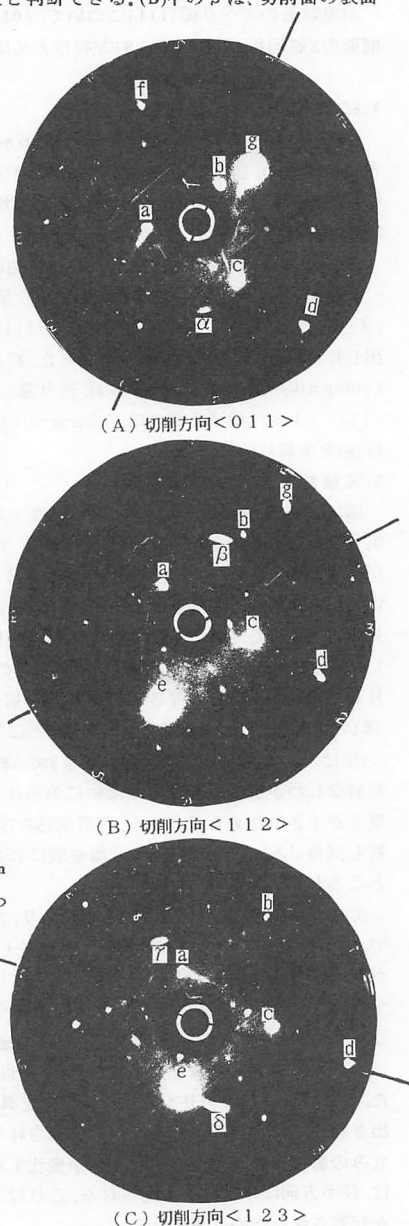


図2 切削面のX線ラウエ写真