

被削材端面部の切削ひずみ挙動

隈部 晃*・山本 耕之*・北川 亮三**

Behavior of Cutting Strain Distribution in Workpiece near Edge

Akira KUMABE, Kouji YAMAMOTO and Ryozo KITAGAWA

Abstract

In this paper distribution of orthogonal cutting strain of aluminum workpiece during cutting and the residual distribution after the cutting are observed using Photo-elastic coating method.

One workpiece with the slight grooves before and behind the cutting range which is treated as a semi-infinite plate and the other with many types of edge within a cutting depth are coated by epoxy rubber film.

The results obtained through this investigation are as follows.

1. The shape of the edge has not an effect on the cut-in phenomenon.
2. The distribution of the cutting strain near the finish edge is affected with the shape of the edge.
3. In case of workpiece with the right angle edges, the cutting strain has three different ranges. These are initial increasing zone, constant zone and final increasing zone.
4. The residual strain of the right angle plane of finish edge is minimized by means of the selection of the suitable shape within a cutting depth.

1. 緒 言

複雑な切削現象を理解するためには実験による結果は欠かせない。その際、切削ひずみ生成状態の評価は切れ刃欠損の発生機構やバリの生成機構の解明上重要である。著者らは光弾性皮膜法を用いて切削中の被削材ひずみを可視化し、連続的にしかも定量的に求める方法について提案^{1),2)}した。この方法を用いて二次元切削中のアルミ被削材内部に生ずるひずみおよび切削後に残留するひずみの挙動を解析した結果についてはすでに報告³⁾⁻⁵⁾した。しかし前報では刃先の前後が半無限板として扱える被削材中央部についてのみ述べた。

一方、有限な切削長さを持つ被削材を切削するとき

に生ずるひずみは加工全域で一様にはならない。

加工面中央部に対して食い付き側と切り上がり側端面近傍では切削ひずみの挙動が異なり、両端面においても特有のひずみ挙動が見られる。特に切り上がり部に現れるひずみ急増現象や端面に生ずるひずみは切削時の場の形成あるいは端面の寸法精度などに影響を与えたと考えられる。

また、被削材端面近傍の切削ひずみ挙動自身も端面形状の影響を受ける。これらを調べるために本報では端面から十分離れた所から切削を開始し終了する様に工夫した被削材を用いて光弾性皮膜法による切削実験を行い、端面の影響のある被削材の結果を比較検討した。これによって端面形状に関係なく切削開始点より刃先前方の塑性域が形成されるまでの切削初期現象である食い付き効果と端面形状の影響による端面効果とが重複してあらわれることがわかった。

その結果、加工面にはひずみ漸増域、定常安定域お

*久留米工業大学機械工学科

**機械工学科

よび急増域が生ずる。

さらに端面効果が端面形状の違いによって受ける影響について調べるために、切り込み深さの範囲内で異なる端面形状を有する平板状アルミ被削材を用いて同様の実験を行った。以上の結果について報告する。

2. 実験方法

光弾性皮膜法を用いた二次元切削実験の概要を Fig. 1 に示す。被削材には JIS-1070 厚さ 3 mm のアルミ板を Fig. 2 に示す形状に切り出した後、焼きなまして用いた。図中 a は端面を直角のままにし、b, c, d は切り込み深さの範囲内で端面を図のように加工した。

端部の加工長さは切り上がり部のひずみ急増開始位置を参考にし、本実験では 2 mm とした。

図中 e に示す被削材は、切削開始および終了時に刃先前後の被削材を半無限板として取り扱えるように溝の内側を加工範囲とした。溝の深さは 0.1 mm である。

e の被削材を切削した場合、食い付き部および切り上がり部共に端面の影響を受けない。

光弾性皮膜材はエピコート、チオコール、ジエチレントリアミンの比を 100:100:8 とするエポキシラバーを用いた。皮膜の厚さは 1 mm とし常温下で無圧縮成形したものを被削材へ接着した。接着剤には皮膜と同一材料を用いた。未硬化のエポキシラバーは吸湿しやすいために接着までの全ての工程はデシケーターの中で行った。

工具は SKH-4 の完成バイトをすくい角 30° 、にげ角 5° 、ノーズ半径 $2 \sim 3 \mu\text{m}$ に仕上げて用いた。刃先はダイヤモンドホイール加工後アルカンサス砥石 4000# で手研ぎし 80 倍の実体顕微鏡でその形状を確認した。

実験は乾式で行い切削の都度工具表面をエタノールで脱脂し、油膜介在の影響を避けた。

切削条件は切り込み量 0.1 mm, 切削速度 0.5 mm/min, 室温 293K で実験した。切削中の被削材表面温度は放射温度計を用いて連続測定し温度変化のないことを確かめた。

工作機械はマンシングセンターを用い、スピンドル回転をオリエンテーション位置に固定してテーブル送りで切削した。

被削材に接着した皮膜の等色線縞次数 N と下地アルミ材のひずみ ϵ 特性は被削材と同一材に皮膜を接着した帯板試験片を用いた単軸引っ張り試験によって求めた。この時の引っ張り速度および実験温度は切削実験と同一条件で行った。

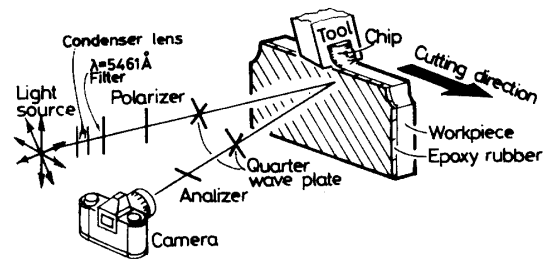


Fig. 1 Photoelastic coating method

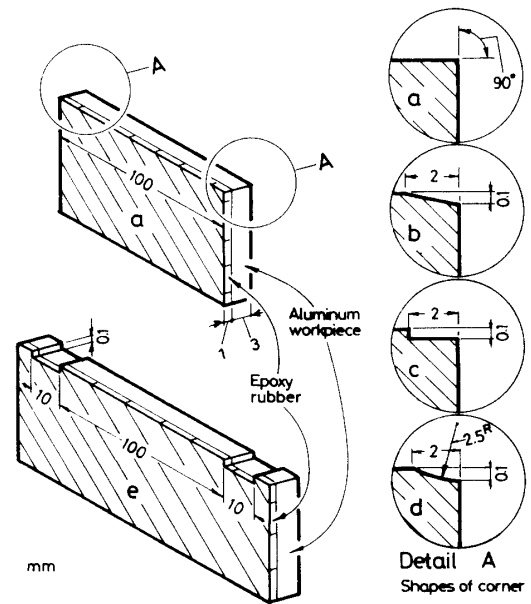


Fig. 2 Schematic sketch of workpiece

3. 実験結果および考察

切削によって被削材は塑性変形する。しかし、被削材のひずみと接着皮膜のひずみは等しい。このとき接着した皮膜にあらわれる等色線縞次数 N と被削材の最大せん断ひずみ γ_{\max} の間には $N = \alpha\beta\gamma_{\max}$ であらわされる関係があり、 N は被削材の最大せん断ひずみの大きさに比例する。従って接着皮膜の N の分布は被削材の γ_{\max} の分布をあらわす。ただし d は皮膜の厚さ、 β は皮膜の主ひずみ差感度である。

皮膜のポアソン比を μ 、単軸引っ張り状態の主ひずみを ϵ_1 とするとき、 $\gamma_{\max} = \epsilon_1 - (-\mu\epsilon_1) = (1 + \mu)\epsilon_1$ であるから単軸引っ張り試験によって Fig. 3 に示す $N \sim \gamma_{\max}$ 関係特性が得られる。

両端面が直角な被削材 a の切削中の等色線と切削後

の残留等色線および切削開始あるいは終了時に刃先の前後の被削材が半無限板として扱える被削材 e の切削中と切削後の残留等色線を Fig. 4 に示す。このときの被削材 a の残留縞のパターンを Fig. 5 に示す。

切削面の前後に垂直な端面 I-I, 0-0 を有する被削材 a では I-I より切削を開始し 0-0 で切り上げる。このときのひずみ分布は Fig. 4 より明らかなように食い付き初期の段階では刃先前方の圧縮前方の圧縮領域が狭い、また中立軸が明確に認められ刃先後方の引張り領域では前方で生じた圧縮ひずみの大部分を打ち消している。従って食い付き初期での残留ひずみは小さくその分布範囲も狭い。しかし、切削が進むにつれて刃先前方の圧縮ひずみ領域も広がり、残留ひずみは

次第に増加してその範囲も深くなる。

切削開始点 I-I より約10mm以上離れるとこれらのひずみは安定した安常状態となり、加工面に平行な縞が残留することになる。この定常領域でのひずみ分布は一定である。

ところが切り上がり点0-0までの距離が約3mmの位置に達すると刃先前方の圧縮領域で急に膨れて端面0-0上に深く分布して切削が終了する。

切削後の被削材の残留するひずみは Fig. 5 に示す A ~ E の特有な分布となる。A の値は小さいが引張りによるひずみ領域である。加工面上の残留ひずみは食い付き点では値 0 であり、これから徐々に増加する領域 B とこれに続いて一定となる定常域 C があり、最後に切り上がり点近傍で急に深く分布する急増域 D ができ、端面0-0上の E 部にまで連続して広く分布する。

これらはいずれも圧縮によるひずみである。

一方、半無限板の途中から切削を開始終了する被削材 e の場合は端面の影響を受けない被削材の切削ひずみ状態を知ることができる。

a と e の等色線を比較すると明らかなように食い付き初期に見られる現象は殆ど同じである。ただし中立軸の位置と領域 B の長さは異なる。このことより食い付き初期にひずみが漸増する現象は端面形状の影響で

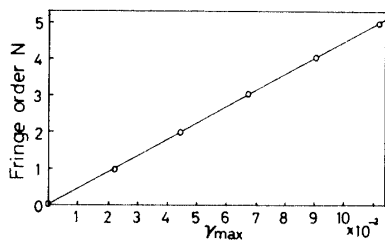


Fig. 3 Relationship between $N \sim \gamma_{max}$

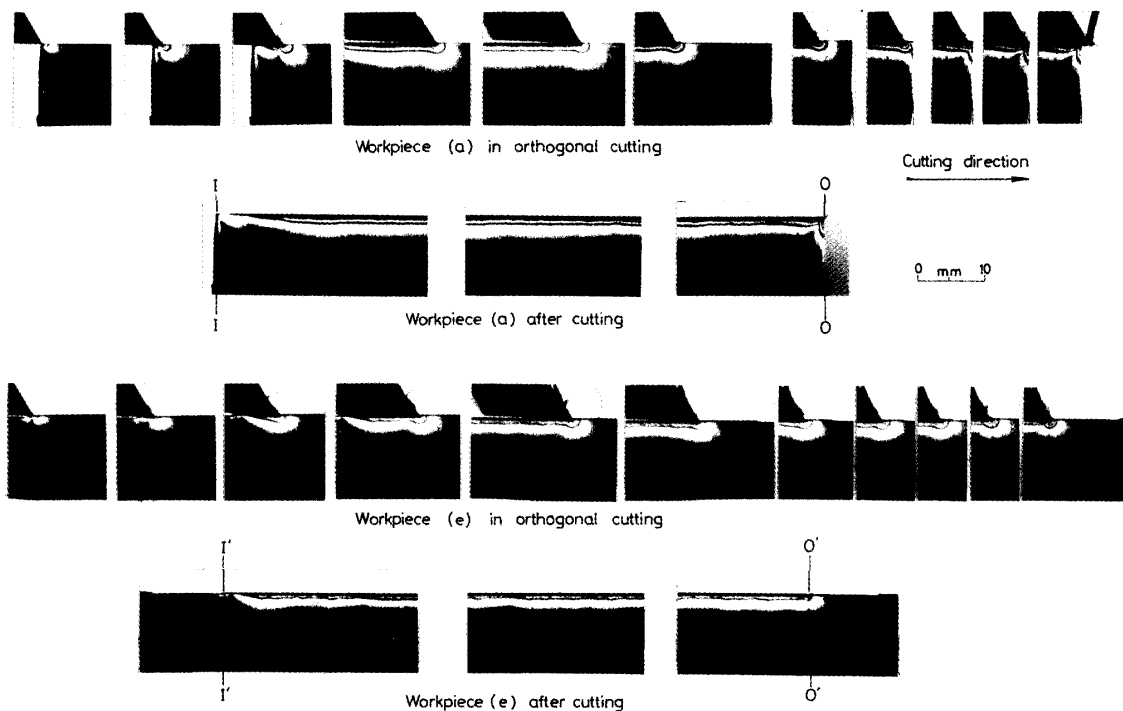


Fig.4 Isochromatic lines of workpiece (a), (e) in orthogonal cutting and after cutting

なく切削の開始時に現われる特有の現象であると思われる。以下ではこの現象を食い付き効果と呼ぶ。

食い付き効果は切削開始時の刃先前方の圧縮ひずみ硬化領域形成途中の過渡現象であると考えられる。

この時の切り屑の形状も定常域のものとは異なっている。定常域でのひずみ分布についてはaとeで差は認められない。しかし、切り上がり位置近傍ではaに見られるひずみ急増現象はeには全く見られず平行な縞からそのまま1/4円弧をえがいて滑らかに閉じて

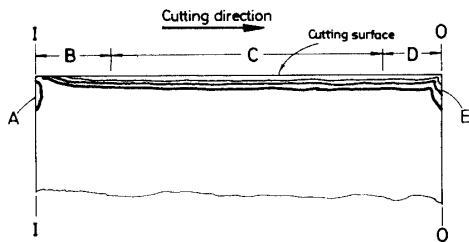


Fig. 5 Pattern of residual strain in aluminum workpiece after orthogonal cutting

いる。従って切り上がり部におけるひずみ分布は端面形状によって大きく左右されることが明らかである。この事と上述の食い付き部の中立軸の位置と領域Bの長さの違いは端面形状の影響であるから以下では端面効果と呼ぶことにする。

次に、端面効果について調べるために切り込み深さの範囲で形状の異なる被削材a～eの切削の等色線および切削後の残留等色線を Fig. 6 に示す。

図中cに見られる円孔状の縞は皮膜を形成した時の気泡であり切削によるひずみではない。

これらの等色線より明らかなように、端面形状の如何にかかわらず食い付き部では刃先の進行につれて刃先前方のひずみが切削開始点のOから徐々に増大し、やがて定常状態となる食い付き効果が見られる。

切削開始点近くの残留等色線を比較してもa～eのいずれの形状の被削材にも食い付き効果はあらわれている。もちろん縞の残留開始点と中立軸の位置にはそれぞれ差異がある。

切削によって刃先前方の被削材には刃先点方向の単軸圧縮ひずみが生じ、刃先の通過とともに被削材は刃先後方の位置で刃先点方向の単軸引っ張りを受ける。

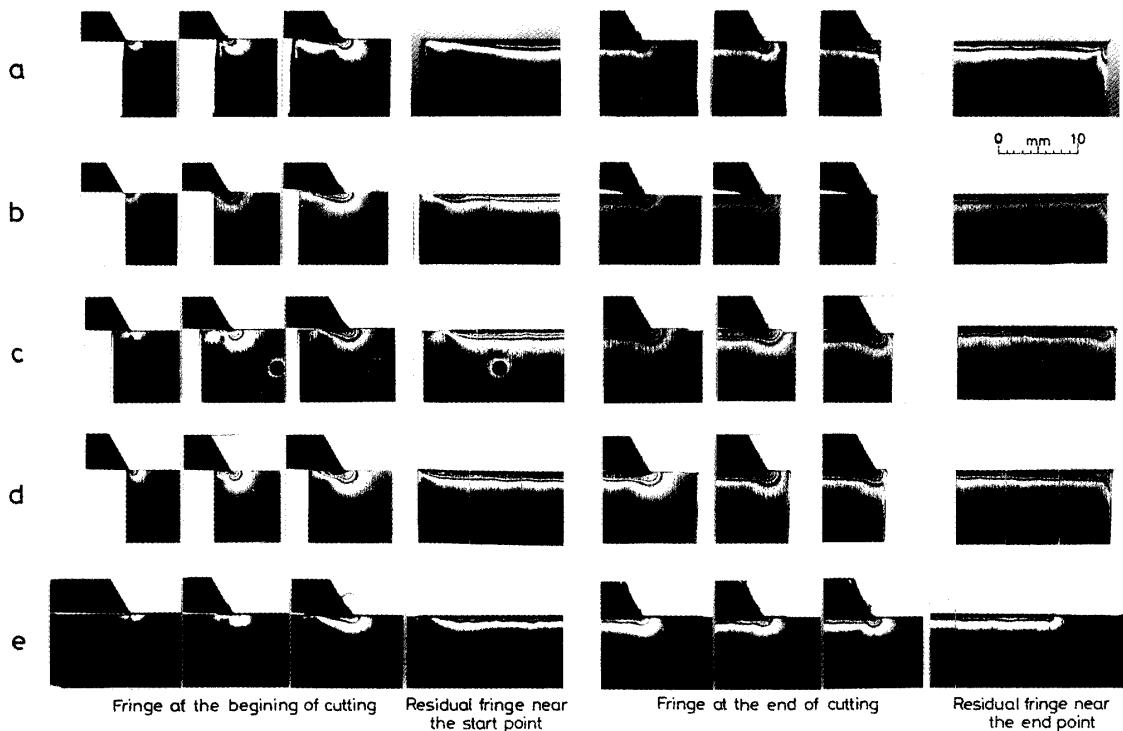


Fig. 6 Isochromatic lines of workpiece (a) ~ (e) in orthogonal cutting

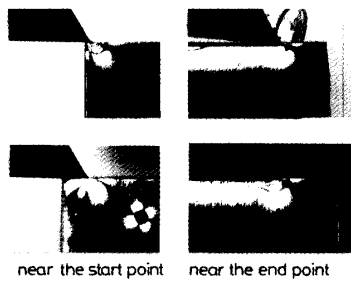


Fig. 7 Isoclinic lines of workpiece (a)
 ($\Theta=20^\circ$)
 Isoclinic lines of workpiece (c)
 ($\Theta=20^\circ$)

その結果、刃先の前後で被削材に生ずる最大せん断ひずみの方向は逆転する。

切削開始点より後方で引っ張り荷重を負担できる形状の被削材 c と e にはひずみ反転ともなう中立軸が切削開始の位置に残存する。このとき中立軸より手前には引っ張りによる縞が残るがその次数は少ない。

直角な端面から切削を開始する被削材 a ではこの引っ張りによる縞は端面に生じている。

形状 b, d の被削材では食い付き側の中立軸は曖昧であり、引っ張りによる縞についても明瞭にあらわれない。

次に切り上がり部近傍について比較すると、被削材の加工終了点の約 2 mm 手前から急に深くなり端面にまで広く分布している。またこの端面近傍は刃先後方で生ずる引っ張り作用を受けない。これらの現象は程度の差はあるが被削材 b および d にも見受けられる。

このようにひずみが急増するのは刃先が端面に近づいた時の刃先前方の圧縮荷重を負担できる部分の被削材断面積の減少によるものであるから加工終了位置より前方に十分な断面積を持つ被削材 e には現れない。少なくともひずみ急増位置を加工終了点とする被削材

c では端面への影響をさけることができる。単なる面取り程度ではこのような効果は少ないと思われる。

Fig. 7 には被削材 a と c の食い付き部および切り上がり部の等傾線の一例を $\theta=20^\circ$ の場合について示す。Fig. 6, Fig. 7 より、切削開始点には切削ひずみが 0 となる特異点があることがわかる。

4. 結 論

光弾性皮膜法を用いたアルミ被削材の二次元切削実験によって次のことが明らかとなった。

- (1) 切削初期に見られる食い付き効果は切削による刃先前方の圧縮ひずみ硬化領域形成途中の過渡現象であり、被削材端面形状の影響ではない。
- (2) 切り上がり部近傍の切削ひずみの分布は端面形状により大きく左右され、端面効果があらわれる。
- (3) 直角な端面を持つ被削材を二次元切削すると食い付き効果と端面効果とが重複作用し、ひずみ漸増域と定常域および急増域があらわれる。
- (4) 端面形状を切り込み深さの範囲で工夫することによって切り上がり部端面の切削による残留ひずみを最小にすることができる。

参 考 文 献

- 1) 隈部・山本・北川, 山口大学工学部研究報告第38巻1号9 (昭62年10月)。
- 2) 隈部・山本, 精密工学会誌 54-11 (1988), 2145。
- 3) 隈部・山本, 昭和62年度精密工学会春季大会学術講演論文集, No. 2。
- 4) 山本・隈部・北川, 山口大学工学部研究報告第38巻2号17 (昭63年3月)。
- 5) 隈部・山本・北川, 山口大学工学部研究報告第39巻1号47 (昭63年10月)。

(平成3年4月15日受理)