

マイクロ圧縮成形システムによる細密樹脂部品の新加工技術開発 ～ マイクロ成形金型の高速・精密加工条件の最適化～

野口清隆*¹ 原田泰男*² 新藤久宜*³

Study on High Speed and High Accuracy Machining of Metallic Mold for Micro Fabrication

NOGUCHI Kiyotaka*¹ HARADA Yasuo*² SHINDOU Hisayoshi*³

抄録

近年、市販され出している微小径 cBN エンドミルをプラスチック金型用鋼に適用し、高速・精密加工するための条件の最適化を行って、マイクロ成形金型の高精度ニアネット加工について検討した。

球面レンズ形状に対して、実験を行った結果、cBN エンドミルの場合、加工 R 値が誤差 1.5 μ m と良好な形状精度になり、その有効性が確認できた。

キーワード：マイクロ成形、cBN エンドミル

1. はじめに

金型材料の高速・精密加工に関しては、これまで超硬エンドミルによる研究が数多く行われ¹⁾、³⁾、高速加工の有効性が報告されている。より高速な加工を可能にする工具材種として、cBN (Cubic Boron Nitride (立方晶窒化硼素)) があり⁴⁾、近年、金型の仕上げ加工に必要な微小径エンドミルも市販され出している。

しかし、微小径 cBN エンドミルの推奨切削条件については、冷間ダイス鋼 (SKD11) 等の焼入鋼が主で、その他の金型材への適用については、あまり報告されていない。

そこで本研究では、微小径 cBN エンドミルをプラスチック金型用鋼に適用し、高速・精密加工するための条件最適化を行って、マイクロ成形金型の高精度ニアネット加工について検討した。

2. 本研究の位置づけ

本研究は、地域新生コンソーシアム研究開発事業のサブテーマとして行ったものであり、プロジェクトにより開発するシステムでは、ターゲットの一つに非球面レンズを考えている。通常、非球面用金型コアは、非球面のベースカーブの R 値にてブランク加工し、メッキ処理後、単結晶ダイヤモンドバイトにより、メッキ膜の鏡面加工を行って、レンズ面の仕上げを行う。このとき、非球面係数がきつい場合、ベースカーブの R 値から非球面形状が離れているためレンズコアの中心部分と外周部とでは、メッキの膜厚が変化してしまい、成型時の形状誤差や、レンズコアの寿命に影響を与える。ニアネット加工の高精度化を行うことで、非球面コアのブランク形状も非球面にすることができ、メッキ膜厚を一定にすることができ、そのため、成型時の形状誤差を少なくすることができ、寿命も長くなるものと思われる。

非球面レンズのブランク加工については、旋削により行うのが、一般的と考えられる。しかし、

*1 生産技術部 (現 大久保浄水場)

*2 生産技術部

*3 生産技術部 (現 技術支援室)

近年、図1に示すような、軸はずしレンズの用途が増しており、軸はずし量が大きい場合、小型のレンズを作るにも、大きな「ふり」を有する旋盤が必要になる等、非効率的になる。

そこで、本研究においては、レンズのブランク加工にエンドミル加工を適用して、その有効性について検討する。

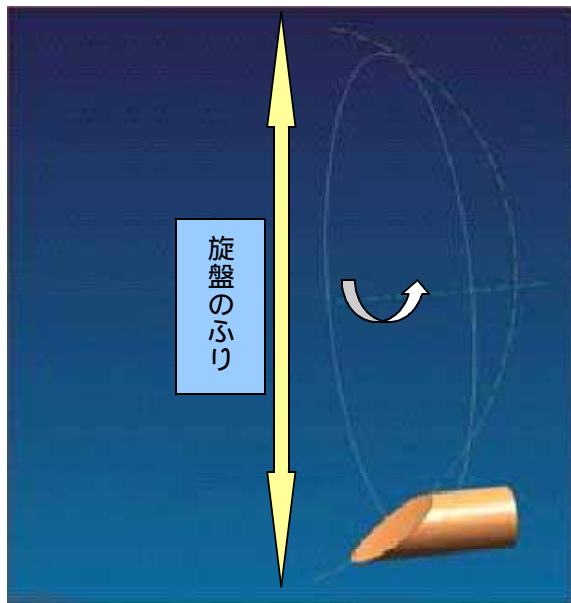


図1 軸はずしレンズ

3. 目的と目標

非球面レンズ用金型コアの高精度ニアネット加工を目的とする。

昨年度は基礎実験として、プラスチック金型用鋼に対して平面加工を行い、工具材種、切削条件が、逃げ面摩耗、表面粗さに及ぼす影響について検討し、cBN エンドミルの有効性を確認した⁵⁾。本年度は、レンズ形状において実験を行い、高精度ニアネット加工について検討した。

4. 実験方法及び実験条件

4.1 実験方法

プラスチック金型用鋼に対して、レンズ形状の加工を行い、形状誤差、表面粗さを計測する。

レンズ形状については、形状誤差の測定、評価の容易さを考慮して、図2に示す球面レンズ形状とした。球面レンズにおいても非球面レンズと同様、エンドミルの底部、側面部による加工が混在することになるため、非球面加工における誤差要

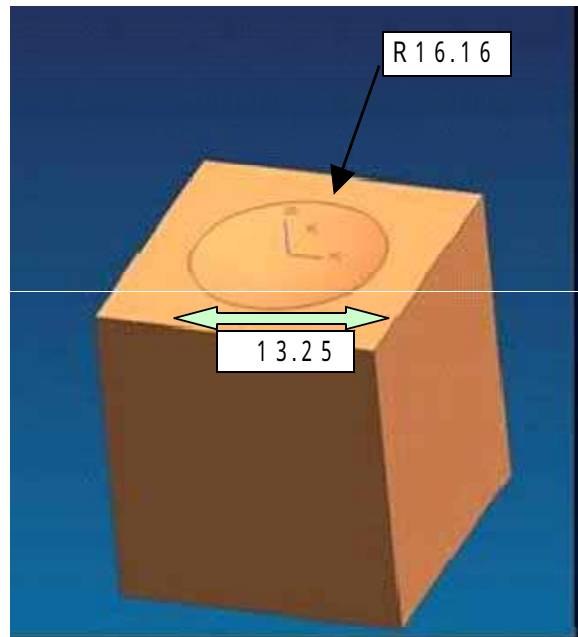


図2 球面レンズ形状

因の影響を確認できるものと思われる。

4.2 工具材種 (cBN)

cBN (Cubic Boron Nitride (立方晶窒化硼素)) は、結晶構造的にダイヤモンドと類似していることから非常に硬く、工具材種として以下の特徴を持つ。

高硬度のため、耐摩耗性に優れ、長寿命である。鉄との親和性が低く、鉄系材料の加工も適する。刃先温度 1000 以下では強度の急激な変化がなく、切削熱に対して安定性がある。熱伝導性が大きく、熱を速やかに逃がし、安定した加工が可能である。

カタログデータでは、焼入鋼等の高硬度材 (HRC60 程度) の切削において、超硬(TiAlN)コーティング工具の5倍以上の寿命を持つとされている。

4.3 使用工具及び金型材

実験に使用した工具及び金型材は以下のとおりである。

R0.5 cBN ボールエンドミル (TBBE-2050、協和精工(株)製)

超硬(TiAlN)コーティング R0.5 ボールエンドミル

STAVAX (SUS420J2 系、ウッデホルム(株)製、HRC52 ± 2)

4.4 加工条件

加工条件は工具メーカー（協和精工株）の推奨条件を参考に設定し、等高オフセット加工により、残し量 0.03mm まで粗加工を行った後、仕上げ加工を行った。粗加工条件を表1、仕上げ加工条件を表2に示す。

表1 粗加工条件

	実験条件	工具メーカー推奨条件
切削速度(m/min)	157	80~350
1刃当たり送り量(mm/刃)	0.03	0.01~0.03
回転数(rpm)	50,000	
送り速度(mm/min)	3000	
切込み深さ(mm)	0.03	
ピッチフィード(mm)	0.04	
残し量(mm)	0.03	
切削油	乾式	

表2 仕上げ加工条件

	実験条件	工具メーカー推奨条件
切削速度(m/min)	157	80~350
1刃当たり送り量(mm/刃)	0.03	0.01~0.03
回転数(rpm)	50,000	
送り速度(mm/min)	3000	
ピッチフィード(mm)	0.02	

5. 実験装置

実験には高速加工機（ASV400、東芝機械株製、最高回転数 50,000rpm、最高送り速度 12m/min）を使用した。本装置は主軸に空気静圧スピンドルを搭載し、圧縮空気を供給している状態では、回転部に機械的接触がないことから、回転精度が高く、低振動である。また、工具の保持にツールホルダを介せず、直接、機械に取付ける方式を採用しているため、工具の振れも小さい。いずれも、微細加工、高速加工に有利であると思われる。

形状誤差の測定には、輪郭形状測定器（SV-C624、株ミツトヨ製）、表面粗さの測定には、非接触三次元測定機（NH-3SP、三鷹光器株製）、工具摩耗の観察には、走査型電子顕微鏡（S-2150、日立製作所株製）を使用した。

6. 実験結果

6.1 レンズ形状加工における形状精度の評価
超硬、cBN ポールエンドミルによりレンズ形状を加工した時の形状誤差を、図3、図4に示す。



図3 超硬ポールエンドミルによるレンズ加工の形状誤差

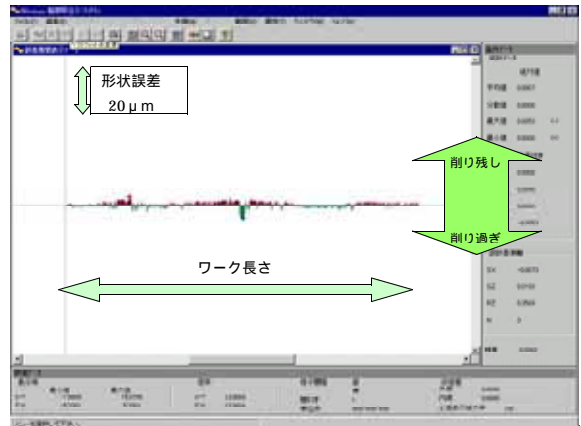


図4 cBNポールエンドミルによるレンズ加工の形状誤差

超硬エンドミルの場合、中心部が外周部と比べて、約 15 μm 程度の削り残しとなり、このデータから求めた近似 R 値は、目標値よりも約 130 μm 大きくなった。図5にレンズ形状加工後の刃先の電子顕微鏡写真を示す。顕著な工具摩耗が認められ、形状誤差の一因であると考えられる。

cBN エンドミルの場合、近似 R 値は、約 1.5 μm であり、目標 R に近い形状が得られた。図6にレンズ形状加工後の刃先の電子顕微鏡写真を示す。中心付近に微小なチップングが認められるが、まだ、刃の稜線を崩すに至っておらず、高精度を維持できたものと思われる。ただし、cBN 工具の場合、高硬度であるが靱性が低い材種のため、摩耗が徐々に進行する形態を取らず、突発的に欠損するといわれている⁶⁾。既にチップングが生じ

始めていることを考えると、工具寿命を考慮すれば、切り込みをさらに低く抑える必要があると思われる。

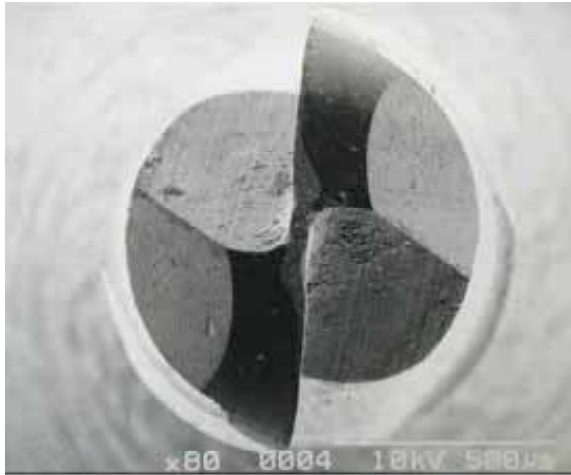


図5 加工後の超硬工具

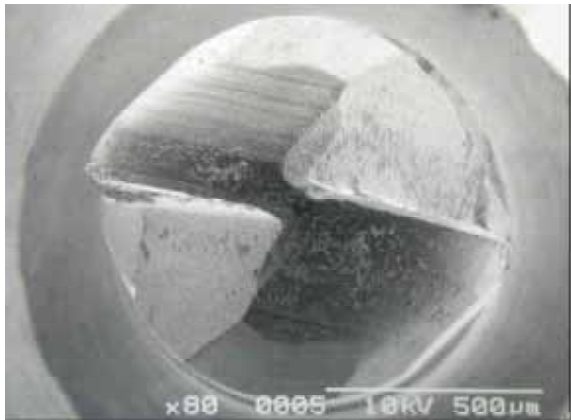


図6 加工後のcBN工具

6.2 レンズ形状加工における表面粗さの評価

超硬、cBN ボールエンドミルによりレンズ形状を加工したときの、中心部、外周部の表面粗さを表3に示す。中心部、外周部共に、cBN エンドミルの粗さが小さくなっているが、全体的に、良好な面は得られておらず、明らかな優位差は認められなかった。ニアネット加工のためには、さらに条件の選定が必要であろう。切り込みが極めて微小であるため、ほとんど刃の中心部で加工することになり、切削速度が上がらなかったのが一因と考えられる。cBN エンドミルの場合、現状の加工機械で実現できる速度域では、高速にすれば高速にするほど摩耗しない⁶⁾、という報告もあり、昨年同様、主軸回転数 100,000rpm の加工機を使用すれば、さらに表面粗さが向上するものと

期待される。

表3 超硬、cBNボールエンドミルによる
レンズ加工の表面粗さ

	表面粗さ(中心部) (μm)	表面粗さ(外周部) (μm)
超硬工具	10.9	6.4
cBN工具	8.4	5.2

7.まとめ

プラスチック金型用鋼に球面レンズ形状加工を行い、高精度ニアネット加工について検討した結果、cBNエンドミルの場合、加工R値が誤差 1.5 μm と良好な形状精度を得た。

謝辞

最後に、本研究を進行するにあたり多大な御協力を賜りました、理化学研究所 高橋一郎前任技師(客員研究員)に感謝の意を表します。

また、本報告は、経済産業省の平成15年度地域新生コンソーシアム研究開発事業による受託研究の成果です。参加された理化学研究所、(独)産業技術総合研究所、日本工業大学、池上金型工業(株)、新世代加工システム(株)、(株)サン精密化工研究所、(株)先端力学シミュレーション研究所の各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 安齋正博: 金型用鋼材の高速ミーリング, プラスティック・3, 98, 2001
- 2) 百地武: 空気静圧軸受搭載高速加工機による微小径穴あけ加工例, ツール・5, 36, 1998
- 3) 嶽岡悦雄: マシニングセンタによる金型高効率・高精度加工, 機械技術, 43, 6, 24, 1995
- 4) 池田直弘, 高橋一郎, 松岡甫篁, 中川威雄: 超高速フライスによる型材切削, 型技術, 5, 8, 92, 1990
- 5) 大森整他: 平成14年度地域新生コンソーシアム研究開発事業「マイクロ圧縮成形システムによる細密樹脂部品の新加工技術開発」, 83, 2003
- 6) 松岡甫篁, 安齋正博, 高橋一郎: はじめての切削工学, 工業調査会, 212, 2002