

金型用焼入れ鋼の切削加工に関する研究

市来浩一^{*}，岩本竜一^{**}

Machinability of Annealed Cold Work Tool Steel

Koichi ICHIKI and Ryuichi IWAMOTO

本県の金属製品製造業においては製造メーカーとの距離的観点から部品製造より金型関連分野での参入の機会があると考えられる。そこで、金型に使用される冷間ダイス鋼を焼入れ後に研削加工でなく、切削加工で効率的に加工できる条件及び県内企業に広く普及している小型のマシニングセンターにも適用可能な加工条件を調べるため、正面フライス加工試験を行った。その結果、工具材種ではTiN・AlNコーテッドセラミック工具、切削速度では100m/min付近、送り速度では0.1～0.15mm/toothでの切削が最適な条件となった。また、エンドミルを使用して傾斜面加工試験を行った結果、この加工条件が県内企業の加工機にも適用可能と考えられる。

Keyword：フライス加工，焼入れ鋼，ダイス鋼，エンドミル加工

1. 緒言

本県の金属製品製造業においては距離的な制限から製造メーカーに直接部品を供給することは難しいが、県内中小企業は、微細小物部品の精密加工を得意とし技術レベルも高いことから、金型関連分野では参入の機会がある。しかし、金型の納期は非常に短く、参入するにはその要求に応えなければならない。その納期短縮の一つの方法として加工法を変えるということが挙げられる。金型に用いられる焼入れ鋼は当然のことながら高硬度であるため、仕上げ加工には研削加工が用いられることが主であるが、加工時間が長い加工法である。そこで、その研削加工の工程をフライス加工やエンドミル加工等の切削加工で行うことで加工時間の短縮が図られることになる。しかしながら、高硬度の焼入れ鋼の切削は加工条件が過酷で工具寿命が短い等の問題が多い。また、工作機械としては県内企業にあまり普及していない中・大型の機械剛性の高い工作機械を必要とする場合が多くなる。

そこで本研究では、県内企業に広く普及している小型のマシニングセンターで金型用焼入れ鋼を高効率な切削加工が可能となる切削条件の最適化を目的に研究を行った。

2. 試験方法

2.1 被削材

被削材は、金型材料に使用される冷間ダイス鋼（日立金属（株）製，SLD-MAGIC）を使用した。この材料に熱処理を行い、その硬度はHRC60であった。また、被削材の大きさ

は100×60×60mmで、熱処理後の被削材表面の黒皮は研削加工にて除去した。

2.2 切削条件

加工機は三井精機工業（株）製立型マシニングセンター（VS-5A）を使用した。主軸電動機出力は5.5kW、主軸テーパはBT50である。被削材は、このマシニングセンターのテーブルのX軸と被削材の長手方向を一致させて切削動力計（日本キスラー 9257B）上に固定した。固定方法を図1に示す。図に示すとおり、被削材には切削動力計に固定するための切り欠きを設けてある。

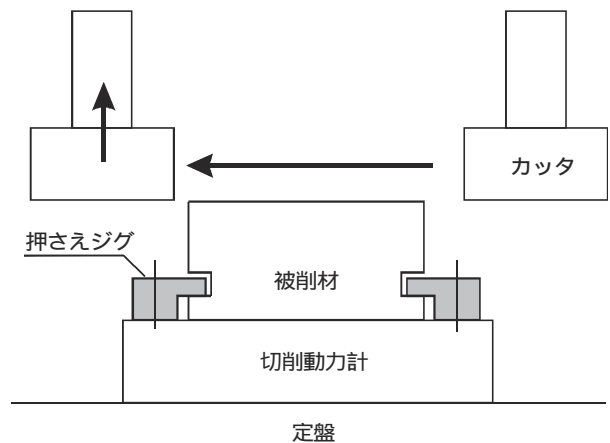


図1 被削材の固定方法

工具はカッターの1箇所のみに取り付け、カッター中心と被削材中心を一致させて正面フライス切削し、加工中の切削抵抗を測定した。その切削条件を表1に示す。工具の損傷はデジタルマイクロスコープ（キーエンスVH-8000）で工具のすくい面及び逃げ面の観察を行い、工具逃げ面の摩耗幅を適宜測定した。工具寿命の判定基準は仕上げ加工に用いるため逃げ面摩耗幅が0.2mmに達した時とした。

^{*}機械技術部
^{**}企画情報部

表1 切削条件

工具材種	超硬 P30 種,超硬 K10 種,TiAlN コーテッド 超硬 Ti(C,N)コーテッド 超硬, TiN・AlNコーテッド 超硬 TiN・AlNコーテッド セラミック
カッタ イケダロイ DNF 80 R	カッタ直径80mm,シャンク直径32mmストレット, アキシャルキ -5°, ラジアルキ -5°, インゲージ角 約52°, アプローチ角20°
切削速度	50, 100, 150m/min
送り速度	0.1, 0.15, 0.2mm/tooth
切り込み	0.1mm
その他	センターカット, 乾式

3. 結果および考察

3.1 工具材種

工具材種としては、表1に示すように6種類の工具を用いて正面フライス加工試験を行った。切削速度は100m/min、送り速度は0.1mm/minである。図2に実切削距離（以降Lと称す）72m（加工としては1パス）時の工具観察結果を示す。

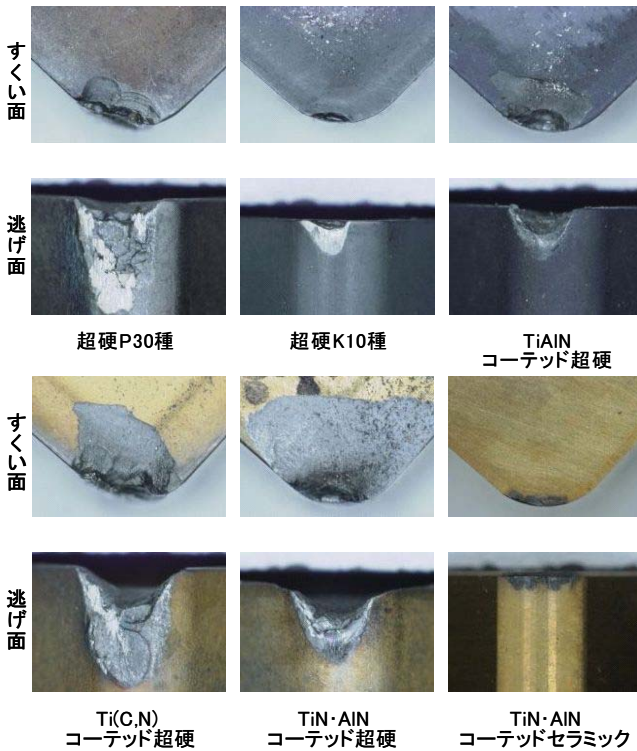


図2 工具観察結果 (L=72m時)

図2から、TiN・AlNコーテッドセラミック工具を除く超硬工具の寿命は極端に短かった。これら超硬工具の逃げ面およびすくい面には、著しい摩耗または欠損が認められ、切削開始直後に加工不能となった。セラミック工具と同じTiN・AlNコーティングが施された超硬工具についても、切削開始直後に加工不能となっていることから、このように

工具損傷の著しく異なる原因がコーティング皮膜の性能とは考えにくい結果となった。工具観察結果より、TiN・AlNコーテッドセラミック工具に次いで、超硬K10種がやや摩耗が小さい傾向が見られた。加工試験を行った工具の中でTiN・AlNコーテッドセラミック工具のみチャンファ付きで、他は溝形のチップブレード付き形状であったため、刃先強度の低下が工具損傷の著しく異なる原因とも考えられる。そこで、チップブレード無しの超硬K10種についても実験を行ったが、逆に工具摩耗が著しく進行する結果となった。この工具観察結果を図3に示す。

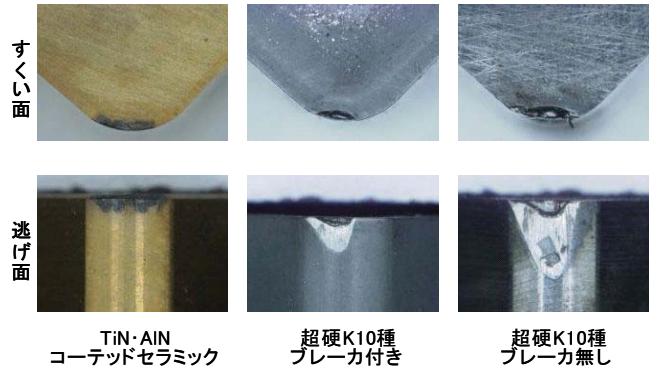


図3 ブレード有無による工具観察結果 (L=72m時)

次に、逃げ面摩耗幅の測定結果を図4に示す。TiN・AlNコーテッドセラミック工具以外の工具は、切削開始直後に工具寿命の一般的な目安となる逃げ面摩耗幅0.2mmを大きく超えており、当該被削材の加工には不利である。一方、TiN・AlNコーテッドセラミック工具にはチップングも認められず、逃げ面摩耗幅も小さい。以上の実験結果から、フライス加工のような断続切削にも関わらず、超硬工具よりセラミック工具が優れた加工性能を示した。

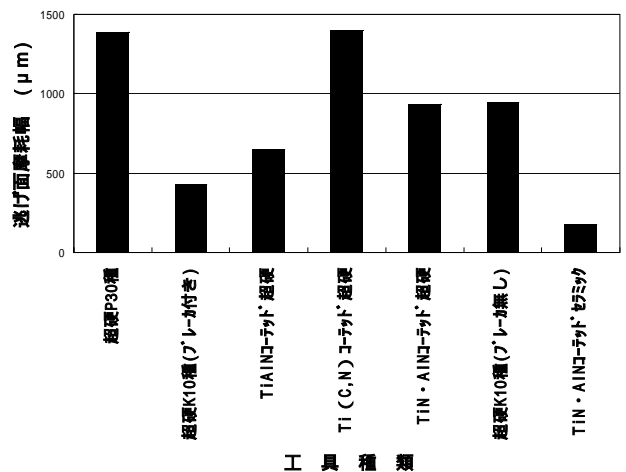


図4 各種工具の逃げ面摩耗幅 (L=72m時)

図5に切削開始直後からL=72m時までの間の切削抵抗の関係を示す。ここでの切削抵抗値はエアカット時を除いた平均値である。いずれの工具においても、切削抵抗は背分

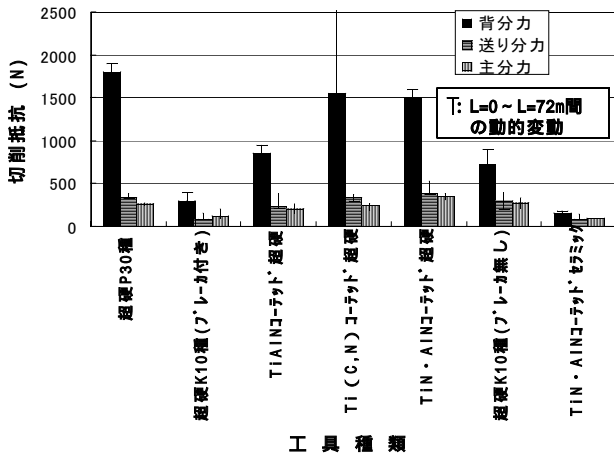


図5 各種工具の切削抵抗 (L=72m時)

力が一番大きな値を示し、次いで送り分力と主分力の順に小さくなった。また、超硬K10種(プレーカ付き)及びTiN・AlNコーテッドセラミック工具以外の背分力は500Nを大きく超え、一部には1500Nを超える場合もあり、切削抵抗が非常に大きいことが分かる。図中に切削開始直後からL=72m時までの間の切削抵抗の動的変動を示したが、これも非常に大きい。本来、焼入れ焼戻し鋼の切削は、仕上げ加工を念頭に置かねばならないが、このような大きな切削抵抗及び変動は製品の变形等を引き起こす原因となる可能性があり、工具寿命の延長が図れたとしても避けるべき加工法であると考えられる。

一方、超硬K10種(プレーカ付き)及びTiN・AlNコーテッドセラミック工具の切削抵抗は非常に小さく、特に、TiN・AlNコーテッドセラミック工具については切削抵抗の動的変動も小さい。超硬K10種(プレーカ付き)工具は、切削開始直後は問題ないものの、L=72m近傍で工具摩耗が原因と推定される切削抵抗の変化と仕上げ面のむしれが発生した。この時点で工具寿命を迎えたと判断できる。

以上の加工試験結果から、TiN・AlNコーテッドセラミック工具以外の工具はL=72m(加工としては1パス)で工具寿命を迎えたことから、TiN・AlNコーテッドセラミック工具についてのみ継続して切削実験を行った。

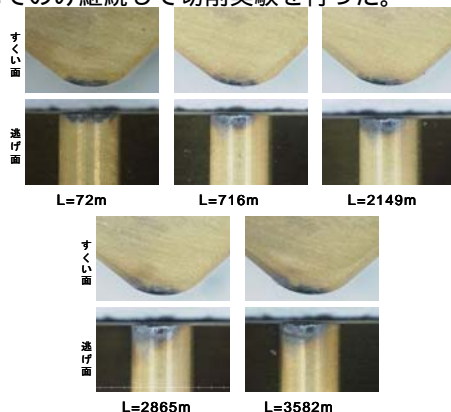


図6 各実切削距離による工具観察

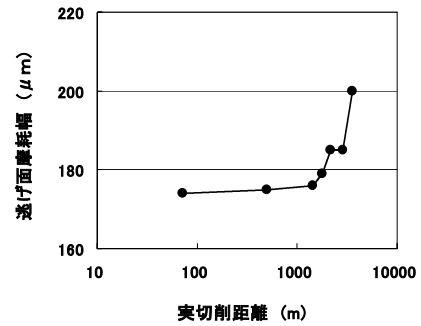


図7 実切削距離による逃げ面摩耗幅の変化

図6に工具摩耗観察結果を示す。また、図7に実切削距離と逃げ面摩耗幅の関係を示す。逃げ面摩耗幅は、切削開始直後に170 μ m程度まで急激に増加するが、その後摩耗の進行速度は緩やかで、チッピング等も認められない。この結果、TiN・AlNコーテッドセラミック工具の寿命は、他の超硬工具に比べて非常に長く、L=3582m付近で逃げ面摩耗幅が工具寿命判定基準を超えた。但し、仕上げ面には若干むしれ等は認められるものの、図6から示されるように工具としてはまだ切削可能な状態であった。

図8に実切削距離と切削抵抗の関係を示す。切削開始直後の背分力は180N程度でほとんど変化しないが、L=1000m付近から増加し、工具寿命判定基準を超えた付近で400N弱程度となった。一方、送り分力と背分力はいずれも100N程度の値を示し、切削開始直後から工具寿命までの間、ほとんど変化しなかった。これらの値は、図5に示した切削開始直後の他の超硬工具の切削抵抗値よりも遙かに小さい。TiN・AlNコーテッドセラミック工具は、実切削距離が伸びても安定した加工が可能であった。

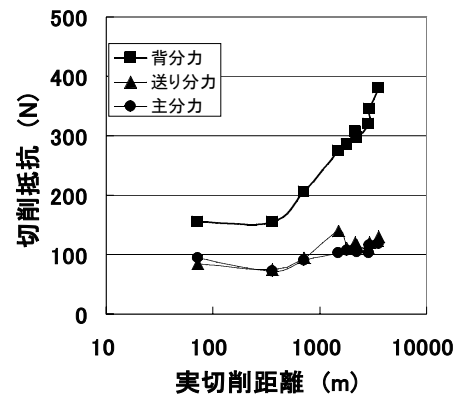


図8 実切削距離による切削抵抗の変化

TiN・AlNコーテッドセラミック工具にて、工具寿命になるまで加工試験を行った結果、L=3582m付近で寿命を迎えることとなり、焼入れ材の正面フライス加工に非常に適した工具材種であることがわかった。

3.2 切削速度

最適な切削速度を求めるため、50, 100, 150m/minに切削速度を変えて、工具材種TiN・AlNコーテッドセラミック

工具，送り速度0.1mm/tooth，切り込み0.1mmにて正面フライス加工試験を行った。それらの切削速度における逃げ面摩耗幅の変化を図9に示す。

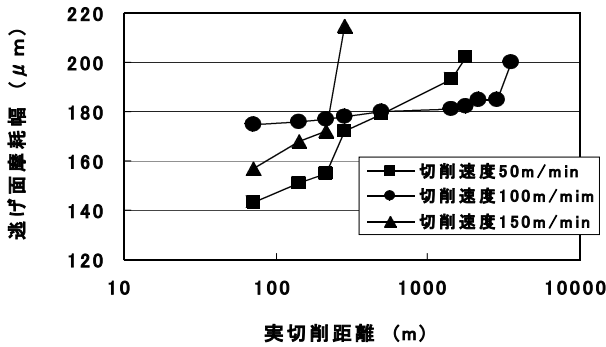


図9 各切削速度による逃げ面摩耗幅の変化

工具寿命としては，100m/minにてL=3582m付近で一番長く，次に50m/minにてL=1790m付近，150m/minにてL=280m付近という結果であった。今回の正面フライス加工試験の結果からは，適した切削速度は100m/min付近に存在することがわかった。

3.3 送り速度

送り速度を0.1，0.15，0.2mm/toothに変えて加工試験を行った。それらの送り速度における切削距離に対する逃げ面摩耗幅の変化を図10に示す。

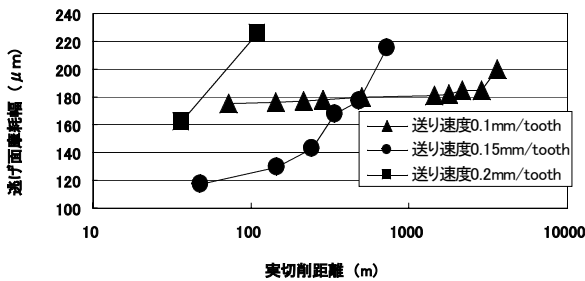


図10 各送り速度による逃げ面摩耗幅の変化

工具寿命は0.2，0.15，0.1mm/toothの順に長くなり，特に，送り速度0.1mm/toothの場合にて工具寿命が長く，切削条件として適していることがわかる。ただし，送り速度0.15mm/toothの切削条件も工具寿命としてはL=725m付近と長く，工具摩耗状況もチップング等の損傷も見られなかったことから，効率性から考慮すると切削現場では使用できうる条件と考えられる。よって，送り速度に関しては，0.1～0.15mm/toothが切削条件として最適である。また，表面粗さもRaにて2～3 μmであり，良好な仕上げ面を得られた。

3.4 傾斜面加工

3.4.1 傾斜面加工方法

正面フライス加工試験は，当センターが保有するマシニ

ングセンターで行った。主軸がBT50と剛性が高いと思われるため，前述した加工試験結果を県内企業に広く普及している小型のマシニングセンター(BT30)でそのまま使えるかどうかを確認するためにエンドミルによる傾斜面加工試験を行った。

傾斜面加工試験の被削材及び材料の固定方法は正面フライス加工試験と同様である。加工機は2台のマシニングセンターを使用し，1台は当センター保有の正面フライス加工試験に使用した加工機(主軸電動機出力:5.5kW，主軸ターパ:BT50)，もう1台は他機関保有の主軸電動機出力:7.5kW，主軸ターパ:BT40のマシニングセンターである。

工具はTiSiNコーテッド超硬エンドミル(8mm，6枚刃)を使用して，図11に示すように，あらかじめエンドミ

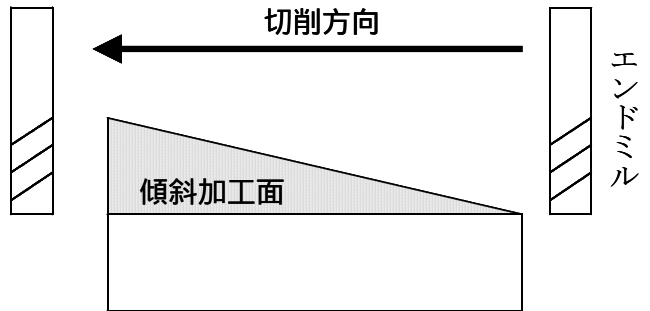
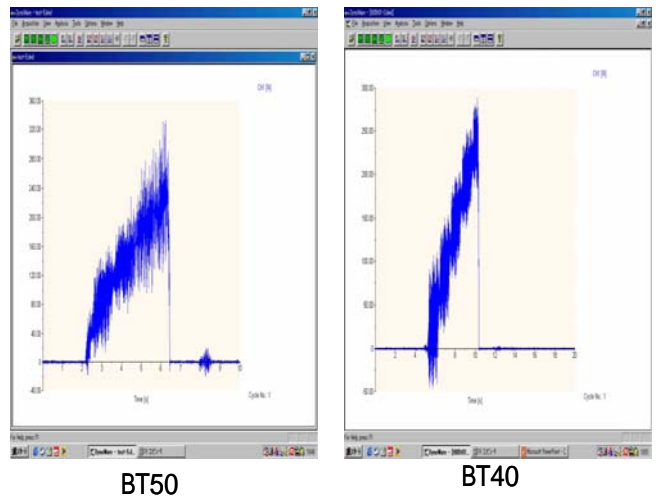


図11 傾斜面加工試験方法

ルの送り方向に傾斜を付け，軸方向の切り込みが変化するようにした。その他の切削条件は，切削速度は100m/min，送り速度は0.05mm/tooth，径方向切り込みは0.1mmで行った。傾斜面観察及び切削抵抗の変化によってびびり現象の有無を試験結果とした。

3.4.2 傾斜面加工結果

図12に傾斜面加工を行った時に測定した切削抵抗の主成分の測定データを示す。



BT50

BT40

図12 主成分の測定データ

測定データの波形からは，BT50の波形が加工途中から乱

れており、びびりが発生したと推測が出来る。しかし、BT40の波形は加工開始から終了まで乱れもなく順調な加工であったと考えられる。実際、加工音も変化もなく良好な加工状況であった。

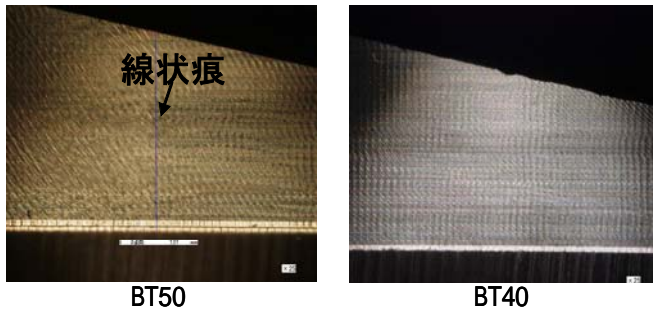


図13 傾斜加工面の状態

図13に傾斜加工試験後の表面状態を示す。BT50で加工を行った表面の途中には、びびりが始まったと思われる箇所に線状痕があり、その後の面はびびり痕が見受けられた。しかし、BT40で加工を行った表面は、変化が無く良好な加工であったことが確認できた。

以上の傾斜面加工試験結果から、当初、主軸がBT50のマシニングセンターがBT40より剛性が高いと考えていたが、

BT40の方が良好な加工結果となった。これは、当センターのマシニングセンターが購入から20年以上たっており、主軸や送り軸の消耗等で機械剛性が落ちたと思われるが原因は特定できなかった。逆に、主軸がBT40より剛性が低いということは主軸がBT30のマシニングセンターに剛性が近いと推測されるので、今回の正面フライス加工試験の結果は県内企業が保有している加工機にも、そのまま適用可能と考えられる。

4. 結 言

焼入れ鋼(冷間ダイス鋼:HRC60)を被削材として正面フライス加工及び傾斜面加工試験を行い、以下のことがわかった。

- (1)正面フライス加工試験では、TiN・AlNコーテッドセラミック工具を使用し、切削速度が100m/min付近、送り速度0.1~0.15mm/toothでの切削が最適であることがわかった。
- (2)エンドミルを使用しての傾斜面加工試験の結果、正面フライス加工試験において、当センターのマシニングセンターで行った加工条件でも県内企業の加工機に適用可能と考えられる。