

アルミニウム切削における仕上面に関する二三の考察

岡村 俊一・田中 秀穂

(受理 昭和46年5月30日)

CONSIDERATIONS ON ROUGHNESS MACHINED SURFACE OF ALUMINUM

Shunich OKAMURA and Hideho TANAKA

In general, on Aluminum, it is difficult to obtain well finished surface by cutting operation. This may be considered to be derived from following reasons;

- 1) Frictional resistance at tool-chip contact surface is more appreciable than the other metals because of being small cutting ratio ($r_c = t/t'$, where t ; cutting depth, t' ; chip thickness) compared with other metal cutting.
- 2) And also with rising of cutting temperature, the plastic flow and frictional resistance are increased.

Therefore, to get the well finished surface by cutting, it is necessary to smooth the tool face and to lower the cutting temperature by which plastic flow and frictional resistance are reduced.

1. 緒 言

近時、機械部品の軽量化、建築の近代化などにつれ、工業界におけるアルミニウムの需要は急激に増加の傾向を示し、その加工分野も多岐に亘っている。

一般にアルミニウムは機械加工においては加工抵抗が小さく、その加工性はよいとされているが、その使用量の増大とともに、切削加工費の占める割合も大きくなり、生産性の向上、良好な仕上面をうる方法などの面から切削加工の分野で種々の問題点が提起されている。

特に、アルミニウム切削の場合は良好な仕上面が得られにくく、従来、その仕面向上の為に、工具形状、切削条件、切削油の選定に、或は、添加元素、処理状態の改善に、被削性向上のための努力が払われてきている。中でも純アルミニウムは、良好な仕上面が得られにくく、被削性のわるいものであるが、これらの原因を究明することは他のアルミニウム合金の被削性を検討する上でも有意義なことで考えられる。従来、純アルミニウムの切削に関する研究はすでに行なわれて

いるが、本報告では特に仕上面の考察に重点をおき、市販の工業用純アルミニウム(2S)を二次元平削りする場合について、二、三の考察を加えた。

2. アルミニウム切削仕上面劣化の原因およびその対策

一般に、金属の切削現象は、1) 刃先押込みによる切屑の母体からの分離、および、2) 工具すくい面と切屑間の摩擦力から生ずる力による切屑せん断面のすべり変形、の二現象の連続的発生によるものと考えられ¹⁾、仕上面劣化の最大の原因は工具すくい面および刃先における工作物とバイト間の摩擦であり、高圧下の金属処女面との接触が溶着摩擦となり構成刃先を誘発し、刃先にかかる圧壊力²⁾は仕上面の結晶粒を流動せしめむしれを生じ仕上面を害する³⁾。

特に、アルミニウムの場合は、軟質にして粘性に富むので工具刃先近傍での塑性流動が大きく、また比較的活性度も高いので工具との溶着現象を起しやすく、良好な仕上面が得られにくい。

また一方、実際には、工具は、完全剛体ではないの

注1) 従来の二次元切削理論では、切削に要する力は、単にせん断面における、せん断応力によるものとされていたが益子³⁾は、切削に要する力は、せん断面に働くせん断応力と、刃先にかかる圧壊力の和であるとしている。

で、工具刃先は切削中に塑性変形し、決して幾何学的に鋭利ではなく³⁾ 刃先は必ず、或る曲率をもった、くさびと考えられる。これがため、刃先近傍では材料は、刃先によって、切削方向に圧縮され、塑性流動してのち、材料の或る破断強さ^{注2)} に達したとき微小クラックの発生、伝播によって母材との分離が可能になると考えることができる。したがって、アルミニウムの如き、粘性に富む金属では、クラック発生に至るまでの材料の流動時間が長くまた、塑性流動域も大きいものと考えられる。この流動が、工具すくい面側に大きいのか、逃げ面側に大きいのかによって、仕上面状況も影響をうけ、かつ、発生するクラックの挙動は、その部分の応力場⁴⁾ によって左右される。すなわち、刃先近傍の内部応力の分布に対してその応力の小さな方へ成長するものと考えられるから、これがすくい面側に大きいのか、逃げ面側に大きいのかによって、クラックがすくい面側に成長すれば、仕上面は良好となり、逃げ面側（仕上面側）に成長すれば、むしれを生じ仕上面は悪くなるものと考えられる。

以上の観点から一般に良い仕上面をうるには、

1. 刃先にかかる圧壊力を小さくする。
2. 工具すくい面側の内部応力を小さくする。
3. 刃先近傍の塑性流動を小さくする。

などが考えられるが、アルミニウムのように変形抵抗の小さい、軟質で塑性流動をおこしやすい金属では、圧壊力よりむしろ塑性流動が問題で、まず、これをおさえることが先決であると考えられる。

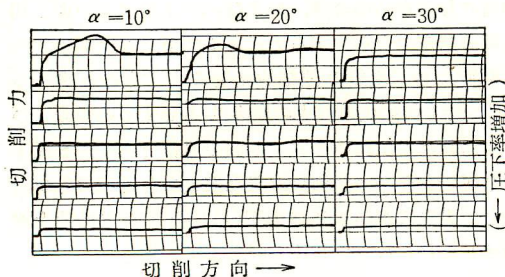


図1 冷間圧下率をかえた場合の切削力の変化 (52S)
切削速度 50 mm/min (財満, 岡崎)
切込み深さ 0.05 mm

例えば、図1に示すように冷間圧下率をかえ切削を行なうと圧下率の増大にともなう、加工抵抗は減少し、切削初期におけるアルミニウム独特の過渡現象⁶⁾

が小さくなっている。これは、切削開始初期における、構成刃先の小さいことを意味し、予加工における加工硬化の大きさに対応して、構成刃先の大きさが小さくなったことを示す⁷⁾。また、純アルミニウムを切削する場合、切り込みを小さくして同一条件で同一面の切削を数回くりかえすと短い切りくずと長い切りくずを交互に出し、短い切りくずを出した時の仕上面はあらく、長い切りくずを出したときはよい仕上面が得られたことが報告されており¹¹⁾、これは著者らの実験中にもしばしば経験したことがあるが、これもまた、加工硬化層の深さの範囲内での小さな切り込みの場合におこることから考えれば、前の場合と同様予加工の加工硬化が切削中の塑性流動をおさえ、仕上面の向上をもたらしたと考えることができる。

3. 実験装置および実験方法

2でのべた仕上面向上の対策については、具体的には、工具形状、切削剤、切削条件の選定によるが、これらについては、すでに多くの研究がなされている⁸⁾。しかしながら、アルミニウム切削の場合、塑性流動を押えるという意味で切削剤の温度効果が当然予想される。

本報告では、この観点から、切削剤の温度をかえ、さらに冷却効果を調べるため、工具すくい面に注液する方法と被削材、工具とも切削剤の中に浸漬して（図2）、切削実験を行なった。以下これを浸漬切削と呼ぶことにする。表1に実験条件を示す。

また、一方、工具形状（すくい角、逃げ角、刃先曲

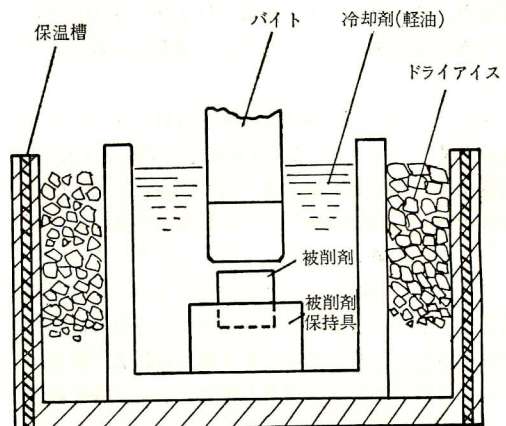


図2 浸漬切削装置略図

注2) 同一材料でも切削条件によって異なるものと考えられる。

表1 実験条件

使用工作機械	三菱油圧式平削盤 テーブルストローク テーブル作業面積	HOS-1000 型 1000 mm 560 mm×1000 mm
被削材	工業用純アルミニウム (2S) 圧延板 (800×500×20) より圧延方向に切り出し焼きなまし (400°C×30分) 後、幅 10 mm×厚さ 12 mm×長さ 150 mm に正確に仕上げる。	
使用バイト	SKH4 二次元平削バイト すくい角 $\alpha=30^\circ$ 、前逃げ角 $\gamma=11^\circ$ 、刃巾 $b=18$ mm	
切削方法	乾式、湿式 (注液、浸漬) 軽油	
切削剤冷却温度 (冷却にはドライアイス使用)	-15, -7, 0, 10, 20, 30, 40 (C°)	
切削条件	切削速度* $v=7, 10, 16, 25$ (m/min) 切込み $t=0.2$ mm 一定	

* テーブル送りが油圧によるため、絞り弁目盛により上記の切削速度に設定するが実際には正確なセットが困難であったため、結果の整理には、切削中の速度を光電式回転計 (横河電気, 4PB-LPI) にて実測せるものを使用した。

率半径, すくい面アラサ) の仕上面におよぼす影響については, 財満ら⁴⁾ によりすでに発表されており, 本実験ではその結果より, すくい角 $\alpha=30^\circ$, 逃げ角 $\gamma=11^\circ$ を選定し刃先曲率半径 ρ についてはできるだけ鋭利にした。なおバイトすくい面アラサについては, あらためて本実験でも検討し図3(イ)に示す結果が得られたので以下, 注液・浸漬切削の場合, すくい面アラサは最もよい結果が得られた 3.2μ のアラサのバイトを使用している。

4. 実験結果および考察

4-1 乾切削の場合

図3は, バイトのすくい面アラサの影響を調べたものである。仕上面アラサは, すくい面アラサの増大とともに大きくなり, 図4に示す財満ら⁴⁾ の結果にくらべると, 本実験では切削速度, 切り込み, 切削幅ともに大きいのでかなり大きな影響をうけている。切りくずの縮みにしても, すくい面アラサの大きい方が大きくなり, 工具すくい面と切りくずの摩擦がかなり大きいと考えられる。アルミニウム切削の場合は, 切りくずが軟質であるため, すくい面の凹凸になじみやすくパニッシュ効果の大きいことが予想される。また, 切削抵抗もすくい面アラサの大きい方へ増大する傾向を示し, 工具すくい面アラサは他の金属切削の場合にくらべ大きく影響するものと考えられる。このことは, アルミニウム切削の場合, 切りくずの縮みが他の金属切削時にくらべて大きいことから, 切りくず生成のための塑性仕事が多いことを意味し, この原因は, 切りくずと工具すくい面間の摩擦抵抗が他の金属切削時よ

り大きく影響するものと考えられ, したがって, 工具すくい面と切りくずの摩擦を小さくすることが非常に大きな意味をもつものであるからである。

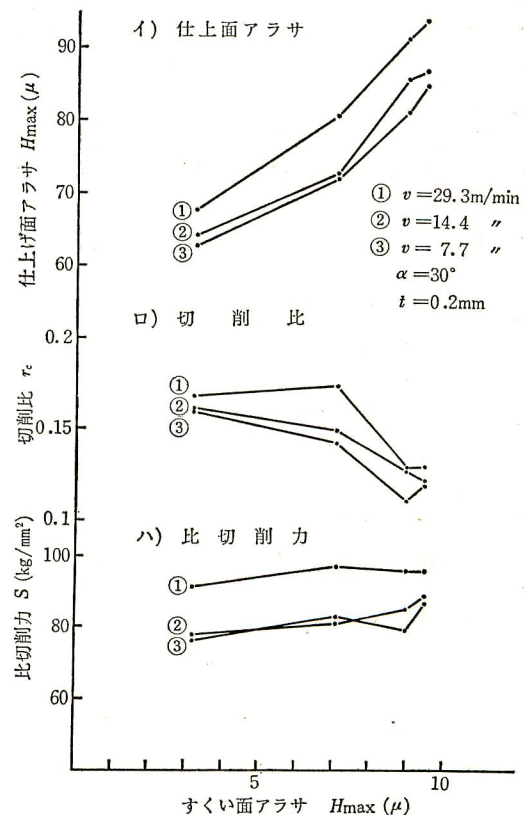


図3 工具すくい面アラサの影響

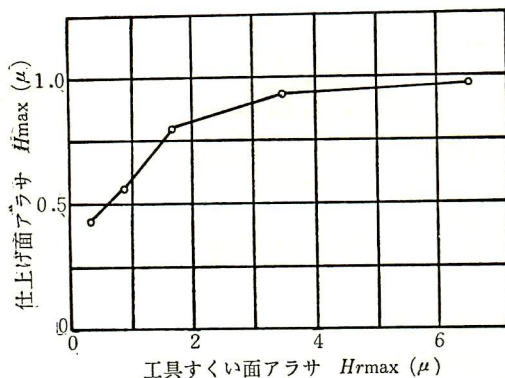


図4 工具すくい面アラサと仕上面アラサの関係
3S-H (財満, 岡崎)
切削速度 $v=50$ mm/min すくい角 $\alpha=20^\circ$
切込み $t=0.05$ mm 逃げ角 $\beta=8^\circ$

4-2 注液切削と浸漬切削の場合

一般に切削剤の効果は、潤滑と冷却効果にあるが、ただ、切削剤をかけるだけでは、溶着摩擦のおこっているような刃先先端部に行きわたることは不可能で、したがって、その意味で潤滑の効果は刃先先端部にはないと考えられる。それ故、切削剤の温度を下げて、刃先部における溶着摩擦のおこりにくい状態で切削することは、非常に効果的で、Sub-Zero machining や、隈部ら²⁾により低温切削が提案された。これらの加工法は切削剤を低温度に保つことにより、溶着摩擦をおこりにくくさせるとともに、もう一つは、被削材料の低温ぜい性を利用し、刃先にかかる圧壊力を減少させ、切削抵抗の軽減、工具寿命の延長をねらったものであるが、アルミニウムの場合は、低温におけるぜい性は認められず、そのため、この効果は望めないにしても切削部を冷却することにより溶着摩擦のおこりにくい状態にすることは可能と考えられる。

図5は、注液切削、浸漬切削において切削剤の温度が切削状態に与える影響を調べたものである。

注液切削では、切削剤温度の低い方が仕上面アラサは小さくなっているが、切削比、比切削力に切削剤温度の変化の影響はない。

浸漬切削では、仕上面アラサは、注液切削のときにくらべて総体的に小さく、また、冷却剤温度の変化に

よる影響も大きく低温の方がよくなっているが、比切削力は、冷却剤温度の影響を受けていない。しかし、切削比は、冷却温度の低い方へ大きくなる傾向を示し、切りくずの縮みが小さくなったことを示している。これは、明らかに工具すくい面と切りくずとの摩擦の減少を示すもので、注液切削の場合にくらべ冷却効果が大きいため、切りくず裏側(工具すくい面との接触側)の表面層の塑性流動が減少したものと解釈できる。

すなわち、アルミニウムの温度による流動応力の変化は、図6⁹⁾に示すように、常温から約200°Cの間で急激な減少を示し、本実験におけるせん断ひずみは、約4.0~5.0となり、また、切削中のひずみ速度も大きいため(一般に切削中のせん断ひずみ速度は $10^4 \sim 10^6$ のオーダーといわれる¹⁰⁾)、さらに、この温度変化に対応する流動抵抗の変化率は大きなものになると予想される。本実験で採用した切削条件での切りくずの温度は、概算しても最高約200°C前後¹¹⁾であることを考えれば、この温度範囲では、少しの温度降下でも流動抵抗を大きく増大させることになる。そのため、切りくずの裏側の表面層の塑性流動を小さくし、工具すくい面と切りくずの摩擦を減少させ、工具すくい面側の内部応力を減ずることになり、クラックの成長は切りくず側へおこり仕上面は向上するものと考えられることができる。

図7は、注液切削、浸漬切削における切削速度の影響について調べたものである。

注液切削では、この程度速度変化では仕上面アラサ、切削比、比切削力、ともに切削速度の変化による影響は少ないと考えられる。

浸漬切削では切削速度の増加につれ仕上面アラサに対しては、明瞭な変化は認められないが切削比に対しては増加の傾向を示し、比切削力に対しては、減少の傾向を示している。切削比、比切削力の切削速度増加に対する変化から考えると当然、仕上面アラサは向上しなければならないはずであるが、図に示すように、仕上面アラサに明瞭な変化が認められないのは、いままでのべてきたことに対して矛盾することになるが、これはおそらく切削速度増加のためのびびり振動など

注3) 本実験中、最も苛酷な条件で(乾切削、 $v=25$ m/min 切削動力が、全部熱量に変わったとしさらに、これが全部切りくずに入ったとして、略算すると、約370°C前後となる。切削速度が小さい間(100 m/min 以下)では熱量が被削材と切りくずに約半分ずつに分けられるので¹²⁾ 切りくず温度は多く見積って200°C前後となる。

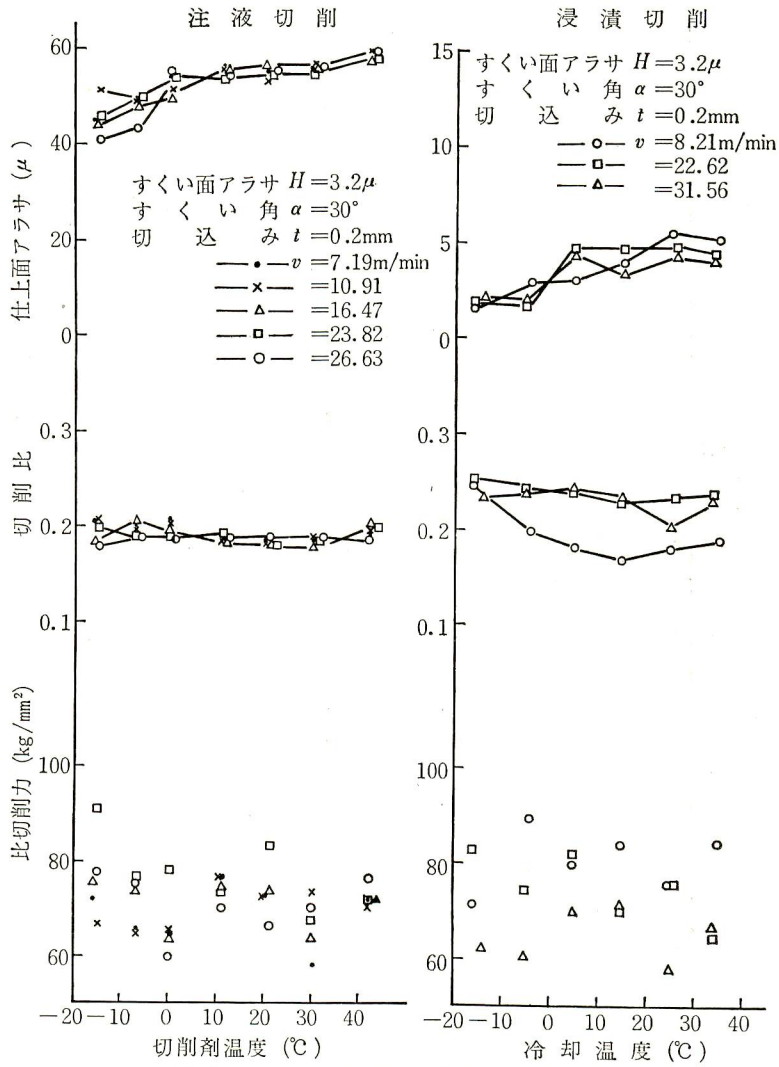
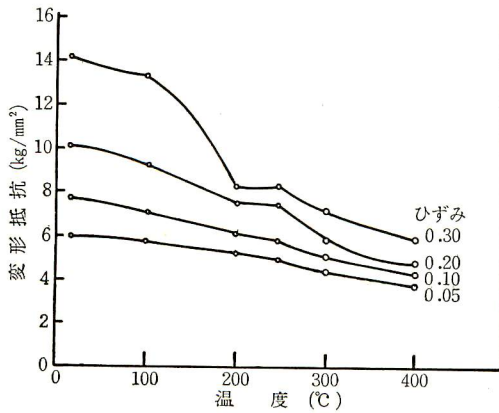


図5 注液切削と浸漬切削の与えの諸影響


 図6 変形抵抗—温度曲線 (五弓, 木原)
500/sec 2S アルミニウム

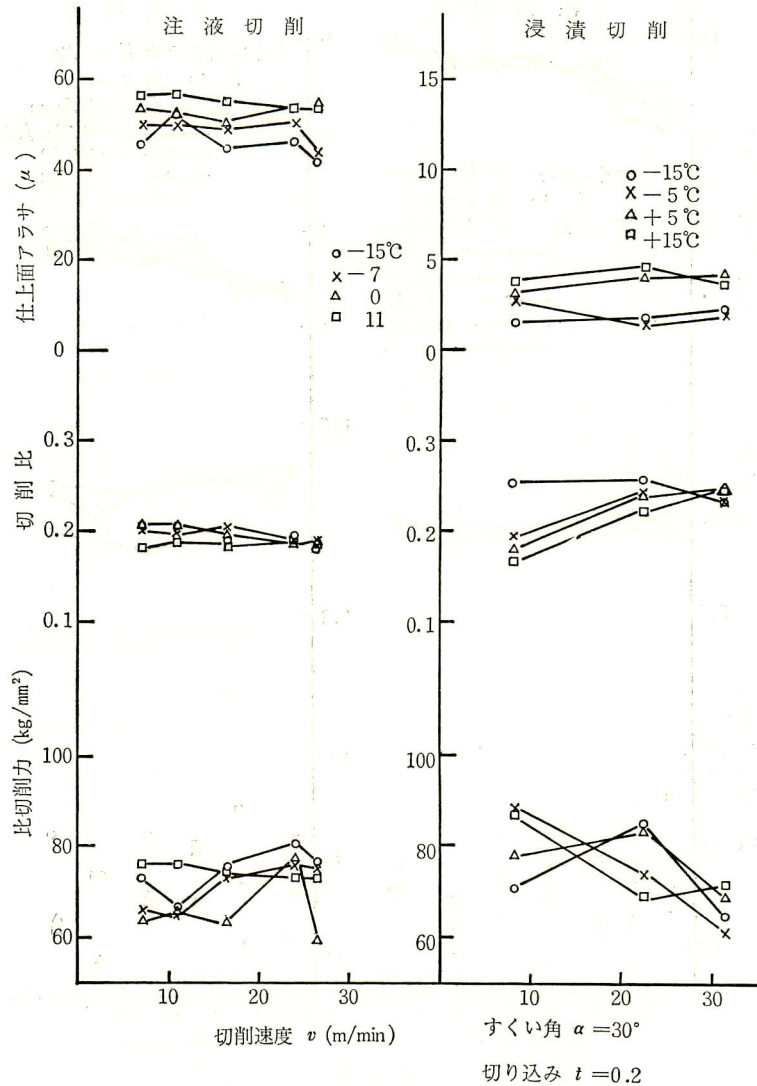


図7 切削速度の影響

が二次的原因となっているのではなかろうかと考えられる。

図8に、乾式切削、注液切削、浸漬切削のそれぞれの場合の仕上面の代表例を示す。

乾式切削の場合は、仕上面全体に非常に大きなむしれを生じている。このむしれは、切削進行方向に対してほぼ規則的で、スティックスリップ的な現象を切削中におこしていることを示すもので、2でのべたように材料が刃先でもってある時間流動され、ある破

断強さに達した時、微小クラックの発生伝播によって母材との分離をおこしていることを如実に示している。

注液切削の場合は、乾式切削の場合に比べ、母材素地全体は梨地模様を呈し、一部にやはり規則的な断続的な小さなむしれが観察される。

浸漬切削の場合は、前二者の場合に比べ、極端に仕上面はよく全体的に平滑な金属光沢面を呈するようになる。

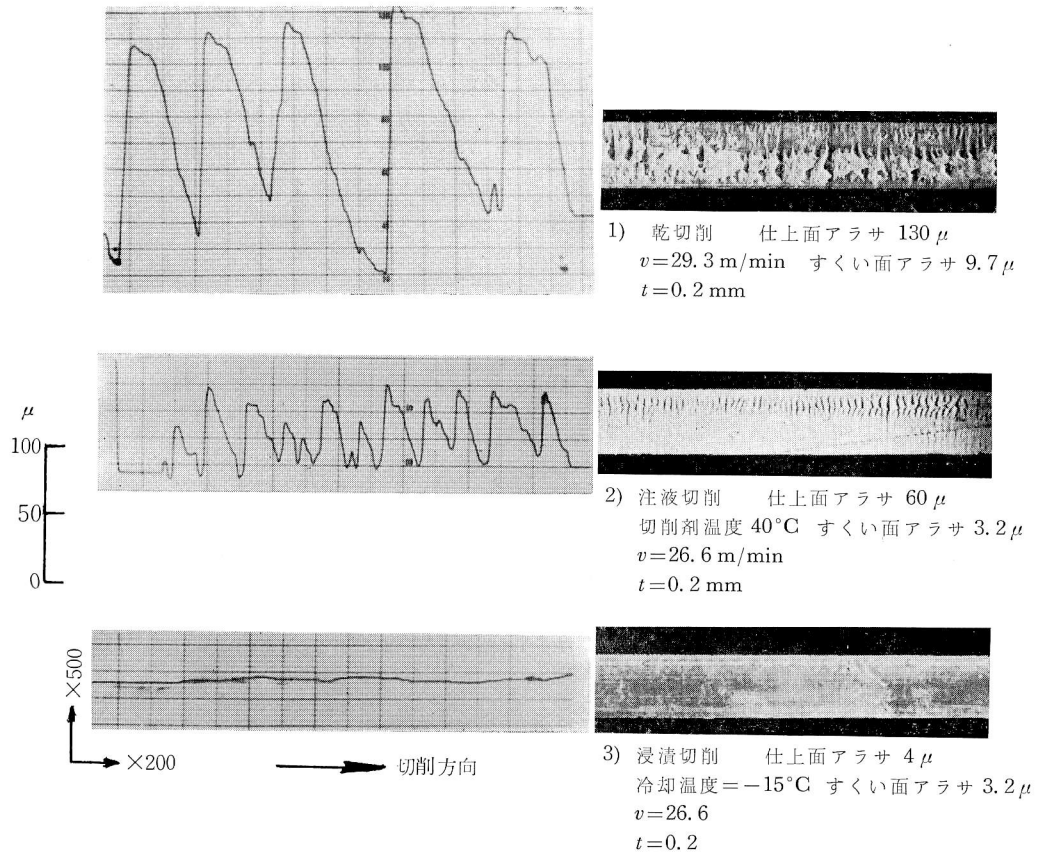


図8 仕上面アラサの比較

5. 結 論

工業用純アルミニウムを二次元平削し、つぎの結論を得た。

1. アルミニウム切削時における仕上面劣化は、切削温度上昇による塑性流動が、その原因の一つをなしていると考えられる。
2. したがって冷却効果を大きくすれば仕上面の向上が期待できる。
3. アルミニウムは、低温ぜい性を示さないため、低温切削の効果はうすいとされているが、浸漬すれば -15°C 程度でも効果は十分認められる。
4. 工具すくい面のアラサが大きく影響するため、アルミニウム切削の場合はできるだけ工具すくい面アラサをなめらかに仕上げるのが効果的である。

文 献

- 1) 益子 機械と工具 1958年1月号。
- 2) 益子, 隈部 日本機械学会誌 62巻, 480号 (昭34-1)。
- 3) 益子 日本機械学会論文集 19巻, 78号 (昭28-)。
- 4) 財満, 岡崎 軽金属 Vol. 20, No. 9 (1970)。
- 5) " " " Vol. 18, No. 7 (1968)。
- 6) " " 日本機械学会論文集 33巻, 248号 (1967)。
- 7) 財満, 岡崎 日本機械学会論文集 33巻 252号 (1967)。
- 8) 例えば, 4), 5), 6), 12)。
- 9) 五弓, 木原 塑性と加工 Vol. 9, No. 91 (1968-11)。
- 10) 奥島 塑性と加工 Vol. 7, No. 71 (1966-11)。
- 11) 財満, 滝水 日本機械学会論文集 35巻, 277号 (昭44-9)。
- 12) ローゼンベルク エレミン 長谷川一郎訳 金属切削理論 東京図書。

あ と が き

アルミニウム切削時の、仕上面劣化の原因を、アルミニウムが、塑性流動をおこしやすい金属であることに注目し、切削中の塑性流動をおさえる一手段として切削剤の冷却効果の影響を考え、乾切削、注液切削、浸漬切削により冷却効果の仕上面アラサに与える影響

の大きいことを知り、切削中の被削材、工具の温度測定を行なわなかったため、単に定性的にしか結論を得なかったが、アルミニウム切削時の仕上面アラサの向上策の一方法としての目的は達することができた。

したがって、今後、切削中の温度変化を実測し仕上面アラサとの関係を定量的に把握したいと考える。