

アルミニウム焼鈍材の切削抵抗に及ぼす 有機極性物質の影響

池田 慎一*・中津 正志**・田頭 孝介***・小嶋 裕之****

The effect of coating of organic polarity substances on the cutting force of aluminum polycrystalline

Shin-ichi IKEDA, Masashi NAKATSU, Kohsuke TAGASHIRA and Hiroyuki KOJIMA

Abstract

In order to examine the effect of the coating effect, on the orthogonal cutting (cutting speed : 50–400mm/min, cutting depth : 0.02–0.1mm) of recrystallized aluminum has been carried out. Coated material is liquid paraffin which contained 0.2wt% of oleic acid (organic polarity substances). Cutting surface has been pre-cut to keep constant depth of work-hardened layer. To clarify the factor the cutting force, cutting surface roughness and the shape of chip have been measured. The rake angle of hard alloy metal tool was 5 degrees and radius of cutting edge was 0.01mm. The following results were obtained. 1) The coating effect (the decrease of the cutting force, the improvement of cutting surface quality, the changes in shape of the chip and so on) was observed by cutting of coated surface. 2) Reduction rate by cutting of coated pre-cutting surface was not changed for cutting speeds between 50 to 400 mm/min. 3) With the increase of cutting depth, the reduction rate decreased. 4) When the hardness(HV) of pre-cutting surface is 35 to 60, the coating effect was remarkably observed. But the coating effect cannot recognized for the coated cutting surface which has not been pre-cut.

Key words : Rebinder effect , coating effect, organic polarity substances, oleic acid, liquid paraffin, cutting force, cutting surface, recrystallized aluminum.

1. 緒 言

応力を受けている金属表面に有機極性物質が吸着すると、降伏応力が減少するという現象はRebinder効果として知られている^{1)~2)}。この現象は金属材料の機械的性質が環境の影響を受ける現象として知られており、金属の切削加工においても同様の塗布効果が報告されている^{3)~5)}。著者ら⁶⁾も軟質金属であるアルミニウムの圧延材及び焼鈍材の予備加工面に流動パラフィンで0.2wt%としたオレイン酸及びステアリン酸を塗布し、その塗布部を低速二次元切削したときに、切削抵抗の減少、切削面性状の向上、切屑厚さの減少などの塗

布効果を確認した。しかし、この原因を究明するには至らなかった。

そこで、今回も前報と同様の実験装置を用い、試料をアルミニウム焼鈍材、塗布剤を有機極性物質であるオレイン酸という条件に限定し低速二次元切削を行い切削抵抗の測定を中心に塗布効果のメカニズムを調べる。まず、塗布部切削時の切削抵抗が減少する条件を調べるために、予備切削の有無、予備切削後の切削予定面の粗さ及び切削予定表面からの加工変質層の厚さなどの条件を変化させ切削を行う。さらに、塗布による切削抵抗の減少が低切削速度で現れる⁷⁾ことや塗布効果が表面での効果ということから、切削速度や切込量を増加させた場合の塗布による切削抵抗の減少量についても調べる。

* 助 手 機械工学科

** 助教授 機械工学科

*** 教 授 室蘭工業大学

**** 大学院 室蘭工業大学

2. 実験方法

被削材は商用純度99.2%（板厚2mm）の冷延板を、所定の大きさ（100×35×2mm）に切断し、焼鈍（625℃×4h、真空焼鈍）したもので、平均粒径は100 μ mであった。

塗布剤は有機極性物質であるオレイン酸を流動パラフィンに溶かし0.2wt%とした。Fig.1に塗布位置を示す。また、塗布位置までの無塗布部分は、アルミニウムを低速切削する場合に切削抵抗が定常状態になるまでの助走距離（約50mm）が含まれている⁸⁾。塗布剤は工具のすくい面や逃げ面に浸入しないように錦棒で切削面に微量塗布し、余分な塗布剤はペーパータオルで拭き取った。

切削はマシニングセンタを使用し、低速2次元切削（切削速度：50～400mm/min、切削厚さ：0.02～0.1mm）を行った。予備切削は切削予定面の加工変質層の厚さを一定にするために、最初は切込量0.05mmで0.2wt%のオレイン酸を全面に塗布して切削し、その後0.01mmずつ減少させ、最終的に切込量0.01mmで数回切削した。ただし、最終予備切削とは、これらの予備切削終了後にもう一度切込量を変化（20～50 μ m）させて行った予備切削をいう。以下、この最終予備切削時の切込量をLdと記す。

切削工具はすくい角が5°、工具刃先曲率半径が10 μ mの超硬工具を用いた。切削抵抗はマシニングセンタのテーブル上の試料を固定している工具動力計で測定した。塗布前の加工面粗さについては、万能形状測定器で最大高さ（Ry）を測定し、前加工面の切込み方向の硬さについてはマイクロビッカース硬度計（荷重：10g）で測定した。切削面及び切屑については光学顕微鏡で観察し、特に切屑自由表面に関してはSEMで観察した。

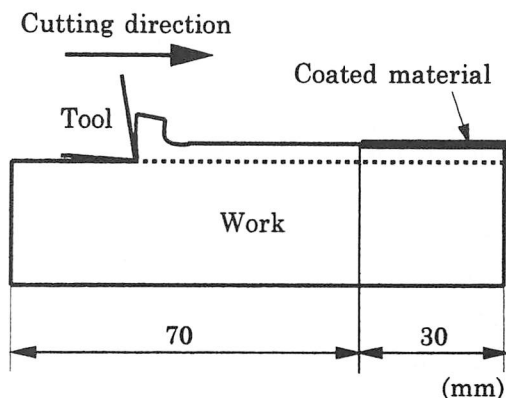


Fig.1 The region of the coated part on cutting surface

以上の条件で切削を行い、塗布部及び無塗布部の切削抵抗、切削面性状、切屑などを測定及び観察した。

3. 実験結果及び考察

3. 1 予備切削の有無の影響

Fig.2に予備切削を行っていない切削予定面に流動パラフィンで0.2wt%としたオレイン酸を塗布して切削したときの切削面及び切屑の写真を示す。塗布部の切削面性状及び切屑厚さは無塗布部と同様であった。切削抵抗についても流動パラフィンのみを塗布した前報の実験結果と同様で一時的に無塗布部に比べ減少したが、切削の進行と共に増加した。この時の切削抵抗減少率（ $R(\%) = (F_0 - F_1) / F_0 \times 100$ 、 F_0 、 F_1 ：無塗布部及び塗布部の切削抵抗(N)）は約12%と塗布効果としては小さい値を示した。このように有機極性物質が塗布された切削予定面を切削した場合でも、予備切削を行っていないければ塗布部切削時の切削面性状の向上及び切屑厚さの減少は観察されなかった。そこで、 $L_d = 20 \sim 50 \mu\text{m}$ に増加させ、予備切削が塗布部切削時の塗布効果に与える影響について調べた。

Fig.3に最終予備切削時の切込量と0.2wt%オレイン酸が塗布された切削予定面及び無塗布部を切削したときの主分力及び背分力の関係を示す。こ

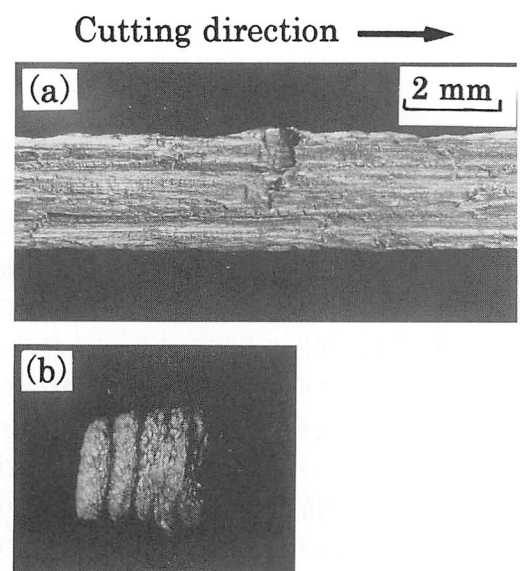


Fig.2 Photographs of cutting surface and chip of non-pre-cutting surface
(a)Cutting surface (b)Chip

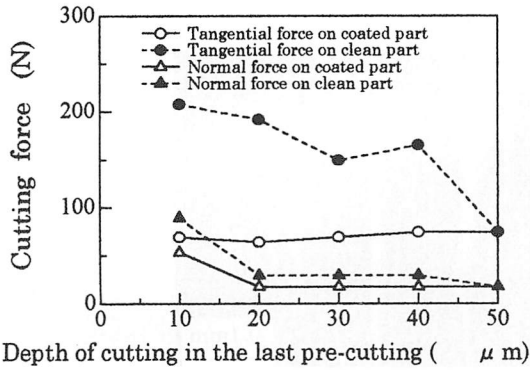


Fig.3 Effect of depth of cutting in the last pre-cutting on cutting force
Cutting speed : 100mm/min
Cutting depth : 0.02mm

のときの切削条件は切削速度100mm/min、切込量 $20\mu\text{m}$ である。 $L_d = 40\mu\text{m}$ までは塗布部切削時の切削抵抗が減少し、主分力で切削抵抗減少率が約55~65%を示した。しかし、 $L_d = 50\mu\text{m}$ では無塗布部切削時の切削抵抗が塗布部と同じ値となり切削抵抗減少率も0%となった。このときの無塗布部の切削面は $L_d = 40\mu\text{m}$ 以下で観察されたむしれ跡が観察されず、塗布部と同様の良好な切削面となった。そこで、無塗布部切削時の切削抵抗が $L_d = 50\mu\text{m}$ で減少した要因について最終予備切削表面の粗さ及び表面からの硬度分布、つまり、加工変質層の厚さに注目して調べた。

3. 2 予備切削による粗さの影響

Fig.4に最終予備切削時の切込量と切削予定面の粗さの関係を示す。切削予定面の粗さは最終予備切削時の切込量の増加に伴い増大した。切削予定面の粗さの増大は切削中に切屑を排出するときに粗さを構成する凹凸の先端にせん断力が集中し易く切屑の排出がスムーズに行われ、切削抵抗も減少すると考えられる。そこで、切削予定面に強

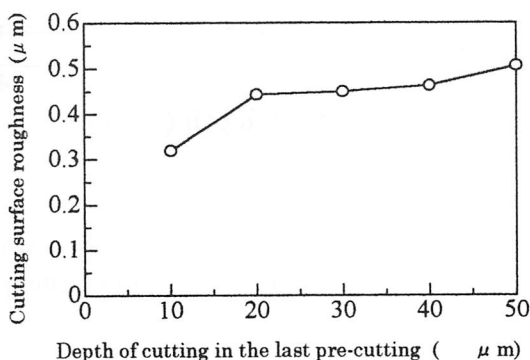


Fig.4 Relation between cutting surface roughness and depth of cutting in the last pre-cutting

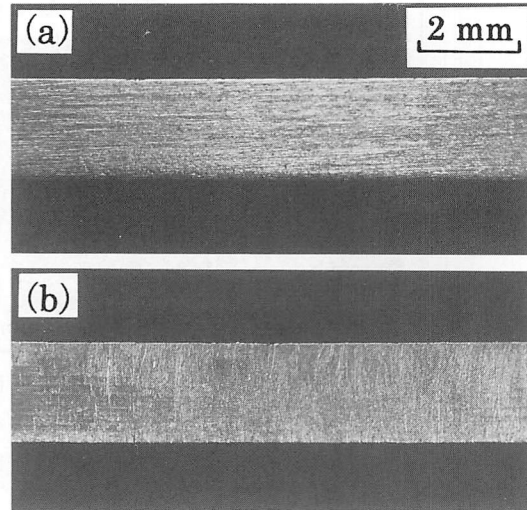


Fig.5 Photographs of pre-cutting surface
Direction of roughness :
(a)cutting direction
(b)a right-angled a direction to cutting direction

制的に粗さを付加し切削時の切削抵抗及び排出される切屑を観察した。

まず、 $L_d = 10\mu\text{m}$ の切削予定面に紙ヤスリで強制的に約 $R_y = 4\mu\text{m}$ の粗さを切削方向及びその直角方向の2方向に付加した。以下、これらの切削方向及び直角方向を粗さの方向とする。

Fig.5に(a)切削方向及び(b)直角方向に粗さを付加した切削予定面の写真を示す。(a)及び(b)の切削予定面切削時の切削抵抗は粗さの方向に関係なく粗さを付加した部分で急激に減少し(切削抵抗減少率は約65%)、切削面性状も向上し、切屑厚さも減少した。切屑排出過程を考えると(b)直角方向の方が(a)切削方向よりも切屑がスムーズに排出されると考えられたがその差はなかった。

Fig.6に(a)及び(b)の切削予定面切削時の切屑自由表面のSEM写真を示す。粗さの方向は(a)切削方向、(b)直角方向である。(a)切削方向に粗さを付加した場合は切屑自由表面に付加した粗さの跡が明確に残っている。切屑自由表面の尖った部分は凹凸にせん断力が集中し形成されたのではないが、オレイン酸塗布部切削時の切屑自由表面と同様である。(b)直角方向の場合は付加した粗さの跡が観察できないが、切屑自由方面形状は(a)と同様に尖っている。付加した粗さの方向に関係ないことから、 $L_d = 50\mu\text{m}$ で無塗布部の切削抵抗の減少は切削予定面の粗さに影響されたものではないと思われる。しかし、切削予定面に粗さを付加することは切削抵抗を減少させる効果があると考えら

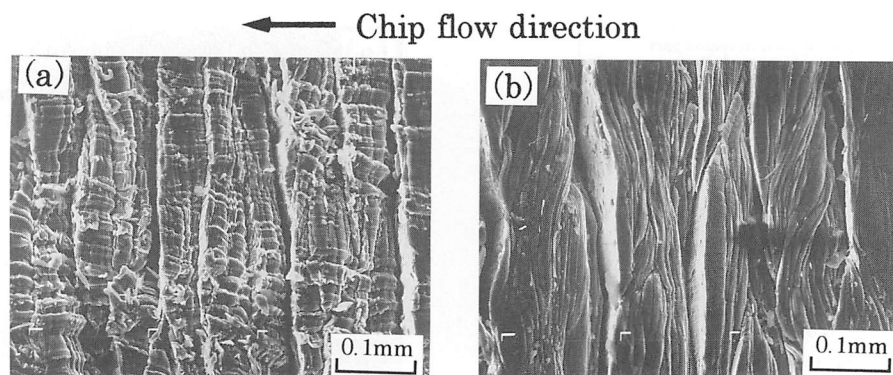


Fig.6 SEM photographs of the free surface of chip

Direction of roughness : (a)cutting direction

(b)a right-angled a direction to cutting direction

れる。

3. 3 加工変質層による影響

Fig.7に $L_d = 50\mu\text{m}$ のときの切削予定面の表面から切込み方向へのマイクロビッカース硬さ(HV)分布を示す。加工変質層は表面から約 $200\mu\text{m}$ の深さまで存在する。Fig.3で $L_d = 50\mu\text{m}$ のとき無塗布部切削時の切削抵抗が通常の場合と比べ低い値を示したが、このときの工具刃先は表面から $20\mu\text{m}$ の硬さが60HV以上の領域を通過している。

Fig.8に $L_d = 50\mu\text{m}$ のときの切込量と切削抵抗の関係を示す。切込量 $23\mu\text{m}$ 以上で無塗布部切削時の切削抵抗が急激に大きな値(主分力で約200N)を示し、同時に塗布部切削時の切削抵抗が小さな値(主分力で約70N)を示した。通常、アルミニウムなどの軟質金属の焼鈍材を切削する場合、工具先端では塑性流動的な変形が大きく⁹⁾、せん断面は工具前方へ拡大しせん断角も減少する。

このとき塑性流動が切削速度より遅いときせん断面上で破壊が起こり切削面へむしれ跡を残し切削抵抗も増大する。しかし、圧延材のように加工硬化した材料を切削する場合は塑性流動に費やす動力が小さいので切削抵抗は減少し切削面も良好になると考えられる。これはアルミニウムなどの軟質金属を繰り返し切削したときに大小2組の切削抵抗が交互に現れる現象¹⁰⁾からも理解できる。

このように約60HV以上の硬さの加工変質層を有する切削予定面を切削する場合は塗布しなくても塗布効果と類似した現象が観察できた。しかし、それ以下の硬さの切削予定面を切削する場合は塗布しなければ切削抵抗が減少するなどの塗布効果は観察できなかった。つまり、アルミニウム焼鈍材における塗布効果は母材の硬さ(約35HV)以上で、60HV以下の加工変質層を有す

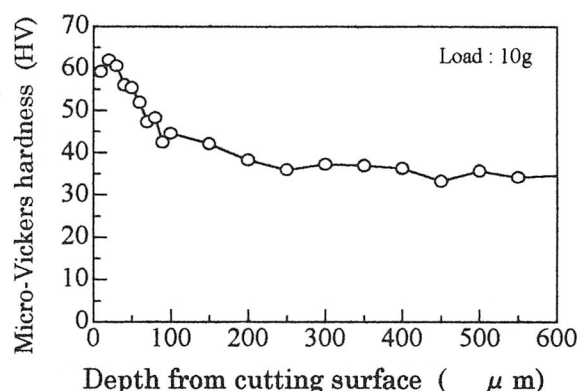


Fig.7

Relation between Micro-Vickers hardness and depth from cutting surface

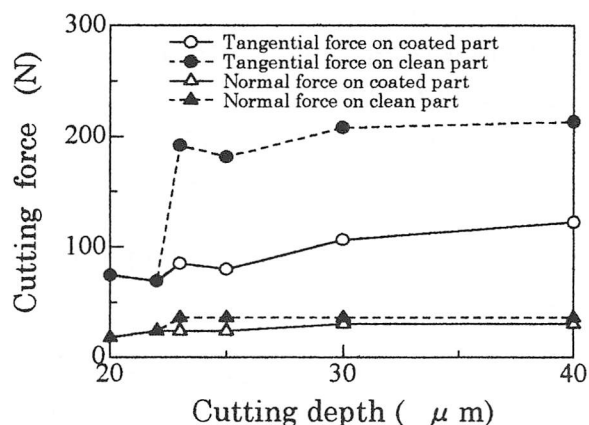


Fig.8

Effect of cutting depth on cutting force when the depth of cutting in the last pre-cutting is 0.05mm

Cutting speed : 100mm/min

Cutting depth : 0.02mm

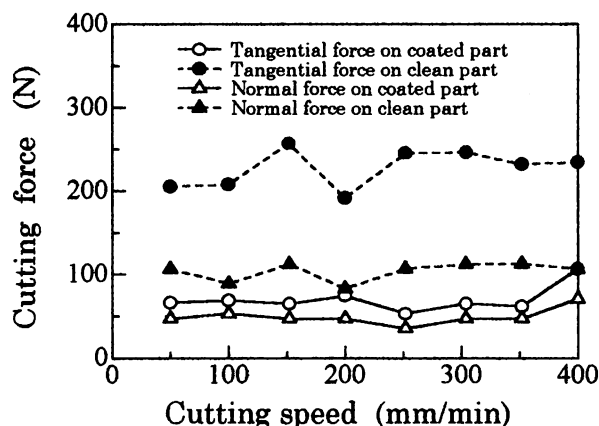


Fig.9 Effect of cutting speed on cutting force
Cutting depth : 0.02mm

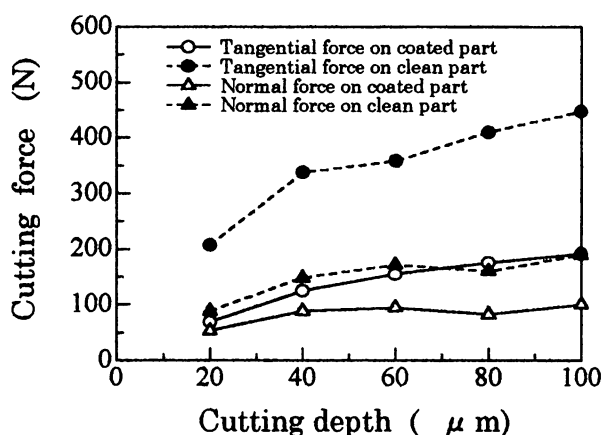


Fig.10 Effect of cutting depth on cutting force
Cutting speed : 100mm/min

る有機極性物質を塗布した切削予定面を切削する場合に限り観察される。

3. 4 切削条件による影響

Fig.9に $L_d = 10\mu\text{m}$ のときの、切込量 $20\mu\text{m}$ に一定とした場合の切削速度と切削抵抗の関係を示す。切削速度が $50 \sim 400\text{mm/min}$ までは切削速度が増加しても塗布部及び無塗布部切削時の切削抵抗に変化は見られなかった。切削抵抗減少率も変化せず、主分力で約65%を示した。

Fig.10に $L_d = 10\mu\text{m}$ のときの、切削速度 100mm/min に一定とした場合の切込量と切削抵抗の関係を示す。切削抵抗の増加に伴い切削抵抗減少率は減少した。このように切込量の増加によって塗布部切削時の切削抵抗の減少量が小さくなるのは、有機極性物質が表面に塗布されているために切込量の増加と共に表面の効果が小さくなるためであると思われる。このことより、塗布効果は工具すくい面などに塗布剤が浸入したことによる潤滑効果ではないものと思われる。

4. 結 言

切削条件を変化させることにより塗布部の切削抵抗の減少量などがどのような影響を受けるか調べるため、アルミニウム焼鈍材の予備切削面に有機極性物質であるオレイン酸を0.2wt%含んだ流動パラフィン塗布し、低速2次元切削（切削速度： $50 \sim 400\text{mm/min}$ 、切削厚さ： $0.02 \sim 0.1\text{mm}$ ）し、切削抵抗の測定、切削面及び切屑の観察を

行った。以下の結果が得られた。

- 1) 塗布することにより切削抵抗の減少、切削面性状の向上、切屑厚さの減少が観察できた。
- 2) 塗布による切削抵抗減少率は切削速度に依存しなかった。
- 3) 切込量が増加すると切削抵抗減少率は減少した。
- 4) 塗布効果は加工変質層の硬さが約35HV以上約60HV以下のとき顕著であった。

なお、予備切削しなかった表面に塗布剤を塗布しても切削抵抗、切削面性状及び切屑厚さに変化は認められなかった。

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、室蘭工業大学卒業生の藤本祐樹君、苫小牧工業高等専門学校卒業生の宮川茂和君、Mohd Fairuz Izwan bin Sahari君、本間将弘君に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Rebinder, P : Nature, 159, 4052, (1947) 866.
- 2) 兵藤申一：精密機械, 32, 2, (1966) 162.
- 3) 榊田勝実他：日本機械学会論文集(第3部), 38, 316, 3246
- 4) 金枝敏明他：精密工学会誌, 61, 5, (1995), 702.
- 5) 大島郁也他：茨城大学工学部研究集報, 23, (1975) 17.

- 6) 池田慎一他：苫小牧高専紀要第32号(1997)
35.
- 7) 今野宏信：室蘭工業大学卒業論文(1979)
- 8) 財満鎮雄他：日本機械学会論文集,33,248,
(1967)641.
- 9) 谷口紀男：日本材料科学会編,(1974)51.
- 10) 財満鎮雄他：日本機械学会論文集(第3部)
,35,277,(1969)1941
(平成9年11月28日受理)