研究論文

cBN エンドミル工具による鉄系材料の鏡面加工

平石　誠[*]　宮口　孝司[*]　斎藤　博[*]　石川　淳[**]　馬場　大輔[***]

Mirror Surface Milling of Ferrous Metals with cBN Endmill

HIRAISHI Makoto[*], MIYAGUCHI Takashi[*], SAITO Hiroshi[*],
ISHIKAWA Atsushi[**]and BABA Daisuke[***]

抄　録

cBN ボールエンドミルによる鉄系材料の三次元曲面の鏡面加工を実現することを目的に工具の開発を行い，工具の表面粗さや切れ刃稜線の位置が加工面の表面粗さにおよぼす影響について調べた。スカイフ盤研磨を施した cBN 工具を用いることにより焼入鋼の切削面粗さが改善された。主軸を加工面に対し直角にしたときの切削面粗さを改善する回転中心刃形状を検討したが，効果はわずかであった。

1. 緒　言

鏡面加工を目的とした超精密切削加工には切れ刃稜線の鋭利さゆえに単結晶ダイヤモンド工具がしばしば用いられるが，鉄系材料の加工においては工具と被削材との間で起こる反応により工具に著しい磨耗が生ずることが知られている。

一方，cBN はダイヤモンドに次ぐ硬さを有しており鉄系材料を高能率に切削することが可能である。しかし，通常の工具研削盤による切れ刃形成では切れ刃が粗くなり精密な切削加工が困難である。

cBN 工具による鉄系材料の精密切削については，旋盤加工に関するいくつかの報告があり[1) 2)]，切削面粗さには工具逃げ面の面粗さが強く影響すること，逃げ面が高精度に研磨された工具を用いることにより最大高さが数十 nm の切削面粗さが得られることが知られている。

本研究では，鉄系材料の三次元曲面の鏡面加工に cBN ボールエンドミルによる超精密加工を適用することを目的とし，工具の表面粗さや切れ刃稜線の位置が加工面の表面粗さにおよぼす影響について調べた。

2. 実験方法

鉄系材料の切削実験に使用した工具は，半径 0.5mm の cBN 製一枚刃ボールエンドミルである。工具の表面粗さの効果を検討するために，逃げ面およびすくい面をスカイフ盤により研磨したもの，およびスカイフ盤研磨を施していないものの二種類を作製した。

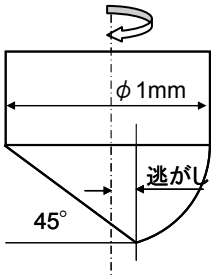


図 1　工具形状

工具形状は図 1 に示したようであり，回転中心では切削速度が 0 になることから，これを避けるために 1～20μm の間で三種類の逃がしを設けた。

*　研究開発センター
**　下越技術支援センター
***　上越技術支援センター

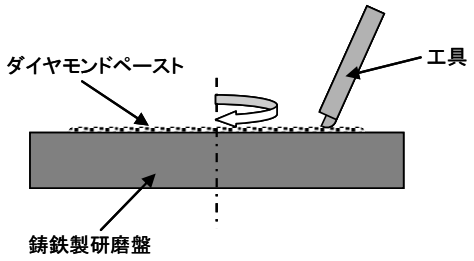


図 2　スカイフ研磨盤の模式図

なお，スカイフ盤は，図 2 にその模式図を示すように，精密に研磨された鋳鉄製円盤にダイヤモンドペーストをすり込み，回転させた円盤に工具を接触させて刃先を鋭利に仕上げる研磨定盤であり，ダイヤモンド工具の研磨にしばしば使用される。

鉄系材料の被削材には Rz1.0μm に研削加工された焼入鋼（日立金属製 HPM38，硬さ : HRC52）を用いた。

加工機にはエアスピンドルを搭載した超精密ナノ加工機（ファナック製 ROBONANO α-0iA）を使用した。

切削条件を表 1 に示す。主軸回転数と送り速度から一刃当たりの送り量は 3μm となる。ピックフィード(Pf)は加工面法線方向から見てダウンカットとなる方向に送った。主軸角度については，加工面に対して垂直に立てた場合と曲面加工を想定して傾けた場合について検討した。後者の場合，図 3 の模式図に示すように主軸角度は X 方向に傾け，送りをこれと平行および直交させた条件について検討した。また，切削領域は送り方向 3mm×ピックフィード方向 1mm とした。

切削面の表面粗さは非接触三次元測定機（三鷹光機(株)NH-3SP，高さ方向分解能：0.001μm）を用いて Rz（カットオフ : 80μm, 測定長 : 480μm）を測定した。測定方向は Pf 方向とした。また，工具逃げ面の粗さについても同じ測定器を用い，Rz（カットオフ : 10μm，測定長 : 60μm）を測定した。

表 1 切削条件

主軸回転数	50,000 min^{-1}
送り速度	150 mm/min
軸方向切込み	3μm
ピックフィード (Pf)	3～15μm （ダウンカット）
主軸角度（θ）	加工面法線方向に対し 0°，10° および -10°
送り方向	X，Y 方向
切削油	スプレー供給

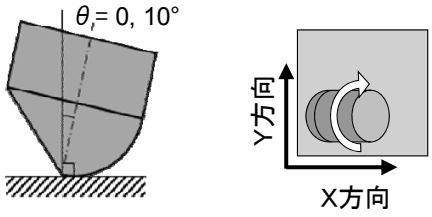


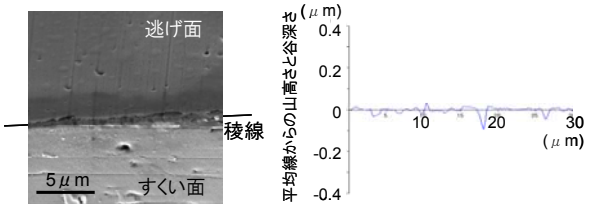
図 3　工具の傾斜方向と移動方向

3.　実験結果および考察

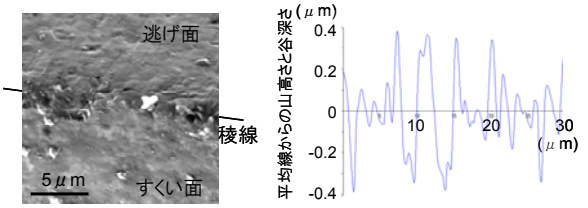
3.1　工具表面の観察

スカイフ盤研磨を施した工具と研磨無しの工具の切れ刃部の SEM 観察結果および逃げ面の粗さ曲線を図 4 に示す。

スカイフ盤研磨により逃げ面，すくい面ともに平滑になり，切れ刃稜線が鋭利に仕上げられていることがわかる。図中の粗さ曲線は，逃げ面の切れ刃稜線近傍を稜線と平行な方向に測定



(a) スカイフ研磨有り



(b) スカイフ研磨無し

図 4 工具切れ刃と逃げ面の断面曲線

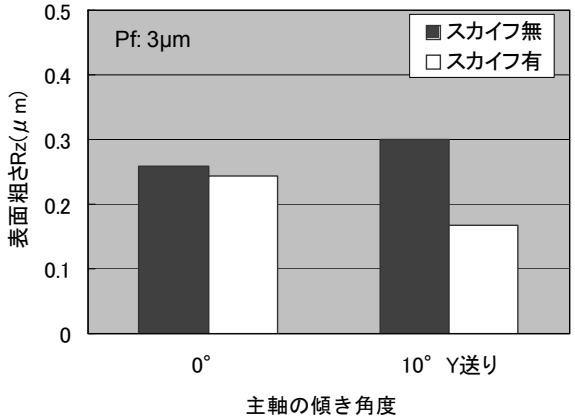


図 5 切削面粗さへのスカイフ研磨の効果

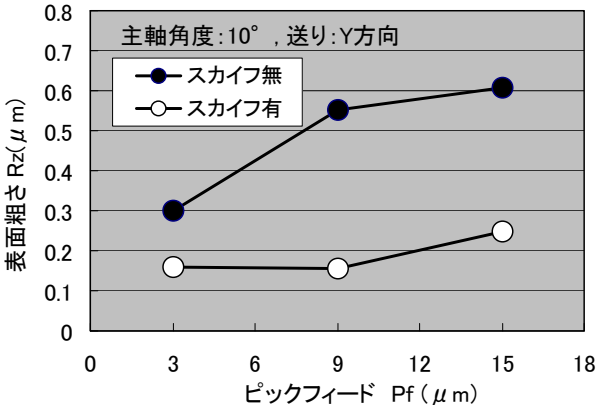


図 6 切削面粗さにおよぼす Pf 量の影響

したものである。粗さ曲線の比較からもスカイフ盤研磨の効果は明らかである。表面粗さは，研磨無しの場合 Rz0.70μm であるのに対し，研磨有りでは Rz0.08μm となった。

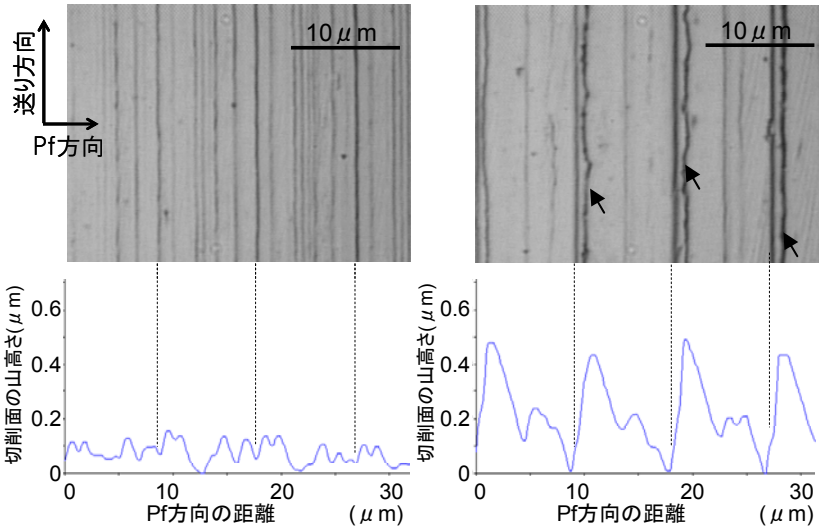
3.2 工具による切削面粗さへの影響

図 1 における切れ刃先端の逃がし量を 5μm とした工具を作製し，切削実験に供した。工具姿勢を変えて焼入鋼を切削した時の切削面の粗さ測定結果を図 5 に示す。いずれの工具姿勢においてもスカイフ盤研磨工具を用いることにより表面粗さは低減された。特に主軸を傾斜させた場合に顕著な効果があり，このとき，目視では回折による発色が若干あるものの鏡面に近い状態が得られた。

3.3 主軸を傾斜させた場合の切削面

主軸角度 10°のときの表面粗さに及ぼす Pf の影響を調べた結果を図 6 に示す。スカイフ盤研磨工具の効果は Pf =9μm において最も顕著になり，表面粗さは Rz0.16μm が得られ，研磨無しの場合の 1/3 程度となった。また，いずれの工具にも Pf 量の増加とともに表面粗さが増加する傾向がある。これは，Pf 量を大きくすると切削面の形成に関与する切れ刃稜線上の凹凸の数が増え，各々の高さにばらつきがあるためであると考えられる。表面粗さの増加率がスカイフ研磨を施した場合の方が小さくなったのは，研磨により切れ刃稜線上の凹凸のばらつきが抑えられた結果，Pf 量の影響が小さくなったものと考えられる。

Pf=9μm で加工したときの切削面の写真と Pf 方向の断面曲線を図 7 に示す。断面曲線は写真の下辺に沿って測定したもので，横軸の寸法は写真と一致している。



(a) スカイフ研磨有り　　(b) スカイフ研磨無し

図 7 主軸角度 10° における切削面と断面曲線

切削面には送り方向に平行な筋状の模様が認められ，9μm ピッチでほぼ同じ断面形状を繰り返すことがわかる。研磨無しの場合には，切れ刃の輪郭が転写されたと考えられる大きな凹凸が形成されている。また，バリと思われる直線性を欠いた模様（矢印で示す）が断面曲線の頂点付近に観察される。スカイフ盤研磨工具の場合も同様の模様は認められるが，ごくわずかである。

スカイフ盤研磨工具を用いることによる切削面粗さの低下は，工具逃げ面の平滑化とともに切れ刃が鋭利になったことでバリなどの塑性流動の発生が抑えられたものと考えられる。

スカイフ研磨工具を用いて各種工具姿勢で切削を行った際の表面粗さを図 8 に示す。Pf=3μm と 9μm では工具姿勢の影響はほぼ同様であり，主軸角度 0°に比べ主軸角度を 10°傾けたときの方が粗さは小さくなった。ただし，-10°X 送りの条件では粗さは大きくなった。

図 9 は Pf=9μm のときの主軸の傾斜方向の影響を比較したものである。主軸を送り方向に傾けた場合（10°），加工面には工具の痕跡はほとんど認められないが，送りと反対方向に傾けた場合（-10°）にはカッターマークが観察される。これは，同図に示したように，-10°では加工面にバリが発生すると考えられ，この場合は Pf 方向を反対向き，すなわちアップカットにすることにより粗さを低減できるものと予想される。

3.4　主軸を垂直にした場合の切削面

図 5 に示したように，主軸角度 0°の場合にはスカイフ盤研磨工具による切削面粗さの低減効果はわずかであった。図 10 は主軸角度 0°における切削面の写真と，その一部を非接触三次元測定機により測定した凹凸像である。

スカイフ研磨工具の場合，工具 1 回転毎に形成されたカッターマークの部分にピークが存在している。ここでは切れ刃先端の逃がし量が 5μm の工具を使用しているので，半径が 5μm，一刃当たり送り量が 3μm のトロコイド曲線を切

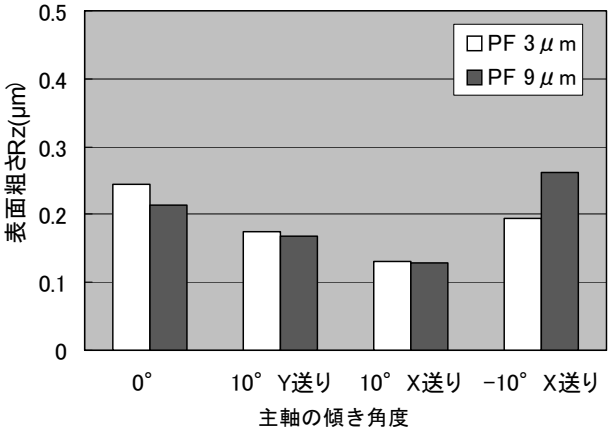


図 8　スカイフ研磨工具による各種工具姿勢での切削面粗さ

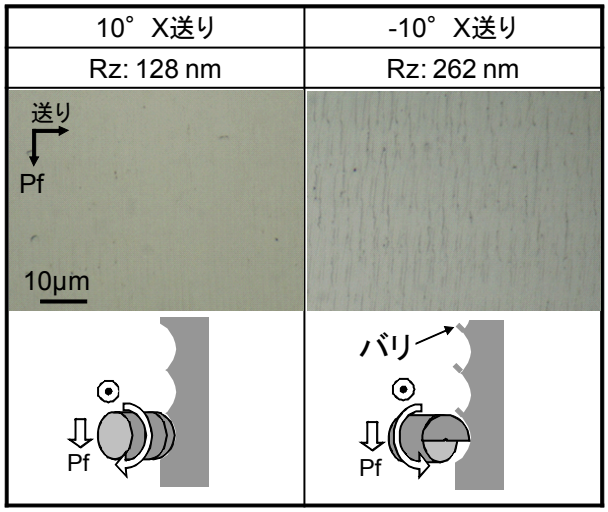


図 9　切削面への主軸傾斜方向の影響

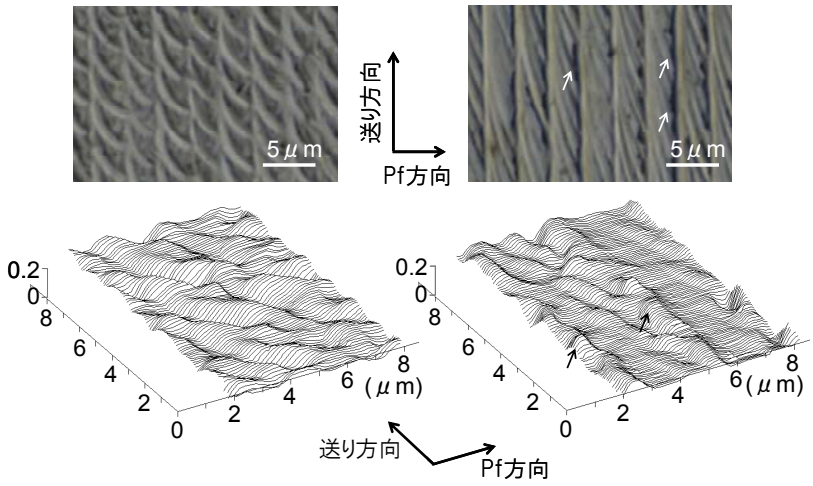
削面に重ね合わせた（図 11）。トロコイド曲線がカッターマークのパターンと一致することから，カッターマークは切れ刃先端によって形成されたバリもしくは切り残しであることがわかる。

一方，研磨無しの場合は矢印で示したバリが発生し，これが凹凸の原因になっている。

主軸角度 0°の場合，スカイフ研磨の有無が表面粗さにおよぼす影響は少ないが，表面の形態は大きく異なっている。

3.5　回転中心刃の検討

スカイフ盤研磨工具を用いた場合の主軸角度が 0°のときの切削面粗さを改善するために，回



(a)スカイフ研磨有り　　(b) スカイフ研磨無し

図 10　主軸角度 0°における切削面の様子

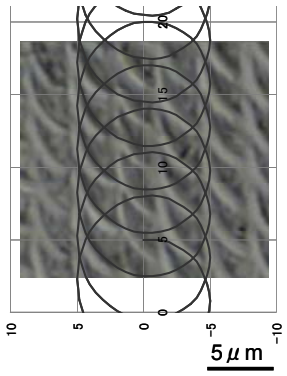


図 11　切れ刃先端軌跡の重ね合わせ

転中心刃の形状について切削面の凹凸を潰す工具を検討することとし，次のような設計指針を基に作製した。

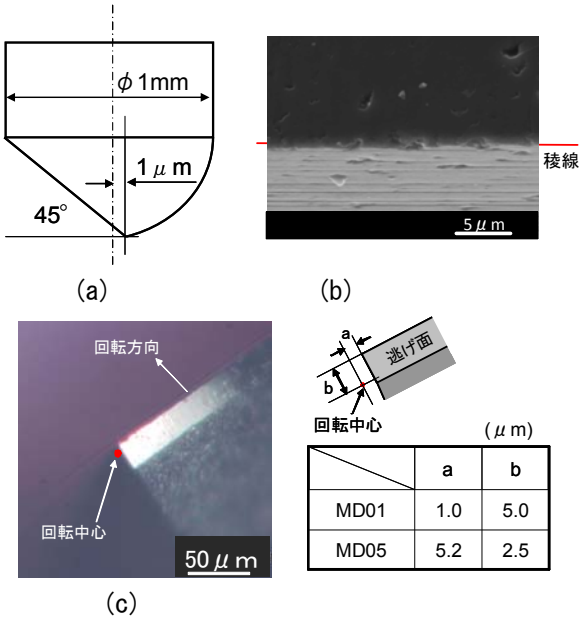
- 切れ刃先端の逃がし量を小さくし，切れ刃を回転中心付近まで形成することにより上記のカッターマークを発生させないようにする。
- バニッシング効果を期待して切れ刃を回転方向前方に出す。

作製した工具の設計形状，SEM 観察像および回転中心の測定結果を図 12(a)～(c)に示す。スカイフ研磨により仕上げられた逃げ面粗さは Rz0.09μm であった。また，切れ刃先端は半径方向に 1μm, 回転方向前方に 5μm の位置であった。

以下，スカイフ研磨工具は逃がし量に対応した枝番をつけて記すこととし, この工具を MD01, 前節まで使用した工具を MD05 とする。

上記の工具を用いて主軸角度 0°で切削を行った際の加工面の粗さを図 13 に示す。Pf=9μm 以上の加工条件では工具 MD01 の方が表面粗さがわずかながら小さくなる傾向が認められた。

MD01 と MD05 を用いて Pf=9μm の条件で加工した時の切削面を図 14(a)，(b)に示す。いずれの工具を用いた場合も一刃当たりの送り量は 3μm であるが，MD05 を用いたときの方がパターンが細かく，詳細に観察すると一刃当たり送りの



	a	b
MD01	1.0	5.0
MD05	5.2	2.5

図 12　バリをつぶす工具(MD01)の形状

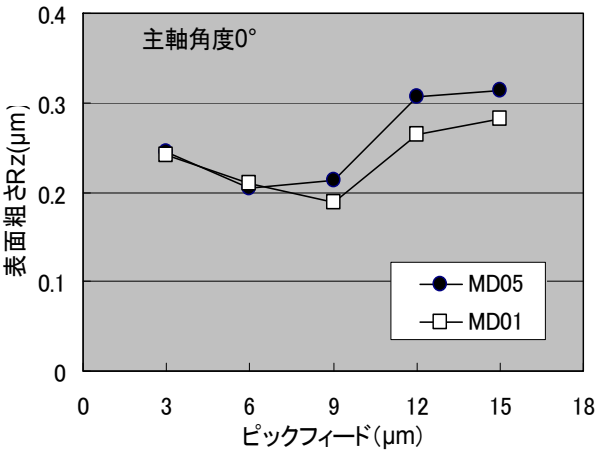


図 13　MD01 による切削面粗さ

間に 2 つのピークが存在していた。これは，上述のように，切れ刃先端によってバリが排出されたためと考えられる。

一方, MD01 の場合にはカッターマークは 3μm ピッチで形成されており，凹凸のピークはカッターマークの円周上に存在していた。MD05 の場合に見られた二重のピークがないことから，狙いとしたバニッシングの効果はあったものと考える。しかし，バリを完全に潰すにはいたらず，結局，5μm 突き出した切れ刃終端によって形成されたバリがカッターマークの円周上に発生し，このために表面粗さの改善効果もわずかな量にとどまったものと考えられる。

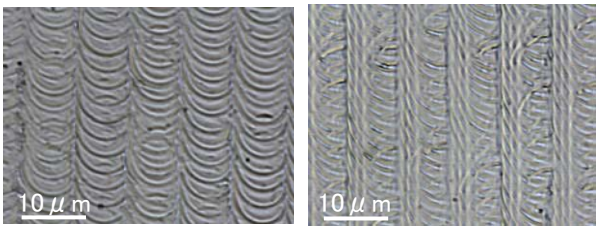
4. 今後の課題

主軸角度が 0°のときの切削面粗さを改善する方法として切れ味を重視した工具を作製し，効果を検証する。設計指針としては，切削速度の増加，すくい角の設定などを考えている。

5. 結　　言

（1）cBN 工具のすくい面および逃げ面にスカイフ盤研磨を施した結果, 表面が平滑で切れ刃稜線が明瞭な工具を作製できた。

（2）焼入鋼の切削においてはスカイフ盤研磨 cBN 工具を用いることにより表面粗さが改善され, 主軸を傾けた場合に効果が顕著であった。ただし，主軸を加工面に対し直角にした場合の効果はわずかであった。



(a) MD01　　(b) MD05

図 14　回転中心刃形状の切削面への影響

（3）主軸を加工面に対し直角にした際に発生するバリをバニッシング効果により潰すことを目的として工具を作製したが，別の個所に凹凸が形成され，表面粗さはわずかな改善にとどまった。

本研究は平成 20 年度戦略的基盤技術高度化支援事業「複数工程で製作される情報家電向け多機能光学シート成形金型の革新的工程集約を実現させる超精密微細切削加工システムの構築」において実施されたものである。

参考文献

1）桝田正美，西口隆，“CBN 工具による鋼の精密切削”，精密工学会誌，52，12，1986，p2024-2029.

2）西口隆，桝田正美，“単結晶 CBN 工具による鉄系材料の精密切削”, 精密工学会誌, 54, 2, 1988，p384-389.