

# 超精密金型加工における切削工具長寿命化の検討

高橋志郎

## The Examination on Longer Life Extension of Tools for Ultraprecision Processing

Shiro Takahashi

### 要 旨

近年、自動車部品をはじめ各種部品の寸法精度への要求が厳しくなるとともに、その形状も複雑になり金型自体にもより厳しい寸法精度が求められるようになってきている。一般に、金型は、SKDやSKSなどの合金工具鋼が用いられるが、これらの合金は高硬度な上に粘り強く、超硬合金刃物を用いても、欠けが生じる、あるいは折損が起こるなど切削加工が難しい材料である。これらの金型材や金型作製用電極に用いる銅合金などの難削材における超精密エンドミル加工においては、刃物交換時に新旧刃物の寸法・取付け位置などに誤差が生じるため加工途中の段階で刃物を交換することが不可能である。したがって、刃物の工具寿命に関する知見を高めることは、加工コストに大きく関連する。本研究では、加工コスト低減を最終目的とした実験を行い、そのうちの被削材加工精度と工具刃先の経時劣化の因果関係に関する微視的評価の検討結果である程度の成果が出たことからここに報告する。

#### 1. はじめに

近年、景気の低迷、一般機械部品、船舶用部品の受注減少の中、自動車メーカーの工場が北海道に進出するなど自動車関連産業への注目が集まると共に、北海道も支援事業を行うなど地場産業の活性化が見込まれている。函館地域でも地元企業が自動車関連産業への進出を目指す動きが出ている。

自動車産業部品は、コスト面、製品精度面で条件が厳しく、容易に参入することが難しいことから、機械製造技術や機械部品加工技術の安定的な向上を目指す必要がある。

地元の機械製造業（自動車部品製造用機械の製造）、機械加工業（自動車部品の製造、自動車部品用金型の製造）からの技術支援が求められており、これらの企業と連携を組み、地域外の国内切削工具メーカーとの連携も含めた技術の向上が急務である。

本研究では、メーカーから求められる種々の要求のうち、第1段階として切削加工について検討した。地元企業が有する既存の加工技術をさらに発展させ、的確な切削工具の選定、安定的な機械加工条件の確立を目的とし、金型用材料として最も多く用いられているSKDやSKSなどのダイス鋼について、切削工具、切削条件を種々変化させた加工試験を行い、切削技術について検討する。その後、被削材、工具の評価試験を行いながら最適化を図り、自動車産業への進出を可能とする要素技術開発を行った。将来的には、自動車産業界からの要求に対する金型加工業支援システムの構築につながることを期待している。

#### 2. 実験方法

金型の寸法精度や形状の複雑化に関する要求の高まりについては前述の通りであるが、本研究では、実際の一例である、約4mmの隙間の内面を

曲面に切削する場合を想定した検討を行った。

通常の切削に用いるエンドミルの長さ(L)/刃の直径(D)の比率は4?6程度であるが、想定した隙間のような切削にはL/Dが10以上となる工具が必要である。本研究では、地域企業が実際に用いている市販のL=30mm、D=2.6mm、L/D=約11.5である2枚刃のボールポイントエンドミルを用いて切削試験を行った。

切削条件は、工具メーカー推奨の切削速度15,000rpm、送り速度1,300mm/min、切込み量0.05mm(50 $\mu$ m)、深さ方向送り量0.5mmとした。被削材は、金型受注で多く発注される熱間金型用ダイス鋼 (SKD61) とし階段状の試験片を作製し、その側面をエンドミル加工により切削した。なお、エンドミルによる仕上げ切削の前に、実際の加工手順と同様の放電加工による粗仕上げを行った。

切削時間(切削距離)の変化に伴う被削材寸法精度およびエンドミル刃の形状等の変化を測定し、寸法精度の許容域および工具の寿命について評価を行った。被削材の仕上げ精度は、加工機に取り

付けたスタイラス、当センター所有の表面粗さ測定器を用いて測定した。また、工具先端の損耗状況の確認は、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて行った。また、切削工具先端の定性元素分析には、SEMに内蔵のEDSにより行い、工具コーティング相と母材の確認および割れやチッピングが起こった際の部位特定に用いた。

### 3. 結果および考察

はじめに、切削時間(切削距離)の変化に伴う被削材寸法精度の変化をマクロ的に測定するために、切削加工後、加工機械に取り付けたスタイラスによる寸法測定を行った。その結果を図1に示す。切削開始から約450mmの段階から寸法誤差が大きく拡大し、工具の劣化を示している。この工具の劣化原因に大きく関係していると考えられる切削開始の表面である放電加工機による粗仕上げ面の写真を図2に示す。放電加工面は、凹凸が激しく場所によっては50 $\mu$ m以上の高低差があり、加工精度50 $\mu$ m以内の基準を満たすためにはやや厳

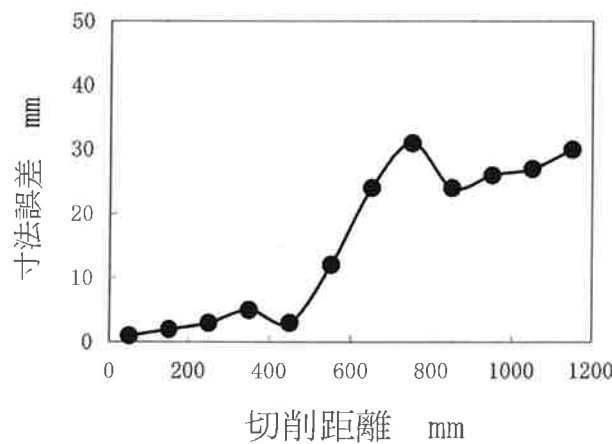


図1 スタイラスによる寸法測定結果

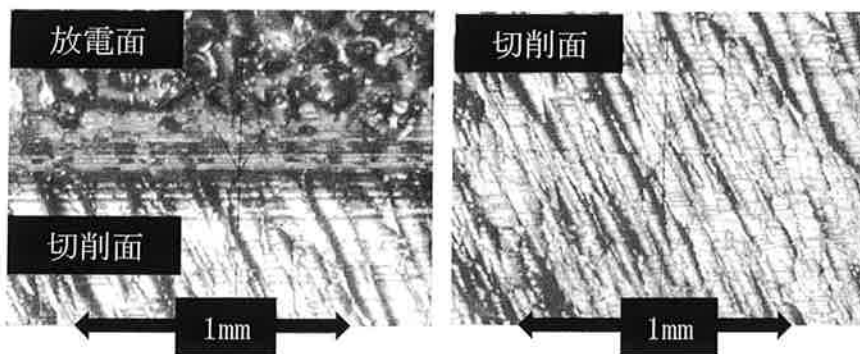


図2 放電加工面および切削面の顕微鏡写真

しい数値であった。また、この放電加工面の表面硬度は、母材に比べて極めて硬く、マイクロビッカース硬度測定値でMHv544（母材：MHv418）であった。母材の硬度でも比較的高い硬度であり、それよりもさらに硬い放電加工面の切削加工は工具を損耗し、コーティングの剥離やチッピングの要因となっている。

さらに、これをより詳細に測定するために表面粗さ計による試験片の測定を行った。図3に、表面粗さ計測定結果の一部を示す。なお、図中の△印は、切削条件による理論粗さを示している。最大理論粗さは、約2.5 $\mu\text{m}$ であるが、測定結果では最大約9 $\mu\text{m}$ と理論値に対し著しく精度が劣っている。加工機械の回転誤差である周期的な粗さの変

動は認められず、切削による寸法精度誤差であることがわかる。ここに示した部分は、切削のごく初期段階の部分であり、これが最終地点では数十 $\mu\text{m}$ の大きな誤差になる。

ここで、工具評価の第1段階として、断面のSEM観察および装置に内蔵のEDS元素マッピングを行い、エンドミルの構造を調査した。図4に工具の断面写真、図5に元素マッピング像を示す。図4および図5より、母材は超硬合金、コーティング材はTi(Al)/Nを用いた難削材用高耐摩耗タイプのエンドミルであることがわかる。また、コーティング材の厚さは極めて均一で、1.5 $\mu\text{m}$ 程度であった。

工具評価の第2段階として、使用前後の工具に

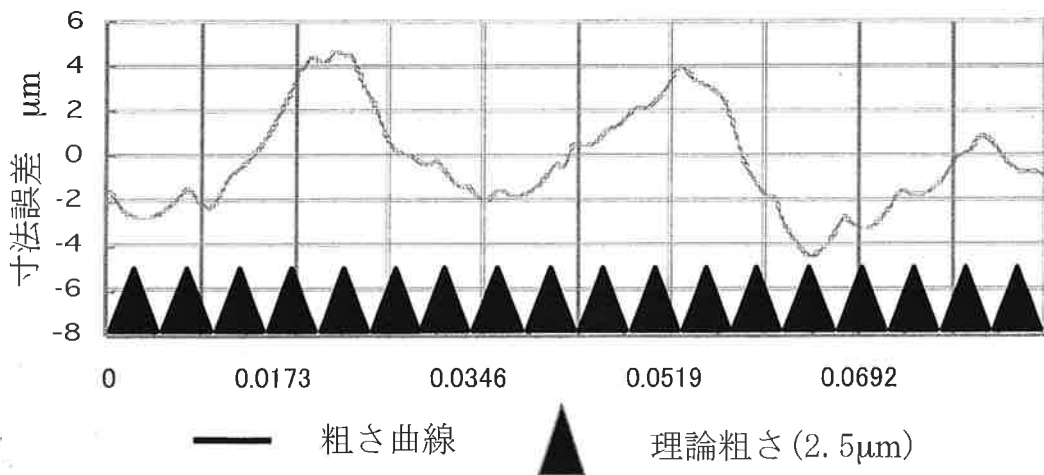


図3 表面粗さ計による寸法測定結果

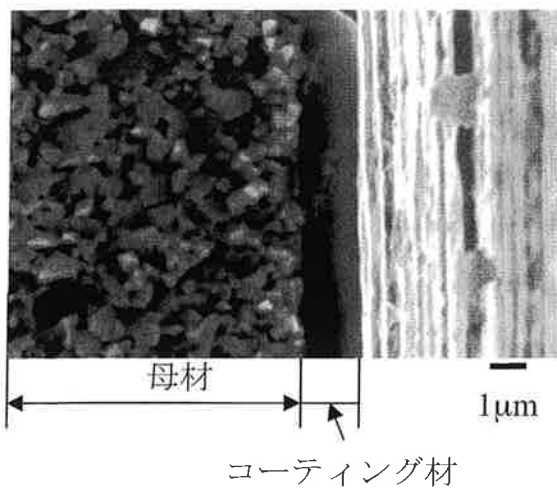


図4 工具断面のSEM写真

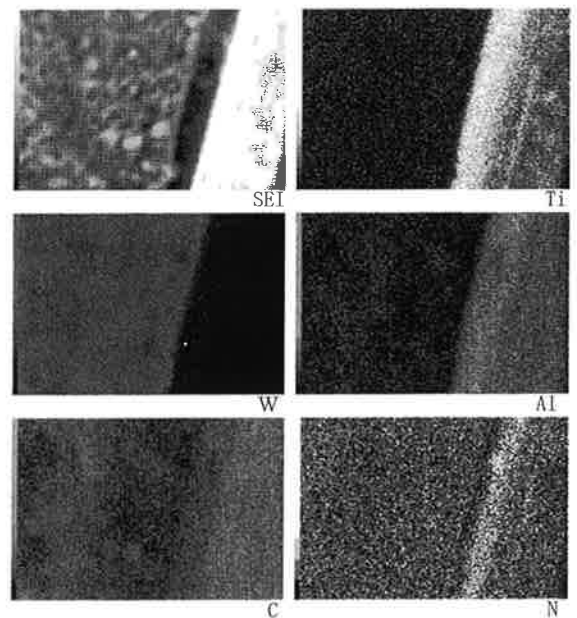


図5 工具断面のEDS元素マッピング像

ついてSEM観察を行った結果を図6に、使用後の工具の全部位の連結写真を図7に示す。切削時間約4時間後の工具刃先は、数 $\mu\text{m}$ ~50 $\mu\text{m}$ 程度のチッピングを起こしていることがわかる。また、被削材に接触する部分の刃先は、そのほとんどの部分でコーティングが剥離し、母材がむき出しになっている。これらは、使用前には認められなかった欠損であり、切削中に発生し、被削材寸法精度劣

化の大きな要因の一つになっていると考えられる。

前述の通り、工具の寿命に放電加工面の影響が考えられることから、放電加工面を除去液を用いて硬化部分の除去した試験を実施した。

試験は未だ継続中であるが、工具寿命で約6%の向上が認められ、不良率の低減につながっている。

これらの知見を企業に提供することで、これま

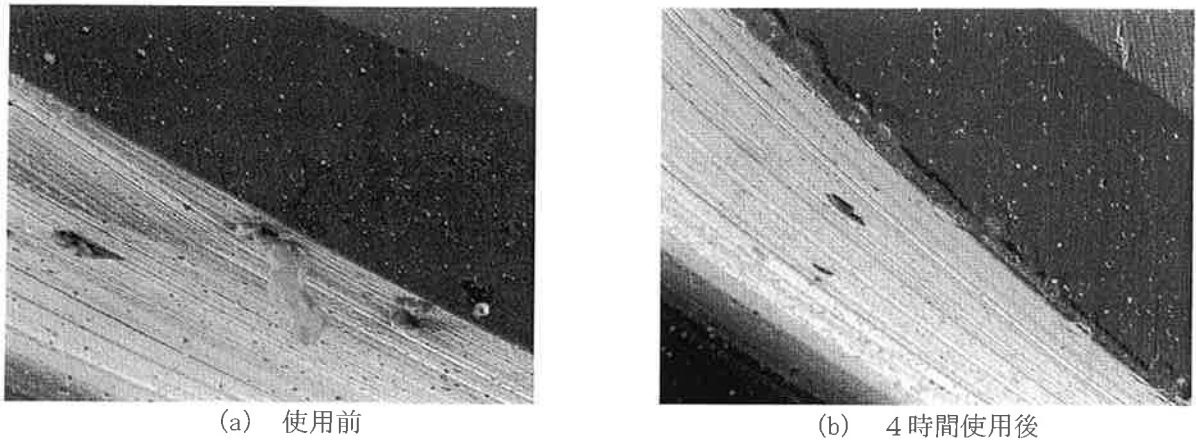


図6 使用前後の工具刃先のSEM写真

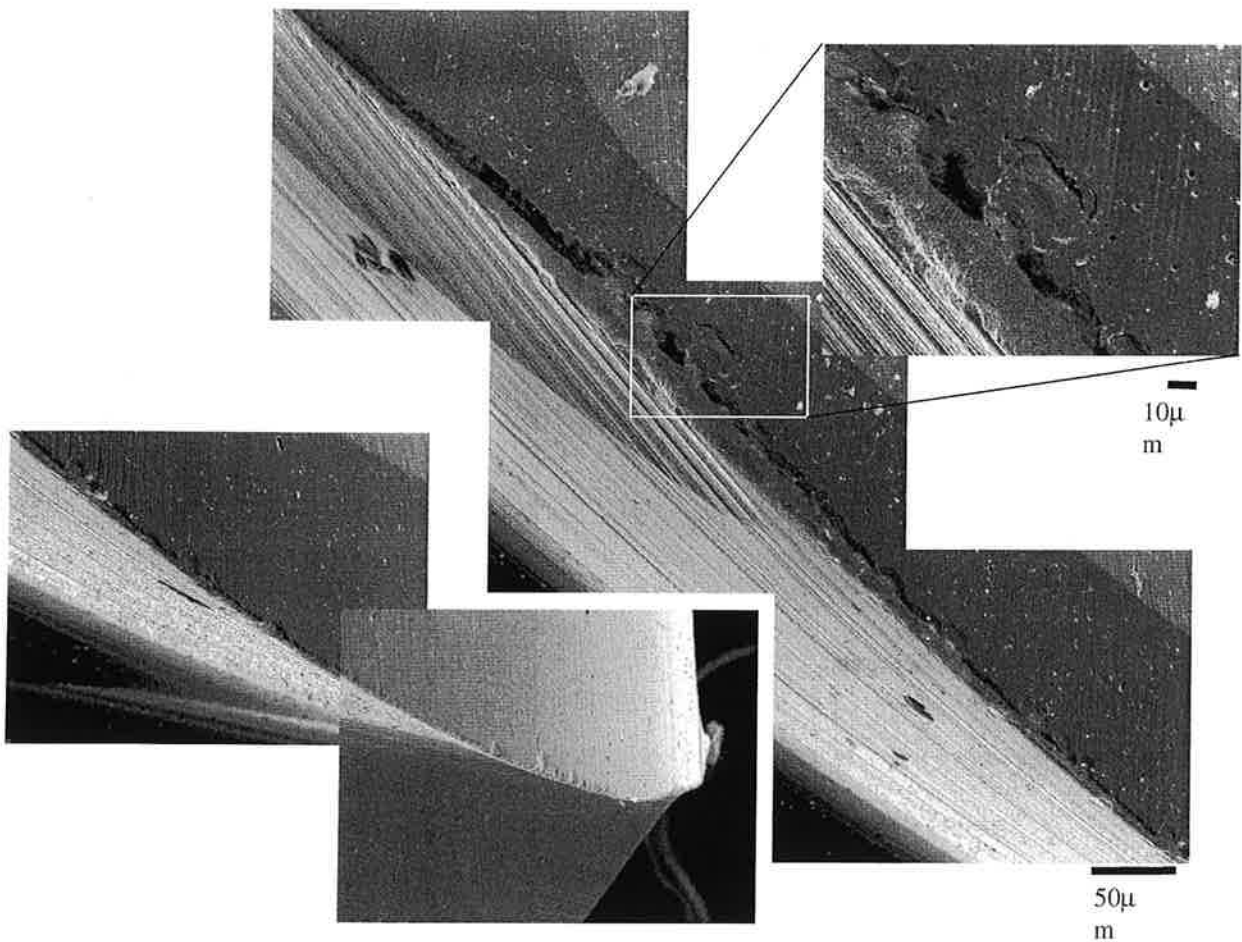


図7 使用後の工具全体の連続SEM写真

で行うことのできなかつた工具メーカーへの要求の提示や迅速なトラブル解決など今後のにも重要な知見であったと報告を受けている。

#### 4. まとめ

本研究により、難削材であるSKD61の加工において、工具刃先のチップングが被削材寸法精度の大きな劣化要因となっていることがわかつた。また、当センター保有機器を用いることにより、切削に関する解析を行うことが可能であり、この結果をもとに地域企業、工具メーカーの連携が図られ、歩留まりや、工具コスト、作業的・時間的な加工コスト低減がなされてきている。