

アルミニウムの切削に及ぼす有機極性物質塗布の影響

池田 慎一*・中津 正志**・藤川 昇***
米川 賢****・田頭 孝介*****

The effect of coating of organic polarity substances on the cutting of aluminums

Shin-ichi IKEDA, Masashi NAKATSU, Noboru FUJIKAWA
Ken YONEKAWA and Kohsuke TAGASHIRA

Abstract

The coating effects on the cutting behaviour were examined for orthogonal cutting (cutting speed : 100 mm/min, cutting depth : 0.02 mm) in recrystallized or cold-rolled aluminums. Coating materials are liquid paraffin containing 0-100 wt% oleic acid of organic polarity substances. Cutting surface has been pre-cut to keep constant depth of work-hardened layer. The rake angle of hard alloy metal tool was 5 degrees and radius of cutting edge was 0.01 mm. The cutting force, cutting surface roughness and the shape of chips have been measured. The following results were obtained. 1) In recrystallized and pre-cut aluminums, the coating effects, which are the decrease of the cutting force, the improvement of cutting surface roughness, the thinning of the chip, were never observed with oleic acid under 0.1wt%. 2) In cold-rolled and pre-cut aluminums, the coating effects could be observed with 100wt% liquid paraffin. These effects by 100wt% liquid paraffin was different from the effects by oleic acid by the SEM observation of the free surface of chip.

Key words : Rehbinder effect, coating effect, organic polarity substances, oleic acid, liquid paraffin, cutting force, cutting surface roughness

1. 緒 言

アルミニウムのような軟質金属を切削する際、加工面に有機極性物質を含む塗布剤を塗布すると、工具刃先にその塗布剤が直接付着しないにも関わらず、切削抵抗の減少、切屑厚さの減少、切削面性状の向上などが観察できる。これは被削材の表面に塗布された有機極性物質が吸着することによって、被削材の降伏応力、加工硬化率、破壊強度が減少するレビンダー効果¹⁾に関係があると考えられていたが^{2),3)}、金枝らによりレビンダー効果とは全く異なる切削特有の効果であることが示された⁴⁾。金枝らは、アルミニウムや銅の圧延

材の予備切削領域の硬さを調べ加工変質層の厚さを制御し、切削面に各種塗布剤を塗布し切削することにより、無塗布部に比べ塗布部の切削抵抗、切屑厚さが減少することを確認した。境界潤滑特性の高い塗布剤ほど減少する効果が大きかったことから、塗布剤は切屑ラメラ間の摩擦低減に効果があつたものと結論づけており、Rehbinder効果との関係を否定した。

アルミニウムの切削現象に関して、十分に加工硬化した被削材では安定した切削が行われ、焼鈍した被削材については安定した切削が行われないことは確認されていたが^{5)~9)}、切削の際の塗布剤の影響についての詳細は確認されていない。

そこで、本研究では純アルミニウムの冷延板を焼鈍及び圧延したものを被削材とし、その切削面に塗布剤としてオレイン酸（有機極性物質）、流動パラフィン、四塩化炭素を用い、オレイン酸とその他の塗布剤がアルミニウム切削中の切削抵抗

*助 手 機械工学科
**助教授 機械工学科
***技 官 (機械実習工場)
****大学院 室蘭工業大学
*****教 授 室蘭工業大学

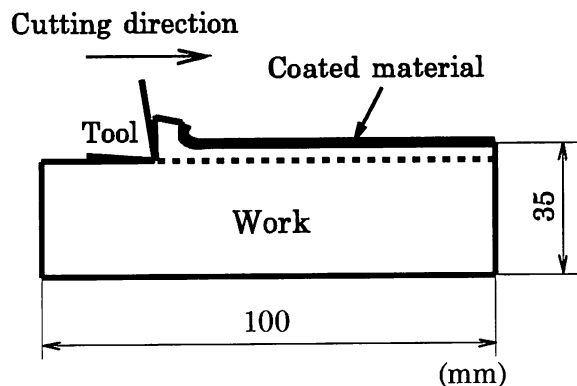


Fig.1 The region of the coated part on cutting surface.

及び切屑自由表面形状に及ぼす影響を調べた。

2. 実験方法

被削材は板厚 2 mm の商用純度のアルミニウム冷延板 (100×35×2 mm) を 600℃ で 4 時間真空中で焼鈍した試料 (試料 a とする) と、この素材である冷延板を 50% 圧延した板厚 1 mm の試料 (試料 b とする) (100×35×1 mm) 及びこの試料 b を焼鈍した試料 (試料 c とする) を使用した。

本実験の本切削は各種塗布剤を塗布した切削面を切削速度 100 mm/min, 切込量 0.02 mm の条件で行った。本切削の前に行う予備切削は切削面の加工変質層を一定にするために 0.2 wt% オレイン酸を切削面に塗布し切削速度 100 mm/min, 切込量 0.05~0.02 mm で切削し、最終的に 0.01 mm で数回切削し仕上げた。

切削工具は超硬工具 (すくい角 5°, 逃げ角 6°, 刃先曲率半径 5 μm) を使用した。

塗布剤はオレイン酸濃度 0~100 wt% とした流動パラフィン溶液及び潤滑剤である四塩化炭素を使用した。塗布剤は微量塗布し余分な塗布剤が工具先端に付着しないようにペーパータオルで塗布面を拭き取った。この時の塗布厚さは電子てんびんによる測定結果から約 1 μm であった。Fig. 1 に塗布位置を示す。

切削はマシニングセンタで低速二次元切削し、切削抵抗は工具動力計で測定した。切削面及び切屑自由表面の観察は SEM 及び光学顕微鏡で行った。

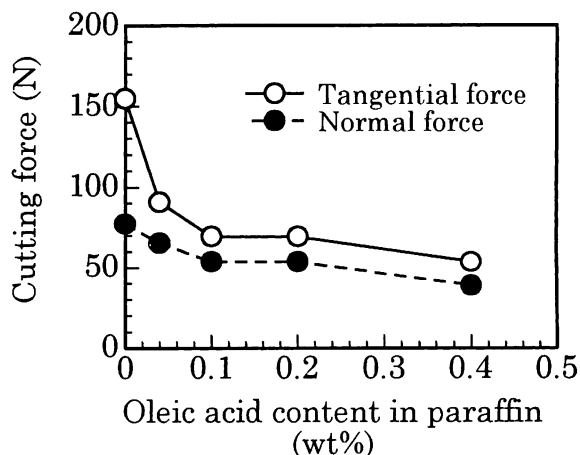


Fig.2 Relation between the cutting force and concentration of oleic acid.

Cutting speed : 100 mm/min

Cutting depth : 0.02 mm

3. 実験結果及び考察

3-1 切削抵抗に及ぼすオレイン酸濃度の影響

Fig. 2 に試料 a の予備切削面に塗布したオレイン酸濃度と切削抵抗 (主分力, 背分力) の関係を示す。図中の○印は主分力で, ●印は背分力を示す。また, オレイン酸濃度 0 wt% は流動パラ

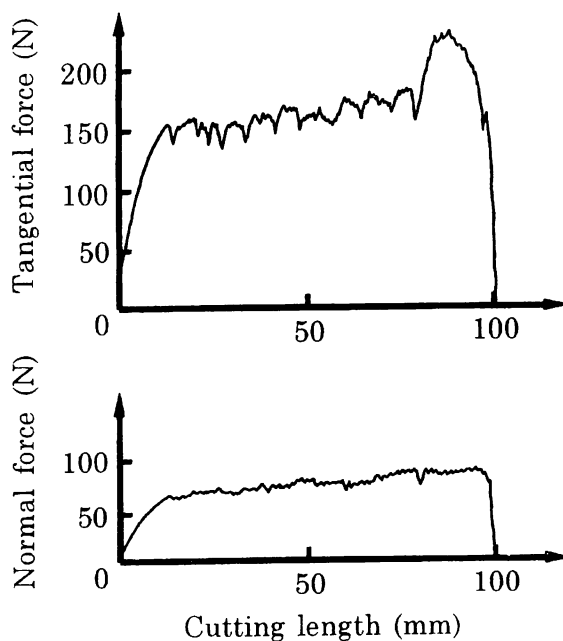


Fig.3 Effect of coated material on the rake surface of tool on the cutting force.

Coated material : 100 wt% Oleic acid

Cutting speed : 100 mm/min

Cutting depth : 0.02 mm

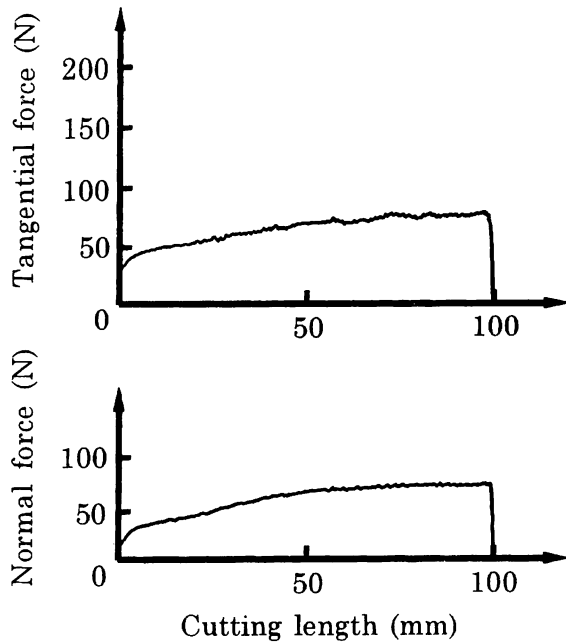


Fig.4 Effect of the strain hardening layer on the cutting force.

Coated material : 0.2wt% Oleic acid
Cutting speed : 100 mmin
Cutting depth : 0.02 mm

フィンのみを意味する。

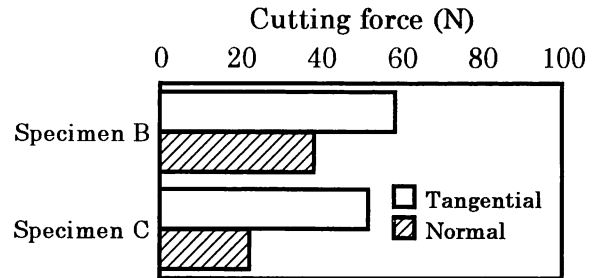
予備切削を行った試料 a に 0 wt% オレイン酸、すなわち流動パラフィンのみを塗布したときは主分力が約160N、背分力が約80N となり、無塗布部とはほぼ同じ値であった。しかし、0.04wt% オレイン酸塗布では主分力が急激に減少し、0.1wt% では流動パラフィン塗布の約1/2の約70N を示した。主分力はオレイン酸濃度が0.1wt% 以上ではほぼ一定の値を示した。切削面粗さもオレイン酸濃度0.1wt% 以上で $0.1\mu\text{m}$ 以下となった。

このように、予備切削後の試料表面に0.1wt% 以上のオレイン酸を含む流動パラフィンを塗布したときのみ、無塗布部に比べ切削抵抗、切削面粗さ、切屑厚さが減少する塗布効果が観察された。

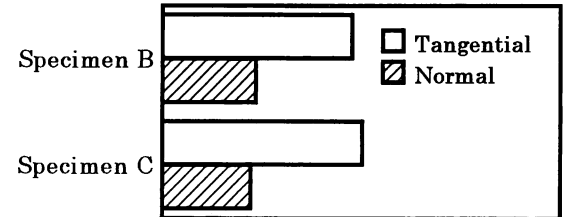
3-2 工具すくい面への塗布剤の塗布

Fig. 3 に工具すくい面に直接100wt% オレイン酸を塗布し予備切削後の試料 a を切削したときの切削抵抗（主分力、背分力）と工具が移動した切削距離の関係を示した。この時の予備切削面は無塗布である。

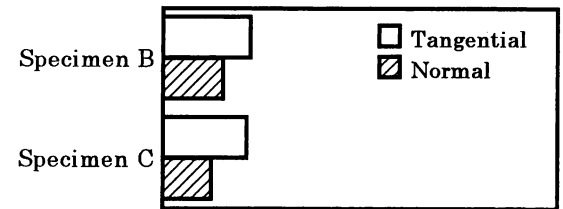
切削中の主分力の値は無塗布部とはほぼ同じ値を示したが、主分力の変動は無塗布部に比べ小さく



(a) Non-coated



(b) 0wt% Oleic acid (Liquid paraffin)



(c) 100wt% Oleic acid

Fig.5 Effect of coated materials in recrystallized or cold-rolled aluminums on the cutting force.

(a) Non-coated

(b) 0wt% Oleic acid (Liquid paraffin)

(c) 100wt% Oleic acid

なった。しかし、切屑自由表面形状は無塗布部と同じであり、切削面性状も悪化した。

この結果は塗布効果が工具すくい面と切屑の間を直接潤滑し摩擦を緩和する作用と異なることを示している。

3-3 加工硬化層の切削抵抗及び切削面粗さ

Fig. 4 に予備切削後の試料 a 後をさらに切込量 0.05mm で予備切削し、予備切削面の前半 50mm を無塗布部、後半を0.2wt% オレイン酸塗布部としたときの切削抵抗（主分力、背分力）と切削距離の関係を示した。このときの加工硬化層の厚さは約 $100\mu\text{m}$ で工具刃先が通過する領域の硬さは約60HV であった。

無塗布部では無塗布部特有の現象（切削抵抗の大きな変動、切削面性状の悪化、切屑厚さの増加、切屑自由表面の先端形状の鈍化）が観察されず、塗布剤の有無に関係なく切削抵抗値は主分力で約

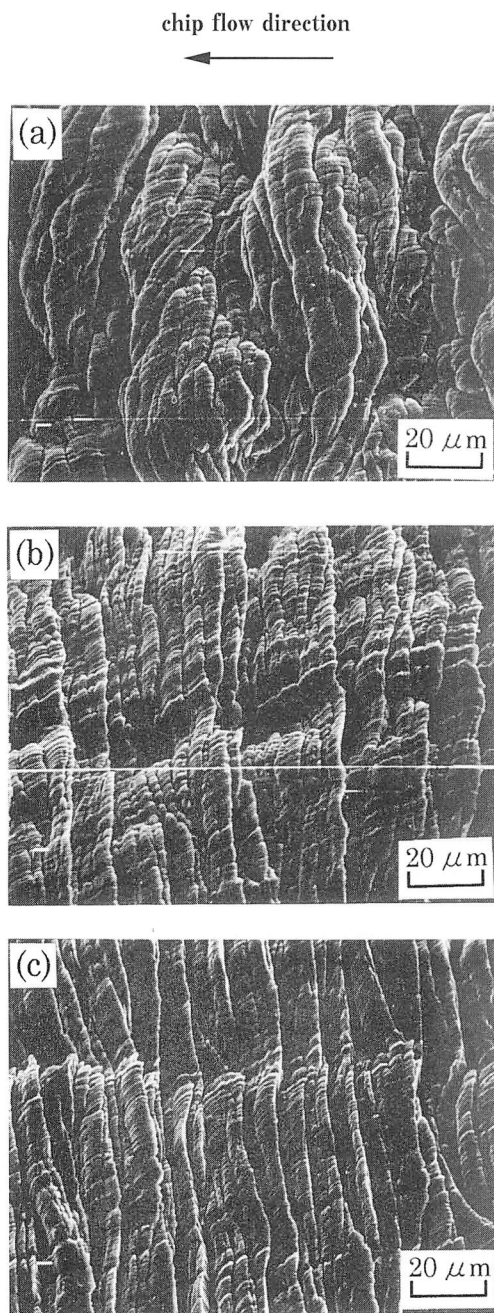


Fig.6 SEM photographs of the free surface of chip in the cutting of cold-rolled aluminum
(a) Non-coated
(b) 0wt% Oleic acid (Liquid paraffin)
(c) 100wt% Oleic acid

50～70N と低く、切削面粗さは $0.1\mu\text{m}$ 以下と切削面性状も向上し、切屑自由表面についてもオレイン酸塗布部と同じく尖った形状となった。

この結果は塗布効果が加工硬化層(硬さ約60HV)の切削で観察されないことを示している。しかし、予備切削で生成された加工硬化層の硬さは試料表面と母材中心部分とは異なるために、実際の切

削では加工硬化された影響が切削面で効果があるのか、あるいは工具先端部分で効果があるのか分からない。そこで、試料全体を冷間圧延により加工硬化させた試料を用い切削を行った。

3-4 圧延材における塗布効果

Fig. 5 (a)～(c)に板厚1mmの試料b及び試料cの無塗布部及び100wt%オレイン酸、0wt%オレイン酸(100wt%流動パラフィン)塗布部の切削抵抗値(主分力・背分力の値)を示す。

無塗布部では主分力、背分力は試料bの方が試料cに比べ大きい。これは単に切削面の残留ひずみ量の違いであろう。一方、流動パラフィンを塗布しても試料cでは主分力、背分力は変化しなかったが、試料bでは減少した。特に試料bの背分力は無塗布部の約1/2となった。この傾向は四塩化炭素についても同様で、試料bでは有機極性物質以外の塗布剤で切削抵抗値、切削面粗さ、切屑厚さの減少などの塗布効果が観察された。オレイン酸を塗布すると試料b及び試料cの主分力及び背分力は共に減少し塗布効果が観察された。

Fig. 6に試料bの切屑自由表面のSEM写真を示す。(a)は無塗布部、(b)は100wt%流動パラフィン塗布部、(c)は100wt%オレイン酸塗布部である。全ての切屑自由表面には約 $3\mu\text{m}$ 幅のラメラが観察された。(a)の切屑自由表面でみられるようなラメラの集まりを1ブロック(約 $20\mu\text{m}$ 幅)とすると、(a)ではブロック及びその中のラメラが複雑に圧縮されており、ブロック間の摩擦が過大であったことを示している。(b)ではブロック単位でせん断変形しブロック内のラメラは圧縮されている。このときのブロック間の摩擦は塗布された流動パラフィンにより緩和されたものと思われる。(c)ではラメラ単位でせん断変形している。これはラメラ間の摩擦がオレイン酸による境界潤滑により緩和されたためであると思われる。

このように試料bのようなひずみエネルギーの高い試料では切屑排出の際に要するエネルギーが小さいので、せん断領域におけるせん断変形が容易となり、盛上がり部表面より発生した段差が1ブロックの切屑となり盛上がり部に塗布されている塗布剤の上をすべりながら切屑が排出される。この時盛上がり部と切屑との間の摩擦が流体潤滑により緩和されスムーズに切り屑が排出され、結果的に切削抵抗が減少したものと思われる。しかし、オレイン酸塗布部はラメラ単位で段差が発生し切屑が排出されるため、詳しいメカニズムは分から

ないが上記のような切屑排出過程とは異なるものと思われる。

4. 結 言

純アルミニウム焼鈍材及び圧延材を予備切削した後、その面にオレイン酸を含む流動パラフィン溶液を塗布し低速2次元切削を行い、次のような結果を得た。

- 1) アルミニウム焼鈍材の切削では予備切削面にオレイン酸を含む流動パラフィンを塗布すると、切削抵抗、切削面粗さ、切屑厚さが減少する塗布効果が観察された。
- 2) 圧延により加工硬化された試料では有機極性物質以外の流動パラフィンを塗布しても切削抵抗が減少するなどの塗布効果が観察されたが、この効果は有機極性物質塗布効果とは異なるものであると思われる。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり終始御協力頂いた室蘭工業大学技官の山森英明氏、当時大学院生の小島裕之君（現在、新王子製紙）、当時学生の角田

佳子君（現在、キャノンアプテクス）、苫小牧工業高等専門学校卒業生の仲山久也君（現在、前川製作所）、千葉文明君（現在、ユニアデックス）に心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Rehbinder, P: Nature. 159,4052, (1947) 866.
- 2) 榊田勝実他：日本機械学会論文集（第3部），38, 316, 3246.
- 3) 大島郁也他：茨城大学工学部研究集報，23, (1975) 17.
- 4) 金枝敏明他：精密工学会誌，61, 5, (1995), 702.
- 5) 中山一雄他：精密機械，31, 3, (1965) 30.
- 6) 財満鎮雄他：日本機械学会論文集（第3部），35, 277, (1969) 1941.
- 7) 財満鎮雄他：精密機械，35, 9, (1969) 24.
- 8) 池田慎一他：苫小牧高専紀要第32号（1997）35.
- 9) 池田慎一他：苫小牧高専紀要第33号（1998）33.

（平成10年11月30日受理）

