

MGH加工によるチタン鏡面仕上げ

南部洋平* 出口貴久* 落合一裕*

Mirror-Like Finishing of Titanium Using MGH Tool

NANBU Youhei*, DEGUCHI Takahisa*, OCHIAI Kazuhiro*

抄録

チタン材料に対して焼け・凝着の無い鏡面加工をすることを目標に、加工条件及び加工潤滑剤の検討を行った。1回の切り込み量を $1\mu\text{m}$ と小さくしてMGH加工を行うことで、純チタンに対して焼け・凝着の発生しない仕上げ加工が可能となった。また、加工ピッチや切り込み量と表面粗さの関係を明らかにした。

キーワード：MGH加工、超音波、鏡面仕上げ、塑性加工

1 はじめに

チタン製人工関節や椎間板において、機能性向上のためには表面を高精度に研磨する必要がある。従来は手作業によるバフ研磨で仕上げが行われているが、効率が悪いことや、形状精度の低さ、粉塵やスラッジを排出するという環境負荷の高さが課題となっている。これらの課題を解決する方法として、超音波振動を利用して材料表面を塑性変形させるMGH(Micro Gloss Hammaring)加工¹⁾が提案されている。MGH加工の概念を図1に示す。本加工法をチタン材料に用いると、加工面の焼けや工具への材料の凝着といった問題が発生することがある。本研究では、チタン材料に対して焼け・凝着の無い鏡面加工をすることを目標に、MGH加工の加工条件及び加工潤滑剤の検討等を行った。

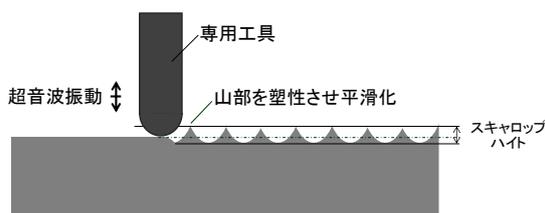


図1 MGH加工

2 実験方法

2.1 超音波振動テーブル

超音波振動を付加する方法として、材料側を振動させる超音波振動テーブル方式と、工具側を振動させる超音波スピンドル方式を用いて検討を行った。

図2に超音波振動テーブル方式の実験装置概略を示す。工作機械には最小移動単位 $1\mu\text{m}$ のマシニングセンタ(UB75、浦和製作所製)を使用した。超音波振動テーブル(特注品、エコー技研製)によって加工対象物(ワーク)に振動周波数 28kHz の超音波振動を付加した²⁾。

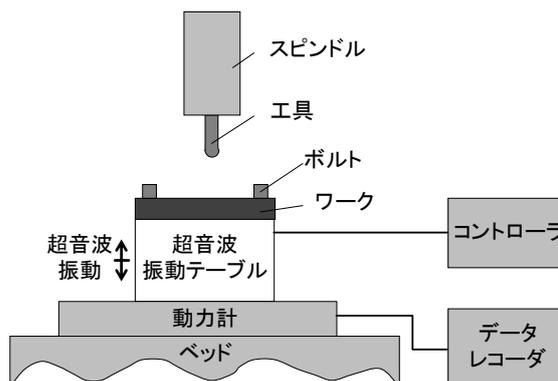


図2 実験装置(超音波振動テーブル)

* 技術支援室 機械技術担当

2.2 超音波振動スピンドル

図3に超音波スピンドル方式の実験装置の概略を示す。工作機械には最小移動単位 $1\mu\text{m}$ の高速加工機(ASV400、東芝機械製)、及び加工機主軸ボックスに取り付けた振動周波数40kHzの超音波振動スピンドル(R2、industria製)を使用した³⁾。

2.3 使用工具

ボールエンドミルによる前加工後に、MGH専用工具を用いてMGH加工を行った。振動振幅が最大となるように工具長を調整し、超音波振動スピンドルに取り付けた。

2.4 MGH加工の切り込み量

前加工面とMGH工具の位置関係を図4に示す。MGH加工では、前加工面の微小な谷部の最下点よりも切り込み過ぎないように切り込み量を設定する。また、前加工面の山部最上点と谷部最下点の差は表面粗さ R_z に相当する。そこで、前加工面にMGH工具を接触させ、山部最上点に相当する接触点の工具高さを切り込み量0とし、実測した前加工面の表面粗さ R_z よりも小さな切り込み量で加工を行った。

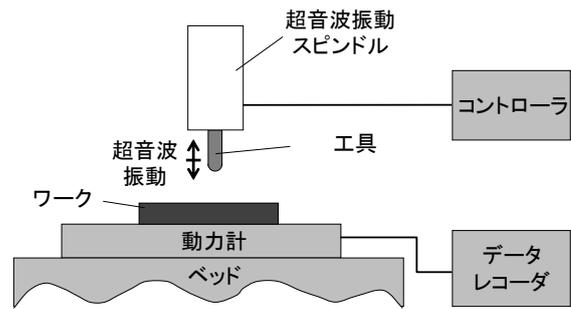


図3 実験装置(超音波スピンドル)

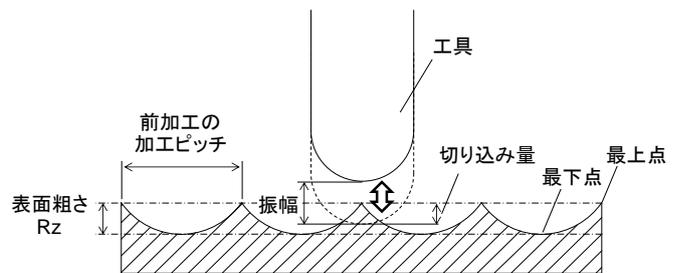


図4 切り込み量

3 実験結果

3.1 MGH加工法の効果検証

MGH 加工法の効果検証のため、これまでに加工実績のあるステンレス鋼に対して加工を行った。加工条件を表1に示す。X10mm、Y20mmの面に対し、直径6mmのボールエンドミルにより前加工を行った。工具はX軸方向に直線運動させ、加工ピッチは0.3mmとした。

MGH加工は前加工面のうちX10mm、Y10mmの面に対して、直径6mmのMGH工具により行った。工具進行方向、及び加工ピッチは前加工と同じだが、Y軸方向に加工ピッチの1/2ずらすことで、前加工面の山部最上点に沿って加工を行った。また、切り込みは $1\mu\text{m}$ ずつ2回に分けて総切り込み量 $2\mu\text{m}$ とし、前加工面粗さより小さい切り込み量とした。

表面粗さ測定機(タリサーフ 1400D-3DF 東京精密製)を用いて加工面Y軸方向の断面曲線及び表

表1 加工条件

加工対象物		ステンレス鋼(SUS304)
前加工	工具	6mm ボールエンドミル
	切り込み量	0.1mm
	加工ピッチ	0.3mm
	回転数	1000min ⁻¹
	送り速度	100mm/min
	クーラント	エアブロー
前加工面粗さ		4.52 $\mu\text{m}R_z$
MGH加工	工具径	6mm MGH 専用工具
	振動方法	超音波振動テーブル
	振動周波数	28kHz
	振動振幅	約5 μm
	切り込み量	1 μm ずつ 2回(総切込量2 μm)
	加工ピッチ	0.3mm
	回転数	100min ⁻¹
送り速度	100mm/min	
クーラント		エアブロー

面粗さを測定した。加工面の断面曲線を図5に示す。前加工面の表面粗さ $Ra0.94\mu\text{m}$ に対し、MGH加工面の表面粗さは $Ra0.51\mu\text{m}$ と向上したが、十分に小さくはならなかった。そこで、チタンへの加工では、加工ピッチをより小さくして検討を進めた。

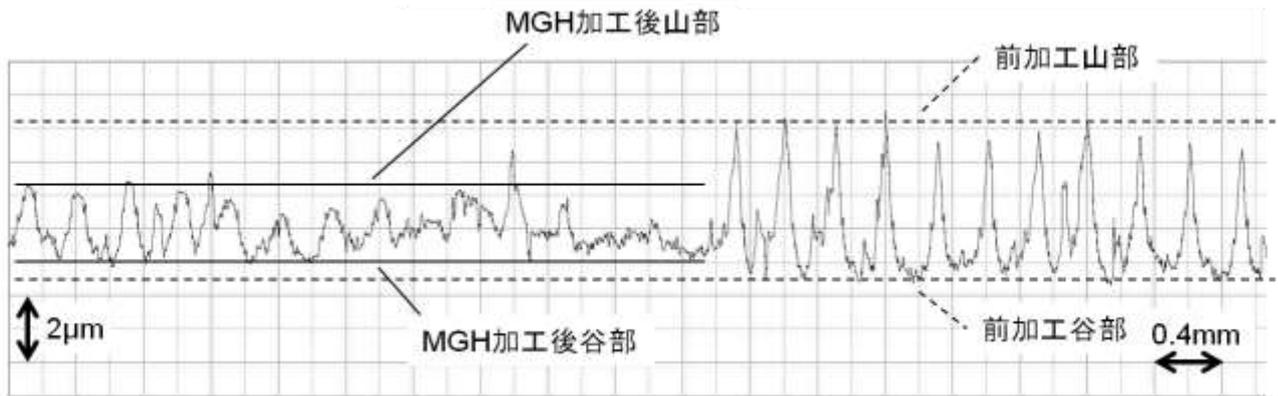


図5 断面曲線 (加工ピッチ 0.3mm ステンレス鋼)

また、輪郭形状の結果から、MGH加工によって前加工面の山部が低くなり、谷部が高くなっていることが分かる。このことから、材料はMGH加工によって山部が塑性変形し、その一部が谷部を押し上げていると考えられる。

3.2 加工ピッチの検討

チタンに対する最適な加工ピッチを検討した。加工対象物はチタン材の中でも加工が難しいとされている純チタンを用いた。加工条件を表2に示す。前加工は直径4mmのボールエンドミルにより行った。工具はX軸方向に直線運動させ、加工ピッチは0.05mmとした。

MGH加工は直径4mmのMGH工具により行った。工具セッティング誤差等の影響を少なくするため、同一ワーク上に複数の加工条件でMGH加工を行った。X1mm、Y2mmの12ヶ所の面にそれぞれ違う条件で加工を行った。加工ピッチは前加工のピッチよりも小さい0.02mmから0.05mmまでの範囲で検討した。切り込み量は1µmを1回の総切り込み量1µmと、1µmずつ2回に分けた総切り込み量2µmの2通りとし、前加工面粗さより小さい切り込み量とした。

加工面Y軸方向の表面粗さを測定した。表面の断面曲線の一例として、図6に加工ピッチ0.02mmで加工したときの測定結果を示す。(a)から(c)へと総切り込み量が大きくなるに従って、山部は平滑になった。また、谷部の幅が狭くなっているこ

とから、山部の材料が谷側へ塑性変形したと考えられる。

加工ピッチと表面粗さの関係を図7に示す。加工ピッチが小さくなるに従って表面粗さRaが小さくなった。また、総切り込み量が大きくなるに従って表面粗Raが小さくなることも分かった。

加工後のワーク表面に焼け、凝着が発生していないことを目視で確認した。1回当たりの切り込み量を1µm程度と小さくすることで焼け、凝着の発生しないMGH加工が可能であることが分かった。

表2 加工条件

加工対象物		純チタン(TB340)
前加工	工具	4mm ボールエンドミル
	切り込み量	0.05mm
	加工ピッチ	0.05mm
	回転数	3000min ⁻¹
	送り速度	200mm/min
	クーラント	エアブロー
	前加工面粗さ	2.1~2.2µmRz
MGH加工	工具径	4mm MGH 専用工具
	振動方法	超音波振動テーブル
	振動周波数	40kHz
	振動振幅	約 4µm
	切り込み量	1µmを1回(総切込量 1µm) 1µmずつ2回(総切込量 2µm)
	加工ピッチ	0.02~0.05mm
	回転数	0min ⁻¹
送り速度	100mm/min	
クーラント	エアブロー	

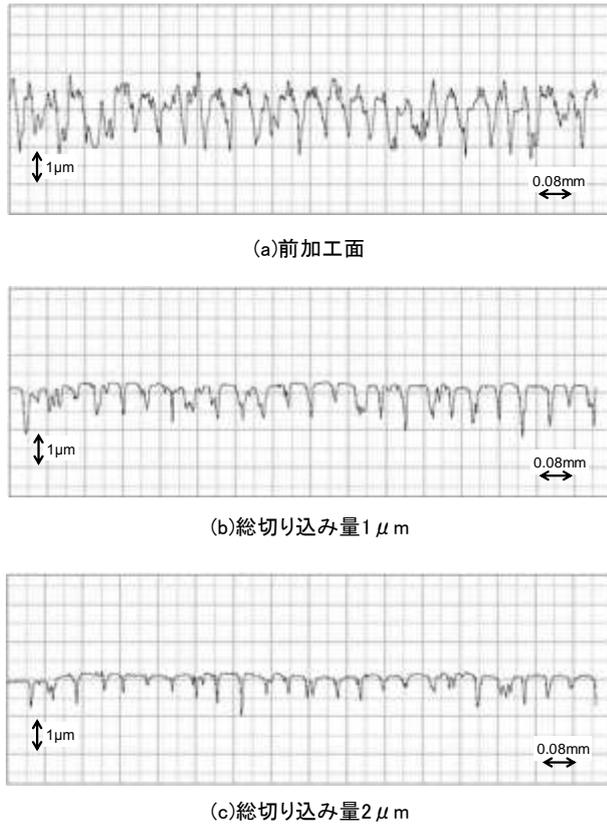


図6 断面曲線 (加工ピッチ 0.02mm チタン)

3.3 送り速度・加工回数の検討

加工時間に影響の大きい送り速度と加工回数について検討した。工具はX軸方向に直線運動させた。工具セッティング誤差等の影響を少なくするため、同一ワーク上に複数の加工条件でMGH加工を行った。X1mmもしくはX2mm、Y2mmの6ヶ所の面にそれぞれ違う条件で加工を行った。

送り速度は20mm/minから500mm/minまでの範囲で検討した。加速するために十分な距離を確保するため500mm/minのときだけX2mmと加工面積を大きくした。加工回数は1回と5回の2通りを検討した

送り速度と表面粗さの関係を図8に示す。工具進行方向に対して垂直となるY軸方向に測定を行った。送り速度を小さくするに従って表面粗さも小さくなったが、加工ピッチや総切り込み量に比べると表面粗さに与える影響は小さかった。

送り速度100mm/min、加工回数1回の条件Aに対して、送り速度を1/5の20mm/minとした条件B

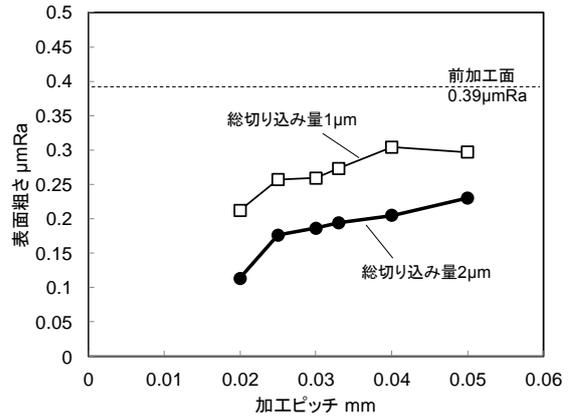


図7 加工ピッチと表面粗さの関係

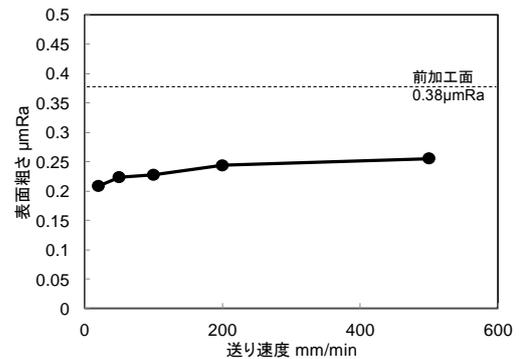


図8 送り速度と表面粗さの関係

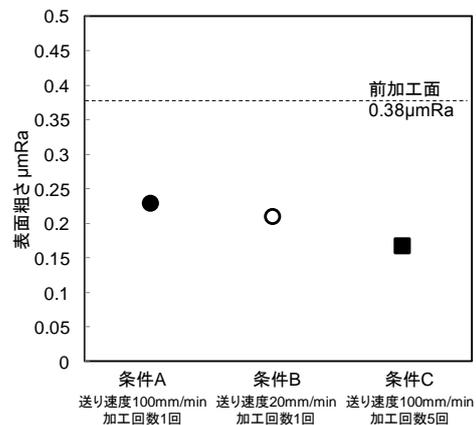


図9 加工回数と表面粗さの関係

と、加工回数を5回の5回とした条件Cで加工したときの表面粗さを図9に示す。条件Bと条件Cは単位面積当たりの工具接触回数が条件Aの約5倍と等しくなる。条件Bと条件Cの表面粗さは条件Aより小さくなるが、条件Cの方がより小さくなった。このことから、送り速度を小さくするよりも複数回加工した方が表面粗さの向上に有効であった。

3.4 加工潤滑剤の検討

材料や工具の焼け、凝着に影響の大きい加工潤滑剤について検討した。X30mm、Y9mmの面にMGH工具で加工を行った。これまでの検討で最も表面粗さが小さくなる加工ピッチ0.02mm、加工時間が最短となった送り速度500mm/minとした。また、加工回数は3回とした。総加工距離は40.5m、総加工面積は810mm²となった。

加工潤滑剤については潤滑剤無し、水溶性切削油への浸漬、フッ素系グリス塗布の3通りの条件で、それぞれ新品のMGH工具を用いて加工を行った。グリスの塗布量は約0.15mg/mm²とした。

加工後のワーク表面は全ての条件で鏡面となった。加工例として切削油を用いて加工した加工面を図10に示す。

加工後の工具先端の観察結果を図11に示す。潤滑剤無しでは、若干工具に変色が生じているが凝着は見られず、ワークにも影響が生じていないことから、まだ十分にMGH加工が続けられる状態であった。切削油に浸漬して加工したものと、グリスをワーク表面に塗布して加工したものは、潤滑剤無しに比べて変色が低減し、工具先端の状態がより良好に保たれていることが分かった。

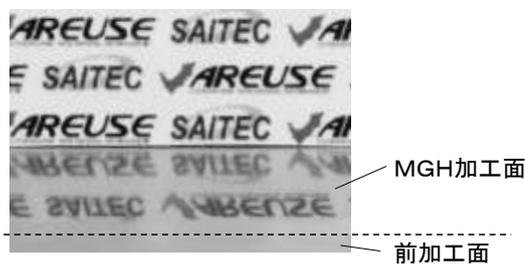


図10 加工例

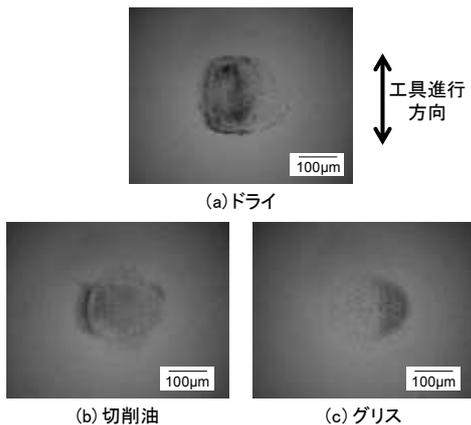


図11 工具先端観察

4 まとめ

チタン材料に対してMGH加工により焼け・凝着の無い鏡面加工をすることを目標に、加工条件及び加工潤滑剤の検討等を行ったところ、下記の結果を得た。

- ・加工対象物を振動テーブルで振動させることでもMGH加工が可能であることを確認した。
- ・MGH加工によって前加工面の山部が低くなると同時に非常に平滑となり、谷部の幅も減少することが分かった。
- ・1回の切り込み量を1µmと小さくすることで、チタン材に対して焼け・凝着の発生しないMGH加工が可能となった。
- ・加工ピッチを小さく、総切り込み量を大きくすると表面粗さが小さくなった。また、送り速度を小さくすると表面粗さが若干小さくなることも分かった。
- ・単位面積あたりの接触回数と同じであれば、加工回数を多くした方が表面粗さは小さくなることが分かった。
- ・加工潤滑剤は無くても十分にMGH加工を行うことができたが、水溶性切削液やフッ素系グリスを用いると、工具先端の状態がより良好に保たれることが分かった。

参考文献

- 1) 堀川直圭, ターヴァイネンさゆり, : 鏡面加工方法、鏡面加工機、鏡面加工具, 特許第5049402号
- 2) 南部洋平, 落合一裕: 微細深穴の高品質化に関する研究, 埼玉県産業技術総合センター研究報告, 6, (2008)97
- 3) 南部洋平, 落合一裕, 江原和樹: 微細深穴の高品質化に関する研究(2), 埼玉県産業技術総合センター研究報告, 7, (2009)65

※本研究は受託研究として実施されたものであり、(有)アリューズの許可を得て内容の一部を掲載するものです。