

窒化処理した精細金型用鋼のダイヤモンド切削加工 —工具寿命の伸長と仕上げ面粗さの向上—

大阪電通大大学院 ○名越将大, 大阪府立産技研 本田索郎, 大阪電通大 宇田豊, 島田尚一
要 旨

次世代高機能光学素子の成形用金型には、耐熱性の高い鉄系材料が有用であるが、これを超精密切削加工すると、ダイヤモンド工具が激しく損耗する。しかし、鉄系材料に窒化処理を施すと、損耗が抑制されることが判明している。本研究では、SUS420J2 改良鋼にプラズマ窒化処理を施し、実用的な工具寿命と仕上げ面粗さの達成を試みた。実験の結果、切削距離ほぼ 1km の工具寿命を達成できた。またアルカリイオン水を切削液とすることで、50nmRz 以下の仕上げ面粗さが得られた。

1. 緒 言

鉄系材料をダイヤモンド切削すると、工具が激しく損耗してしまい、加工が困難になる。しかし、鉄系材料の表面にプラズマ窒化処理を施すことによって、鉄とダイヤモンド工具との反応性を低下させ、ダイヤモンド工具の摩耗を大幅に抑制し、良好な仕上げ面が得られることが明らかとなっている¹⁾。

本加工技術の実用化にあたり、工具寿命の伸長や仕上げ面粗さの向上が必要不可欠である。本研究では、光学部品金型用の代表的な材料である SUS420J2 改良鋼にプラズマ窒化処理を施し、切削実験によってこれらの課題についての検討を行った。

2. 窒化層の長距離切削実験

工具寿命の検証のため、窒化層の長距離切削実験を行った。工具寿命の目標として切削距離 1km 以上を設定した。1km の切削距離を達成できれば、例えば今回の実験条件(送り 10 $\mu\text{m}/\text{rev}$)であれば直径約 100mm の端面切削が可能となる。被削材は、直径 36mm、長さ 15mm の円柱状の SUS420J2 改良鋼であり、既報¹⁾の実験で用いた試料を引き続き切削した。

図 1 は、既報の実験で用いた試料のグロー放電発光分析 (GDS) による、深さ方向の窒素濃度分布の測定結果である¹⁾。今回の実験では、安定した窒素濃度 (4~6%) が深い領域 (30~130 μm) まで確保できている拡散層領域を用いて、長距離切削実験を行った。

工具は直線切れ刃の単結晶ダイヤモンド工具 (刃先角 130°, すくい角 0°, 逃げ角 7°) を使用し、主軸回転数 500 min^{-1} 、切込み 3 μm 、送り 10 $\mu\text{m}/\text{rev}$ の条件で端面切削を行った。加工点には不溶性切削油をミスト供給した。合計で 13 回の切削を行った。総切削距離は 1062m である。1, 4, 7, 10, 13 回目の切削終了後に、走査型電子顕微鏡 (SEM) と触針式表面粗さ計によって、工具摩耗と仕上げ面性状を評価した。

工具寿命の判定基準は、①チップングの発生、②刃先後退量 δ が 1 μm に到達、③逃げ面摩耗幅 VB が 3 μm に到達、のいずれかが生じた時点とした。

13 回切削後の工具すくい面および逃げ面の SEM 像を図 2 に示す。境界摩耗の進行とともに、切れ刃稜にチップングが発生しているのが確認できる。このチップングは 10 回目の切削終了時まで発生しておらず、11 回目から 13 回目までのいずれかの切削中に発生したものである。発生時期を明らかにするために切削力の解析を行った結果、13 回目の切削において切削力が急激に増大している時点があった。これをチップングの発生時点と考え、切削距離を算出したところ、996m であった。1km にはわずかに及ばないものの、目標とする切削距離をほぼ達成することができた。

なお、図 2 (b) は工具の前逃げ面の SEM 像であり、工具寿命の判定基準②、③には到達していなかった。

図 3 に 13 回切削後の仕上げ面の SEM 像を、図 4 に仕上げ面粗さを示す。チップングが生じた 13 回切削後も仕上げ面の状態は良好であり、チップングが仕上げ面性状に大きな影響を与えていないことがわかる。今回はチップングが生じた時点工具寿命としたが、仕上げ面性状で評価するのであれば、さらなる長距離の切削が可能と思われる。

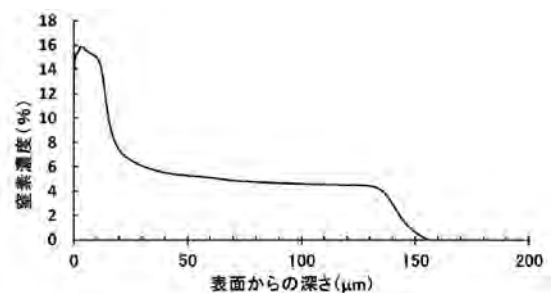
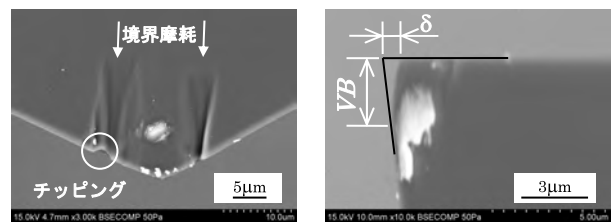


図 1 深さ方向の窒素濃度分布の測定結果



(a)すくい面

(b)前逃げ面

($\delta=0.81\mu\text{m}$, $VB=2.88\mu\text{m}$)

図 2 13 回 (1062m) 切削後の工具先端の SEM 像

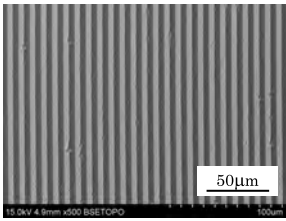


図3 仕上げ面のSEM像

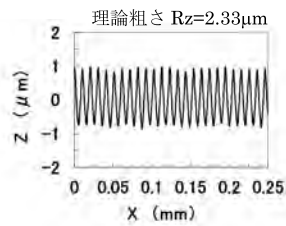


図4 仕上げ面粗さ
(1.87μmRz, 0.48μmRa)

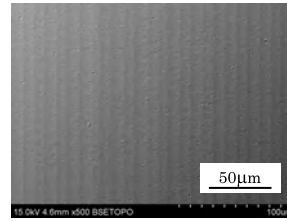


図5 仕上げ面のSEM像

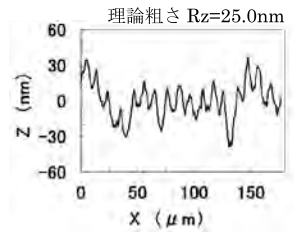


図6 仕上げ面粗さ
(74.9nmRz, 11.6nmRa)

3. 窒化層の鏡面切削実験

前節の長距離切削実験と同一の試料を用いて、窒化層の鏡面切削実験を行った。既報¹⁾では、プラズマ窒化処理したSUS420J2改良鋼の拡散層を円弧切れ刃工具で切削することによって、鏡面が得られることを報告したが、仕上げ面粗さが理論粗さの約3倍程度とかなり大きかった(図5, 図6)。本技術の実用化には、より仕上げ面粗さを小さくすることが必要不可欠である。今回の実験では、仕上げ面粗さ50nmRz以下を目標とした。

導電性多結晶ダイヤモンド工具による鉄系材料の超精密切削加工において、切削液にアルカリイオン水を用いることで、仕上げ面性状が向上することが明らかとなっている²⁾。そこで本研究では、同様の手法を用いて鏡面切削実験を行った。導電性単結晶ダイヤモンド工具の製作は困難なので、ここでは単結晶ダイヤモンド工具(ノーズ半径0.5mm, すくい角0°, 逃げ角7°)の表面に金を真空蒸着し、導電性を付与した。加工点にはアルカリイオン水(pH8.5)を噴霧した。切削条件は前節と同様、主軸回転数500min⁻¹, 切込み3μm, 送り10μm/revであり、切削距離は81.7mである。切削後、SEMと白色干渉型三次元表面解析装置により、工具摩耗と仕上げ面性状の評価を行った。

実験後の仕上げ面のSEM像を図7, 仕上げ面粗さを図8に示す。既報の仕上げ面(図5)に比べて表面のくぼみは多くなっているものの、仕上げ面粗さは36.7nmRzであり、既報¹⁾の半分以下に向上しているのがわかる。実験後の工具先端のSEM像を、既報(図9)¹⁾と今回(図10)と比較すると、工具先端に付着していた凝着物が減少していることが確認できた。このことから、今回の実験ではアルカリイオン水と導電性ダイヤモンド工具により、切削中の凝着物が抑制されることで、仕上げ面性状が向上したものと考えられる。

4. 結言

光学部品金型用の代表的なステンレス鋼であるSUS420J2改良鋼にプラズマ窒化処理を施し、切削実験によって工具寿命の伸長および仕上げ面粗さの向上について検討を行った結果、切削距離ほぼ1kmの時点までチッピングが起らず、なおかつ良好な仕上げ面を維持できることが判明した。また、金蒸着を施した円弧切れ刃工具とアル

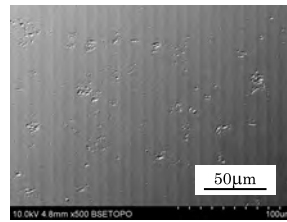


図7 仕上げ面のSEM像

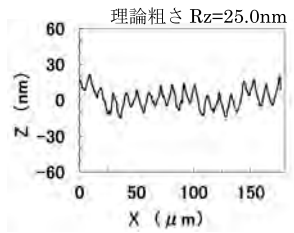
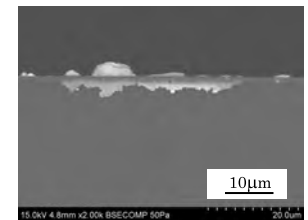


図8 仕上げ面粗さ
(36.7nmRz, 6.5nmRa)

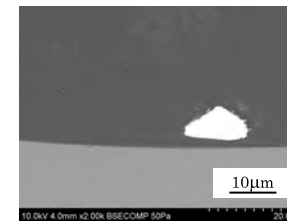


(a)すくい面

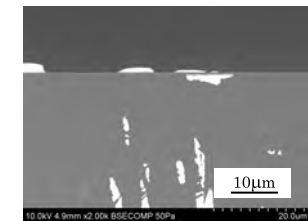


(b)逃げ面

図9 工具先端のSEM像(切削液:不水溶性切削液)



(a)すくい面



(b)逃げ面

図10 工具先端のSEM像(切削液:アルカリイオン水)

カリイオン水を用いて切削することによって、50nmRz以下の鏡面が得られた。

謝辞

本研究の一部は、公益財団法人マザック財団による平成26年度研究助成により行われたことを記し、関係各位に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 名越将大, 本田索郎, 宇田豊, 島田尚一: 2015年度精密工学会北海道支部学術講演論文集, pp.21-22, 2015.
- 2) 本田索郎, 足立和俊, 山口勝己, 島田尚一: 2011年度精密工学会関西地方定期学術講演会講演論文集, pp.40-41, 2011.