

難削材のエンドミル切削に関する研究

Study on Endmill Cutting of Difficult-to-Cut Materials

焼入鋼のエアブロー圧による影響

Study on the Influence of Air Blow Pressure on Hardened Steel

佐藤崇弘

Takahiro Sato

金型等に用いられるダイス鋼のエンドミル切削は、エアブローによる加工が一般的に行われる。そのときのエアブロー圧力は、各現場によってまちまちである。そこで、エアブロー圧と工具摩耗の関係について 2 種類の工具コーティングと被削材を用いて評価実験を行った。その結果、被削材によってエアブロー圧の影響が異なることがわかった。

As for the end mill cutting of die steel used for the metal molds etc., the processing by air blow is generally cutting. The air blow pressure at that time is differs according to each company. Therefore, the experiment was performed using two kinds of coatings and work materials to investigate the relationship between the air blow pressure and the tool wear. As a result, it has been found that the influence of the air blow pressure is different according to the work material.

1. はじめに

近年プレス製品の高強度化、高精度化に伴い、金型の焼入れ後の高精度加工が求められている。しかし、焼入鋼は硬度が高いために切削加工が困難なことから、材料、工具等さまざまな研究が実施されている¹⁾²⁾。特に冷間工具鋼である SKD11 は、焼入れ後の硬度が HRC60 程度と非常に高くなることから、問題となることが多い。SKD11 の焼入鋼の切削加工は、1 次炭化物により工具が摩耗することで短寿命であるが知られている³⁾。金型のエンドミル加工の場合、熱衝撃の影響を加味してエアブローを用いることが多い。

そこで、焼入鋼である SKD11 と SKD11 相当改良材(以下 改良材)におけるエアブロー圧の関係について、および焼入鋼用の TiSiN と TiAlN のコーティング工具について比較実験を行った。

2. 実験方法

2.1 実験装置

実験で使用した装置を表 1 に示す。実験では、工具

表 1 使用機器

使用機器	メーカー	型式
マシニングセンター	(株)オークマ	MC-4VA
マイクロスコープ	(株)オムロン	VC4500
レーザー顕微鏡	(株)キーエンス	VK9500
サーモグラフィ	(株)日本アビオニクス	TVS700

摩耗の測定と工具表面温度の測定を行った。実験装置外観を図 1 に示す。

2.2 被削材

実験に用いた被削材は、図 2 の組織写真に示すように、型材の基礎特性を形成する 1 次炭化物が多く存在している SKD11、被削性向上のために 1 次炭化物を減らし、さらに微細化し、自己潤滑性を持たせた合金設計となっている改良材の 2 種類を用いた。硬度は、両材料とも HRC59 であった。

2.3 工具

実験に用いた工具は、TiSiN と TiAlN のコーテッド超硬とし、写真と工具摩耗測定箇所は図 3 に示す。

2.4 エアブロー吹き出し位置

エアブローの吹き出し位置は、図 4 に示すとおり、

工具から 15 mm 離れた位置から工具と被削材の境界に噴出す配置とした。なおノズルの内径は 3 mm のものを用いた。

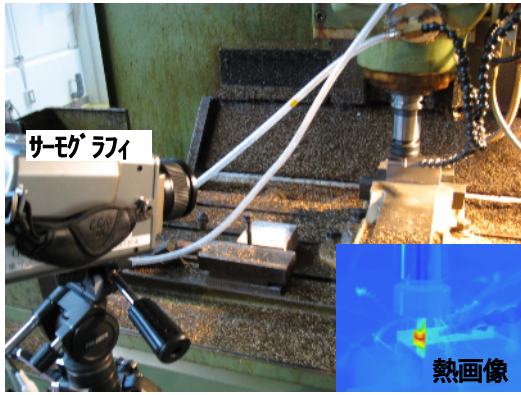
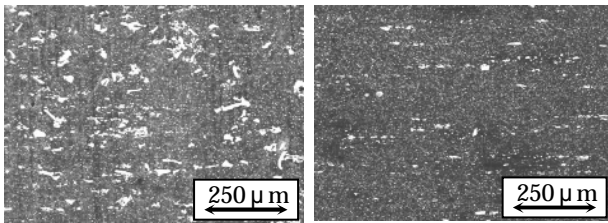
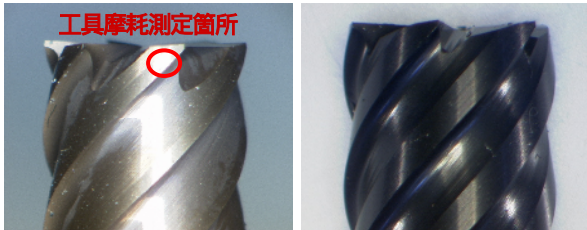


図1 実験装置概観



(a) SKD11 (b) SLD-MAGIC

図2 焼入鋼の組織写真



(a) TiSiN コーテッド 超硬 (b) TiAlN コーテッド 超硬

図3 工具写真

2.5 切削条件

実験に用いた切削条件を表2に示す。なお一般的な推奨条件は、汎用条件 $V=60.3$ m/min、 $f=0.06$ mm/刃、高速条件 $V=150.8$ m/min、 $f=0.042$ mm/刃となっている。

実験した項目は、次の3項目とした。

- 2 種類のエアブロー圧における工具の摩耗と温度。
- 2 種類の被削材における工具の摩耗と温度。
- 2 種類のコーティングにおける工具の摩耗と温度。

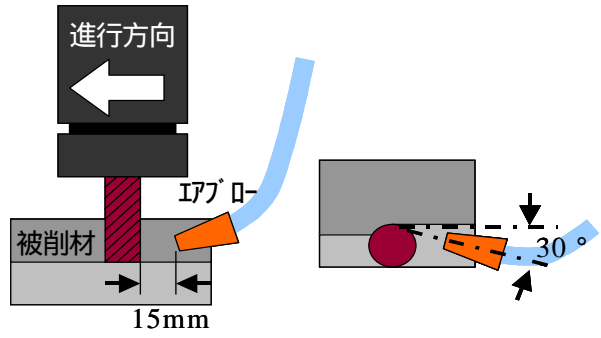


図4 エアブロー吹き出し位置

表2 切削条件

切削方法	側面切削
切削方向	ダウンカット
加工雰囲気	エアブロー (0.3MPa, 0.6MPa)
切削速度	100 m/min
半径方向切込み	0.249 mm
軸方向切込み	7 mm
一刃当たりの送り量	0.05 mm
工具突出し量	25 mm
工具系	8 mm

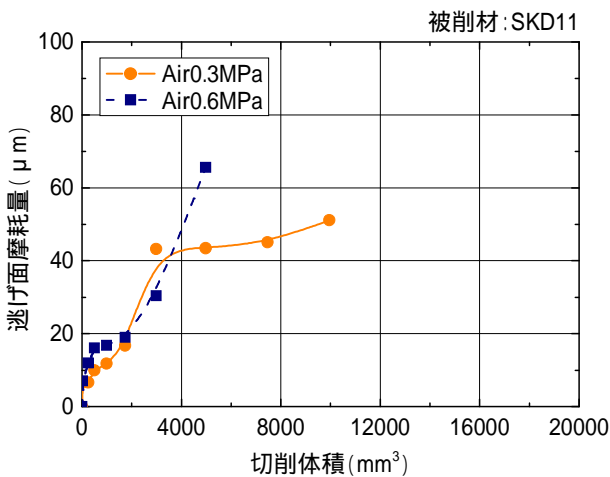
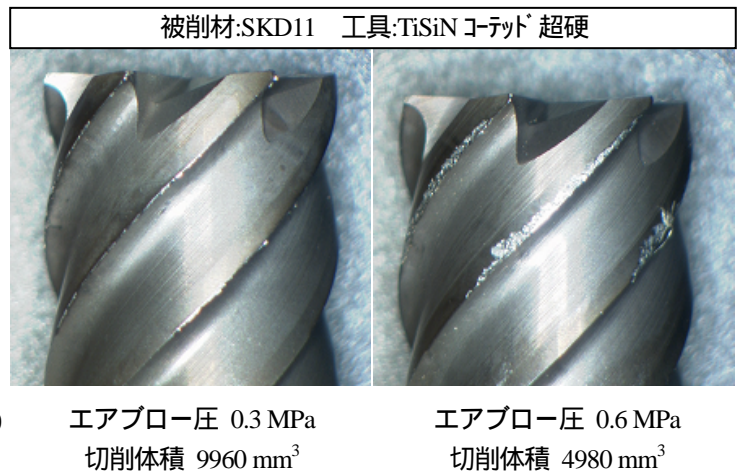


図5 SKD11 のエアブロー圧の違いと工具摩耗の関係



エアブロー圧 0.3 MPa

切削体積 9960 mm³

エアブロー圧 0.6 MPa

切削体積 4980 mm³

3. 実験結果

3.1 工具摩耗

被削材を SKD11 とした場合のエアブロー圧の違いと工具摩耗の関係について図5に示す。この図より、エアブロー圧が高圧 (0.6 MPa) になると工具摩耗が進

行し、低圧 (0.3 MPa) になると工具摩耗が抑制されていることがわかる。工具写真から、高圧になるとコーティングの剥がれが確認でき、低圧では定常摩耗が進んでいることがわかる。

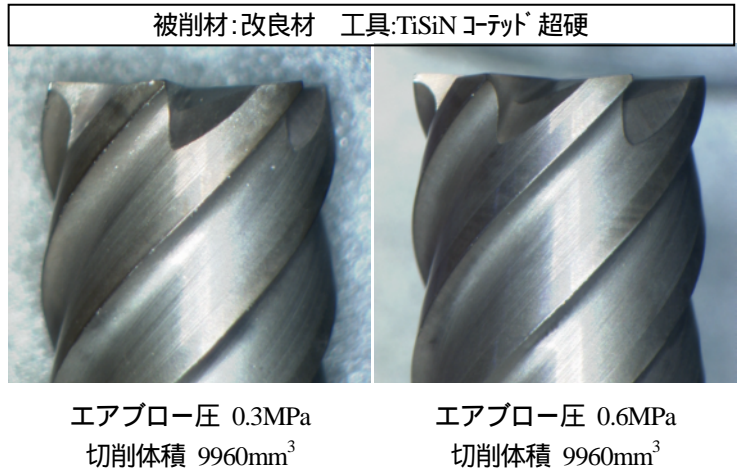
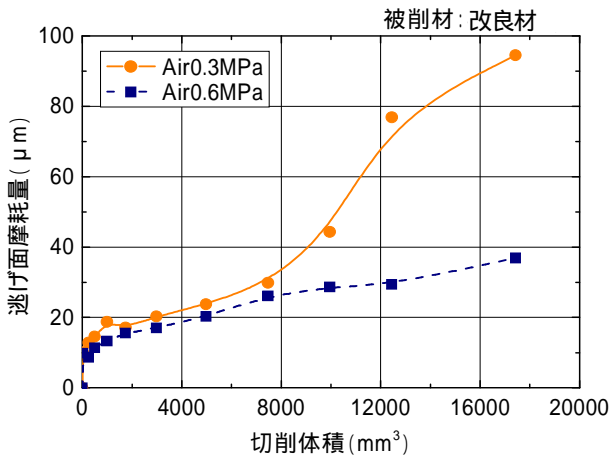


図6 改良材のエアブロー圧の違いと工具摩耗の関係

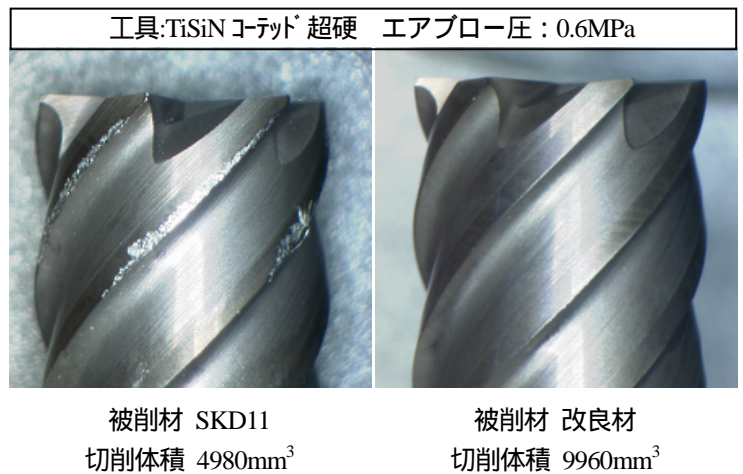
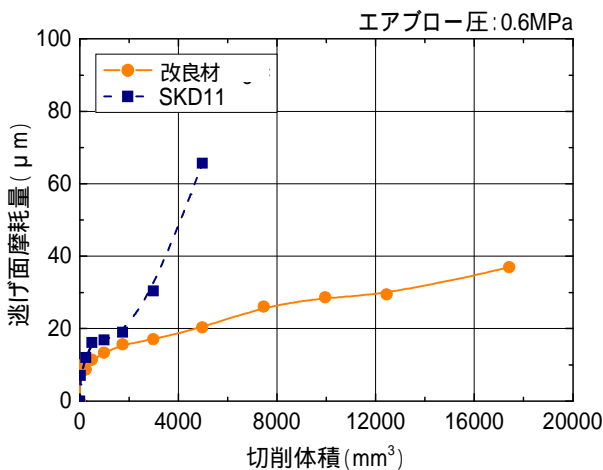


図7 被削材の違いと工具摩耗の関係

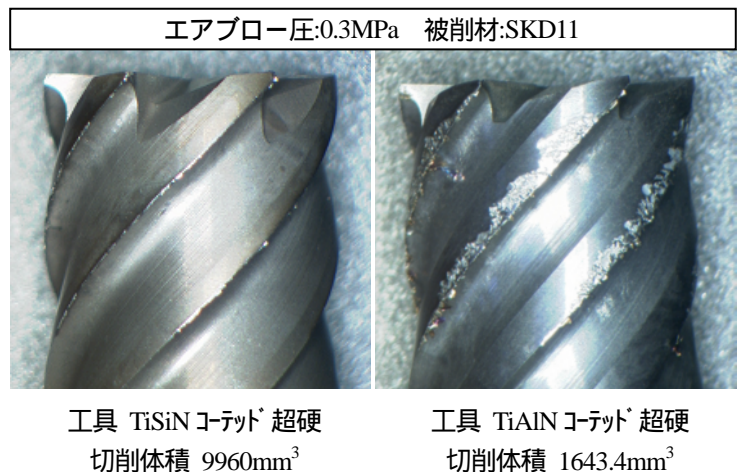
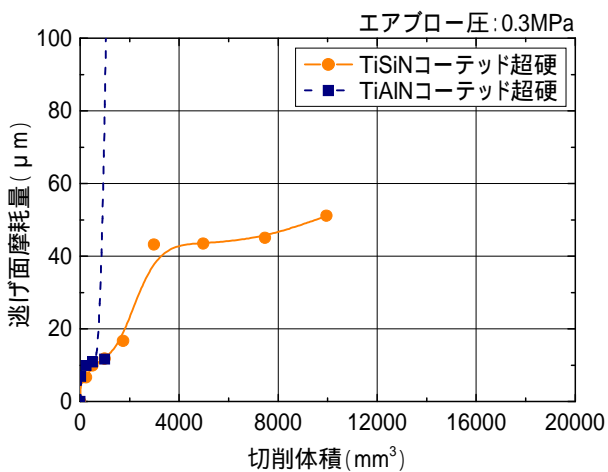


図8 工具のコーティングの違いと工具摩耗の関係

被削材を改良材とした場合のエアブロー圧の違いと工具摩耗の関係について図6に示す。この図より、低圧(0.3MPa)になると工具摩耗が進行し、高圧(0.6MPa)になると工具摩耗が抑制されていることがわかる。工具写真では、ほとんど違いが見受けられない。

エアブロー圧を0.6MPaとした場合の被削材の違いと工具摩耗の関係について図7に示す。この図より初期摩耗時は、両被削材とも同様に摩耗が進行しているが、切削体積が2000mm³を超えるとSKD11の方が急激に摩耗が進行している。写真を見ると、コーティングの剥がれが発生していることがわかる。

被削材をSKD11とした場合の工具のコーティングの違いと工具摩耗の関係について図8に示す。この図より初期摩耗時は、どちらの工具も同様に摩耗が進行し

ているが、切削体積が1000mm³を超えるとTiAlNの方が急激に摩耗が進行している。写真を見ると、コーティングの剥がれが発生していることがわかる。

3.2 工具表面温度

サーモビューワーを用いて、切削中の工具表面温度を測定した。工具自体の熱放射率については、熱電対

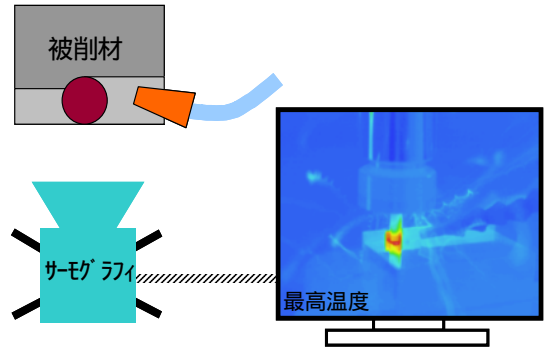


図9 サーモビューワーによる測定方法

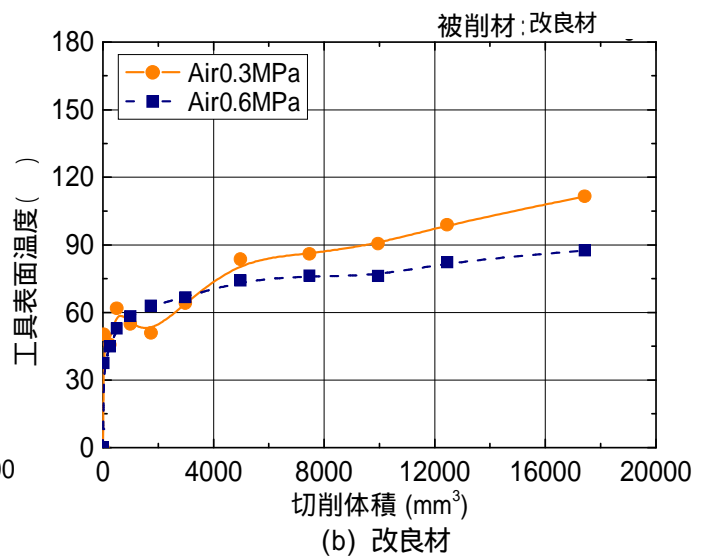
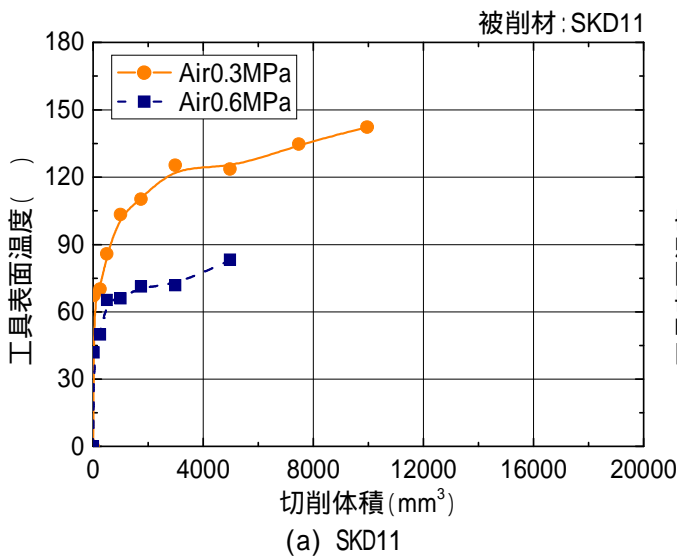


図10 エアブロー圧の違いと工具表面温度の関係

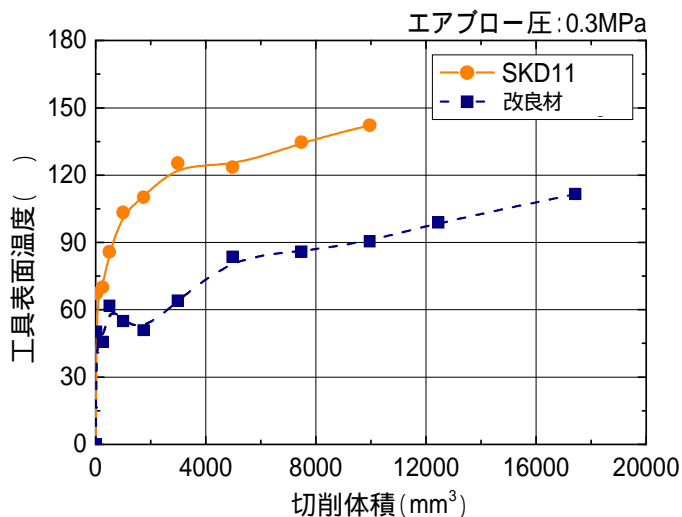


図11 被削材と工具表面温度の関係

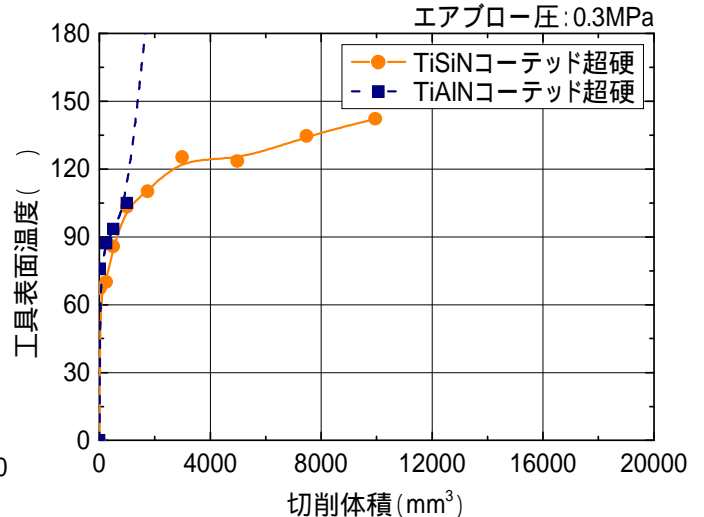


図12 工具の違いと工具表面温度の関係

を用いて補正した。ただし、回転スピードが速いため、実際の温度と測定温度は異なるため、相対的に評価した。また測定した箇所は、図9に示すように切削点とは逆の場所をサーモグラフィにて観察し撮影した箇所の最大温度を工具表面温度とした。

エアブロー圧の違いと工具表面温度の関係について被削材をSKD11とした場合を図10(a)に、改良材とした場合を図10(b)に示す。図10(a)より、SKD11の場合はエアブロー圧が0.3MPaだと切削温度が上昇しやすく、切削体積が4000mm³の場合0.6MPaとの差は、1/3程度もあることから、エアブロー圧によってかなりの冷却効果があることがわかる。図10(b)より、改良材の場合はエアブロー圧の違いによる工具表面温度の差は小さいが、SKD11の場合と同様、エアブロー圧が大きいほうが工具の冷却効果が高いことがわかる。

エアブロー圧を0.3MPaとした場合の被削材と工具表面温度の関係について図11に示す。図より、工具表面温度はSKD11よりも改良材の方が50程度低いことがわかる。

エアブローを0.3MPaとした場合の工具の違いと工具表面温度の関係について図12に示す。図より、両工具とも切削体積が1000mm³程度までは大きな違いは見受けられないが、その後TiAlNの方が急激に温度上昇していることがわかる。

4. 考察

4.1 被削材の違いについて

被削材の違いについて着目すると改良材は、図2に示した組織写真からわかるように、工具摩耗の要因となるであろう高硬度な一次炭化物の粒径が小さく、少ないことがわかる。よって、一次炭化物が工具と接触する機会が少なく、さらに自己潤滑性を持たせた合金設計となっていることから、工具と被削材間の摩擦抵抗が低減できたため、工具寿命が伸びたと考えられる。

逆にSKD11の方は、30μm程度の一次炭化物が多く分布していることがわかる。よって、SKD11は改良材と比べて一次炭化物と多く接触するため、工具摩耗の進行が早くなり、早期に工具寿命に至ったと考えられ

る。

被削材間で違いが出たことは、図11の工具表面温度からも推測できるように、SKD11の方が切削温度が上昇しているため、工具摩耗が進行した原因になったと考えられる。

4.2 エアブロー圧の影響について

エアブロー圧と工具摩耗の関係について着目すると、図5、図6からSKD11と改良材は逆の現象が現れている。SKD11は、エアブロー圧が高い方が摩耗の進行は早く、改良材の場合、低い方が摩耗の進行が早いことがわかる。これは、図10のエアブロー圧の違いと工具表面温度の関係から、高圧の場合SKD11はもともと大きく温度上昇した工具を80付近まで急冷するのに対し、改良材は元々大きく温度上昇していない工具を冷却するため熱衝撃の影響が少なかったと考えられる。低圧の場合、SKD11は冷却効果が低いので熱衝撃の影響が少なく、工具摩耗が高圧に比べ伸び、改良材の場合は、元々熱衝撃の影響が少ないので、冷却効果が低い低圧の方が工具摩耗が促進したと考えられる。

5. おわりに

本報告では、冷間工具鋼であるSKD11とSKD11相当改良材の切削性について、工具冷却性の視点からエンドミル切削を行うことでエアブロー圧と工具摩耗、工具表面温度の関係を調査し、考察を行った。その結果、以下のことが確認できた。

エアブロー圧の影響は、SKD11は低圧の方が工具摩耗の進行速度が遅く、SKD11相当改良材は高圧の方が工具摩耗の進行速度が遅いことがわかった。

被削材の違いは、SKD11よりもSKD11相当改良材の方が、切削温度が低いことから被削性が良好であった

工具コーティングの違いは、TiAlNコーテッド超硬よりもTiSiNコーテッド超硬の方が長寿命であることがわかった。

謝 辞

本研究は、財団法人日本自転車振興会から競輪の収益の一部である自転車等機械工業振興事業の補助を受けた設備を利用して研究をしました。

文 献

- 1)久保田,小松原他;新冷間ダイス鋼 SLD-MAGIC™ の開発,日立金属技報,21,p.45-52(2005)
- 2)石川,井上;切削工具用超高硬度 TiSiN 系コーティング材料の開発,日立金属技報,21,p59-64(2005)
- 3)中川,廣垣他;金型用焼入れ鋼のエンドミル加工に関する研究,精密工学会誌,67,p834-839(2001)