

超硬金型の直彫りによる一貫製造を 実現するための加工法開発

公益財団法人 J K A
平成29年度 機械振興補助事業（研究補助）
成果報告概要

福井大学 学術研究院 工学系部門

機械工学講座 材料加工研究室

准教授 岡田 将人

超合金製の切削工具表面にダイヤモンド製の薄膜をコーティングさせたダイヤモンドコーテッド超硬工具を用いて、超合金を切削する直彫り加工において、その切削特性を切削抵抗、工具刃先形態、仕上げ面性状から明らかにした。

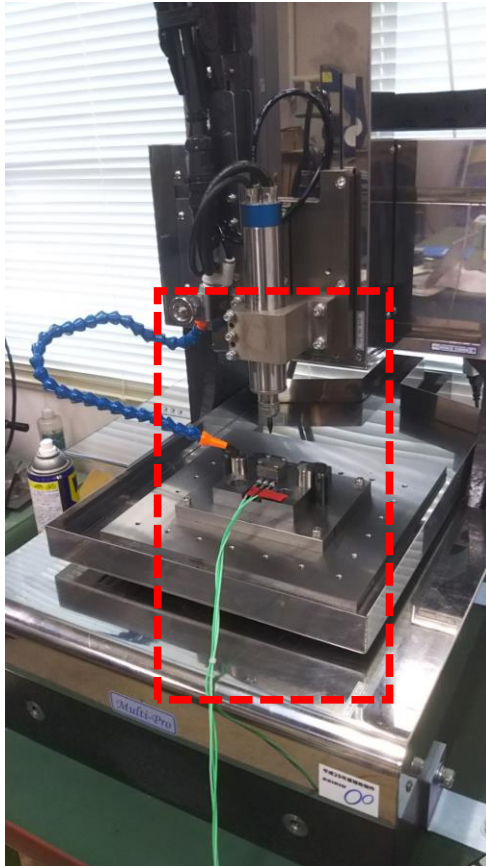
評価は、断続切削であるエンドミル加工と連続切削であるドリル加工の両者において実施した。加えて、直彫り加工により得られる仕上げ面品質を抗折力試験により、定量的に明らかにした。

超硬合金は高い機械的強度を有することから、精密冷間鍛造や打ち抜きなどの負荷の大きな成形加工の金型材料として、今後、より重用されると予想されている。しかしながら、超硬合金は、高い機械的強度を有するために金型形状への加工が困難であり、主に放電加工が用いられる場合が多い。放電加工は、金型面としての仕上げ面粗さが劣り、なおかつ仕上げ面上にマイクロクラックを含む加工変質層が生成されることが多い。そのため、一般的に手作業による研磨処理によりこれらを除去し、最終的な金型面を創成している。これらの金型製造プロセスでは、放電加工の専用機が必要となること、作業者による手研磨品質の不安定化などが懸念され、より効率的な製造プロセスが求められている。

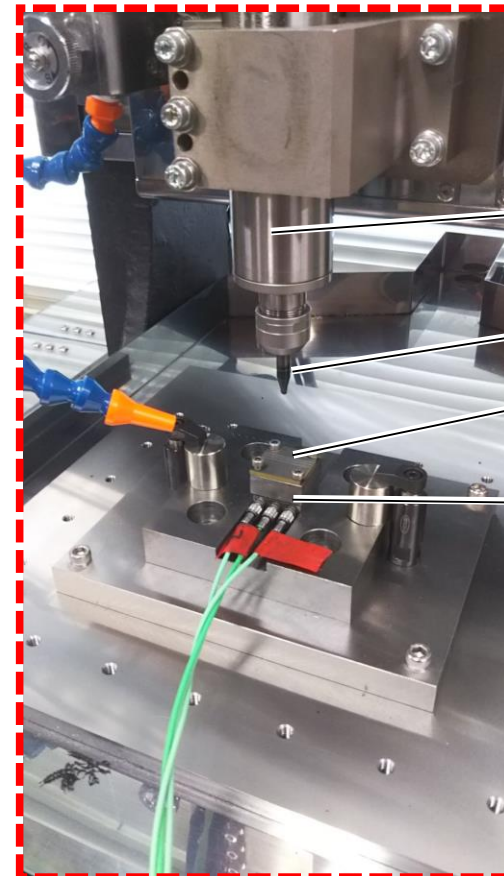
一方、これらの対策の一つとして、切削工具により超硬合金を形状加工する直彫り加工がある。既に多結晶ダイヤモンド（PCD）や窒化ホウ素（cBN）などの材料を用いた切削工具による実用例が報告されているが、これらの工具は極めて高価であり、なおかつ取り扱いが難しいことから、放電加工後の仕上げ工程への適用などに用途が限られており、前述した問題への対策としては、十分な普及に至っていない。

超合金製の切削工具表面にダイヤモンド製の薄膜を被覆したダイヤモンドコーテッド超硬工具による超合金の直彫り加工を実施する。ダイヤモンドコーテッド超硬工具は、母材が超合金であるためPCDやcBN工具よりも安価であり、ダイヤモンドコーティングの除膜技術が確立されれば、母材再利用による、さらなるコストメリットも期待できる。既に生産現場においては経験的に、極めて微小な工具送り条件下で実用的な工具寿命が得られることが報告されている。また、より高い切削性能の発現のために刃先を処理した刃先処理工具の開発も進んでいる。本研究では、これらの工具を対象として切削加工中に刃先で生じている現象を明らかにし、基礎的な切削特性を検討することともに、超合金直彫り加工への適用性を解明することを目的とする。

<装置外観>



<加工部拡大>



高速スピンドル

工具

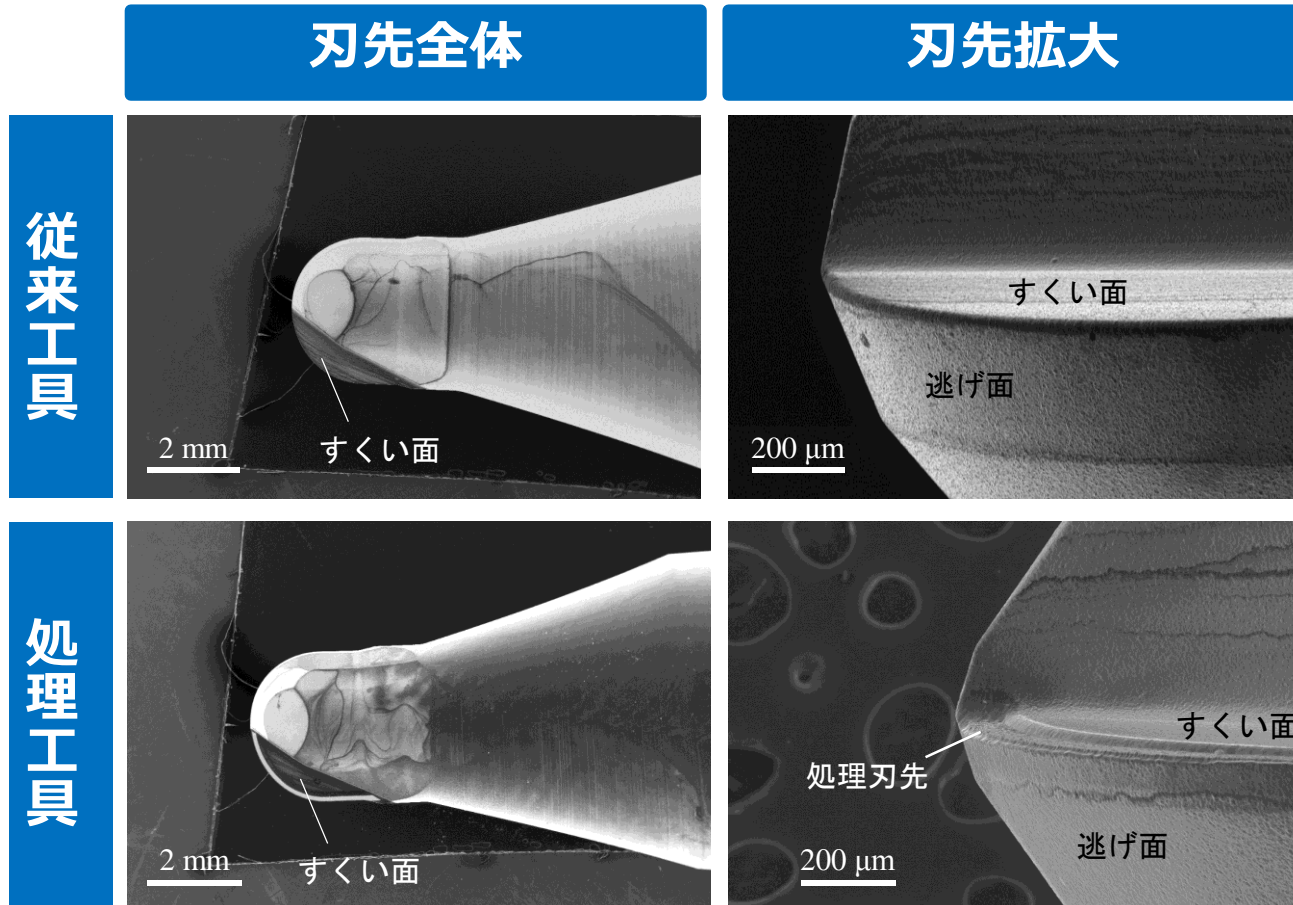
被削材

動力計

- 動力計上部に被削材を固定し，切削時に生じる切削抵抗を測定
- エンドミル加工時には3成分動力計，ドリル加工時には2成分動力計を使用

(1) エンドミル加工における刃先処理が切削特性に及ぼす影響の解明

刃先未処理(従来工具)と処理済み(処理工具)を比較

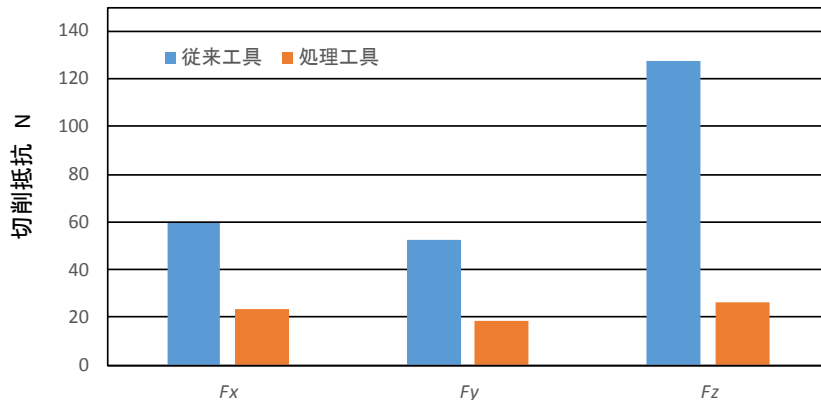


- 刃先処理により鋭利な刃先を確認

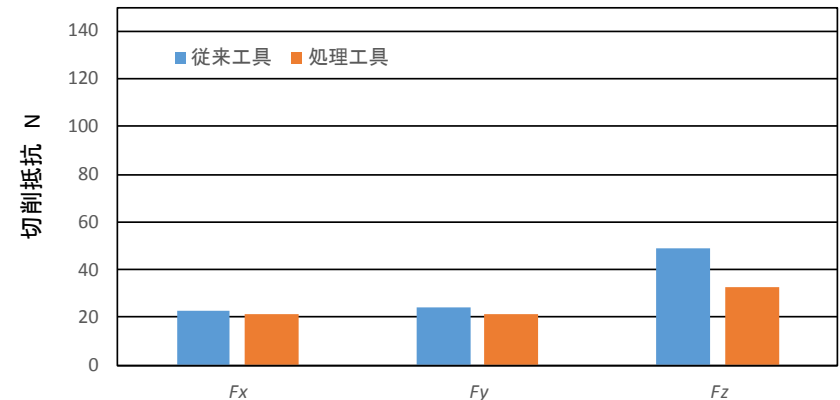
(1) エンドミル加工における刃先処理が切削特性に及ぼす影響の解明

実験条件

| | |
|-----------|------------------------------|
| 工具回転数 | 5000 rpm |
| 一刃あたりの送り量 | 5 $\mu\text{m}/\text{tooth}$ |
| 軸方向切込み量 | 0.15 mm |
| 潤滑方法 | 乾式 (エアブロー) |



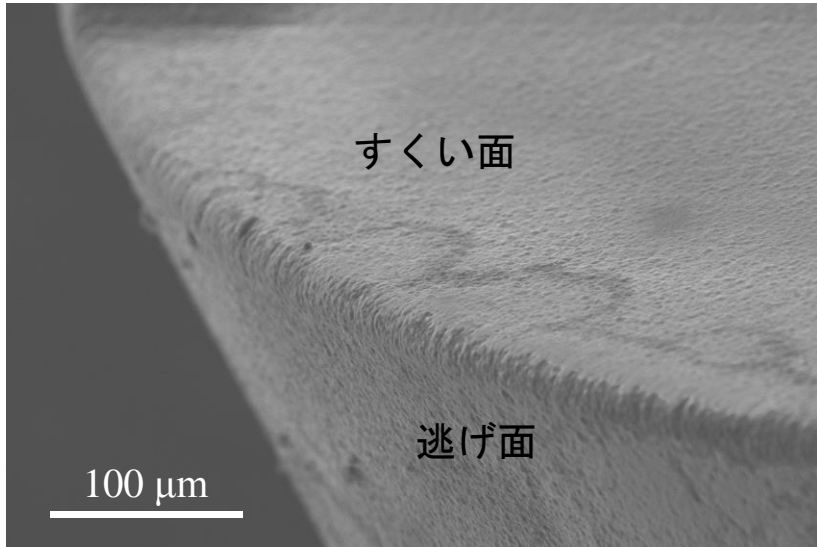
切削抵抗 (切削距離25mm未満)



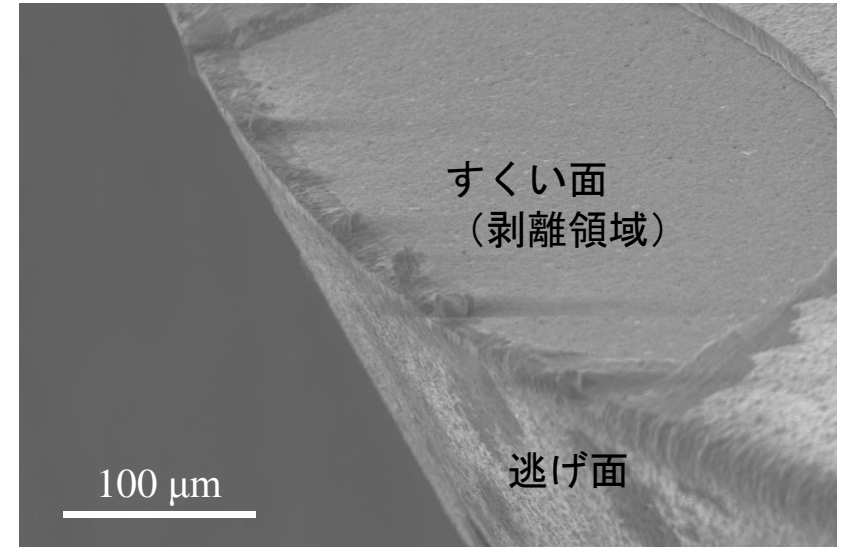
切削抵抗 (切削距離100mm時点)

- 切削開始直後は処理工具が従来工具より大幅に低い
- 切削距離100mm程度で、概ね同程度の切削抵抗
- 切削距離100mm時点の従来工具の刃先をSEMで観察 (次頁)

(1) エンドミル加工における刃先処理が切削特性に及ぼす影響の解明



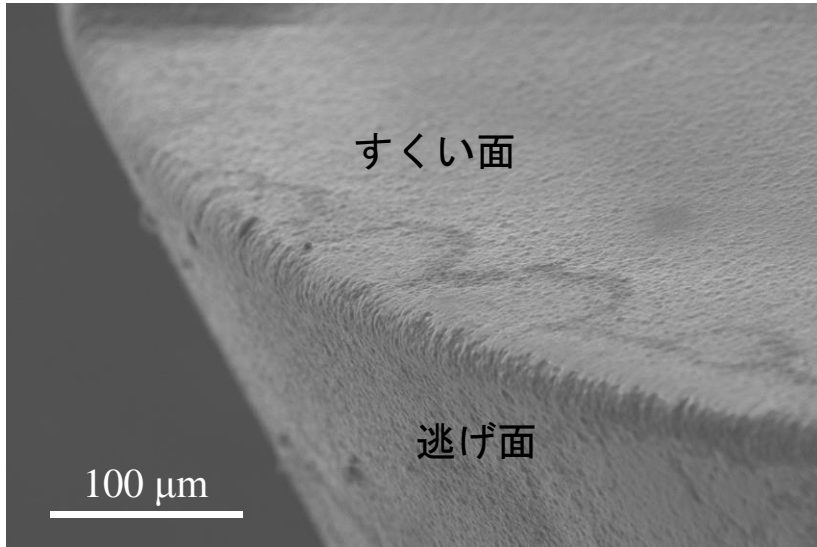
従来工具(加工前)



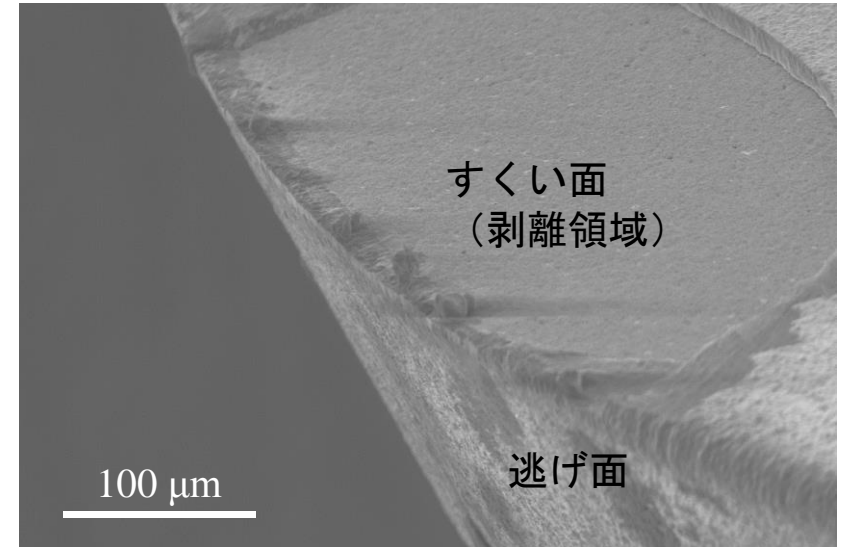
従来工具(切削距離100mm)

- すくい面側のみに大幅な剥離領域を確認
- すくい面側の剥離により、逃げ面上に残存したコーティング稜線部に極めて丸み半径の小さな刃先が発現
- 一刃あたりの切込みを小さくし、コーティングのみを切削に関与させることで、この丸み半径の小さな刃先と相まって高い切削性能を発揮

(1) エンドミル加工における刃先処理が切削特性に及ぼす影響の解明



従来工具(加工前)

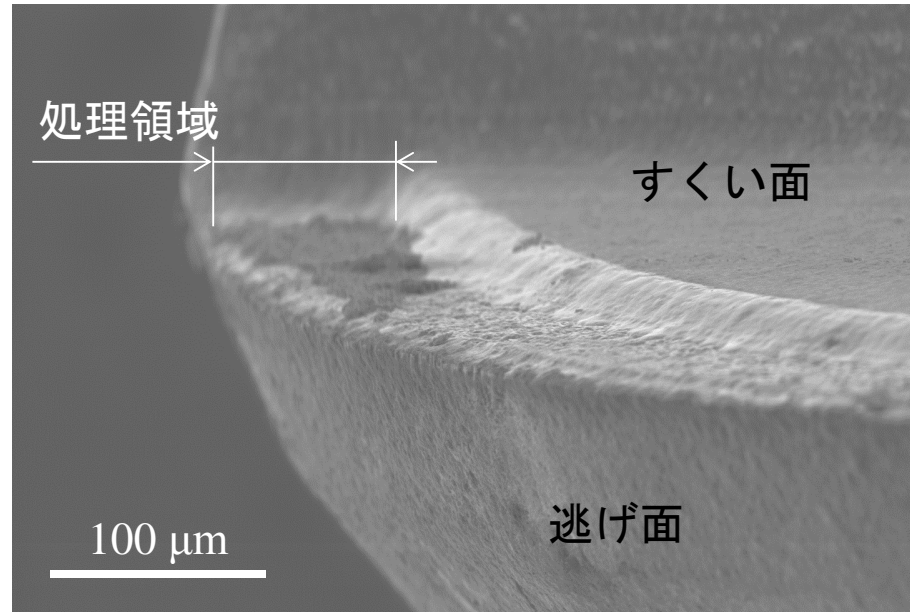


従来工具(切削距離100mm)

- すくい面側のみに大幅な剥離領域を確認
- すくい面側の剥離により，逃げ面上に残存したコーティング稜線部に極めて丸み半径の小さな刃先が発現
- 一刃あたりの切込みを小さくし，コーティングのみを切削に関与させることで，この丸み半径の小さな刃先と相まって高い切削性能を発揮

(1) エンドミル加工における刃先処理が切削特性に及ぼす影響の解明

加工後の処理工具の刃先も観察



処理工具(切削距離100mm)

- 刃先処理により切削開始直後から安定して低い切削抵抗
- 切削抵抗の変動に伴う仕上げ面性状，切り込み量への影響を抑制することができる優位性

(2) ドリル加工における基礎的な切削特性の調査

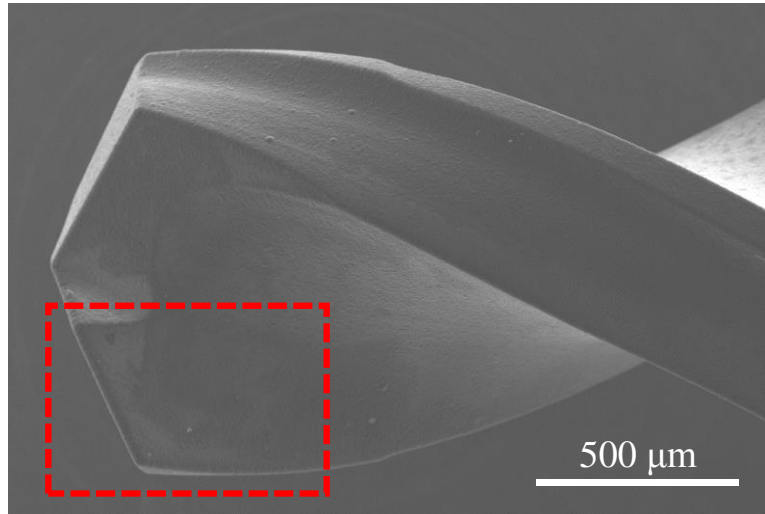
- 断続切削であるエンドミル加工の切削機構を解明
- 金型製作ではエンドミル加工と同様にドリル加工が重要
- ドリル加工は連続切削でエンドミル加工と切削機構が異なる



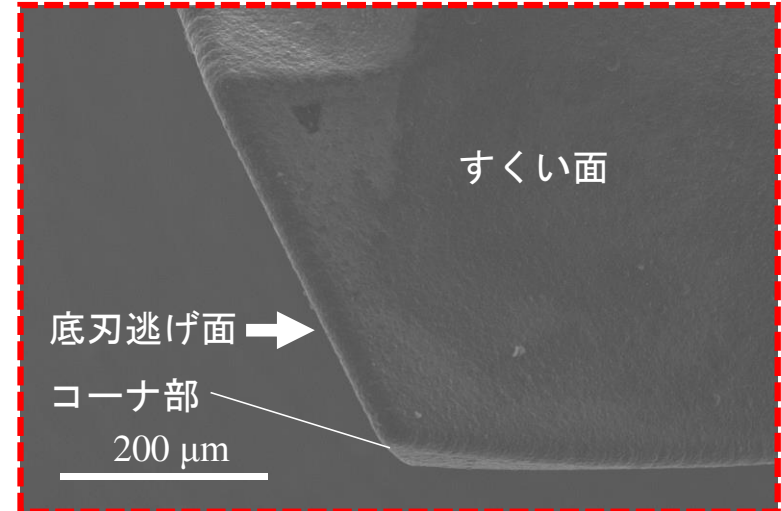
**ダイヤモンドコーテッド超硬ドリルによる超硬合金の
直彫り加工の切削特性を評価**

(2) ドリル加工における基礎的な切削特性の調査

エンドミル加工同様のダイヤモンドコーテッド超硬ドリルを適用



ドリル先端外観



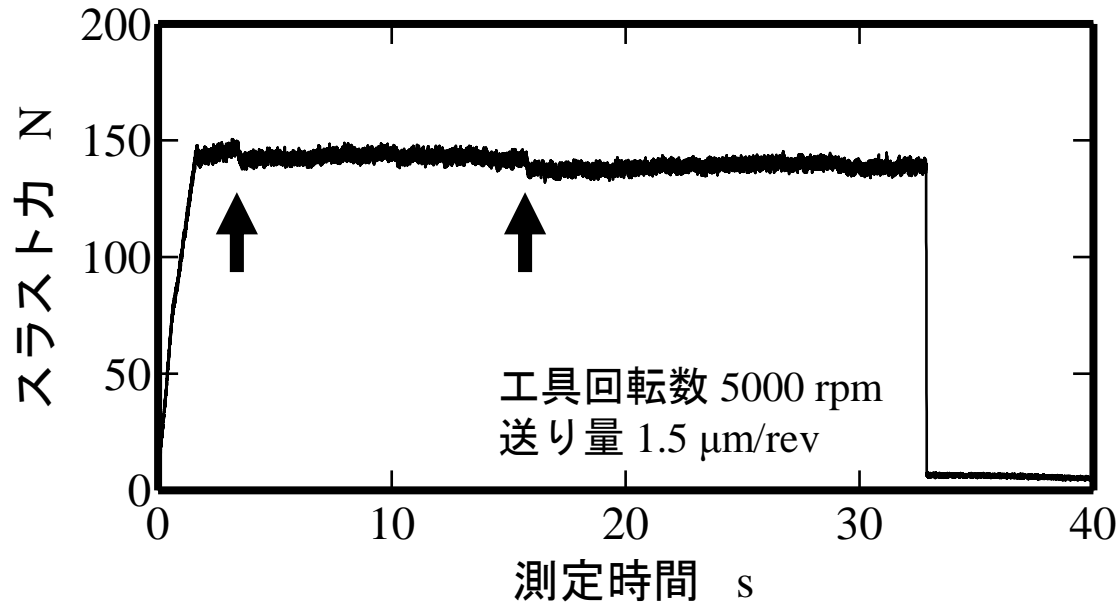
コーナ部拡大

実験条件

| | |
|-----------|---------------|
| 工具回転数 | 5000 rpm |
| 一刃あたりの送り量 | 1.5 μm/rev |
| 穴深さ | 4.0 mm (止まり穴) |
| 潤滑方法 | 乾式 (エアブロー) |

(2) ドリル加工における基礎的な切削特性の調査

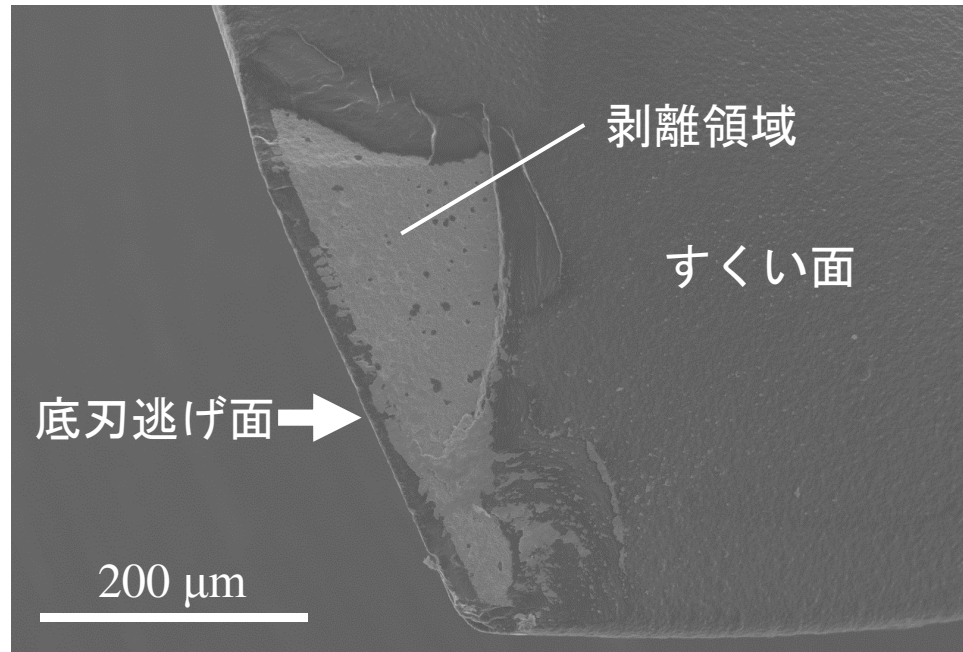
加工中のスラスト力の波形挙動を調査



1穴目加工中のスラスト力波形

- 加工中に複数回かつ不規則の突発的なスラスト力の減少傾向
- この傾向は10穴程度まで同様に認められ, スラスト力が低下
- 加工後の工具刃先形態を観察 (次頁)

(2) ドリル加工における基礎的な切削特性の調査

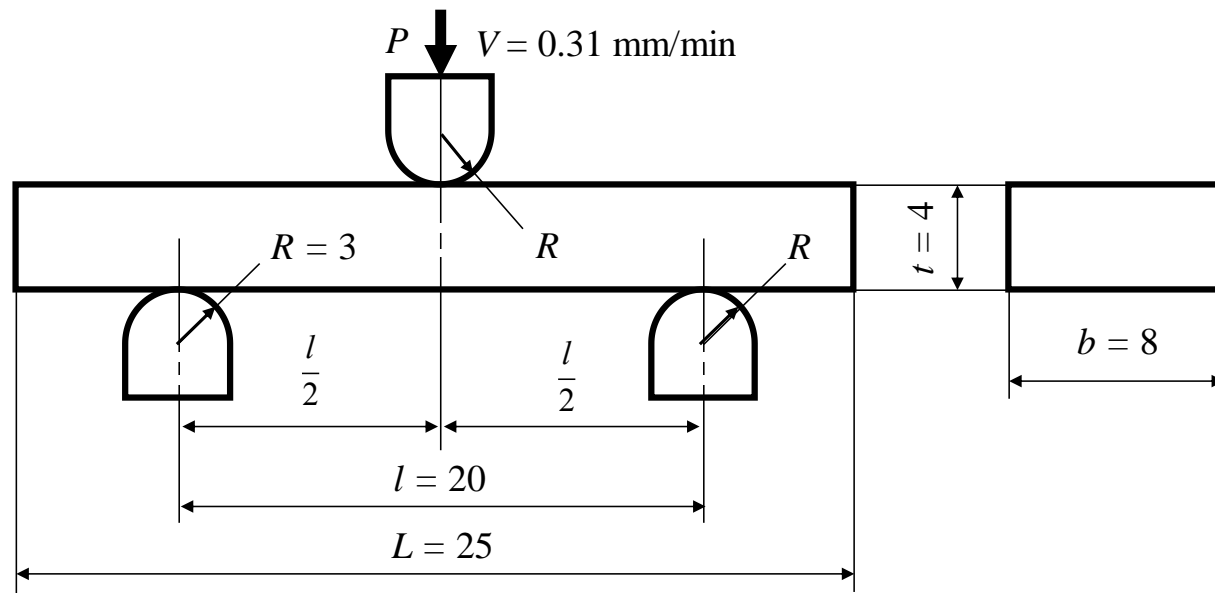


100穴加工後のコーナ部付近

- エンドミル加工時と同様にすくい面上に大きな剥離領域
- 底刃逃げ面側のコーティングは残存し，稜線部に鋭利刃
- 連続切削のドリル加工でも同様の剥離による効果を確認

(3) 抗折力試験による仕上げ面品質の評価

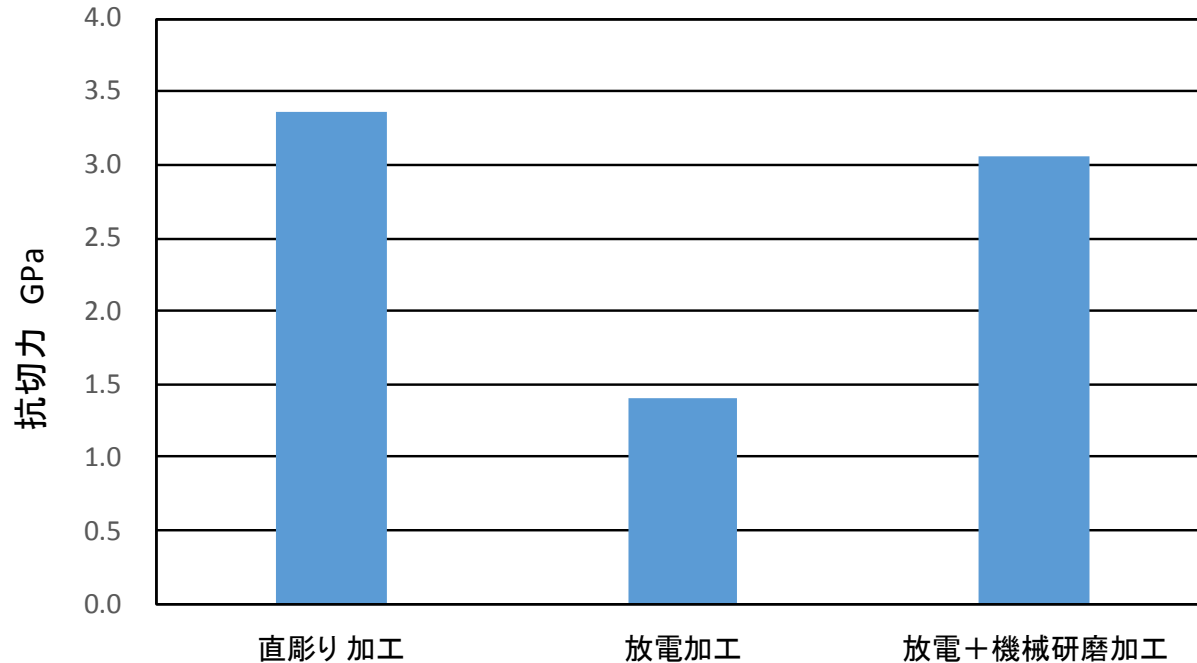
直彫り加工による仕上げ面の品質評価として、抗切力試験を実施



抗切力試験模式図

- 試験片下面を直彫り加工，放電加工，放電加工 + 機械研磨で仕上げて比較
- 下面以外は同一条件で研削仕上げ
- 同条件下で5回の試験結果を平均

(3) 抗折力試験による仕上げ面品質の評価



抗切力試験結果

- 直彫り加工, 放電+機械研磨, 放電加工の順に高い抗切力
- 直彫り加工により, 良好な機械的特性を有する仕上げ面が得られる

本研究成果により、以下のような効果が期待できる。

- ダイヤモンドコーテッド超硬工具による超硬合金の直彫り加工において、ダイヤモンドコーティングのみを切削に関与させる条件設定により、実用的な工具寿命を得ることができ、超硬金型製造プロセスの簡略化に対し貢献できる。
- コーティング剥離による切削性能が向上する現象は断続切削のエンドミル加工でも、連続切削でのドリル加工でも同様に得られ、本現象の積極的利用により安価な直彫り加工が可能になる。
- ダイヤモンドコーテッド超硬工具の刃先のコーティング処理を施すことで、切削加工中に生じるコーティング剥離による切削性能の向上を意図的に発現させることができ、より高性能な直彫り加工用工具の開発が可能になる。
- 直彫り加工により得られる仕上げ面は、放電加工面や、放電加工面に研磨処理を施した仕上げ面より良好な品質が得られ、良好な金型製造プロセスの提案が可能になる。

平成30年3月，5月に学内，学外の関連研究者を交えた成果報告会を開催した。研究成果と今後の検討課題等について意見交換をした。報告会で以下のような意見が挙がった。

- 本事業で明らかにしている切削機構は，工具母材をコーティングからなる工具刃先のホルダとして活用するものであり，新たな工具設計の指針として興味深い。
- 超硬金型の普及により，日本の得意とする成形加工技術の根幹からの底上げが期待できる。その点でも本事業の成果は意義深い。
- 今後，刃先処理方法について，より発展的な開発に期待したい。



1. 近藤淳行, 岡田将人, 渡邊英人, 三浦拓也, 大津雅亮, ダイヤモンドコーテッド超硬工具による超硬合金の直彫り加工における仕上げ面評価, 2017年度精密工学会北陸信越支部学術講演会講演論文集, pp. 1-2(電子データ), 2017.
2. Masato Okada, Reiji Suzuki, Atsuyuki Kondo, Hidehito Watanabe, Takuya Miura, Masaaki Otsu, Evaluation of finished surface of cemented carbide by direct cutting using diamond-coated carbide end mill, Procedia CIRP, Accepted.

※いずれも本事業の成果が含まれていることを明記.



本研究は,

**公益財団法人 J K A 平成28年度
機械工業振興補助事業 研究補助**

を受けて実施いたしました。関係各位に深謝致します。