

特別研究

1 金属加工技術のハイテク化推進事業

(1) 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

要旨

マシニングセンタを用いて、超硬エンドミルによる高硬度焼き入れ鋼の輪郭加工を行い、工具の切削速度が被削材加工面の形状精度、寸法精度、仕上げ面粗さに及ぼす影響について検討した。工具速度が一定の場合、切削速度が形状精度に与える影響は少なく、寸法精度に影響を与え、切削速度が大きい方が寸法精度は良好となる。仕上げ面粗さは軸方向、送り方向粗さともに、100m/minまでは切削速度の影響は少ないが150m/minになると急激に悪化することが判明した。

1. 緒言

プレス金型や精密機械部品等に多用されるHRC55を越える高硬度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あるいは磨き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。これらの加工においてエンドミルによる切削加工が可能となれば能率の良さや設備の有効利用によるコストの低減などそのメリットは大きいものがある。

最近、マシニングセンタの普及や、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。

これまでマシニングセンタを用いてエンドミルによる輪郭加工における工具の切り込み量、送り量及び切削方式が加工精度に及ぼす影響について、市販高硬度用工具3種の実験結果について報告をした。今回は工具の切削速度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5種類

(NO1~NO3及びA,B) 直径10mm、刃数2~6枚、工具突き出し量2.3~3.4mm（工具の形状による）

切削条件：表1に示す。

切 削 速 度	20, 60, 100, 150m/min	
送 り 速 度	100mm/min	
切 り 込 み	軸 方 向	15mm
	半 径 方 向	0.05, 0.1mm
切 削 方 式	乾式, ダウンカット	

表1 切削条件

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。

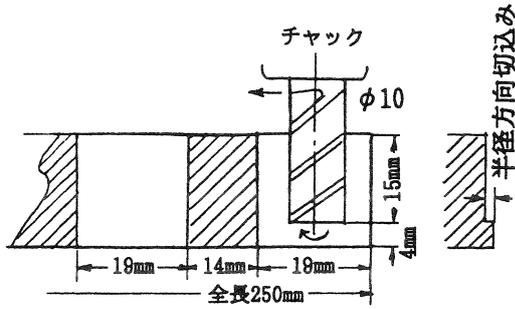


図1 切削試験方法

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。

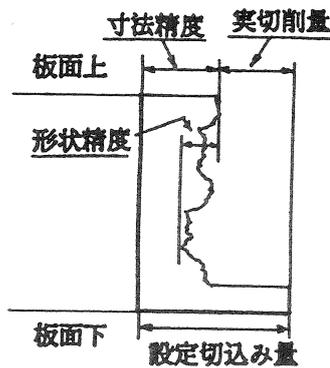


図2 加工精度の評価

3. 実験結果及び考察

3.1 切削速度と加工精度について

図3、図4にエンドミルの切削速度を20、60、100、150 m/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(t)0.05mmの場合と0.1mmの場合である。

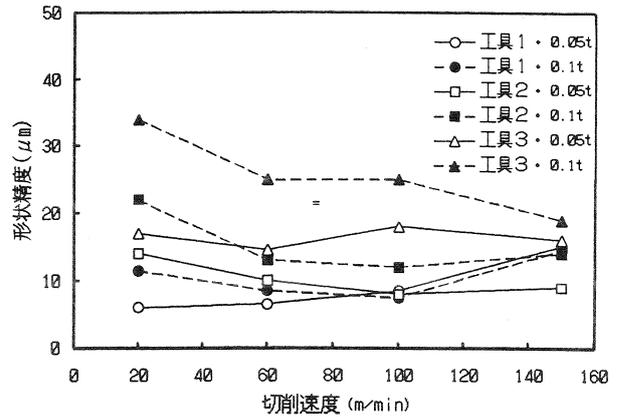


図3 切削速度と形状精度(1)

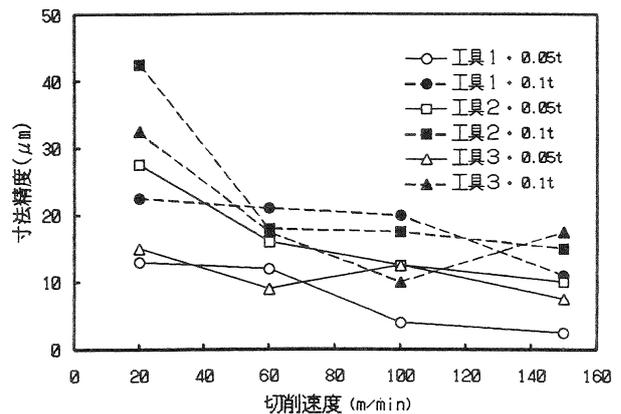


図4 切削速度と寸法精度(1)

形状精度については、半径方向切り込み0.05mmにおいては各工具、各切削速度により5~18 μ mとなっているが各工具においては切削速度が20~150m/minと変化してもあまりその速度の影響はみられない。各工具の切削速度の違いによる形状精度の差は4~6 μ mであるが工具間の差は8~12 μ mとなり工具による差の方が大きくなっている。また切り込みが0.1mmになると形状精度はそれぞれの工具において0.05mmよりは悪化しているとともに切削速度の影響が若干みられ、それは20m/minの場合が最も悪く60~150m/minと切削速度が大きくなっても形状精度はそれほど悪化はしない。これらのことは、0.05mmと切り込みが小さい場合は1刃当たりの送り量の影響が少ないが0.1mmになるとこの影響が出ると考えられる。切り込み0.1mmにおける工具3の形状精度がとくに悪くなっているのもこれが2枚刃で他の6枚刃の工具より1刃当たりの送り量が大きくなっているからとみられる。

寸法精度においては、それぞれの工具において切り込み0.05mmの場合も0.1mmの場合も切削速度の影響が若

干みられ、各工具ともに切削速度が20~150m/minと大きくなるにつれて寸法精度は逆によくなる傾向にある。特に20m/min~60m/min間の差が大きくなっており、それは切り込みが0.1mmと大きい方が顕著にみられる。回転数の増加により1刃当たりの切り込み量が小さくなることによる切削抵抗の減少により工具の撓みや逃げが

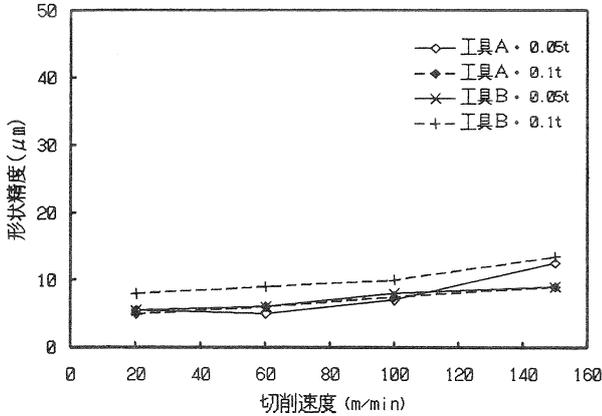


図5 切削速度と形状精度(2)

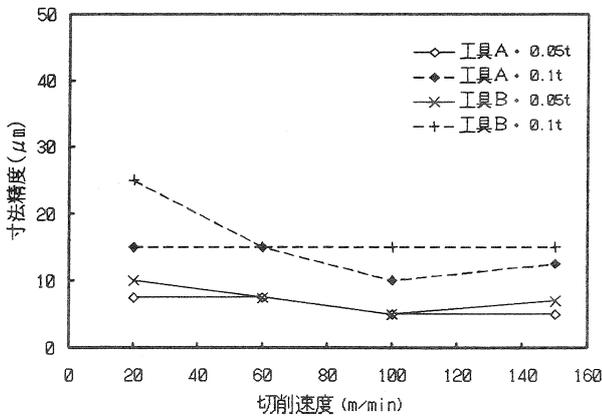


図6 切削速度と寸法精度(2)

少なくなるものと思われる。。また各工具ともにそれぞれ切り込み量が0.05mmより0.1mmと大きい方が寸法精度も悪くなる。切り込み量の影響は形状精度より寸法精度の方により大きく現れている。

形状精度、寸法精度からみて切削速度はかなり大きく設定しても、それは1刃当たりの送り量が小さくなることにより精度の悪化には直接つながらないことがわかるがこの場合は工具の磨耗の状態など工具寿命の観点からの検討が必要と思われる。

また図5及び図6は今回新しく実験を追加した工具A、Bの形状精度、寸法精度である。この工具も6枚刃のもので工具1と基本的に同じような設計となっているものであるが、それぞれにおいて形状精度、寸法精度とも工

具1と良く似た傾向を示している。

3. 2 切削速度と表面粗さについて

図7から図10には切削速度と仕上げ面粗さの関係を示す。図7、図9が工具の軸方向粗さ、図8、図10は工具の送り方向粗さを示す。

軸方向粗さについては、全体的には切削速度が60、100 m/minと大きくなるにつれて仕上げ面粗さも若干悪化していくとともに工具間の差も現れ、それは切削速度が大きくなるほど大きくなる。切削速度150m/minになると急激に悪くなり工具間の差も大きくなる。

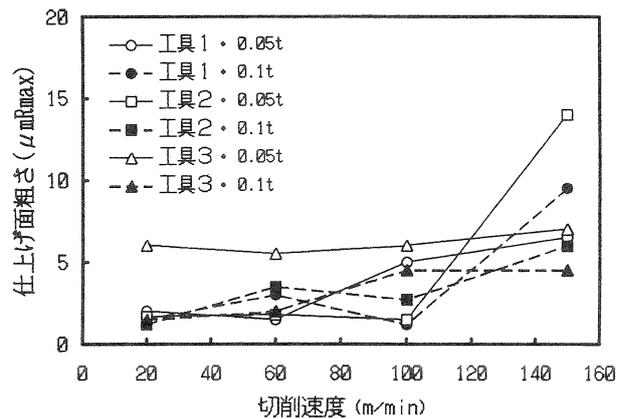


図7 切削速度と軸方向粗さ(1)

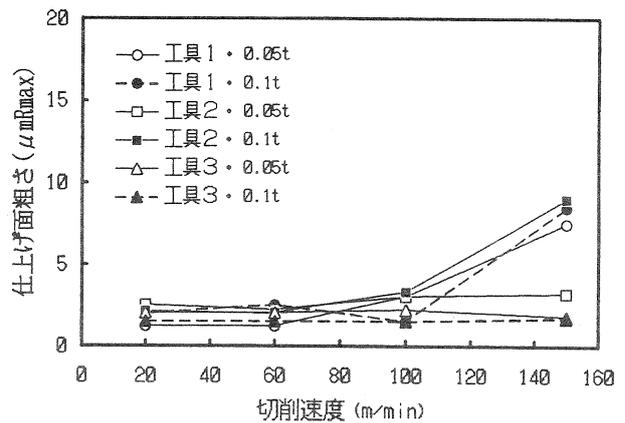


図8 切削速度と送り方向粗さ(1)

送り方向粗さにおいては、切削速度20m/min~100m/minまでは切削速度に関係なくおおよそ2~4 μm Rmaxと割合良好な面粗さで一定の値を示しているが、軸方向粗さと同じように切削速度が150m/minになると急に悪化しその値は10 μm Rmaxに達する。

また、軸方向粗さ、送り方向粗さともに切り込みが0.05mmの場合と0.1mmの場合の差は明らかには現れず、この範囲では切り込み量の影響はみられない。

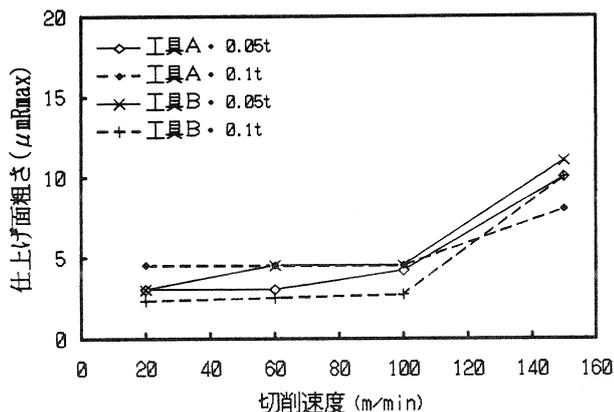


図9 切削速度と軸方向粗さ(2)

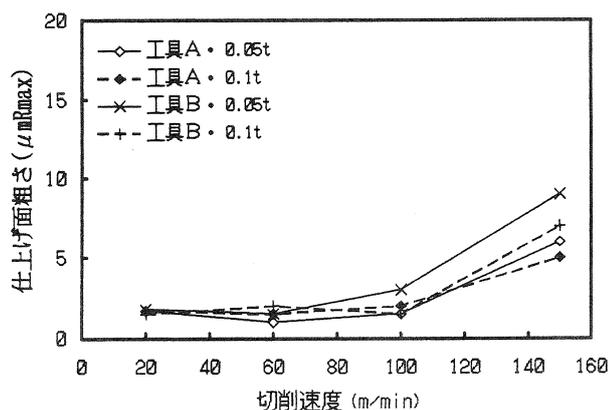


図10 切削速度と送り方向粗さ(2)

軸方向粗さ、送り方向粗さともに切削速度が150m/minと大きくなると急激に仕上げ面粗さは悪化しその値は10μmRmax前後となる。

一般的に軸方向粗さより送り方向粗さの方が工具間の差が少なく安定しておりその値も小さくなっている。これらのことは工具A、工具Bについてもいえる。

速度	工具1		工具2		工具3		工具A		工具B	
	0.05	0.1	0.05	0.1	0.05	0.1	0.05	0.1	0.05	0.1
20m/min										
60m/min										
100m/min										
150m/min										

図11 切削速度と加工断面図

3.3 切削速度と断面形状について

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。数値的には同じような形状精度を示すものでも、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。

3.4 切削速度と切削音、切削状態について

各工具各条件での切削状態について、切削音の耳での聞き取り、切り屑の状態を目視により観察した結果では、切削音については全般的に60,100m/minの切削速度で小さく安定したものであったが150m/minでは急激に高く大きくなった。また切り屑については全般的に20m/min~60,100m/minと切削速度が大きくなるにつれて針状から微粉状へと切り屑は小さくなる。

4. 結言

以上、高硬度焼き入れ鋼(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工具の切削速度の影響が加工精度、仕上げ面粗さに与える影響について、5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. 送り速度を一定とした場合、切削速度の影響は形状精度には影響が少なく寸法精度に現れる。寸法精度は切削速度が大きい方が良好となる。
2. 形状精度、寸法精度ともに切り込みが大きいほど悪化する
3. 仕上げ面粗さは軸方向、送り方向粗さともに切削速度100m/minまでは切削速度の影響は少ないが150m/minになると急激に悪化する。
4. 切り込み0.05mmと0.1mmでは仕上げ面粗さに差はみられない。

追記

本実験に使用したマシニングセンタは、日本自転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 同平成4年度研究報告(1994)11