

平成 15 年 戦略的基盤技術力強化事業
研究開発成果報告概要

事業管理 法人名	財団法人 中部科学技術 センター	代表者名	太田宏次	所在地	〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄二丁目 1 7 番 22 号 Tel : 052-231-3043
-------------	------------------------	------	------	-----	--

管理番号 15K-11
技術分野 金型分野
技術区分 超微細・精密・複雑構造部品成形加工金型技術 / 金型加工技術
技術開発課題 超精密・複雑構造部品成形加工金型技術 / 金型加工技術
テーマ名 高硬度金型の超精密微細加工を実現する楕円振動切削加工技術の開発
研究開発期間 平成 15 年 8 月 12 日 ~ 平成 16 年 2 月 5 日

1 . 委託事業実施の背景と委託事業の概要

近年、IT 産業の発展に伴い、次世代光通信 / 光ディスク装置用小型レンズや光導波路など超精密微細構造のガラス素子が必要とされている。この量産のためには超合金等の高硬度金型の超精密微細加工が不可欠であるが、ダイヤモンド切削は被削材の脆性破壊と工具損耗のために適用できず、超精密研削加工は微細形状に適さないため、これを実現する加工技術は存在しない。

そのため、楕円振動切削加工法を適用することで従来不可能であった超合金等の高硬度金型の超精密微細加工を実現することを目的として、これを実現するための装置および加工技術について研究開発を行う。

2 . 委託事業全体の内容と目標

(1) 技術の内容と新規性、独創性、改善性又は技術基盤強化性

技術の内容

これまでの研究開発では、ダイヤモンド切削加工法や研削加工法など、従来から存在する加工方法を適用して高硬度金型の超精密微細加工が試みられてきた。このため、切削加工法では超合金のような硬脆材料製金型には適用できず、一方研削加工法では精密な微細形状の加工には適用できないという問題を残している。これに対して本技術開発は、従来の加工方法そのものを見直し、楕円振動切削と呼ぶ加工法を利用することにより、これまで不可能であった高硬度金型の超精密微細加工を実現することを目指すものである。

技術の新規性、独創性、改善性又は技術基盤強化性

本技術開発において核となる楕円振動切削加工法は、総括研究代表者が発明した新しい独創的技術であり、これまで不可能であった高硬度金型の超精密微細加工を実現することが可能な新しい技術である。従って、本技術は従来の研究開発とは加工方法から根本的に異なるものである。なお、本技術（楕円振動切削加工法）は 2001 年度精密工学会賞を受賞し、その新規性、独創性について学会からも高い評価を受けている。

(2) 技術目標値

まず、超精密微細加工に適した楕円振動切削加工装置として、1 μ m 程度の振幅で 40kHz 以上の高周波数を達成し、振動軌跡を超精密に安定化（変動量 10nm 程度）し得る高周波超精密楕円振動装置を開発する。次に、これを利用し、超合金等の金型用硬脆材料に対して加工精度 50nm、仕上げ面粗さ 10nm 程度の超精密微細加工を実現することを目指す。最後に、この加工技術を利用し、光通信や光ディスク装置の小型化と性能向上を達成し得る小径大曲率レンズ（直径 0.3mm、曲率半径 0.2mm 程度）および光導波路部品（高さ 5 μ m 程度の方溝）用の超精密微細構造金型の実践的な加工を試みる。

3 . 委託事業全体における技術目標値を達成するための課題と解決方法

a.超精密高周波楕円振動装置の開発

高硬度金型の超精密微細加工を実現するためには、延性モード加工のための臨界値以下の極めて小さな切取り厚さを正確に維持しなければならない。このためには、超音波楕円振動子の発熱・熱変形を抑え、意図しない高周波波と低周波振動の発生を防止することが必要である。また、小さな振幅で高い加工能率を得るために振動周波数を高くすることが有効である。さらに、楕円振動の軌跡の変動は極力抑制しなければならない。そこで、まず超音波楕円振動子の形態・構造について検討し、ボルト締めランジュバン型など高出力がかつ、堅牢な構造、2方向の振動モードにおける節位置の一致、40kHz以上の高い超音波振動周波数、接合部（工具刃先取付け部、振動子支持部）の摩擦減少などを実現する。また、振動変位またはひずみを直接測定する高精度センサを利用し、高精度なフィードバック制御系を構成し、長時間安定して振動振幅が制御可能な超精密自動追尾型発振回路を設計開発する。

b.楕円振動切削加工用超精密微細加工装置の開発

上記の振動装置を利用して超精密微細加工を行うためには、通常の超精密加工機に対して低速度領域で高精度な運動が可能な新しい加工機を開発する必要がある。また、延性モードで超精密微細加工を行うためには、被削材と工具刃先の形状、切削力等を機上計測し得る装置開発が必要である。そこで、まず低速度領域で安定な回転が可能な主軸を有する超精密微細加工機の基本仕様を策定し、これを外注にて設計・開発する。さらに、被削材と工具刃先の機上計測装置、微小な切削力を測定可能なセンサの組み込みについても基本仕様を策定し、これを外注にて設計・開発する。

c.高硬度金型の超精密微細加工技術の開発

上述で開発した振動装置を実際の加工用に実用化するためには、基礎的な加工技術開発を行って振動装置開発に必要なフィードバックを行うとともに、より適切な加工方法を見出す必要がある。

そこで、まず高周波数化と制御の高精度化の影響について検討し、必要かつ実現可能な範囲を明らかにする。これ以外にも振動子に必要なパワー、振動子の発熱による熱変形、振動制御の応答性等を実加工実験において評価し、これを上記の装置開発にフィードバックする。

この他、対象が高硬度材であることから工具摩耗が問題になることが予想される。そこで、工具交換の前後で刃先位置が一致するように刃先の機上計測技術についても検討を行う。また、臨界の切込み量を超えないように工具原点を設定する方法や被削材を正確に把持する方法等の開発も必要となる。

d.実用的金型の加工と開発した装置、技術の総合評価

本振動装置の実用化のためには、本手法による新たな金型加工技術を確立し、その実用性を実証する必要がある。

そこで、実際の金型製品を想定した実用的な加工実験を行い、加工した金型の微細形状の精度および仕上げ面性状などの品質を高精度で測定し、さらにその評価結果に基づいて振動装置、加工装置、加工条件等の改善を行う。これにより、本装置による新たな金型加工技術を確立するとともに、本装置および技術の実用性を総合的に評価する。

4 . 当該年度における技術目標値の達成の状況と意義（実績）

当該年度は、まず、超精密微細加工に適した楕円振動切削加工装置として、 $1\mu\text{m}$ 程度の振幅で 40kHz 以上の高周波数を実現し得る楕円振動子を試作・開発する。次に、本技術にとって適切な低速度の加工条件において、加工精度 50nm 、仕上げ面粗さ 10nm 程度の超精密微細加工（当該年度においては銅などの軟質材料を対象とする）を実現し得る超精密微細加工装置の基本仕様を策定し、これを外注にて試作・開発することを目標とした。

高硬度金型の超精密微細加工を実現するためには、超音波楕円振動子の発熱・熱変形を抑え、意図しない高調波と低周波振動の発生を無くさなければならない。また、超精密レベルの加工面性状を得るためには、焼結前の微粒子径に相当する小さな振動振幅が有利である。このため、小さな振幅で高い加工能率を得るために振動周波数を高くすることが有効である。そこで、まず超音波楕円振動子の形態・構造について検討し、ボルト締めランジュバン型の高出力で且つ堅牢な構造の振動子を設計し、第1段階として 39kHz の高い超音波振動周波数、 $1\mu\text{m}$ の振幅で振動が可能な超音波楕円振動子を開発し、またそれを駆動するための振動制御装置を設計した。

上記の振動装置を利用して超精密微細加工を行うためには、通常の超精密加工機に対して低速度領域で高精度な運動が可能な加工機が必要である。そこで、これを実現し得るように、回転数 100rpm 以下の低速度領域でも安定な回転が可能な主軸を搭載した超精密加工機の基本仕様を策定し、これを外注にて試作・開発した。

5 . 事業化の目標と当該年度に把握した事業化を取り巻く環境変化

1 . 委託事業実施の背景と委託事業の概要に述べたように、本研究開発で実現する加工技術の開発の環境変化はなく、事業化の目標への変更・修正が生じる環境変化は現状はない。