

고속가공을 이용한 시작금형 및 시작품의 쾌속제작

신보성*, 양동열**, 최두선***, 제태진***, 이응숙***, 황경현***, 이종현***

Rapid Manufacturing of Trial Molds and Prototypes by High Speed Machining

B. S. Shin*, D. Y. Yang**, D. S. Choi***, J. T. Je***, E. S. Lee***, K. H. Whang***, J. H. Lee***

ABSTRACT

Recently, life cycle and lead-time of products have been shortened with the demand of customers. Therefore, it is important to reduce time and cost at the step of manufacturing trial molds. High speed machining can be applied for this kind of purpose with a lot of practical advantages. In our research, several fundamental experiments are carried out to obtain machining parameters such as cutting force, machining time and surface characteristics for tool paths that are appropriate to high-speed machining. Moreover, a trial mold for an automatic transmission knob is fabricated with aluminum-7075 material. Using automatic set-up equipments, an ABS rapid prototype of a trial product of an AT knob is also manufactured with a filling process.

Key Words : High-speed Machining (고속 가공), Trial Mold (시작 금형), Rapid Prototype (쾌속 시작품), Filling Process(충진 공정), Set-up Equipment(셋업 장치), AT Knob (자동변속기 손잡이)

1. 서론

다양화되는 소비자의 요구에 대응하기 위해 공업 제품의 개발 사이클이 빨라지고 제품 개발의 기간 단축에 대한 요구가 높아지고 있다¹⁾. 특히, 제품 개발에 가장 큰 비중을 차지하는 시작품 모형 제작과 시작 금형 제작에 드는 비용과 시간을 단축시키지 않으면 안되게 되었으며, 최근들어 이를 위해 고속가공은 생산 시간과 비용의 절감측면에서 월등한 경쟁력이 있어 주목을 받고 있다²⁾⁷⁾.

국내에서도 자동차 부품의 복잡한 3 차원 금형의 제작을 위해서 경제성 및 생산성을 극대화 시

킬 수 있는 고속 가공 기술의 필요성이 대두되고 있는 실정이다.³⁾ 최근 고속 가공으로 시작품 또는 시작 금형을 만드는 경우, 새로운 시도로 쾌속가공을 위한 고속가공 전용 복합 재료의 개발이 연구되어 쾌삭성 뿐만 아니라 시작금형 (Trial Mold)에 충분한 강도를 가지는 에폭시가 복합재료의 기지로 사용되었다⁴⁾.

본 논문에서는 현재 알루미늄 합금 중 높은 강도를 갖는 알루미늄 - 7075 을 사용하여 공구경로에 따른 고속가공의 절삭력의 변화, 가공시간, 표면특성 등에 관하여 기초 실험을 수행하고, 이를 바탕으로 자동차 부품인 AT Knob (Automatic

2001년 2월 26일 접수

* 한국기계연구원, 한국과학기술원 대학원

** 한국과학기술원 기계공학과

*** 한국기계연구원 자동화연구부

Transmission Knob)의 시작 금형을 가공하였다. 또한 충전 공정 (Filling Process) 장치와 자동 셋업 (Set-up Equipment) 장치를 이용한 ABS 플라스틱 AT Knob 의 시제품을 쾌속가공하였다.

2. 실험장치 및 방식

2.1 실험 장치

Fig. 1 에는 본 논문에서 수행한 MIKRON UCP710 고속 머시닝 센터(부산대학교 ERC / NSDM 보유장비)를 나타내었다. Table 1 에서 MIKRON 머시닝 센터의 일반적인 사양을 보여주며, 절삭력 측정을 위해 공구동력계는 Kistler 사 Model 9257A 모델(2.3kHz Natural Frequency)을 사용하였다. 가공물의 표면특성을 조사하기 위해 모니터 내장형 광학식 현미경은 KEYENCE 사 VH-6000 을 사용하였다.

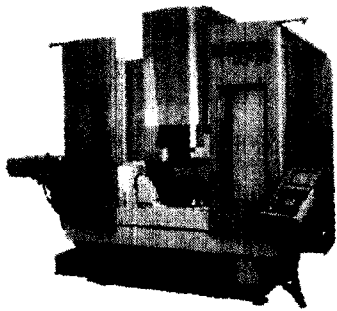


Fig. 1 High-speed machining center

Table 1 Specificaion of machining center

Max spindle speed	42,000 rpm
Max. feed rate	30 m/min
Tool holder	HSK
Envelope size	710 × 550 × 550

Fig. 2 에는 본 실험의 순서를 보여주고 있다. 먼저 기초실험으로 공구경로에 따른 절삭력을 측정하기 위한 4 가지 공구경로에 대하여 절삭력을 측정 비교하였다. 그리고 AT Knob 시작금형을 모델링한 후 최적 공구경로에 대한 가공 NC 데이터를 출력한다. NC 데이터는 컴퓨터와 100Mbps 네트워크로 연결된 고속 머시닝센터에 전송된다. 고속가공공구는 TiAlN 코팅된 초경 엔드밀, 공작물

에 사용된 재료는 알루미늄 - 7075 를 사용하여 고속 가공 실험을 수행하였다.

본 논문에서 수행한 고속머시닝센터에서는 가공 중 절삭유를 사용하지 않고 환경 친화적인 Mist 를 공급하여 수행하였다. 사용한 Mist (High performance lubricant for minimal lubrication)는 고속가공용으로서 알루미늄 및 플라스틱 재질에 적합한 UniLuB 9107 을 이용하였다.

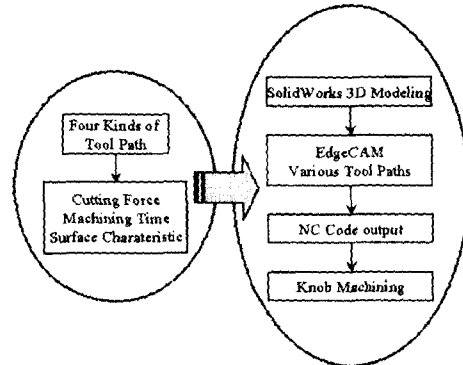


Fig. 2 Flow chart of the experiment

2.2 기초 실험

본 실험은 고속 머시닝센터에서 절삭력 측정을 위해 공구 동력계를 공작물 밑 부분에 설치하여 절삭력을 측정하였고, 공구는 초경 볼 엔드밀, 공작물은 알루미늄-7075 를 사용하였다. 공작물의 형상은 공구 동력계에서 측정 가능한 크기에 준하여 선정하였다. Fig. 3 은 공구 동력계 장치 구성도이다. Fig. 4 는 절삭력을 측정하기 위한 기초형상인 사각 및 원형 그루브(Groove) 형상을 보여준다.

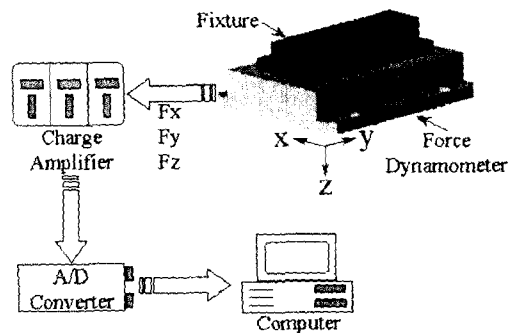


Fig. 3 Set-up for dynamometer

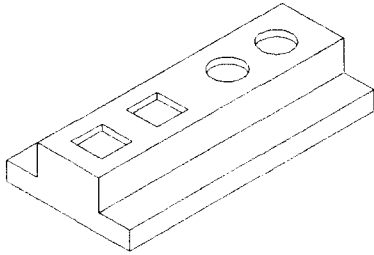


Fig. 4 Model for cutting forces measurement

직경이 $\phi 10$ mm 인 고속가공용으로 TiAlN 코팅된 초경 볼 엔드밀을 이용하여 기초실험을 수행하였고, Table 2 에서는 절삭력을 측정하기 위한 절삭조건을 나타낸다.

Table 2 Cutting conditions

Spindle speed (rpm)	23,000
Feed rate (mm/min)	3,500
Cutting speed (m/min)	722
Feed/tooth (mm/tooth)	0.076
Width of cut (mm)	1
Depth of cut (mm)	0.1

2.3 기초 실험 결과

Fig. 5 은 절삭력 측정을 위한 4 가지의 공구경로를 나타낸다.

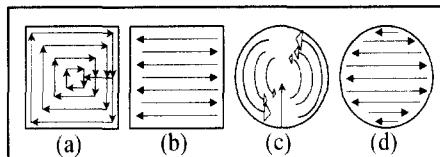


Fig. 5 Tool paths

평면(1 Layer)에 대한 공구경로의 특성을 알아보기 위해 X, Y, Z 의 절삭력을 측정하였다. Fig. 5 의 등고선(Z-level)가공인 (a)와 (c)의 경우에 대해서 절삭력 X, Y, Z 축 합력의 결과로서 Fig. 6 과 Fig.7 에 각각 나타내었다. 이 경우 Z 축으로 진입하면서 절삭력이 커지고 형상의 가운데로 가공을 하면서 절삭력이 작아지는 것을 볼 수 있다. 이것은 형상의 중심부로 갈수록 이동거리가 짧아지므로 충분한 가·감속을 하지 못해 이송속도가 줄어

들게 되고, 따라서 절삭력이 감소하는 것으로 사료된다.

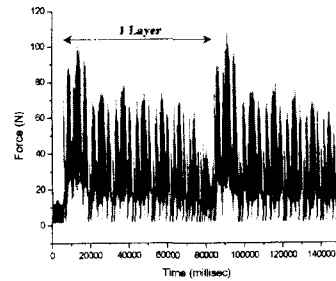


Fig. 6 Cutting forces for the case "a"

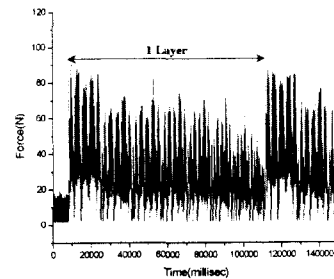


Fig. 7 Cutting forces for the case "c"

Fig. 5 의 (b)와 (d) 의 절삭력을 측정하여 X, Y, Z 축의 합력의 결과를 Fig. 8 과 Fig. 9 에 각각 나타낸 것으로, Z 축으로 공구가 진입하면서 절삭력이 커지고 공구경로가 X 축으로 피크 피드 가공을 하면서 Y 축으로 지그재그로 가공 할 때 절삭력이 고르게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 Y 축의 같은 길이를 같은 이송속도로 가·감속을 하는 것을 알 수 있다.

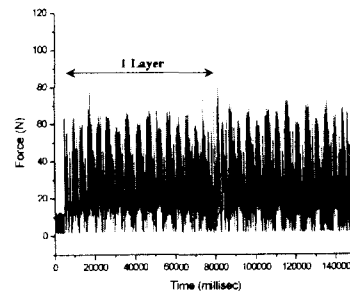


Fig. 8 Cutting forces for the case "b"

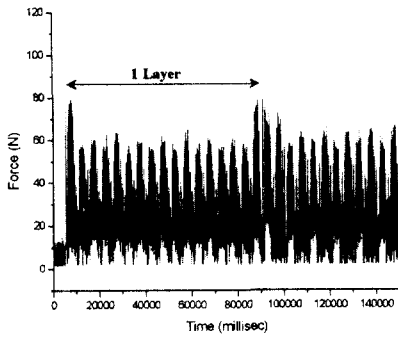


Fig. 9 Cutting forces for the case "d"

Fig. 10 은 (a), (b), (c), (d)의 최대 절삭력과 평균 절삭력을 나타낸 것이다. 여기서 같은 형상을 가공경로에 따른 등고선 가공과 지그재그 가공을 비교 했을 때 등고선 가공에서 최대 절삭력과 평균 절삭력이 높다는 것을 알 수 있다.

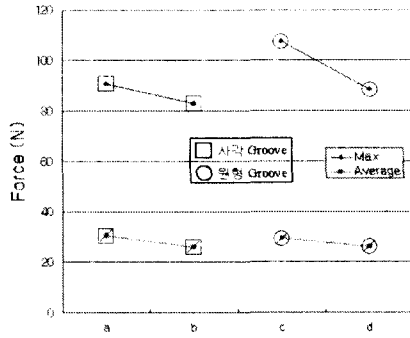


Fig. 10 Comparison of cutting forces

3. 시작 금형 제작

3.1 가공 조건

가공금형의 가공경로를 황삭, 중삭, 정삭의 순서로 NC 프로그램하였다. 정삭 가공경로 프로그램을 작성하기 위해 첫번째로 지그재그 가공경로를 이용하여 가공하고, 두번째로 등고선 가공경로를 이용하여 가공 하고, 세번째로 지그재그와 등고선 가공을 복합적으로 가공하였다. Fig. 11 에는 각각의 가공경로를 보여주고 있다. Ø10 평 엔드밀을 이용하여 Knob의 형상을 황삭가공을 한 후 Ø8 볼 엔드밀로 엔드밀로 중삭가공을 하고, 정삭을 Ø6 볼 엔드밀을 이용하여 가공하였다.

각각의 가공경로를 가공하기 위하여 Table 3 으로 가공조건들을 선정하였고, 정삭가공에서는

지그재그, 등고선, 지그재그 + 등고선 각각 똑같은 조건에서 수행하였다.

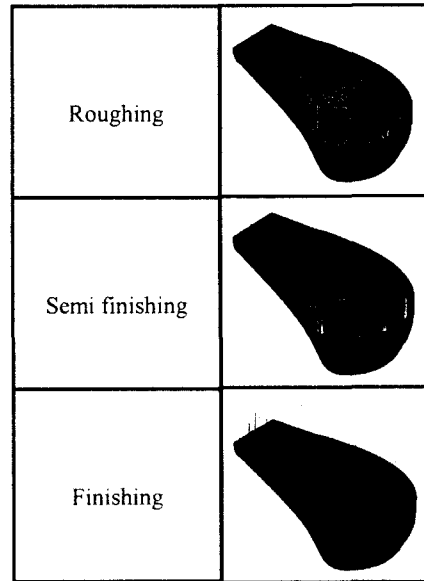


Fig. 11 Tool paths

Table 3 Cutting Conditions

	Tools	Cutting speed (m/min)	Feed rate (m/min)
Roughing	Flat ø10	219.9	1.4
Semi finishing	Ball ø 8	251.3	2.0
Finishing	Ball ø 6	282.7	3.0

3.2 시작금형 실험 결과

첫번째로 정삭 가공에서의 공구경로 선정에서 등고선 과 지그재그가공 하나의 가공경로를 사용하여 가공하였다. 하지만 등고선 가공에서는 곡면의 곡률이 완만한 부분에서 Z 축 절입량에 대해 경로간 간격이 커지는 현상이 나타나면서 잔삭이 남아있고, 지그재그 가공에서는 X, Y 평면상에서 공구 경로 끝에 원호의 형상이 있으면 경로간 간격에 의해 잔삭이 남는 것을 관찰하였다.

이와 같이 하나의 공구경로로 가공했을때의 잔삭이 남는 문제를 해결하기 위해 X, Y 평면상에서 원호의 형상이 있거나, 곡률이 큰 부분에서는 등고선 가공을 곡률이 완만한 부분에서는 절삭력이 고르고 가공시간이 빠른 지그재그가공을 사

용하여 복합적인 공구경로를 생성한후 AT Knob의 시작금형을 가공하였다. Table 4는 공정별 가공시간을 나타낸다.

		Times
Roughing		Flat $\phi 10$ 10 min
Semi finishing		Ball $\phi 8$ 3 min
Finishing	등고선	60 min
	지그재그	Ball $\phi 6$ 85 min
	복합	70 min
Total		83 min

Fig. 12는 AT Knob의 금형을 가공한 후 각 부위의 형상에 대하여 표면정도의 현미경 촬영의 결과이다. ㉠ 부분은 지그재그 가공을 했을때의 잔삭이 남는 부분이고, ㉡ 부분은 등고선 가공을 했을 때 잔삭이 남는 부분이다.

이러한 부분을 지그재그 + 등고선 가공을 통하여 다듬질 또는 후가공이 없는 ㉠㉠, ㉡㉡와 같은 표면 정도를 얻었다.

가공 시간 측면에서도 등고선, 지그재그 가공 후 다듬질 또는 후가공을 한다면, 지그재그 + 등고선 가공 시간 보다 더 많은 시간을 소요해야 할 것이다.

이상의 실험을 통해 지그재그 + 등고선 가공으로 얻어진 AT Knob 최종 시작 금형의 형상을 Fig. 13에 나타내었다.

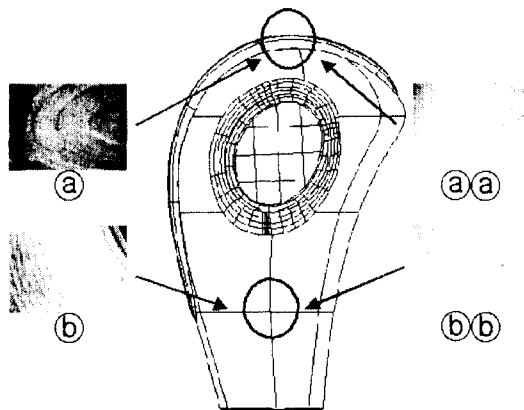


Fig. 12 Machined surface shape of a AT knob

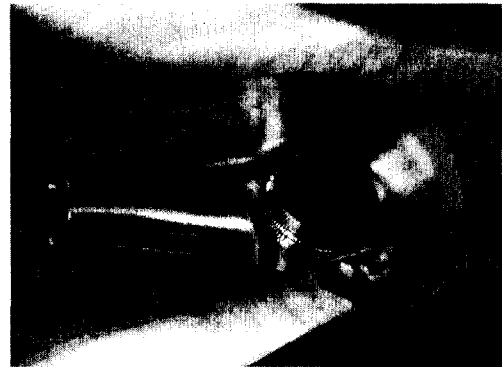


Fig. 13 Photo of trial mold for AT Knob

3.3 쾌속 시작품 제작

프라스틱 ABS 재료를 이용한 기능성 쾌속 제품 AT Knob을 직접 절삭가공하고 충전하여 배면가공하는 방식에 의해 직접 가공실험하였다. 손잡이형 형상은 복잡한 3차원 형상을 가지므로 이를 지지하는 지그와 고정구(Jig & Fixture)의 제작에는 많은 시간이 요구된다. 따라서 이를 극복하는 방법으로 가공부분을 충전재로 채워 하면을 가공하는 방식을 채택하였다. 이에 사용한 충전재는 무엇보다 취급과 해체성이 용이하고 공작물의 가공 특성상 상온하에서 작업이 이뤄져야 하는 한편, 가공력에 충분히 견딜 수 있는 강성이 우수해야 한다는 측면을 고려하였다^{1),8)}. Fig. 14은 상면 가공후 충전 형상을, Fig. 15에는 2차 가공후 완료된 최종 가공 완료된 프라스틱 AT Knob 쾌속 시작품을 각각 보여준다.

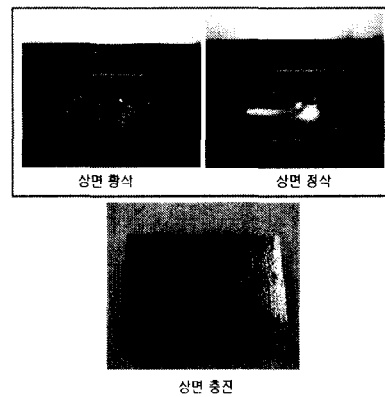


Fig. 14 The finished shape of the-upper-face machining and after-filling process

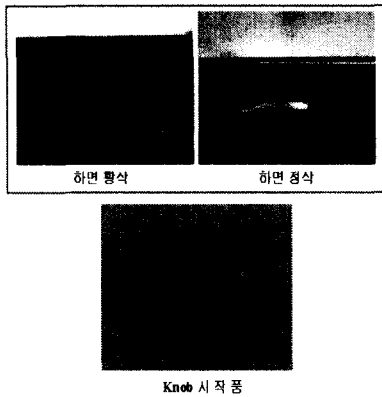


Fig. 15 The finished shape of the-lower-face machining and final ABS plastic AT Knob

4. 결론

본 논문에서는 고속가공의 기초실험으로서 2개의 형상에 따른 2개의 공구경로에 대한 절삭력을 고찰한 후 이를 바탕으로 AT Knob의 시작금형을 가공하였고 충전공정을 이용한 ABS 플라스틱 시제품을 직접 가공하였다.

1. 본 논문에서 제안한 간단한 기초실험 모델을 통하여 절삭력을 비교한 결과 지그재그가공 경로의 경우가 등고선 가공 경로의 경우보다 절삭력이 작게 나타나는 것을 알 수 있었다.
2. AT Knob 시작 금형가공의 경우 등고선과 지그재그의 복합화로 가공 후 다듬질 또는 후가공의 시간을 감소시켜주는 효과를 얻을 수 있다.
3. 충전공정을 통하여 복잡한 AT knob의 ABS 시작품을 직접 패속제작하였다.

향후 본 연구의 결과를 바탕으로 충전공정을 일괄식 자동충진공정에서 선택적 자동충진공정으로 개선하고, 저가형 고속 패속가공기를 설계 제작할 예정이다.

참고문헌

1. 신보성, 최두선, 강재훈, 이찬홍, 이종현, “절삭가공에 의한 패속 시작품 제작 기술,” 한국정밀공학회 추계 학술 대회, pp. 918-921, 1999.
2. 류상길, “시작금형의 고속가공의 위한 복합재료 개발에 관한 연구,” 한국과학기술원 석사학위논문, 2000.
3. 임유업, 김정석, 강명창, 이득우, 정윤희, “고속가공을 통한 커넥팅 로드용 금형 가공,” 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 926~929, 2000.
4. 이우영, 최성주, 김홍배, “조각 금형을 위한 3차원 Relief 데이터의 초고속가공,” 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 946~950, 2000.
5. 류시형, 이해성, 김민태, 최덕기, 주종남, “금형강의 고속가공시 표면특성 및 형상정밀도 해석,” 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 120~125, 1998.
6. 김성윤, “블렌드밀을 사용한 자유 곡면 형상 가공에서의 동적 특성 해석,” 서울대학교 대학원기계설계학과 공학박사논문, 1995.
7. T.Nakagawa, “High-Speed Milling for Die and Mold Making,” Proc. of AFDM'99, pp. 11~18, 1999.
8. 절삭과 충전공정을 이용한 3차원 제품의 패속 제조방법 및 제조장치, 특허 출원번호 10-2000-0062849, 2000.