

精細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長寿命化

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

ガラス製の高機能光学素子の成形には、耐熱性の高い鉄系材料の精細金型が必要である。しかし、これを超精密切削加工するには、ダイヤモンド工具の激しい熱化学的摩耗が問題となる。本研究では、代表的な精細金型用鋼である SUS420J2 改良鋼にプラズマ窒化処理を施し、ダイヤモンド工具との親和性を低下させることで、工具摩耗の抑制を試みた。端面切削実験の結果、工具摩耗は大幅に減少し、鏡面の創成も可能であることが確認できた。

1. 緒 言

近年の光学・情報機器に不可欠な高機能光学素子は、今後さらなる形状の複雑化・微細化が進むと予想される。その成形用金型の加工には、形状創成自由度が高く滑らかな仕上げ面が得られる、超精密切削加工が最適である。

しかし現状では、超精密切削はプラスチックレンズ成型用の無電解ニッケルめっき製金型の加工に用いられるのみで、より光学的性質の優れたガラスレンズを成型するための、耐熱性の高い鉄系金型の加工は、ダイヤモンド工具の急速な摩耗のため不可能とされている。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り、ダイヤモンド工具の摩耗を大幅に抑制できることが明らかとなった¹⁾。

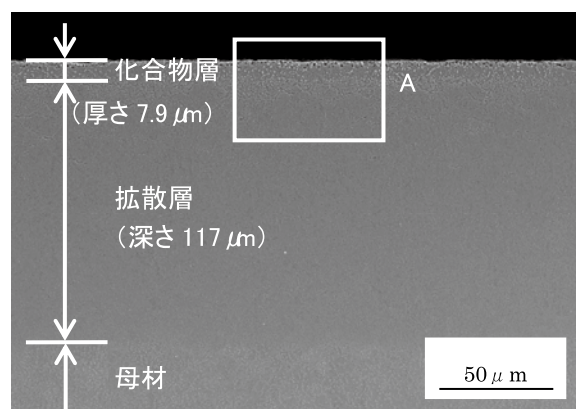
そこで本研究では、光学部品金型用の代表的なステンレス鋼である SUS420J2 改良鋼にプラズマ窒化処理を施し、切削実験によってダイヤモンド工具の摩耗抑制効果を検証するとともに、鏡面創成の可否を検証した。

2. 被削材の窒化処理

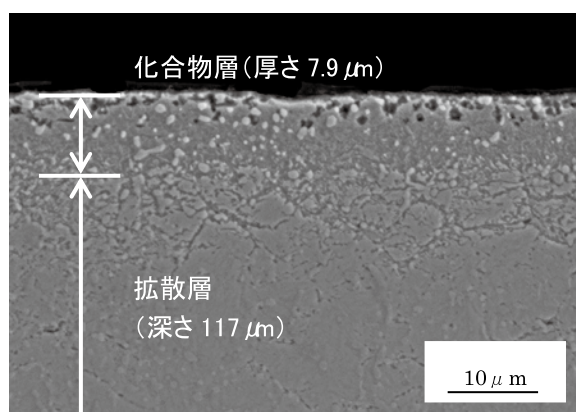
被削材は、直径 36mm、長さ 15mm の円柱状の SUS420J2 改良鋼であり、端面を切削面とした。既報¹⁾では、SUS420J2 改良鋼のプラズマ窒化処理を業者に依頼したが、本報では大阪府立産技研でプラズマ窒化処理を行った。窒化条件は既報¹⁾と同様、550℃、10 時間である。

図 1 は、走査型電子顕微鏡 (SEM) による窒化層断面の観察像である。表面に厚さ 7.9 μm の化合物層、その下に深さ 117 μm の拡散層が形成されている。窒化層全体の深さは約 125 μm であり、金型加工の削り代として最低限必要と思われる 100 μm 以上を達成できた。図 2 は、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。化合物層を含む深さ約 18 μm までの領域では、窒素濃度は約 15% である。その下の拡散層を含む深さ約 130 μm までの領域では、窒素濃度は 4~8% である。

既報¹⁾では、SUS420J2 改良鋼の窒化層深さは約 45 μm であった。今回に比べて窒化層深さが大幅に小さかった理由は、試料温度をパイロメータで間接測定したため、処理温度が 550℃より低くなっていたことが考えられる。今回は温度を熱電対で直接測定したため、正確に 550℃に維持できたと思われる。



(a) 窒化層の全体像



(b) A 部の拡大写真

図 1 窒化層断面の SEM 像

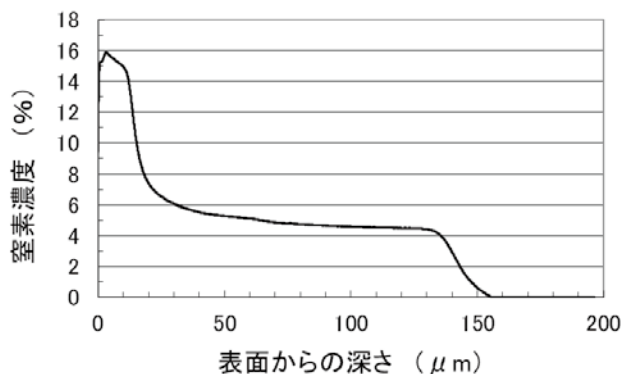


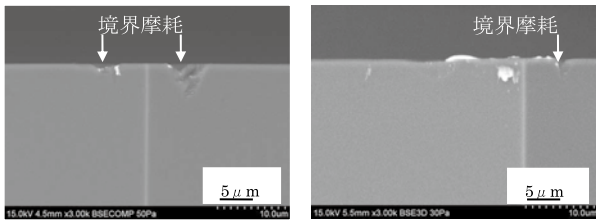
図 2 深さ方向の窒素濃度分布の測定結果

3. 窒化層の切削実験

3.1 化合物層の切削実験

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° ）を使用した。主軸回転数 500min^{-1} ，切込み $3\mu\text{m}$ ，送り $10\mu\text{m}/\text{rev}$ の条件で端面切削を行った。加工点には不水溶性切削油をミスト供給した。総切削距離は 163.4m である。切削後，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。

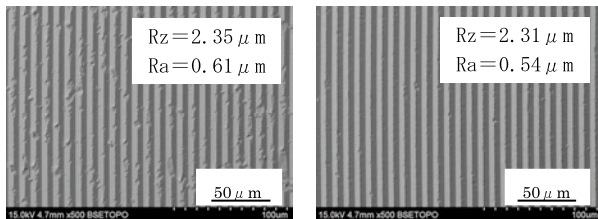
化合物層切削後の工具逃げ面のSEM観察像を図3(a)に示す。また比較のため，既報¹⁾における拡散層切削後の工具逃げ面のSEM観察像を図4(b)に示す。図4(a)においては，垂直方向の刃先稜線には全く損耗が生じておらず，ダイヤモンド工具の摩耗が効果的に抑制されていることが分かる。しかしながら，拡散層切削後の図4(b)と比較すると，境界摩耗がかなり大きい。



(a)化合物層切削後 (b)拡散層切削後¹⁾

図3 工具逃げ面のSEM像

切削後の仕上げ面のSEM観察像，および送り方向の仕上げ面粗さを図4(a)に示す。また比較のため，既報¹⁾における拡散層切削後の仕上げ面，および仕上げ面粗さを図4(b)に示す。図4(a)においては $10\mu\text{m}$ ピッチの送りマークが明瞭に確認でき，また，未窒化試料の切削面に多く発生する深いむしろ痕も生じていない。仕上げ面粗さは最大高さ粗さ R_z が $2.35\mu\text{m}$ と，ほぼ理論粗さ($2.33\mu\text{m}$)通りである。しかしながら，仕上げ面の所々に小さなくぼみが散在している。これらのくぼみは，図4(b)の拡散層切削後の仕上げ面と比較すると，その大きさと数が増している。一般に化合物層の硬度は拡散層より高く，図2のGDS分析の結果からも，本試料の化合物層の硬度は非常に高いと考えられる。そのため，切削の際に脆性破壊が生じやすく，くぼみの大きさと数が増したと思われる。また，工具に対する負荷も増大した結果，図3(a)に見られる大きな境界摩耗が生じたと考えられる。



(a)化合物層切削後 (b)拡散層切削後¹⁾

図4 仕上げ面のSEM像

3.2 拡散層の切削実験

既報¹⁾では，プラズマ窒化処理したSUS420J2改良鋼の拡散層を直線切れ刃工具で切削し，工具摩耗が著しく減少し，仕上げ面性状が顕著に向上したことを報告した。ここでは，直線切れ刃より理論粗さをはるかに小さくできる円弧切れ刃工具（ノーズ半径 0.5mm ，すくい角 0° ，逃げ角 7° ）を用いて拡散層を切削し，鏡面の創成を試みた。プラズマ窒化処理の条件と被削材形状は，第2節と同様である。切削条件は3.1節と同様であり，総切削距離は 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って，工具摩耗と仕上げ面性状の評価を行った。

切削後の仕上げ面の外観写真を図5に示す。仕上げ面全体が滑らかな鏡面になっている。SEMによる仕上げ面の観察像および仕上げ面粗さを図6に示す。 $10\mu\text{m}$ ピッチの送りマークが明瞭であり，むしろ痕も見られない。しかし，所々に小さなくぼみが点在している。これは窒化処理によって生じた高硬度な析出物が切削中に脱落した痕跡ではないかと推測されるが，現時点では詳細は不明である。 R_z は 74.9nm と，理論粗さ 25.0nm よりかなり大きい。切削後の工具刃先をSEM観察すると，凝着物が附着しており，これが仕上げ面粗さを悪化させた可能性がある。

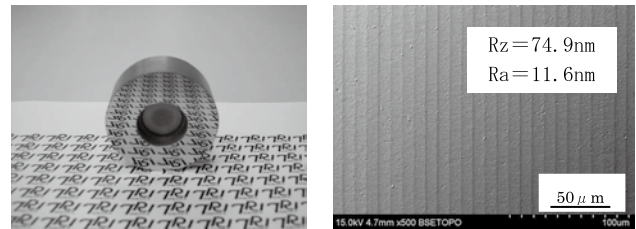


図5 仕上げ面の外観写真 図6 仕上げ面のSEM像

4. 結言

光学素子用ステンレス鋼のSUS420J2改良鋼にプラズマ窒化処理を施し，単結晶ダイヤモンド工具による超精密切削実験を行った。その結果，化合物層より拡散層の方が工具摩耗の抑制効果が大きく，仕上げ面性状も良好であった。拡散層を円弧切れ刃工具で切削することにより，鏡面の創成も可能であった。また，削り代としての窒化層深さも $100\mu\text{m}$ 以上確保できており，実際の光学素子用金型に適用することも可能と考えられる。

謝辞

本研究は，（一財）内藤泰春科学技術振興財団による平成26年度調査・研究開発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。また，試料の窒化処理に関して多大なご協力を頂いた（地独）大阪府立産業技術総合研究所の上田順弘氏および柴川元雄氏に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 本田索郎，足立和俊，上田順弘，柴川元雄，山口勝己，宇田豊，島田尚一：2014年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，pp.497-498，2014。