

(3) 高硬度焼き入れ鋼のエンドミル加工における加工精度と加工面特性の研究

機械部 後藤幸臣

1 はじめに

プレス金型や精密機械部品等に多用される焼き入れ鋼等の加工においては、従来までは研削加工や放電加工の領域とされていた。これらの加工法は精度的にはともかく能率面では切削加工に劣るのが一般的である。

最近加工機の剛性、精度が向上するとともに、高硬度材加工用と称した新種の超硬材エンドミルが相次いで発売されたり、高硬度材切削用マシニングセンタが開発されるなど、加工効率の向上、行程削減をめざした高硬度材のエンドミル加工が注目されつつある。しかしいまだその加工技術は確立されておらず種々の問題がある。

ここに高硬度焼き入れ鋼のエンドミル加工における加工精度や工具寿命、表面特性等を検討し、その問題点やどこまで切削加工が研削加工に代替できるかを検討する。

前年度はマシニングセンタによるエンドミルの輪郭加工における切り込み量の影響について、市販高硬度用工具3種の実験結果について報告¹⁾をした。今回は工具の送り量の影響及び切削方式が加工精度に及ぼす影響について報告する。

2 実験方法

試験機：東芝機械(株)製マシニングセンタVMC-45
被削材：SKD11（化学成分はJIS規格値内）焼き入れ焼き戻し後硬度HRC63

使用工具：市販高硬度材切削用超硬エンドミル3種類（No.1～No.3）直径10mm、刃数2～6枚、工具突き出し量23～34mm（工具の形状による）

切削条件：表1に示す。

表1 切削条件

切削速度	20m/min (637r.p.m.)
送り速度	80, 120, 160, 200m/min
軸方向 切り込み深さ	15mm
半径方向切り込み深さ 送り量の影響 切削方式の影響	0.07, 0.15mm 0.02, 0.05, 0.10, 0.15mm
切削方式	乾式、ダウンカット、アップカット

切削試験と測定項目

工具突き出し量が各工具において最短になるようにチャックに取り付け、被削材板厚19mmのものを上面から軸方向に深さ15mm（1.5D）に取る段削り加工とする。

図1に切削時の工具と被削材の位置関係を示す。

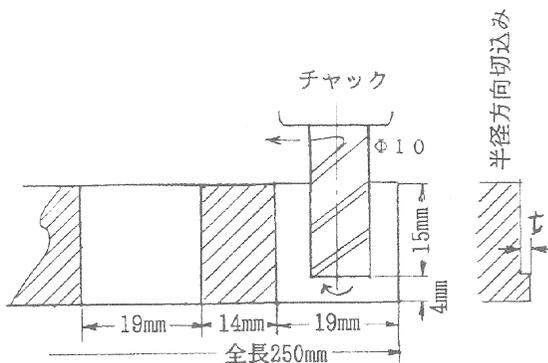


図1 切削試験方法

各切削条件の工具長は工具の摩耗の影響が出ないように、また、諸項目の測定には必要充分になるよう19mmとした。

切削試験終了後、被削材を取り付けたまま、主軸に取り付けた電気マイクロメータを上下させて軸方向の形状をトレースすると、その断面形状は例えば図2のようになる。削り残した基準面との差で実切削量を測定し、設定切り込み量から実切削量を引いた値を寸法精度（最大切り残し量）として評価、断面のうねり幅を形状精度として評価した。

また、うねりの中の細かいピッチの凹凸を別に表面粗さ計にて軸方向、送り方向の仕上げ面粗さとして測定するとともに、工具顕微鏡にて仕上げ面の観察、撮影、また、切削屑の観察を行った。

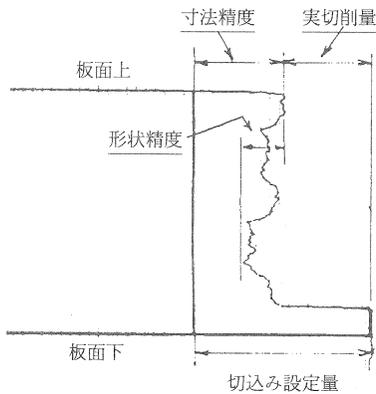


図2 加工精度の評価

3 実験結果と考察

3.1 送り速度と加工精度について

図3、図4にエンドミルの送り速度を80、120、160、200m/minの4段階に変化させたときの形状精度及び寸法精度を示す。エンドミルの半径方向切り込み0.07mmの場合と0.15mmの場合である。

形状精度については、各工具ともに送りが早くなるとともに幾分形状精度も悪化するが、その量は余り大きくはなく最大で5 μ m程度である。切り込みが小さいほどその影響も少ない。切り込み量が0.07mmから0.15mmと80 μ m増えることにより形状精度は12 μ m程度悪化しており、このことは各工具、各送りについても同程度となっている。これに対して工具間における形状精度の差は15 μ m程度みられ、送り速度の影響よりも切り込みの差が大きく、また、それより工具間の差が一番大きくなっている。

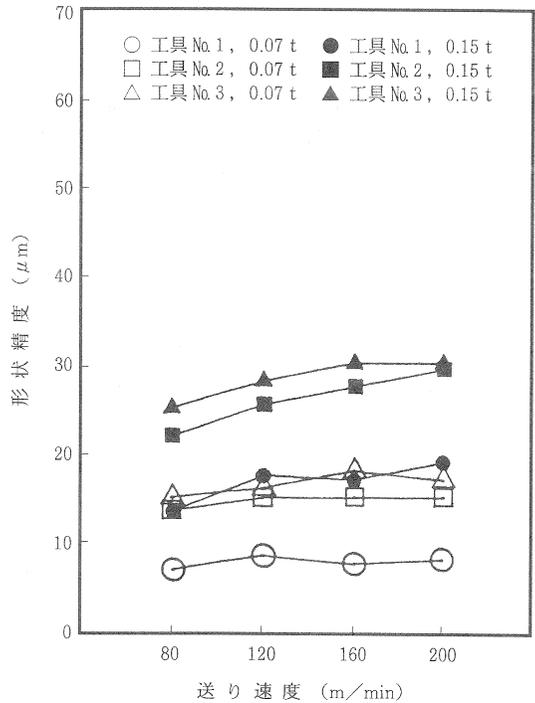


図3 送り速度の影響-形状精度

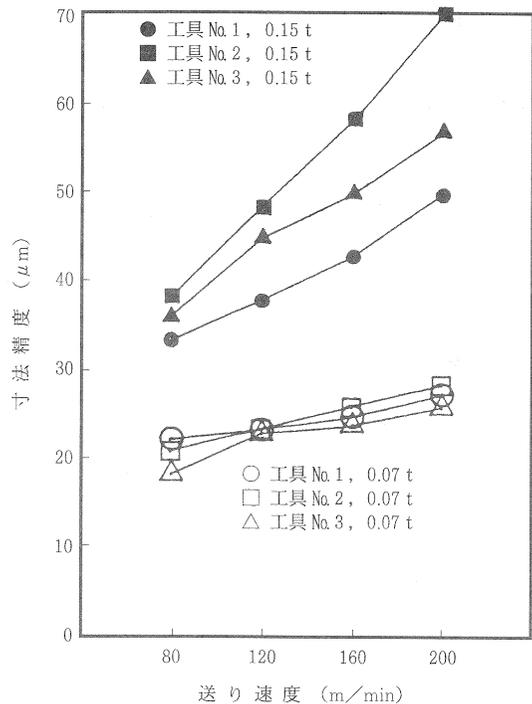


図4 送り速度の影響-寸法精度

寸法精度においては、切り込み0.07mmの場合では送りの影響は大きくはなく、工具間の差もほとんどみられないが、切り込みが0.15mmと大きくなると急に送りの差が大きく現れ、送りの増加とともに15~30 μ mに達する。工具間の差も5~20 μ mと大きくなる。

形状精度は、工具の刃数やねじれ角等の工具の形状に、また、寸法精度は工具の剛性の大小によるたわみ量に大きく影響されると考えられるが、2つの図から、各工具の形状と剛性、あるいは切削抵抗にかなりの差があることが考えられる。

また、送りの影響は、形状精度には余り影響を与えず、寸法精度に大きく現れ、切り込みが大きいほどその影響も大きくなるのがわかる。

3.2 送り速度と表面粗さについて

図5、図6には、仕上げ面粗さに及ぼす送り速度の影響を軸方向粗さと送り方向粗さについて示す。

図5が軸方向粗さを示し、図6は送り方向粗さを示す。

軸方向粗さについては送りの影響は切り込みが0.07mmの場合も0.15mmの場合もあまり大きくはみら

れず0.5~1.0 μ m程度である。工具間の差は2~2.5 μ mとなり送りの影響よりも工具による影響の方が大きくなっている。

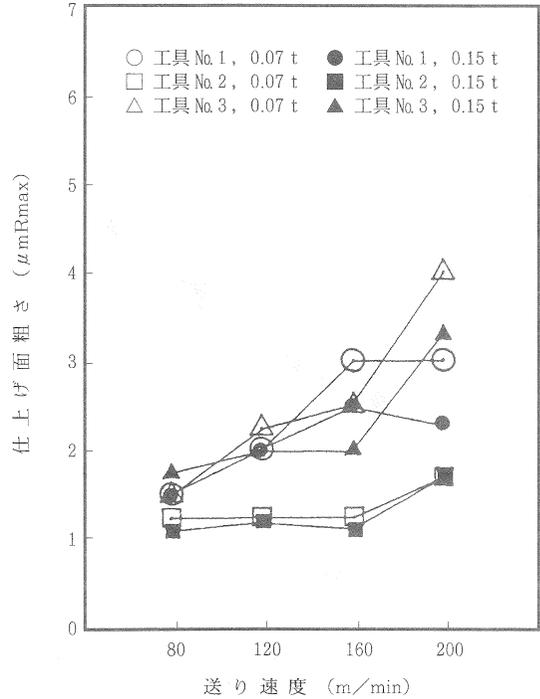


図6 送り速度の影響-送り方向粗さ

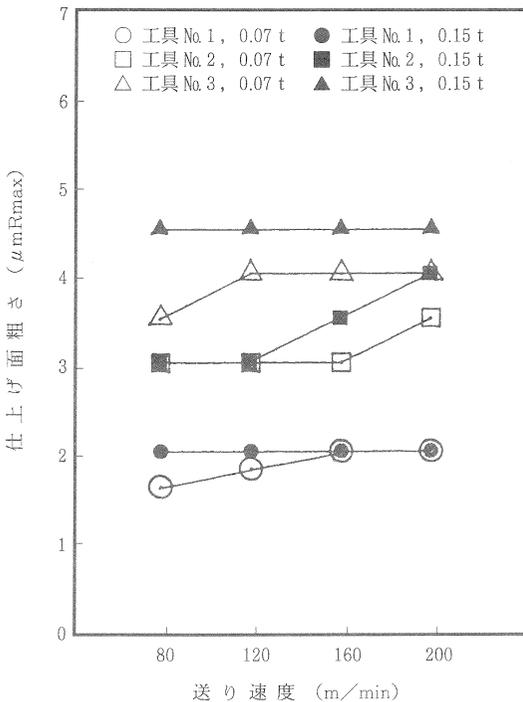


図5 送り速度の影響-軸方向粗さ

送り方向粗さになると、工具No.2では送りの影響をあまり受けないが、工具No.1と工具No.3ではかなり送りの影響が現れており3 μ m程度となる。全工具とも切り込みの大小による影響は少ない。工具間の差は送りが80mmと遅い場合は少ないが160、200mmと早くなるにつれて差が大きくなる。

仕上げ面粗さに及ぼす影響は軸方向粗さよりも送り方向粗さに大きく現れることがわかる。

3.3 切削方式と加工精度について

図7、図8にはダウンカットとアップercットの切削方式の違いによる形状精度と寸法精度を示す。切り込みを0.05、0.1、0.15、0.20mmの4段階について比較している。切削速度20m/minと、送り速度120mmは一定の場合を示す。

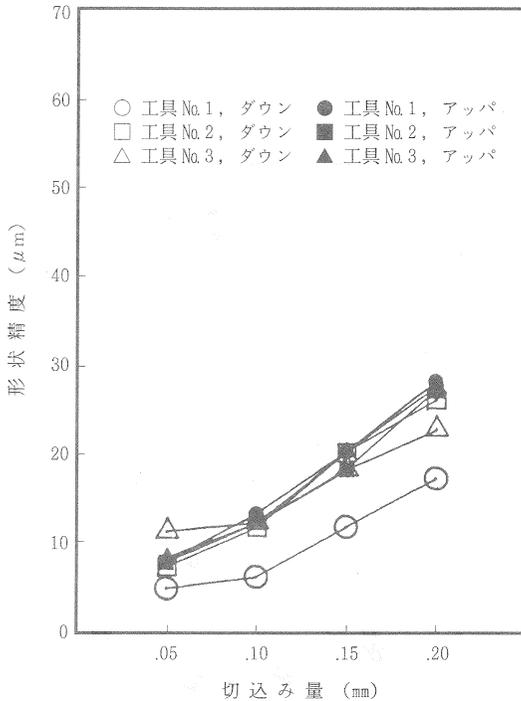


図7 切削方式の影響—形状精度

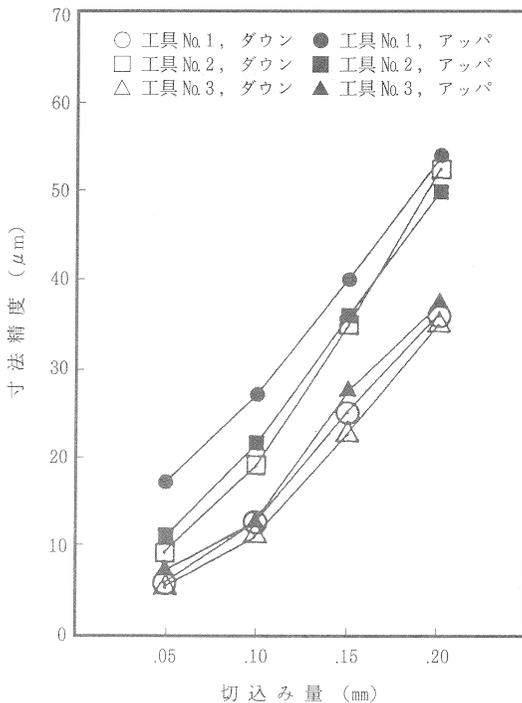


図8 切削方式の影響—寸法精度

形状精度については、工具No.1ではダウンカットの方がアップカットより7~8 μ mほど良好となっており、切削方式の違いが現れているが工具No.2、工具No.3についてはその違いはほとんどみられない。このことは切り込み量の大小に関係なく現れている。切り込み量の影響では、全工具において0.10mmまでの切り込みにおいては差は出ないが、0.15mm、0.2mmと切り込みが大きくなるとともに全工具同じように形状精度は10 μ m程度悪化している。

寸法精度においても工具No.1のみにおいてダウンカットとアップカットの差が現れており、工具No.2、No.3においてはさだかではない。全工具において切り込みが大きくなるにつれて急激に寸法精度は悪化しており、それは30~40 μ m程度と非常に大きくなっている。

切削方式の影響は形状精度よりも寸法精度に大きく現れ、切り込み量の影響も同様である。

以上送り速度の影響、切り込みの影響とともに形状精度よりも寸法精度により大きく影響することがわかる。それぞれが大きくなるにつれ切り残し量が大きくなるのである。

工具間の差も形状精度よりも寸法精度に大きくみられる。

3.4 切削方式と表面粗さについて

図9及び図10はそれぞれ切削方式の影響による軸方向粗さと送り方向粗さを示す。

軸方向粗さでは工具No.1と工具No.2においてはダウンカットとアップカットの差はどちらもいえないが、工具No.3においてははっきりとダウンカットの方が良くなっている。

切り込み量による影響は全工具ともみられない。工具間の差が大きくみられ3 μ m程度以上となっている。

送り方向粗さになると全工具ともにダウンカットよりアップカットの方が仕上げ面粗さは良好となっており、工具間の差は1 μ m以下と小さくなっている。やはり切り込みの影響はみられずいずれもアップカットでは2 μ m以下の良好な仕上げ面となっている。

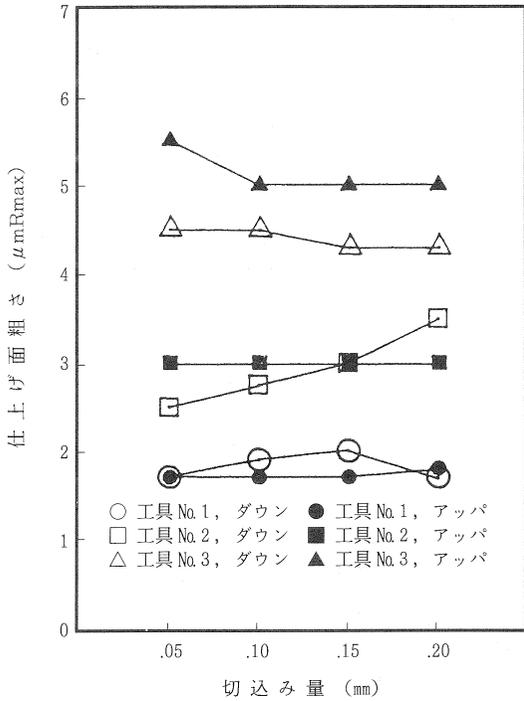


図9 切削方式の影響—軸方向粗さ

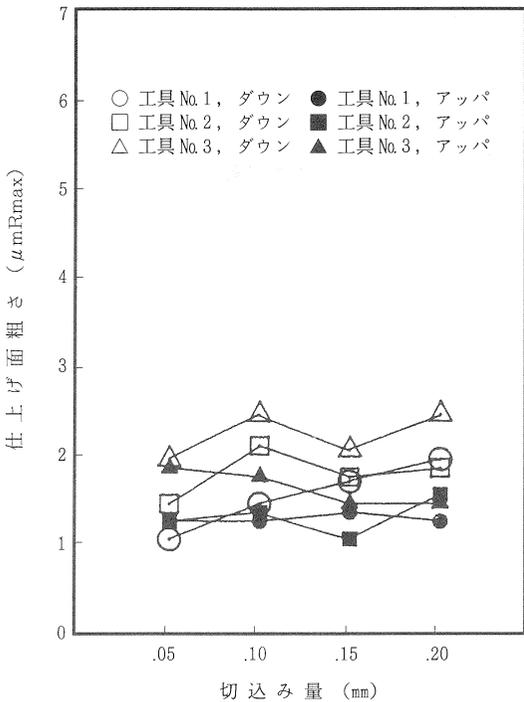


図10 切削方式の影響—送り方向粗さ

3.5 断面形状と粗さ曲線について

図11及び図12は各条件での切削試験終了時点で、主軸に取り付けた電気マイクロメータで仕上げ面をトレースしたときの断面形状を示す。全条件の中から代表的な条件のみをあげているが、数値的には同じ形状精度でも、その断面形状はそれぞれの工具の形状(刃数やねじれ角)、剛性等の違いによりそれぞれの特徴を示しているのがわかる。

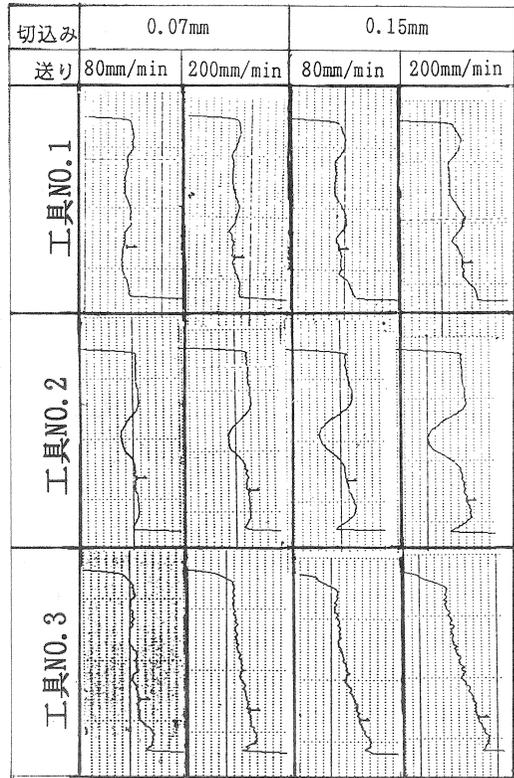


図11 送り速度と加工断面図

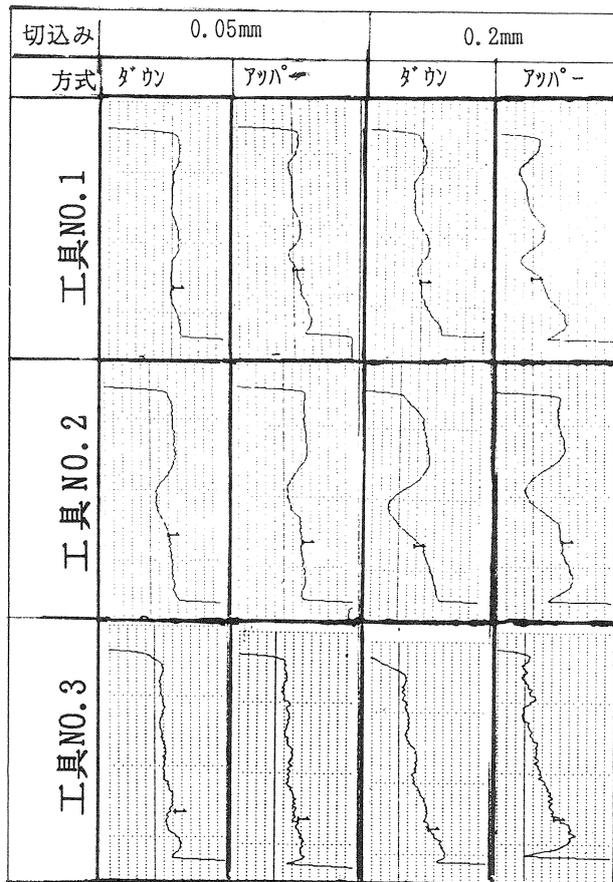


図12 切削方式と加工断面図

4 まとめ

以上、高硬度焼き入れ硬（SKD11材硬度HRC63）のマシニングセンタによるエンドミル加工における送り速度や切削方式の違いが加工精度、仕上げ面粗さに与える影響について、3種類の工具により行った実験の結果次のことが判明した。

(1) 形状精度は、送り速度、切削方式の影響は小さく、切り込みによる影響が大きく現れる。

(2) 寸法精度は送り速度の影響、切削方式の影響切り込みの影響ともに大きく現れ、切り込みが大きいほど、送りは早いほど、またダウンカットよりアップカットの方が値が大きくなる。

(3) 一般に形状精度より寸法精度の方が値は大きくなる。

(4) 軸方向粗さは送り速度、切削方式、切り込みの影響はともに小さく、各工具による差の方が大きく現れる。

(5) 送り方向粗さでは、切削方式、送り速度の影響がみられ、ダウンカットよりもアップカットの方が良好となる。また送り速度が早くなるほど悪化する。切り込み量の影響は小さい。工具間の差は送りが大きくなると現れる。

これまでの実験は、各切削条件が加工精度や仕上げ面に与える影響をより鮮明に把握するために、各条件で切削長19mmにおける1パスの切削における数値である。したがって加工精度、仕上げ面粗さの数値はかなり大きくなっているようであるが、今後はこれらの結果をふまえて工具寿命の問題、仕上げ加工法の検討を行っていききたい。

追記

本実験に使用したマシニングセンタは、日本自転車振興会の補助金を受けて設置したものである。

参考文献

- 1) 後藤幸臣：大分県工業試験場，平成3年度研究報告（1993），30