

高速スピンドルを用いた切削加工における 幾何形状誤差と工具摩耗 *

堀田 昌宏**、飯村 崇**、池 浩之**

外付けの高速スピンドル装置を用いた小径工具による3万回転以上の高速切削加工での幾何形状誤差と工具摩耗について検討を行った。その結果、工具摩耗はコーティング皮膜剥離を起因として進行すること、スピンドル剛性が小さいため、仕上げ加工条件については切り込み低減等の検討が必要であることがわかった。

キーワード：高速スピンドル

Geometry error margin and tool wear-out in milling by use of the High-speed spindle

HOTTA Masahiro, IIMURA Takashi, IKE hiroyuki

We executed the geometry error margin and tool wear-out in high-speed milling of 30,000 pm or more with the small diameter tool by use of the external high-speed spindle device. As a result, it was understood that tool wear proceeded from flaking of coating film, and that the study such as reducing of cut depth was necessary because the spindle rigidity is low for finishing process.

key words: high-speed spindle

1 結 言

現在、輸送機械部品（自動車、航空機等）や金型パーツを加工する企業の多くは仕上げ加工を研削に依存しているが加工能率に問題がある。そのため、加工能率向上を目指して、研削加工からエンドミル加工へと切り替えが進められており、その加工方法は被削材への切込みを浅くして高速回転（3万rpmから4万rpm）させる高送り加工法（直彫り加工法）が主流となっている。しかし、岩手県内中小企業の多くは設備の切り替えが必要であり、その設備も高価なものであるため、現状では設備切り替えができず、その恩恵にあずかれない。また、昨今安価に高速加工が可能な設備として、外付け高速スピンドル装置が市販されているが、この高速スピンドルを用いた加工方法に関するノウハウ情報（加工上の注意点、加工条件等）は一般に知られておらず、導入判断に苦慮している企業も多い。そこで、この高速スピンドルに関する情報を提供することにより判断材料が増え、置き換えが可能ならば安価でかつ高能率な加工が期待できる。

本報では、2種類の高速スピンドル装置を使用して、高速切削加工における幾何形状誤差と工具摩耗について検討を行ったので、その結果について報告する。

2 実験方法

2種類の高速スピンドル装置をマシニングセンター（三井精機製、VS-3A、BT#40）主軸に取り付け、被削材（大同特殊鋼、NAK55、HV400）を図1に示す形状に加工し、加工後の孔形状を画像処理測定顕微鏡（ミツトヨ製、HyperQV404-PRO、以下画像顕微鏡）を用いて測定した。また、工具摩耗については電子顕微鏡（エリオニクス製、ERA-8800、以下電顕）を用いて観察した。使用した高速スピンドル装置の装置諸元を表1に示す。装置の特徴は、駆動方式としてそれぞれ電動モータ及びエアタービンを用いており、前者が最大60,000min⁻¹、後者が最大150,000min⁻¹を実現するものである。加工条件については工具メーカ

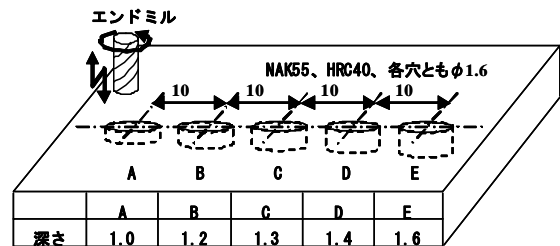


図1 加工イメージ

一推奨条件を元に決定し、その条件を表2に示す。また、表2の加工条件でそれぞれ30穴ずつ加工した(総切削距離約19mに相当)。

なお、本文中に用いる記号は下記の通りである。

V: 切削速度(mm/min)

f_d: 工具軸方向のテーブル送り速度 (mm/min)

f_c: 工具半径方向のテーブル送り速度 (mm/min)

Ad: 工具軸方向の切り込み (mm)

Rd: 工具半径方向の切り込み (mm)

表1 高速スピンドル装置諸元

	高速スピンドル装置	高トルク型 高速スピンドル装置
型式	HTS1500	SF3060-BT40
メーカー名	ミナター株式会社	株式会社ナカニシ
駆動方式	エアタービン	電動式
最大回転数	15万min ⁻¹ (0.5MPa供給時)	6万min ⁻¹
備考	駆動用として、空気 90NL/min(0.3~0.5MPa)	冷却用として、空気 30NL/min(0.2~0.4MPa)

表2 加工条件

	固定条件			送り(軸方向) f _d [mm/min]	送り(半径方向) f _c [mm/min]	スピンドル回 転数S [min ⁻¹]	切削速度V [m/min]	使用 スピンドル
	軸方向の切込 みAd [mm]	半径方向の切 込みRd [mm]	一刃当たりの 送りf _z [mm]					
条件①	0.05	0.02	0.003	60	120	20,000	62.83	SF3060-BT40
条件②	0.05	0.02	0.003	100	360	60,000	188.49	SF3060-BT40
条件③	0.05	0.02	0.003	100	900	150,000	471.23	HTS1500

3 結果と考察

幾何形状誤差(直径、真円度等)について検討するため、加工後の孔形状を画像顕微鏡で測定した結果を表3に示す。実際に加工した孔の位置中心と指定中心とのずれ量(距離換算)は条件③が一番良い結果となったが、直径誤差及び真円度については逆に条件③が一番悪い結果となった。条件①よりも条件②の方がずれ量が小さいのは、駆動モータの特定回転数における共振からくる振れの影響の差ではないかと思われる。

表3 測定結果(単位: μm)

	中心からの ずれ量	直径誤差	真円度
条件①	6.113	15.281	7.950
条件②	3.378	29.779	10.190
条件③	2.476	117.515	28.317

各条件で加工した際の形状を図2に示すが、どの形状も一部が正円となっていない部分がある。その原因として、今回の加工条件(切込み及び送り速度等)があっていないため、形状に誤差が生じているのではないかと考えられる。また、上述に述べた共振による振れ及び工具取り付け時の振れ精度も影響していること

が考えられるので、実際どの位振れているか検討する必要がある。

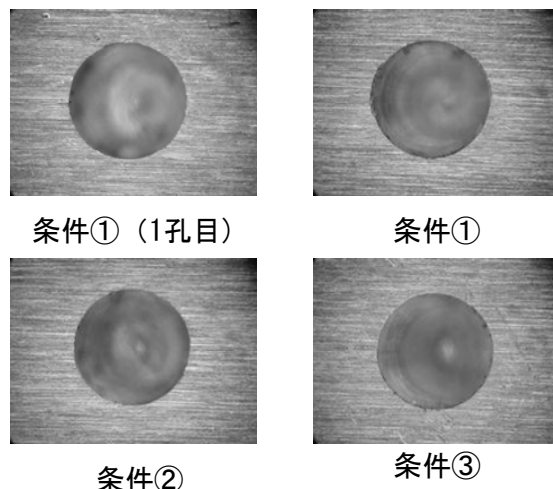


図2 加工後形状(30孔加工終了時)

加工パスは、CAM(三菱電機製、CAM-Magic)を用いて作成し、f_d及びf_cのみを変更しているため、経路的には問題ないと考えていたが、一部に想定した形状と違う部分があるので、工作機械の微小な動きが加工パスに追従できなかったのではないかと考えられる。今回の加工パスは(荒引き一仕上:底面一仕上げ:輪郭)の3工程に分け、Rd, Adとも全て同一条件で指定しているため、(仕上:底面一仕上げ:輪郭)工程においては、加工負荷が低減されるようにRd及びAdを変更すると形状誤差が小さくなるのではないかと考える。その点については、再度、仕上げ行程での切り込み設定を変更して追加実験が必要である。また、微小切削の場合における工作機械の追従性についても、別途検討する必要がある。

次に、表2の加工条件で使用した工具刃先を電顕で

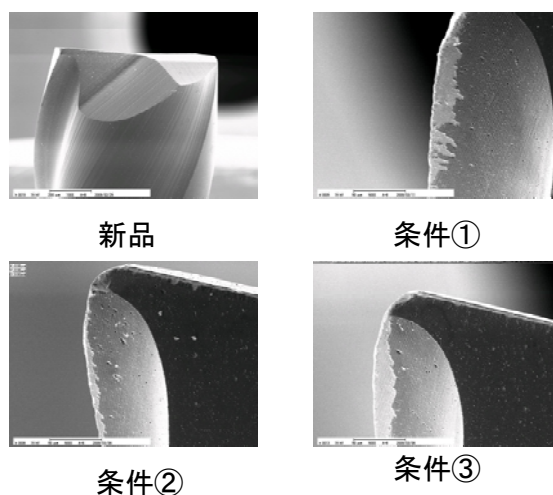


図3 エンドミル工具摩耗(外周刃、×500)

観察した状態を図3に示す。どの条件でも外周刃及び底刃の一部に摩耗が観察された。左側面の外周刃に着

目すると、条件③>条件①>条件②の順に摩耗幅が小さくなっており、条件③における最大摩耗幅は約 20 μm であることがわかった。また、その摩耗部分を拡大して見ると、コーティング膜が剥離しており、EDS による定性分析でも被削材の成分 (Ni,Cu 等) は検出されなかったため、摩耗部分は剥離がほとんどであることが判明した。コーティング膜の剥離は底刃でも観察され、工具刃先の丸み部分についてはコーティング膜が剥離し、かつ所々に素地の超硬粒子が露出しており、この傾向は条件②>条件①>条件③の順に大きく見られた。

これらのことから、高速切削加工において、工具摩耗は切り屑除去に伴うこすれ摩耗より衝撃によるコーティング膜剥離を起因とするアグレッシブ摩耗の方が影響が大きいと考える。そのため、一般的には切削条件 (送り速度、切削速度、切り込み量) 緩和が摩耗を低減させる方法のひとつであると考えられるが、工具メーカー推奨値である条件①よりも厳しい条件に設定している条件②で加工した場合に、同等あるいは条件①よりも摩耗が小さい現象が見られたので、加工能率が低すぎても良好な加工ができないと考えられる。従って、今回の設定条件では、 $V=180\text{m/min}$ 程度とした場合が工具摩耗の小さい切削加工であると考えられる。また、超高速切削加工が可能なスピンドルを用いた場合、コーティングエンドミルでは皮膜剥離を起因とするアグレッシブ摩耗の方が激しく、工具寿命が短いことが判明したので、過切削速度による加工では工具材種選択が重要なポイントとなる。

4 結 言

2 種類の高速スピンドル装置を使用して、高速切削加工における幾何形状誤差と工具摩耗について検討を行った。その結果、高速切削加工における工具は、コーティング皮膜剥離を起因とする摩耗が進行すること、スピンドル剛性が小さいため、仕上げ加工条件については切り込み低減等の検討が必要であることがわかった。

今後は、工具のコーティング皮膜剥離がどのように進行していくのか、加工条件について検討を加え、更なる実験を実施する。

本事業は、東北地域イノベーション創出共同体形成事業の一環である研究開発環境支援事業において、実施されたものである。