

チタン合金の鏡面加工への試み*

堀田 昌宏**, 飯村 崇***, 田中 慎造**

新素材として最近注目されているチタン合金を取り上げ、加工面の鏡面加工を実現するための基礎的な評価実験を実施した。その結果、今回設定した切削条件において、表面粗さは切削速度に依存しないこと、加工面の評価としてスキューネスが利用できる可能性があることがわかった。

キーワード：超精密切削、チタン合金、鏡面加工、スキューネス

Trial of the mirror-cutting of Ti alloy

HOTTA Masahiro, IIMURA Takashi and TANAKA Shinzo

We took up Ti alloy that was noticed lately as new material, and we performed basic evaluation experiment in order to practice mirror-cutting of the work face. As a result, we knew that surface roughness didn't depend on the cutting speed, and the skewness could be possibility of using an evaluation of the work face, of the late produced cutting conditions.

key words : ultra-precision cutting, Ti alloy, mirror-cutting, skewness

1 緒 言

アルミニウム合金や無酸素銅等の軟質金属を鏡面加工するのみであった超精密切削加工は、無電解NiやGe等の鏡面加工にも適用されており、従来鏡面加工が困難とされてきた各種鉄鋼材料や各種硬脆材料にも加工ニーズが高まってきている。県内企業でも新たに光学部品（液晶導光板等）製造や新素材への加工取り組みを実施し、加工ニーズがどんどん拡大しつつある。そこで当センターでは超精密加工の一分野である超精密切削加工に関する基礎技術を確立し、データの蓄積を行うことで、県内企業に広く超精密加工技術を普及していくことにした。そこで、今年度は、新素材として最近注目されているチタン合金を取り上げ、鏡面加工を実現するための切削条件について検討を行ったので、その結果を報告する。

2 実験方法

予備実験と本実験の2種類を実施した。予備実験として、汎用旋盤（昌運製作所製 ST-5）を用いて、表1に示した切削条件において、外周切削を行った。工具は材種として超硬K種を、刃先形状はノーズ半径0.8mmでそれぞれ切刃傾き角が負（ -6° ）、正（ 10° ）の市販スローアウェイチップを使用した。切削速度、送り速度はチタン加工企業に聞き取り調査を行い、その際の仕上げ

加工条件を基に決定した。切削液として、製造メーカー推奨の非水溶性切削油、水溶性切削油（エマルジョン20倍希釈）を使用し、工具刃先に噴霧供給することとした。純Tiは熱伝導率が小さいために切り屑に切削熱が流出する割合が低く、その結果切削熱が加工表面にこもりやすい。そのため、潤滑効果が大きい非水溶性切削油だけではなく、冷却効果が優れている水溶性切削油の使用も選択した。¹⁾

本実験として、CNC超精密鏡面加工機（Prectech社製 Nanoform350）を用いて、表2に示した切削条件において、端面切削を行った。工具は材種として超硬、単結晶ダイヤモンド（以下、単結晶ダイヤ）を使用した。切削速度は予備実験で得た数値から、送り速度は1回転当たりの送りが一定となるように決定した。切削液として、製造メーカー推奨の非水溶性切削油を使用し、工具刃先に噴霧供給することとした。

被削材は、予備実験、本実験とも純チタンを用いた。また、切削抵抗を測定するため、予備実験では切削動力計として水晶式圧電式3分力センサー（日本キスラー製9257B）を、本実験では水晶式圧電式3分力センサー（日本キスラー製9256A2）を用いた。切り込みの設定は、予備実験でのみレーザ変位計で確認した。表面粗さは、予備実験において、表面粗さ測定器（ミツ

* 超精密加工技術の開発（第3報）（産業集積活性化事業）

** 電子機械部

*** 電子機械部（現 企画情報部）

トヨ製 サーフテスト 301)を用い、本実験では、非接触の光学式表面粗さ測定機(Zygo社, New View 100)を用いた。また、評価に使用した粗さパラメータは、JIS B 0601(1994)基準に基づいて算出したものである。なお、本文中に用いる記号は下記のとおりである。

- V: 切削速度(m/min)
 N: 回転数(rpm)
 f: 送り(mm/rev)
 a: 切り込み(μm)
 Ry: 縦方向の最大高さ(μm)
 A1, A2, A3: 被削材中心からそれぞれ1, 5, 9mm離れた測定点

表1 切削条件

被削材	純Ti
切削速度	80m/min
送り	50μm/rev
切り込み量	10, 20, 50μm
工具材種	超硬K種
加工油	メーカー推奨油 エマルジョン20倍希釈

表2 切削条件

被削材	純Ti
回転数	400, 800rpm
(切削速度)	0~50.26m/min
送り	3.75, 7.50mm/min (9.375μm/rev)
切り込み量	0.6, 1.0, 2.0μm
工具材種	超硬, 単結晶ダイヤモンド
加工油	メーカー推奨油

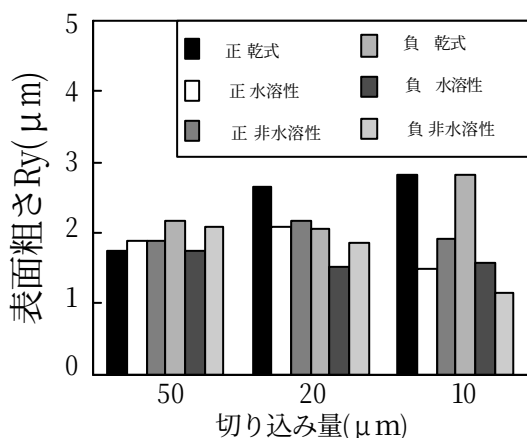
3 実験結果及び考察

3-1 予備実験

工具切刃傾き角と切削液の影響を調査するため、予備実験を実施した。超硬を用いて切削した際、切り込みを変化させた場合の被削材の表面粗さ及び切削抵抗(背分力)をそれぞれ図1, 図2に示す。図1において、切り込みが小さくなるにつれてRyはわずかではあるが小さくなっているが、その変化量はあまり大きいものではない。また、切り込みが小さくなるにつれて、切刃傾き角が正の工具よりも負の工具の方が表面粗さは小さい結果となっている。切削液に関しては、非水溶性切削液を用いた方が乾式及び水溶性切削液を用いた場合よりも粗さが小さい結果となっている。これは、切削液の冷却効果よりも潤滑効果の方が影響しているのではないかと考えられる。

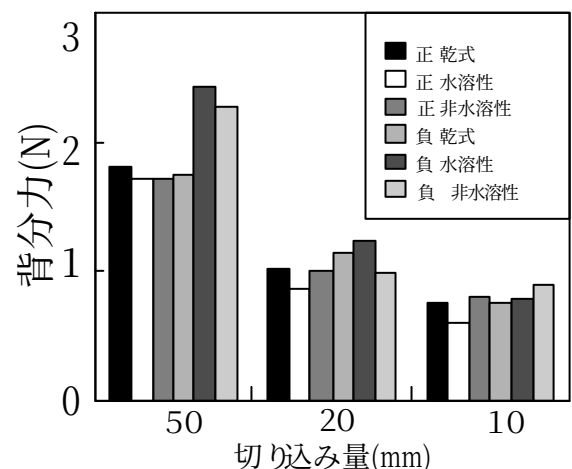
図2において、a=50μmの場合、切刃傾き角が正である工具の方が負の工具と比べて切削力は小さい結果となっているが、切り込みが小さくなるにつれて、切削力はほとんど差がない状態となっていることがわかる。このことから、切り込みが小さい場合のみ、切削力において、切刃傾き角はあまり影響しないことを示していると考えられる。しかし、Ti合金等といった粘りけがある難削材は、切り屑が連続して排出されるため後処理で困るという状態が見られる。そのため、切り屑をきれいにカールさせ後処理が簡単になるように切刃傾き角を大きく正にとった工具を使用することが多い。故に、今回の仕上げ加工を想定した場合のように、切り込みが微小で切り屑があまり排出されない加工では切り屑がスムーズに排出する仕掛けを工具に施せば、切刃傾き角は負の工具でも良いのではないかとと思われる。

また、今回の予備実験でわかったことであるが、切り込み量が小さくなるにつれて、切り屑がうまく排出されず、加工面をこすっている状態がしばしば見られた。



切削条件: v=80m/min, f=50μm/rev
 工具: 超硬, 純Ti

図1 切り込みを変化させた場合の表面粗さ



切削条件: v=80m/min, f=50μm/rev
 工具: 超硬, 純Ti

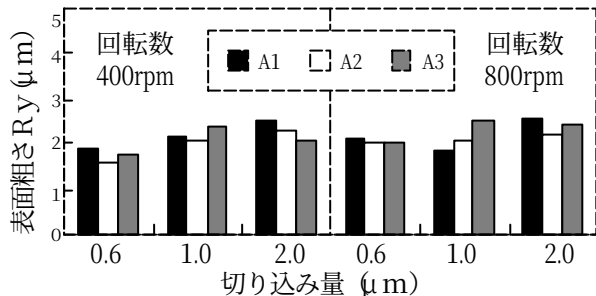
図2 切り込みを変化させた場合の切削抵抗

チタン合金の鏡面加工への試み

以上のことから、工具切刃傾き角を変更してもあまり表面粗さに影響がないこと、切削液としては潤滑効果が高い非水溶性切削液を用いた方が表面粗さは向上することがわかった。

3-2 本実験

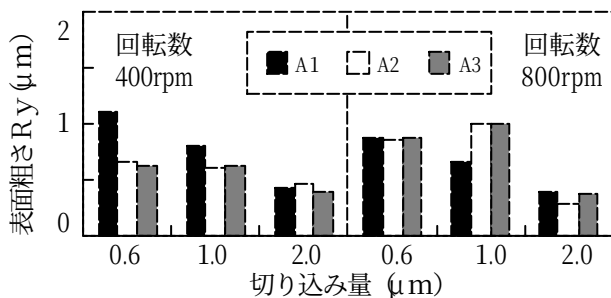
図3に、工具材種として超硬を用いて切削した際、切り込みを変化させた場合の被削材の表面粗さを示す。図3において、切削速度や切り込み量を変化させてもRyにあまり変化は見られない。このことから、超硬を用いて切削した場合、切削速度の影響をうけないと考えられる。この原因として、市販の超硬チップにはチップング防止のホーニング処理が切刃稜に通常施されているため、前処理をせずそのまま使用すると、切り込みがうまくいかず、また被削材の刃物への溶着現象が発生し、結果的に表面粗さが向上しないと思われる。



切削条件：f=9.375 μm/rev 工具：超硬，純Ti

図3 切り込みを変化させた場合の表面粗さ

図4に、工具材種として単結晶ダイヤモンドを用いて切削した際、切り込みを変化させた場合の被削材の表面粗さを示す。図4において、中心部に近いA1部よりも外周部に近くて切削速度が大きいA3部の方が、Ryは小さくなっていることがわかる。また、その傾向は切り込み量が大きくなっても見られる。これは、切削速度が小さいために切り込むことができず、工具刃先が加工表面をこすり上げていることが原因であると考えられるが、超精密切削加工材料として使用される無酸素銅やアルミ合金、及び無電解ニッケルを切削した場合には見られない現象



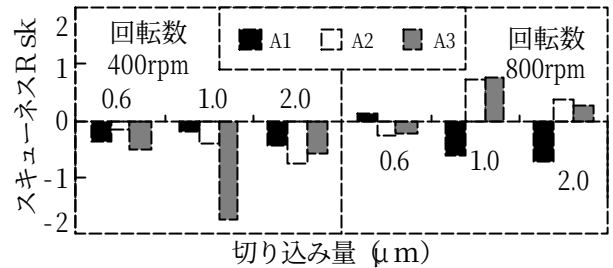
切削条件：f=9.375 μm/rev

工具：単結晶ダイヤモンド，純Ti

図4 切り込みを変化させた場合の表面粗さ

である。

今回、設定した切削条件ではRyが0.1 μmを下回ることができず、目視で確認しても加工面は鏡面には至らなかった。しかし、(a=2.0 μm, N=400, 800 rpm)の切削条件で加工した際、Ryは0.5 μm以下となり、目視するとぼんやりではあるが物の形状が写る程度の加工面が得られた。このように切削速度が異なるにも係わらず、表面粗さが同等の面を得られたので、Ry以外の粗さパラメータを用いることにより、加工面を比較検討することとした。



切削条件：f=9.375 μm/rev

工具：単結晶ダイヤモンド，純Ti

図5 切り込みを変化させた場合のスキューネス

図5に、切り込みを変化させた場合のスキューネスを示す。

スキューネス²⁾とは、

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \int_0^{lr} \frac{1}{lr} Z^3 dx$$

Rq：二乗平均平方根粗さ

Z(x)：縦座標値

により計算される量で、図6に示すように振幅分布曲線の上下相対性を定量的に表すものである。

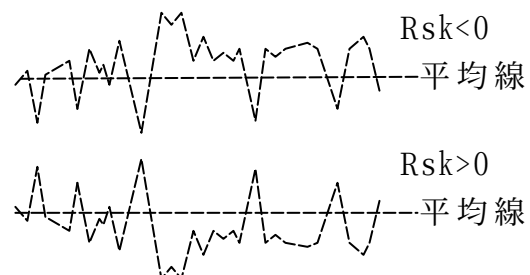
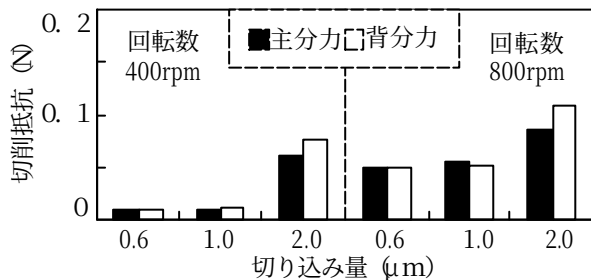


図6 スキューネス

図5において、切削条件が(N=800 rpm, a=1.0 μm, 2.0 μm)の場合のみ、スキューネスは正の値となっていることがわかる。工具のノーズRがきれいに転写された面では山頂が尖った形状となるのでスキューネスは正の値となる。よって、上記切削条件の場合にのみ正常な切削が行われたと思われる。

また、($N=800\text{rpm}$, $a=2.0\mu\text{m}$)の切削条件の場合、 $A3 \rightarrow A1$ 部へと切削速度が小さくなるにつれて、表面粗さ R_y が大きくなるとともに、スキューネスが負の方向へ向かっている。このことから、加工面に刃先形状が正常に転写されていないことや切り込み深さが安定していないことが考えられるため、加工は正常に実施されていないと思われる。なお、比較対照として、鏡面切削加工を施した無酸素銅表面の R_y 、及びスキューネスを測定すると、それぞれ $0.04\mu\text{m}$ 、 0.13 となっており、今回の切削条件で得られた数値と比較すると、遠く鏡面に及ばないことがわかる。よって、加工面を評価する場合、 R_y だけでは無く、スキューネスの値を用いることにより、鏡面の定量評価が可能であることがわかった。

また、工具材種として単結晶ダイヤモンドを用いて切削した際、切り込みを変化させた場合の切削抵抗を図7に示す。図7において、 $a=0.6\mu\text{m}$ 、 $1.0\mu\text{m}$ ではほぼ同等の切削力を示しており、切り込まれていないことがわかる。このことから、今回設定した $a=0.6\mu\text{m}$ では、加工が正常に実施されていないことがわかった。



切削条件： $f=9.375\mu\text{m/rev}$

工具：単結晶ダイヤモンド、純Ti

図7 切り込みを変化させた場合の切削抵抗

以上のことから、今回設定した切削条件では加工面を鏡面化させるまでは至らなかった。しかし、今回は切削速度及び切り込み量をパラメータとして検討したため、それ以外のパラメータ（送り速度等）を元に再度検討する余地が残されている。そして、そのことを実施することにより、更に表面粗さが向上するという可能性が期待できると考える。

4 結 言

新素材として最近注目されているチタン合金を取り上げ、加工面の鏡面加工を実現するための基礎的な評価実験を実施したところ、以下のことがわかった。

- ・切り込みが小さいと加工面をこすり上げる結果となり、表面粗さが向上しない
- ・表面粗さは切削速度に依存しない
- ・鏡面の定量的評価として、スキューネスが利用できる可能性があると考えられる。

今回、加工面を鏡面化させるまでは至らなかった。し

かし、切削条件については更に検討する余地が残されていると思われる。今後は、こういったことを踏まえて更なる研究を進めていきたいと考える。

文 献

- 1) 例えば若代彰路：チタン合金加工における切削油剤の使い方，機械と工具4月号別冊,92(2000)
- 2) JISB0601, 6,29(2001)