

論文

金型用鋼の超精密切削加工におけるダイヤモンド工具の寿命向上

藤巻 研吾^{*1)} 平野 康之^{*1)} 横澤 毅^{*1)}

Improvement of diamond tool life in ultra precision cutting of mold steel

Kengo Fujimaki^{*1)}, Yasuyuki Hirano^{*1)}, Tsuyoshi Yokosawa^{*1)}

In general, diamond tools such as cutting tools or grinding wheels are not appropriate for the machining of mold steel because iron has a chemical affinity for the carbon at the high temperature caused by the machining heat. This paper experimentally demonstrates a significant improvement of single-crystal diamond tool life in the ultra precision cutting of mold steel by using an ultrasonic elliptical vibration system and selecting an optimum kind of mold steel as the workpiece material. The cutting surface roughness of the mold steel (improved SUS420J2) was 10 nmRa without employing a polishing process using abrasives. The carbide particles of high carbon mold steel (improved SUS440C) abrasively wore the cutting edge of the diamond tool.

キーワード：超精密切削加工，単結晶ダイヤモンドバイト，金型用鋼，工具摩耗

Keywords : Ultra precision cutting, Single-crystal diamond cutting tool, Mold steel, Tool wear

1. はじめに

超精密切削加工では，非常に硬く耐摩耗性の高いダイヤモンド及びcBN (cubic Boron Nitride, 立方晶窒化ホウ素) が工具の材種として用いられる。プラスチック部品等の金型に使用される金型用鋼は，一般に耐食性を持たせるため一定量のクロムを含んだ鉄系の合金であり，熱処理を行うため微量の炭素を含んでいる。これらの材料の主成分である鉄は炭素との熱化学的な反応が大きいため，一般にダイヤモンド工具は加工中の刃先の摩耗が激しく適していないとされている。

一方，cBNはホウ素と窒素のみで構成されており炭素のみで構成されるダイヤモンドとは異なり，鉄との熱化学的な反応は小さく，それに起因した摩耗は生じないため，従来においても鉄系材料の加工に使用されてきた。しかし，cBN工具は単結晶体のものがなく焼結体に限られるため鏡面レベルの加工面を得る事が難しい。極微粒のcBNをバインドレス焼結した工具を用いる事で鏡面加工を実現した研究が報告されているが⁽¹⁾，実用化には至っていない。また，単結晶ダイヤモンド工具などと同様に，焼結体のcBN工具の刃先をスカイフ盤で仕上げる事で切れ味を向上させて加工面の粗さを低下させる方法も報告されているが⁽²⁾⁽³⁾，完全な鏡面を得るには至っていない。

そのため，超精密切削加工において実用レベルで鏡面を得るには単結晶ダイヤモンド工具を使うほかに，工具の熱化学的な摩耗の抑止に効果があるとされる楕円振動切削加工法の提案もなされている⁽⁴⁾。しかし，これまで行われ

てこなかった工具と被加工材の組み合わせだけに実施例に乏しく，加工ノウハウにおいて未確立の部分が多い。よって，単結晶ダイヤモンド工具による金型用鋼の加工に関して種々の実験を行い，工具の摩耗を抑えて鏡面加工を実現する事を目指し研究を行った。

2. 通常切削による加工実験

2.1 実験方法 まず，通常切削による金型用鋼の加工実験を行い，単結晶ダイヤモンド工具の工具摩耗及び加工面の状態の評価を行った。使用した加工機はファナック製ROBONANO α-0iBである。加工方法は図1，図2に示す様に加工機のテーブル送りを利用したプレーナ加工であり，ノーズ半径2.0 mmの単結晶ダイヤモンドバイトによる平面加工を行った。被加工材はプラスチック部品用の精密金型に使用される事の多い金型用鋼のSUS420J2改良鋼(ウッデホルム製STAVAX)とした。その他の実験条件は表1に示す通りである。

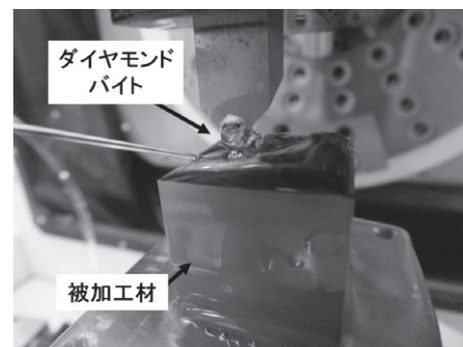


図1. 実験の様子 (通常切削)

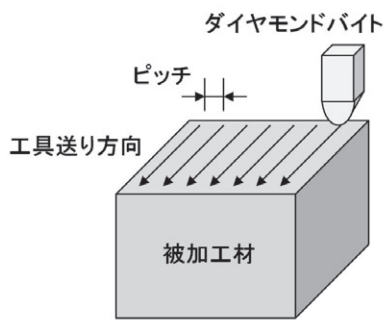


図2. 実験方法

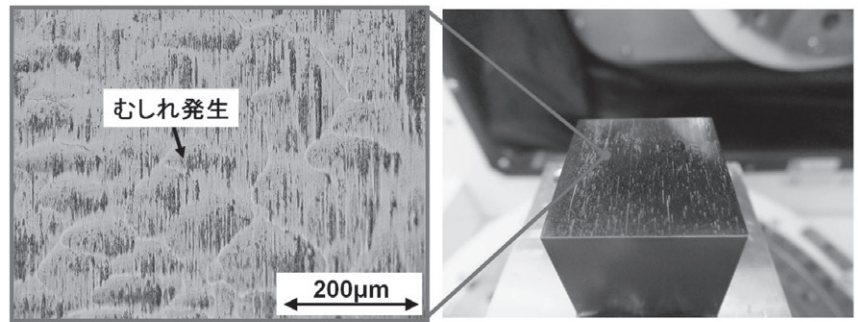
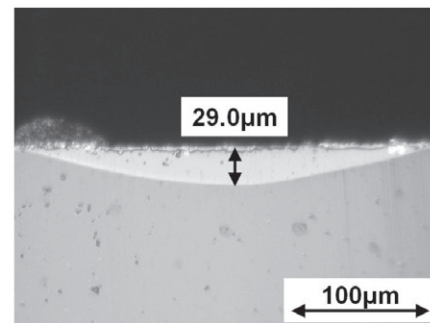


図3. 通常切削における加工面の様子 (被加工材SUS420J2改良鋼)

表1. 実験条件

工具	単結晶ダイヤモンドバイト (ノーズ半径2.0 mm)
切込	5 μm
送り速度 (切削速度)	500 mm/min
ピッチフィードのピッチ	0.01 mm
被加工材サイズ	20 mm × 20 mm × 20 mm

図4. 通常切削におけるバイト刃先の逃げ面摩耗
(被加工材SUS420J2改良鋼, 切削距離40 m)

2. 2 結果及び考察 上記の条件で20 mm × 20 mmの領域全体を加工した後の加工面の様子を図3に示す。全体画像からも期待した鏡面は得られておらず、光学顕微鏡の拡大画像からもむしれの発生が確認できる。また、加工した後のバイト刃先の逃げ面摩耗の様子を図4に示す。逃げ面摩耗とは刃先後退に伴う工具逃げ面の平滑化した部分の幅を指し、工具の摩耗状態を評価する代表的な方法の一つである。この結果から、わずかに切削距離40mで逃げ面摩耗の幅は29.0に達しており、バイト刃先が大きく摩耗している事がわかる。ダイヤモンドの工具により鉄系の材料を切削した場合の工具刃先の摩耗は熱化学的な反応によるものが支配的であり^{(5)~(8)}、温度が大きく関係していると考えられている。しかし、刃先の温度上昇を抑えるためにより低い切削速度で加工を行うなどの実験も行ったが、ほぼ同様の結果となり加工条件の調整のみで工具摩耗を抑えて鏡面加工を実現する事は難しい事がわかった。

3. 楕円振動切削による加工実験

3. 1 実験方法 次に、楕円振動切削による金型用鋼の加工実験を行い、工具摩耗及び加工面の状態の評価を行った。加工方法は前章2.と同様に加工機のテーブル送りを利用したプレーナ加工である。図5に示す様にノーズ半径2.0 mmの単結晶ダイヤモンドバイトを楕円振動装置(多賀電気製ソニックインパルスEL-50Σ)に装着し、周波数42 kHz、振幅4 μm(真円)として実験を行った。前章2.でも述べた様に、ダイヤモンド工具により鉄系の材料を切削した際の摩耗の大部分は鉄とダイヤモンド中の炭素との熱化学的な

反応によるものであり、刃先温度を低く抑える事が重要になる。工具に楕円振動を与える事で被加工材とダイヤモンド刃先の接触が間欠的になり刃先の温度上昇を抑える事が可能である。実験条件は比較のため楕円振動の付加する点を除いて前章2.と同様のものを実施した。

3. 2 結果及び考察 被加工材の20 mm × 20 mmの領域全体を加工した後の加工面の様子を図6に示す。全体画像から反射像がきれいに映っており鏡面となっている事がわかる。光学顕微鏡による拡大画像においても、ピッチフィードのピッチ0.01 mmと同じ間隔で工具送り方向(縦方向)の切削痕がわずかに見られるが、前章2.の通常切削の時の様なむしれの発生は確認できない。触針式粗さ計で測定した結果、加工面の粗さは10 nmRaであった。

一方、被加工材の20 mm × 20 mmの領域全体を加工した後のバイト刃先の逃げ面摩耗の様子は図7(a)に示す結果と

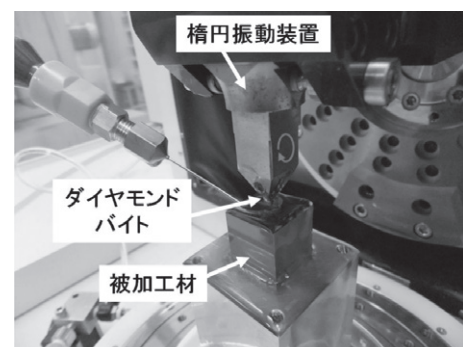


図5. 実験の様子(楕円振動切削)

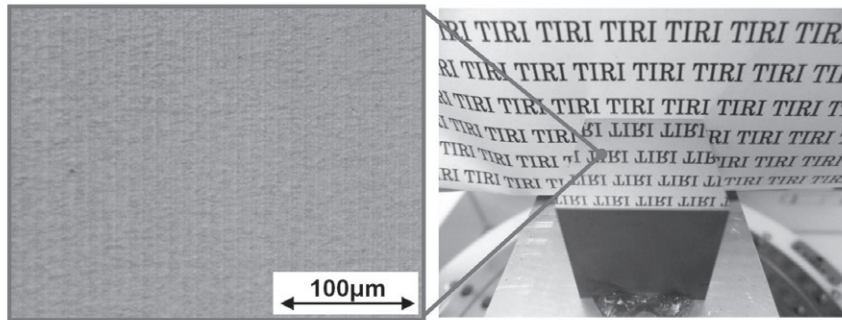


図6. 楕円振動切削における加工面の様子 (被加工材 SUS420J2 改良鋼)

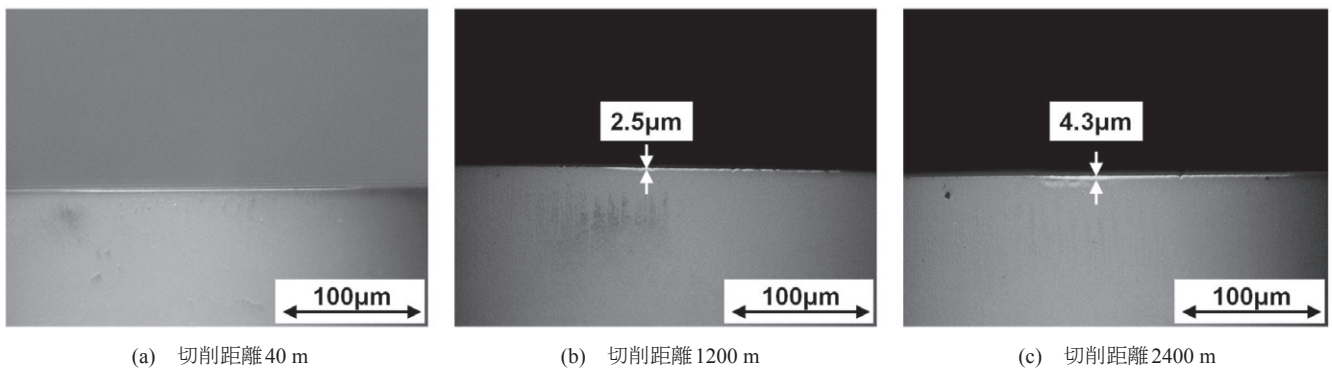


図7. 楕円振動切削におけるバイト刃先の逃げ面摩耗 (被加工材 SUS420J2 改良鋼)

なりほとんど摩耗が見られず，図4の通常切削の結果と比べると楕円振動の付加による工具摩耗の低減が非常に顕著である事がわかる。20 mm×20 mmをピッチ0.01 mmのピックフィードで加工した時の切削距離は40 mである。これを30パス，60パス繰り返して加工を行う事でそれぞれ切削距離が1200 m，2400 mとなった時のバイト刃先の逃げ面摩耗は図7(b)，(c)に示す様になった。逃げ面摩耗の幅はそれぞれ2.5 µm，4.3 µmとなり，実用的なレベルの工具寿命で加工が行える事がわかる。また，一般に工具摩耗の進行に伴い加工面の粗さは増加するが，今回の実験の範囲では工具摩耗に伴う加工面の粗さの増加は特に確認されなかった。

4. 被加工材による工具摩耗特性の検討

4.1 実験方法 以上の実験はいずれも代表的な金型用鋼のSUS420J2改良鋼を対象としたものであった。しかし，金型用鋼にも多くの種類がある。そのため，使用する被加工材によっても工具寿命は影響されると考えられ，ここでは特に被加工材中の炭素量に着目して検討を行った。ダイヤモンド工具によって鉄系材料を切削した時の顕著な工具摩耗は鉄と炭素の熱化学的な反応によるものであるため，もともと含有する炭素量の多い金型用鋼においては異なる結果となる可能性がある。前章3の実験で被加工材として使用したSUS420J2改良鋼(ウッデホルム製STAVAX)は炭素量0.38%であるため，ここでは含有する炭素量が多い金型用鋼のSUS440C改良鋼(ウッデホルム製ELMAX，炭素量1.7%)を被加工材として使用した。SUS440C改良鋼

もSUS420J2改良鋼と同様にプラスチック部品の精密金型に使用される材料である。加工方法及び条件は前章3.の楕円振動切削による加工実験と同様である。

4.2 結果及び考察 被加工材の20 mm×20 mmの領域全面を加工した後の加工面の様子を図8に示す。全体画像では鏡面となっている様に見えるが，光学顕微鏡による拡大画像では表面に数µm程度の炭化物粒子が浮き出ており，微小な凹凸が生じている事がわかる。一般に炭化物粒子の硬度は1000 HV以上であり，周りのマトリックス部分に比べて非常に硬いため，これらの硬さの差異により加工面に微小な凹凸が生じたものと考えられる。触針式粗さ計で測定すると加工面の粗さは19 nmRaであり鏡面としても問題ない水準ではあるが，前章3.のSUS420J2改良鋼の場合の10 nmRaに比べて粗さが大きくなっている事がわかった。

一方，切削距離が1200 mとなった時のバイト刃先の逃げ面摩耗の様子は図9に示す様になった。この時の逃げ面摩耗の幅は21.7 µmであり，前章3.のSUS420J2改良鋼の場合の2.5 µmに比べて大幅に増加している事がわかる。図9の結果は熱化学的な摩耗が支配的であった図4や図7の逃げ面摩耗の様子とは異なり，切削方向(縦方向)にスクラッチの様な痕が生じており，先に述べた炭化物粒子によるアブレッシブ摩耗であると考えられる。以上より，楕円振動の付加により熱化学反応による摩耗を抑える事はできるが，炭化物粒子を含む高炭素量の金型用鋼においてはアブレッシブ摩耗が生じ，工具寿命を低下させる事がわかった。

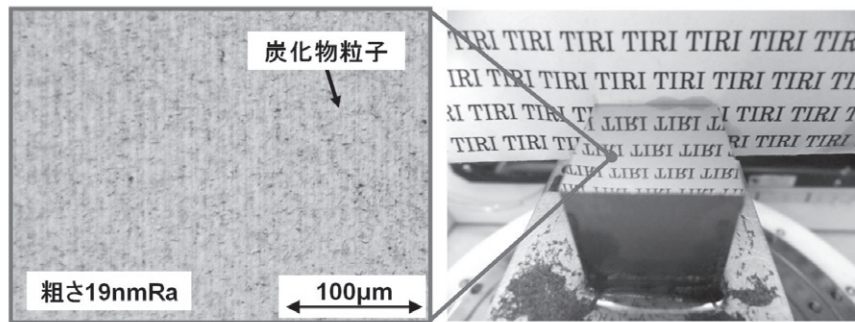


図8. 楕円振動切削における加工面の様子 (被加工材 SUS440C 改良鋼)

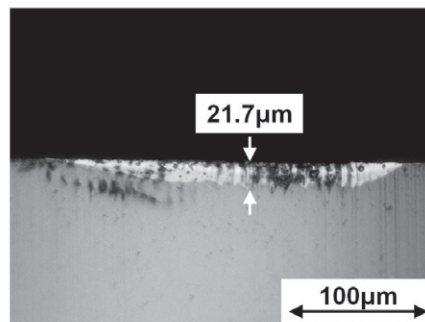


図9. 楕円振動切削におけるバイト刃先の逃げ面摩耗 (被加工材 SUS440C 改良鋼, 切削距離 1200 m)

5. おわりに

ダイヤモンド工具 (単結晶ダイヤモンドバイト) へ楕円振動を付加して金型用鋼 (SUS420J2 改良鋼) の超精密切削加工を行う事で、粗さ 10 nmRa の鏡面加工を実現する事ができた。この時、切削距離 2400 m においても工具の逃げ面摩耗は 4.3 μm 程度であり、加工面の粗さの上昇も特に確認されなかった。

一方、楕円振動付加によってダイヤモンド工具の熱化学的な摩耗を抑制する事はできるが、高炭素量の金型用鋼 (SUS440C 改良鋼) の加工においては炭化物粒子によるアブレッシブ摩耗が顕著であり工具寿命が低下する事が明らかになった。

(平成25年7月16日受付, 平成25年8月15日再受付)

文 献

- (1) K. Fujisaki, H. Yokota, N. Furushiro, Y. Yamagata, T. Taniguchi, R. Himeno, A. Makinouchi and T. Higuchi: "Development of ultra-fine-grain binderless cBN tool for precision cutting of ferrous materials", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.209, No.15-16, pp.5646-5652 (2009)
- (2) 平石誠・宮口孝司・斎藤博・石川淳・馬場大輔:「cBN エンドミル工具による鉄系材料の鏡面加工」, *工業技術研究報告書*, No.38, pp.26-31 (2009)
- (3) 平石誠・宮口孝司・宮口弘明・石川淳・斎藤博:「cBN エンドミル工具による鉄系材料の鏡面加工 (第2報)」, *工業技術研究報告書*, No.39, pp.41-46 (2010)
- (4) 社本英二・鈴木教和:「楕円振動を用いた超精密切削」, *精密工学会誌*, Vol.72, No.4, pp.440-443 (2006)

- (5) 田中宏明・島田尚一・井川直哉:「超精密切削におけるダイヤモンド工具の微小摩耗機構の解明と摩耗抑制技術の開発」, *大阪電気通信大学研究論集 自然科学編*, No.39, pp.55-62 (2004)
- (6) 島田尚一・田中宏明・樋口誠宏・山口智美・本田索郎・小島一志:「鉄系金属の加工におけるダイヤモンド工具の損耗機構」, *2005年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集*, pp.681-682 (2005)
- (7) 高橋功奈・古城直道・樋口誠宏・山口智実・杉本隆史・寺内俊太郎・松田茂敬・島田尚一:「鋼のダイヤモンド切削における工具摩耗」, *2010年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集*, pp.17-18 (2010)
- (8) 寺内俊太郎・松田茂敬・古城直道・杉本隆史:「ダイヤモンド工具の摩耗に及ぼす鋼材組織の影響」, *鉄と鋼*, Vol.97, No.12, pp.631-636 (2011)