

(9) 高硬度焼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

機械電子部 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入れ鋼の輪郭加工において、切削速度30m/min、切り込み0.2mm、送り0.03mm/刃の荒加工から、種々の条件で仕上げ加工を行い、形状精度、寸法精度、加工面粗さについて検討した結果、荒加工から仕上げ加工への移行については、切り込み量0で再切削を1回行うことで寸法精度は向上し、この回数が増えても同じであること、形状精度はあまり改善されないこと、仕上げ面粗さは軸方向より送り方向に改善が見られること、微小切り込みによるミクロンオーダーの寸法設定が可能であることなどが判明した。

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、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、工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超硬エンドミルによる輪郭加工における切り込み量、送り量及び切削方式や切削速度が加工精度に及ぼす影響について、市販高硬度用工具3～5種の実験結果について報告をした¹⁾。

今回は荒加工から仕上げ加工への移行時における加工精度について報告する。

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)

焼入れ焼戻し後硬度HRC63

使用工具：市販高硬度材切削用超硬エンドミル4種類
(No1～No2及びA、B)直径10mm、刃数6枚、工具突き出し量23～34mm(工具の形状による)

切削条件：試験No1として切削速度 $V=30\text{m}/\text{min}$ 、切り込み $t=0.2\text{mm}$ 、送り $s=0.03\text{mm}/\text{刃}$ (以下荒加工条件と称する)から仕上げ加工条件として送り量を $0.01\text{mm}/\text{刃}$ とし、エンドミルの半径方向切り込みを表1に示すように試験No2から試験No8まで変化させて各加工面の精度を検討する(以下切削加工条件は試験Noで示す)。

表1 切削条件

試験No	切削条件
1	$V=30\text{m}/\text{min}$ $t=0.2\text{mm}$ $S=0.03\text{mm}/\text{刃}$
2	$V=30\text{m}/\text{min}$ $t=0\text{mm}$ $S=0.01\text{mm}/\text{刃}$
3	試験No2 + $t=0\text{mm}$
4	試験No3 + $t=0\text{mm}$
5	試験No3 + $t=0.005\text{mm}$ + $t=0\text{mm}$
6	試験No5 + $t=0\text{mm}$
7	試験No3 + $t=0.01\text{mm}$ + $t=0\text{mm}$
8	試験No7 + $t=0\text{mm}$

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。

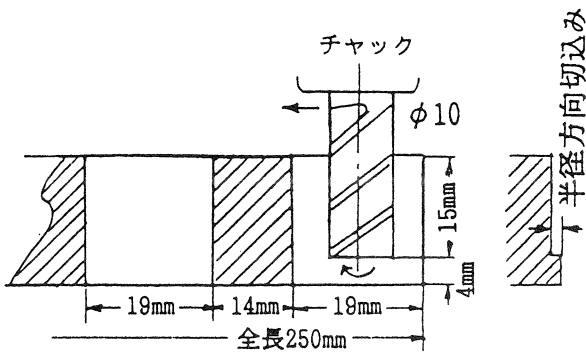


図1 切削試験方法

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凸凹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。

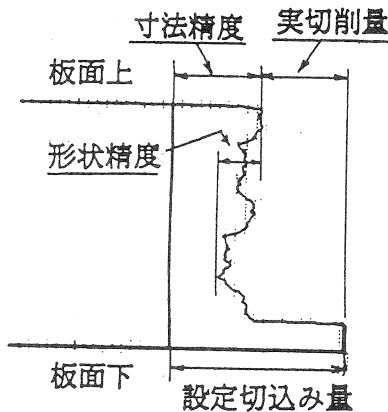


図2 加工精度の評価

3. 実験結果及び考察

3.1 切削条件と加工精度について

図3、図4に荒加工条件としての試験No1から仕上げ加工条件としてエンドミルの半径方向切り込みを種々

変化させた試験No2～No8における寸法精度及び軸方向形状精度を示す。

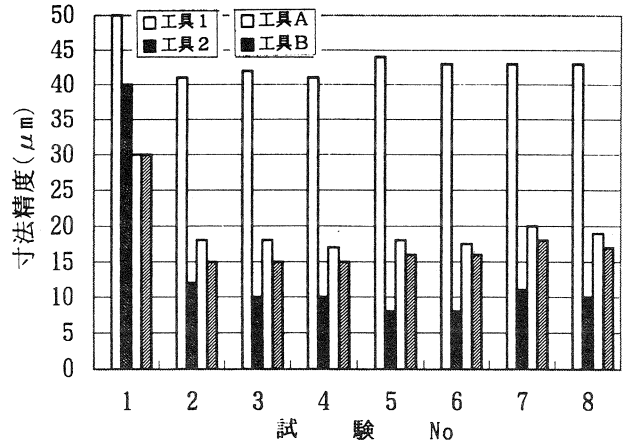


図3 寸法精度

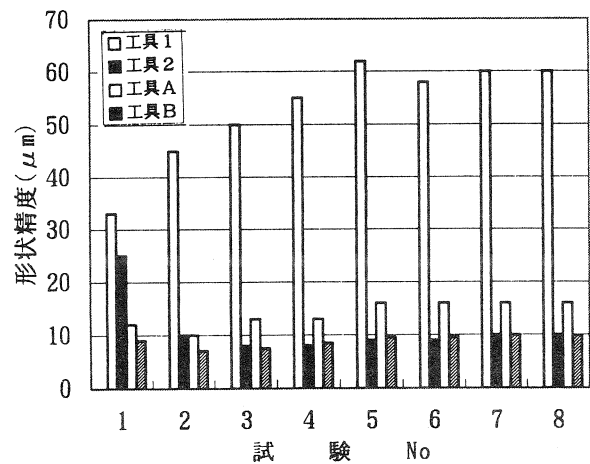


図4 軸方向形状精度

寸法精度については、試験No1の荒加工から試験No2の切り込み量0の再切削において、各工具ともに寸法精度は工具の差こそあれいずれも改善されている。荒加工において寸法精度30から50μmのものが1回の再切削で工具2においては22μmの改善が見られる。工具3、4においてはあまり差が見られず12～15μmである。

再切削による寸法精度の改善は工具2が1番大きく次いで工具B、工具Aとなる。最良の工具2で8μm程度の寸法精度となる。

各工具においても切り込み量0の回数が増える試験No3、4においても寸法精度の改善は顕著には見られずほとんど同じ値を示している。荒加工で生じた工具のたわみ、機械の変位による刃物の食い込みは1回の再切削により行われ、以後の残留力だけでは刃物の食い込みが生ぜず加工物表面を上滑りしているものと思われる。

試験No5は、荒加工から切り込み0切削を2回行った後、さらに5 μ mの切り込みを与えたもの、試験No7は10 μ mを与えたものであるが、ここで一見寸法精度が悪化しているように見えるのは微少切り込みにおいても多少の切り残しが生じるためである。工具No1においても値こそ大きくなっているがおおよそにおいて傾向は同じである。

形状精度についてもやはり寸法精度の悪い工具1の値の大きいのが目に付く。工具1における形状精度で切り込み回数が増えるに従い切れる箇所の切削はすすみ切れ味の落ちた刃先部分が残されて、これにより形状精度を悪化させている。試験終了後の観察で工具摩耗が大きいことが判明した。切削回数が増えることにより工具のたわみ、逃げ量が増えているものと思われる。

形状精度については工具2及び工具Bの結果が比較的良好で、7~8 μ m程度となっている。形状精度において、途中での5 μ m、10 μ mの切り込みを与えることの効果は見られない。

寸法精度、形状精度の両方を勘案して工具2により加工精度の改善が大きい。

3. 2 送り方向断面形状と形状精度

図5に工具の送り方向におけ断面形状を、また図6にはその形状精度を示す。図5における縦軸は各試験Noにおける各加工物の位置関係を表す。

荒加工時における工作物への食い込み状態にそれぞれの工具の違いがわかる。試験No4から試験No5の5 μ mそして試験No7の10 μ mの切り込みに対して特に工具1を除いてはそれぞれ3 μ m、5~6 μ m程度の実切削量となっている。このことは微少切り込みによりミクロンオーダーの寸法制御が可能であることを示している。この際も切り込み0切削の回数は多くする必要はない。送り方向形状精度においては工具Aが良好となっている。

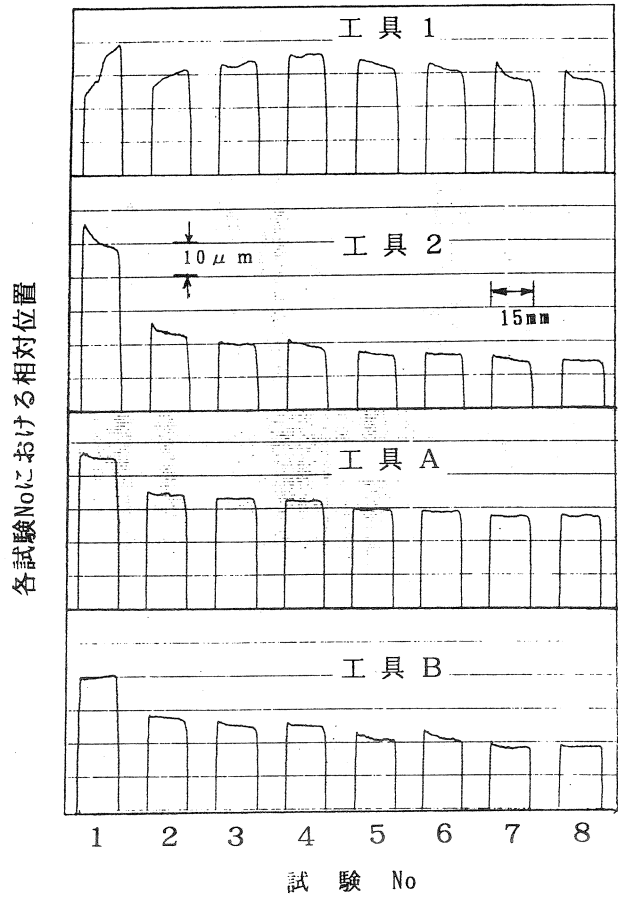


図5 送り方向加工断面図

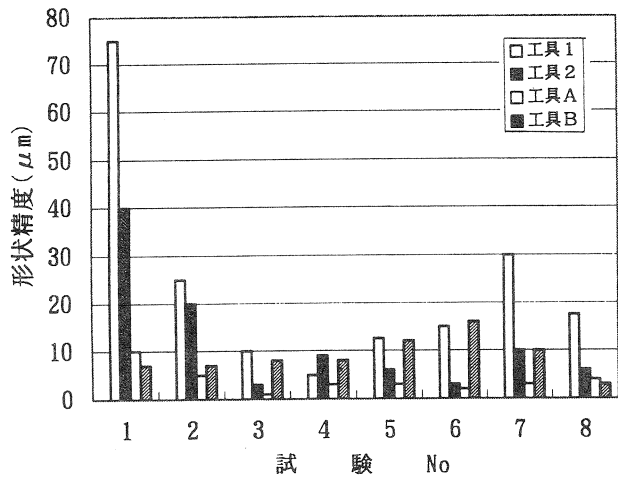


図6 送り方向形状精度

3. 3 加工面粗さについて

図7、図8には軸方向加工面粗さ及び送り方向加工面粗さを示す。

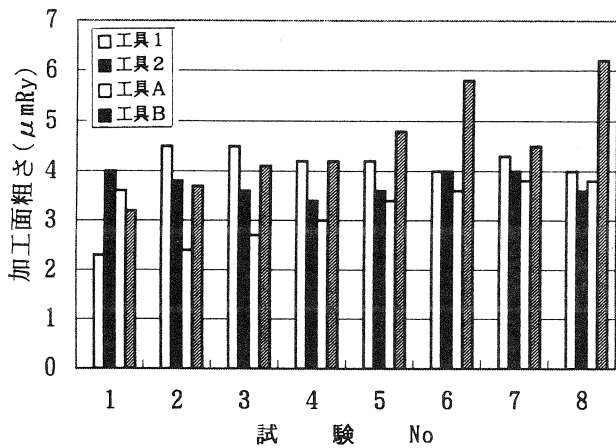


図7 軸方向加工面粗さ

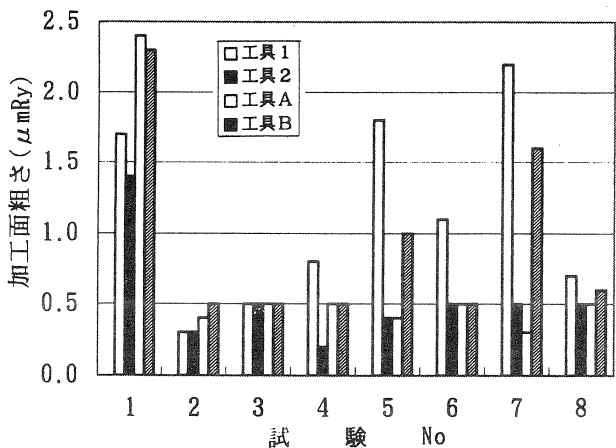


図8 送り方向表面粗さ

送り方向粗さについては荒加工面の $1.5 \sim 2.4 \mu\text{m Ry}$ から工具2、A、Bについては切り込み0再切削で $0.3 \sim 0.5 \mu\text{m Ry}$ と良好な面となっており、その後切り込み0切削回数が2回3回と増えても加工面粗さの改善は見られない。試験No1の荒加工においては各工具ともにエンドミルの送りマークの現れた面となっているが、仕上げ加工で送り小さくなることと、切り込み0の再切削によりこの送りマークのとれた面となり仕上げ面は良くなる。

試験No5及び試験No7の切り込みを5及び $10 \mu\text{m}$ 与えることにより工具1及び工具Bにおいては仕上げ面が再び悪化しており、また工具2及びAにおいても仕上げ面の改善は見られず途中での微少切り込みは不要と見られる。

軸方向粗さについては図7に示すように、各工具ともに試験No1の荒加工時の粗さと切り込み0の再切削の

回数や、試験No5、7の途中における微少切り込みの追加も関係なく、仕上げ面粗さは改善されずかえって悪化の傾向を示す。このことは荒加工時点での面粗さ形状がそのまま残ることを示しており、荒加工条件における切り込み量の設定が重要となる。

軸方向粗さにおいては主に形状精度とともにエンドミルの剛性、ねじれ角等により形成される要素が大きいが、硬度が高いことによる切削力の増大による振動、ヒビりに影響される可能性が高い。荒加工から切り込み0の再切削による仕上げ面の改善は工具Aに若干見られる程度である。

3.4 軸方向断面形状について

図9には各工具における各試験Noにおける切削終了時点における軸方向の断面形状を示す。

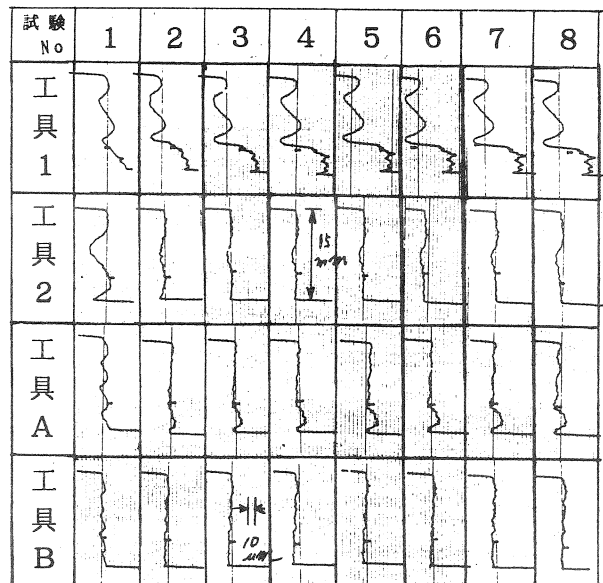


図9 軸方向加工断面図

特に工具1において、エンドミル先端部の逃げの大きさが目に付く。これは、切削終了時点での工具顕微鏡による刃先の観察で、エンドミルの先端部が小チップを含む摩耗が大きいことがわかった。それによるエンドミルの直径変化、工具のたわみによるものである。工具1については新しい工具により再実験を行ったが2度目の実験においても全く同じようなチップを含む摩耗状態、加工断面形状を呈した。試験No1における荒加工時点で早くもチップングを起こしたものと見られる。工具Aにおいても刃先部において若干の摩耗が観察された。

数値的に同じでも、その断面形状はそれぞれの工具の形状（刃数やねじれ角等）や剛性等の違いによりそれぞれの特徴を示す。

4. 結 言

以上、高硬度焼入れ鋼のマシニングセンタによる超硬エンドミル加工における本実験の範囲において次のことが判明した。

1. 荒加工から仕上げ加工にはいる場合、切り込み0の再切削による加工精度の改善は、寸法精度に大きく表れ、形状精度には余り変化は見られない。
2. 切り込み0の再切削は1回で有効でありその回数が増えてもその効果は見られない。
3. 切り込み5 μm で3~4 μm の実切削量となりこれを勘案すればミクロンオーダーの寸法設定が可能となる。

4. 荒加工時の軸方向形状が加工精度に影響を及ぼすためこの際の特に切り込み量の設定が重要となる。
5. 加工面粗さについては、送り方向粗さは改善されるが軸方向粗さは荒加工条件が最後まで影響する。

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：大分県工場試験場 平成3年度研究報告 (1993) 30
同平成4年度研究報告 (1994) 11
同平成5年度研究報告 (1995) 1