

볼 엔드밀을 이용한 금형 구면 가공의 표면품질 향상에 관한 연구

윤일우*[#], 황종대*

*한국폴리텍대학 부산캠퍼스 기계시스템과

Surface Quality Improvements on the Spherical Shaped Mold using Ball End Milling

Il-Woo Yun*[#], Jong-Dae Hwang*

*Department of Mechanical System, Busan Campus of Korea Polytechnics

(Received 6 January 2020; received in revised form 17 January 2020; accepted 26 January 2020)

ABSTRACT

Various machining methods are being studied to improve the processing quality of the spherical R shape in press die. In this paper, we confirmed that changes in machining quality were associated with changes in cutting direction, path, and cutting angle, which are commonly used in the machining of molds. We obtained a surface roughness graph with each condition change in one specimen using an instrument that measured geometry and surface roughness simultaneously. The results of the study showed that the best surface roughness in the finish cut of the spherical surface was obtained using upward pick feed machining.

Key Words : Surface Roughness(표면거칠기), Upward Cutting(상방향절삭), Downward Cutting(하방향절삭), Tool Path(가공경로), Ultra High Strength Steel(초고강도 강판)

1. 서 론

최근 금형 가공의 동향을 살펴보면 구면 형상의 제품 라운드(이하 R)부에 대한 가공품질을 개선하고자 각 금형 업체마다 다양한 가공 방식을 적용해가며 나름대로의 가공표준을 만들고 있는 상황이다. 일례로 자동차 차체분야 프레스 금형에서 모노코크 타입을 채택한 차량에서 자동차의 뼈대 역할을 하는 멤버(MBR) 제품들은 자동차의 무게를 줄이면서도 안전을 강화시킬 수 있는 초고강도 강판

(Ultra High Strength Steel, UHSS)이 일반적으로 사용되고 있다. 하지만 소재의 특성상 스프링 백(Spring Back)이 많이 발생되고 이를 보정하기 위한 다양한 공법들을 적용하고 있다. 이러한 방법들 중 하나가 제품 상단 어ге R값을 실제 제품 R값 대비 2~5% 정도 작게 가공하여 제품의 스프링 백 발생을 억제 시켜 주면서, 발생하는 스프링 백 양을 원래의 제품 R값으로 복귀시켜주는 방식을 사용하고 있다. 이러한 보정 가공법은 실제 제품 R 값 대비 보통 0.2~0.5R 정도의 아주 작은 차이만을 보이기 때문에 가공방식에 따른 과절삭이나 미절삭이 발생되었다면 상기한 보정작업은 의미가 없어지는 것이다.

전자분야 프레스 금형에서도 냉장고 도어(Door)

Corresponding Author : yun15@kopo.ac.kr

Tel: +82-51-330-7781, Fax: +82-51-332-4801

및 식기 세척기 등 가전제품의 외관에 강화유리 보다 스테인리스 등 철판을 사용한 제품들을 선호하면서 외관 일체형 철판 제품을 많이 채택하고 있다. 제품 개발 과정 중 이러한 제품의 외관품질을 확인해 보기 위해 LED 빛을 제품표면에 비추어보곤 하는데 제품 R값의 가공 정도가 일정하지 않을 시 빛이 굴절 되거나 산란되는 등 소비자가 느끼는 외관 감성품질에 악영향을 끼치게 되어 R 가공이 제품의 외관 품질의 중요한 요소로 대두되고 있다. 최근에 가정에서 사용되는 냉장고 제품만 보더라도 전면부의 디스플레이나 홈바 등의 사양이 일반화되면서 R부의 가공품질이 중요해지는 추세이다.

따라서 본 연구에서는 제품의 구면 R 형상에 대하여 일반적으로 금형의 형상가공에 사용되는 하향 절삭(Down cutting)으로 가공하되, 상방향절삭(Upward cutting), 하방향절삭(Downward cutting)과 피크피드(Pick feed) 방향 절삭의 다양한 조건을 실험하여 구면 R 형상에 대한 가공정도와 품질의 향상을 유도하고자 한다^[1-5].

2. 실험방법 및 조건

2.1 소재 및 시편형상

소재는 금형형상부에 일반적으로 사용하는 SM45C를 사용하였으며 시편의 사이즈는 100×80×

Table 1 Chemical composition of SM45C steel substrate(wt%)

	C	Si	Mn	P	S
SM45C	0.42 ~0.48	0.15 ~0.35	0.60 ~0.90	0.03 less	0.035 less

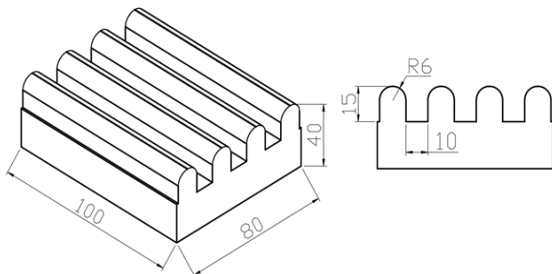


Fig. 1 Geometry of test specimen (mm)

35로 상단부에 높이 15mm, 폭 12mm, 상단 R6 규격의 비드 형상을 4개 만들었다. Table. 1은 SM45C 소재에 대한 물리적 특성을, Fig. 1은 시편의 주요 형상 및 규격을 보여준다.

2.2 실험방법

본 연구에서는 절삭방향 및 가공경로가 금형의 구면 R 가공 특성에 미치는 영향을 확인하기 위하여 가장 일반적으로 사용하는 4가지 가공방법을 선택하여 가공 특성의 변화에 따른 구면 R의 표면 거칠기 및 표면 특성을 확인하고자 하였다. 실험에 사용된 절삭조건은 Table 2에 나타내었다. 절삭 실험에 사용한 공구는 소재 특성을 고려하여 YG1의 2날 초경 $\phi 6$ 볼 엔드밀을 사용하였으며 AlTiN 코팅 처리를 하여 내열성이 좋으며 높은 경도의 소재에 우수한 절삭 성능을 보여준다. 각 가공조건을 제외하고 나머지 인자에 대해선 동일한 조건을 부여하기 위하여 각 조건마다 개별 공구를 사용하였으며 금형가공의 특성상 공구의 세장비, λ 및 형상깊이

Table 2 Cutting condition

Condition Factor	1	2	3	4
Cutting Direction	Down milling			
	Up ward	Down ward	Pick-Feed Down	Pick-Feed Up
Cutting speed	45 m/min			
Feed rate	250 (mm/min)			
Scallop height	0.05/0.01 (mm)			
Depth of cut	0.4 (mm)			

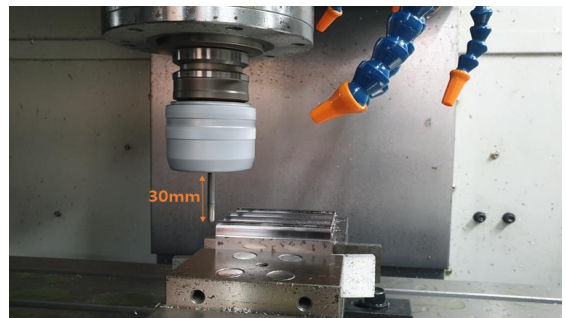


Fig. 2 Machining center and tool

를 고려하여 홀더 끝단에서 30mm의 돌출길이를 적용하였다. Fig. 2는 30mm의 돌출길이를 적용한 공구 및 머시닝센터이다.

$$\text{여기서 세장비, } \lambda = \frac{l}{D} = \frac{30}{6} = 5,$$

l = extrusion length of tool, D = diameter of tool

2.3 실험장치

Fig. 3은 가공 이후 시편의 표면 조도 및 형상 측정이 가능한 형상&조도 측정기 및 현미경을 나타내었다. 일반적인 표면 조도 측정기는 평면에 대한 조도 측정이 가능하나 실험에 사용한 Mitutoyo사의 CS-3200은 곡면에 대한 측정이 가능하여 곡면가공에 대한 효과적인 분석이 가능하였다.

2.4 측정방법

가공 완료된 시편을 스타일러스 타입의 형상&조도 측정기를 통해 측정하였고 스타일러스의 측정 반경이 스텝오버 값보다 작기 때문에 측정의 방향은 볼 엔드밀 가공방향에 수직인 방향으로 측정하



(a) Surface roughness tester (b) Microscope
Fig. 3 Measuring equipment

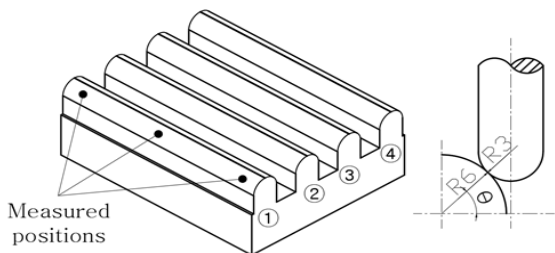


Fig. 4 Measuring positions of the surface roughness

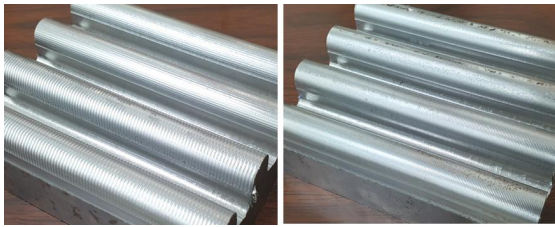
였다. 측정의 위치는 Fig. 4와 같이 100mm 가공 구간 중 각 실험 조건별 10, 50, 90mm의 초, 중, 종 3 구간을 측정하였으며 거칠기 범위를 고려하여 컷 오프(Cut off)값 0.8mm, 기준길이 3.2mm를 적용하여 중심선 평균 거칠기 값을 기록하였다. 상방향절삭과 하방향 절삭에 대한 ①, ② 실험에 대해서는 공구와 소재와의 접촉각 변화에 대한 표면 거칠기값을 확인하기 위하여 25, 45, 75°에 접촉각에 대한 표면거칠기를 기록하였다. ①, ② 실험 조건인 피드 방향에 대한 측정은 다양한 접촉각에 대한 측정이 가능하나 ③, ④ 실험은 피크피드 방향에 대한 측정으로 측정기의 Z축 측정 스트로크를 초과하는 범위로 접촉각 변화에 대한 표면거칠기에 대한 측정은 피드 방향에 대해서만 측정하였다. 가공 표면에 대한 현미경 측정은 60배 배율로 검사를 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 표면거칠기

표면거칠기란 부품 가공 시 절삭공구의 인선이나 슷돌입자에 의해 절삭된 표면, 주물 등의 매끄러운 정도를 말한다. 촉감으로서의 표면의 매끄러움이나 거친 정도는 제품의 수명이나 부품의 호환성 등에 영향이 있으므로 그 정도를 규제하고 관리할 필요가 있다. 현재 KS에서 표면거칠기의 표시방법은 중심선 평균거칠기(Ra), 최대 높이거칠기(Ry), 10점 평균거칠기(Rz), 요철의 평균 간격(Sm), 국부 산봉우리의 평균 간격(S), 부하 길이율(tp)의 6가지 방법으로 나타내고 있으며 현재는 표면거칠기 측정기의 발달과 ISO규격과 일치 및 도면작성의 필요성 등에 의해 중심선 평균거칠기(Ra)가 주로 사용된다⁶⁾. 각 조건에 대한 3회 반복 실험의 결과 가장 표면거칠기 값이 좋았던 실험은 4번째 실험인 Upward - Pick feed 가공으로 Ra 1.917(μm) 까지 측정되었으며, 가장 결과가 안 좋았던 실험은 Downward 가공으로 Ra 3.05(μm) 까지 측정되었다.

Fig. 5의 (a), (b)는 Scallop height(mm) 0.05(중삭)/0.01(정삭)에 대한 가공 결과를 보여주고, Fig. 6에서는 Scallop height 0.01(mm) 반복실험에 대한 각 측정위치에서의 표면거칠기(Ra, μm) 평균값을 그래



(a) Scallop height 0.05 (a) Scallop height 0.01

Fig. 5 machining and processing result

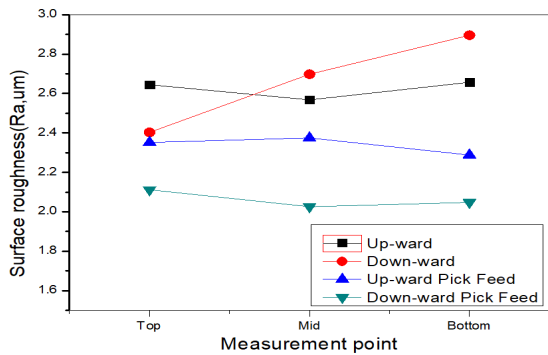


Fig. 6 Comparison of surface roughness in scallop 0.01

프로 나타내고 있다.

3.2 상방향 절삭 및 하방향 절삭

금형가공의 정삭 가공에 해당하는 Scallop height 0.01(mm)의 이송 조건으로 가공하였을 때 Feed 방향에 대한 가공 품질은 Upward의 표면거칠기가 평균 Ra 2.599(μm)로 Downward 방식의 평균 Ra 2.736(μm)에 비해 좋은 경향을 나타내었다. 이는 상방향절삭 시 가공 접촉점이 불 엔드밀의 중심점에서 멀어짐으로 인해 절삭 속도가 높아지므로 절삭성이 좋은 경향을 나타내는 것으로 판단된다^[7]. 하방향절삭의 표면거칠기가 상방향 절삭에 비해 나빠지는 이유로는 불엔드밀의 특성상 정점인 중심에서 절삭이 이루어지지 않으며 곡면가공시에 엔드밀과 소재의 접촉각의 변화에 따라 불엔드밀이 한쪽면만을 절삭함으로 인해 생기는 공구의 휨이나 떨림에 의한 영향인 것으로 판단된다. Fig. 7, 및 Fig. 8은 Upward 및 Downward 절삭에 대한 표면거칠기 그래프를 나타낸다.

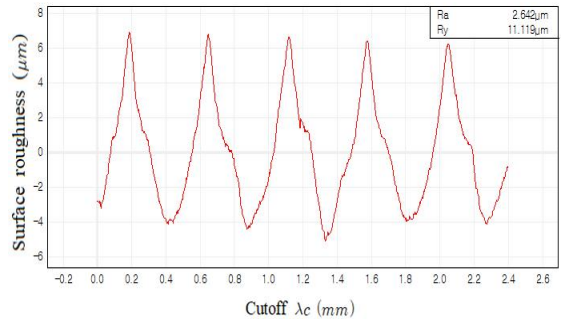


Fig. 7 Surface roughness graph of upward

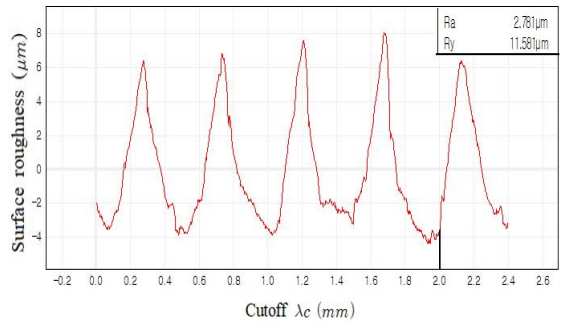


Fig. 8 Surface roughness graph of downward

3.3 가공경로

가공 경로(Tool path)는 Feed 방향과 Pick feed 방향으로 실험을 진행 하였으며 금형가공에서 정삭에 해당하는 Scallop height 0.01(mm)의 조건으로 가공하였을 경우 두 방식 모두 Upward 방향이 좀더 좋은 표면 거칠기를 나타내었으며 그중에서도 Upward - Pick feed 방식이 가장 좋은 표면거칠기를 보임을 확인할 수 있었다.

가공시간 비교결과 Feed 방식은 시편 한 개당 30분의 시간이 소요 되었으나 Pick feed 방식은 그의 절반 수준인 15분 안에 가공됨을 확인할 수 있었다. 이는 Pick feed 방식이 형상을 따라 연속적인 절삭이송을 할 수 있기 때문으로 판단된다.

가공시간이 곧 경쟁력인 금형가공에서는 형상 및 황, 중, 정삭가공 목적에 따른 가공 경로선정이 필요함을 확인할 수 있었다.

Fig. 9는 Pick feed, Downward를 Fig. 10은 실험 조건 중 가장 좋은 표면거칠기 값을 보였던 Pick

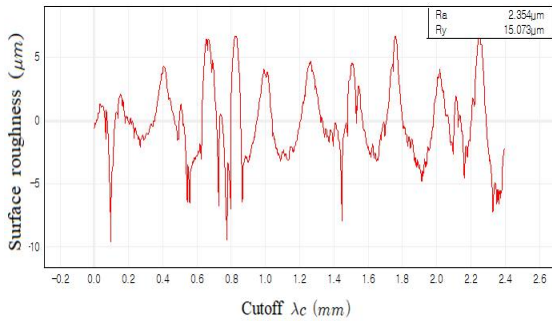


Fig. 9 Surface roughness graph of pick feed - downward

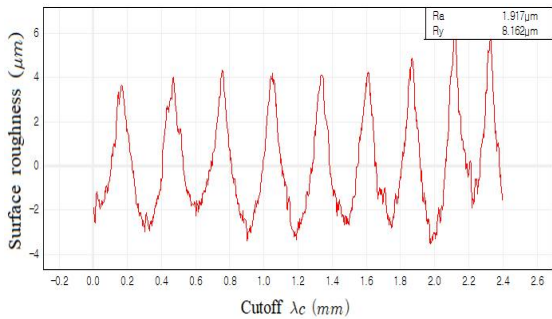


Fig. 10 Surface roughness graph of pick feed - upward

Feed, Upward 절삭에 대한 표면거칠기 그래프를 보여준다. 표면거칠기 측정 후 현미경을 통한 표면 확대결과도 가장 좋은 거칠기를 보였던 실험을 제외하고는 나머지는 비슷한 수준의 가공표면을 확인할 수 있었다.

3.4 중삭에서의 가공

Scallop height 0.05(mm)는 일반적으로 금형가공에서 중삭에 해당하는 가공으로 공구의 크기나 형상에 따라 황삭가공에서 소재 전구간에 걸쳐 동일한 가공 여유량을 남기지 못했을 경우 중삭가공에서는 그러한 부위를 가공 시 공구는 많은 부하를 받게 된다.

중삭가공에서도 Scallop height 0.01(mm) 가공과 비슷한 표면거칠기 경향을 나타내었으나 형상에 따라 가공 여유량이 많이 남아있는 부위가 있다면

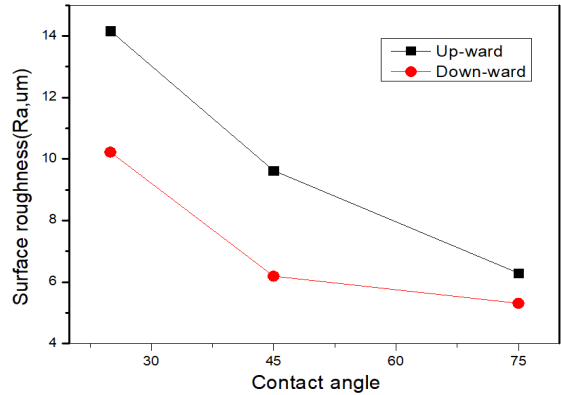


Fig. 11 Comparison of surface roughness in contact angle

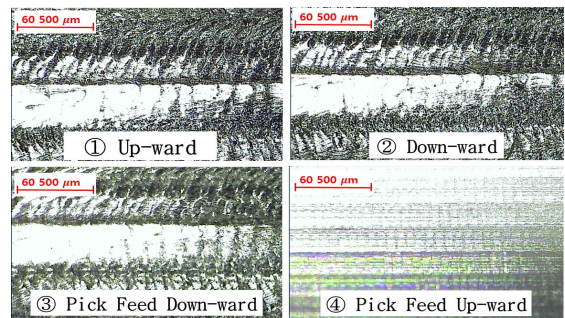


Fig. 12 Microscopic views of the surfaces under scallop 0.01 condition

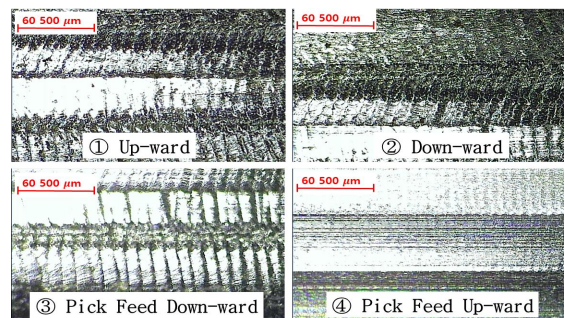


Fig. 13 Microscopic views of the surfaces under scallop 0.05 condition

순간적으로 가공부하가 상승하면서 표면거칠기 또한 상승함을 확인할 수 있었다.

Fig. 11은 Scallop height 0.05(mm) 가공시 접촉각의 변화에 따른 표면거칠기에 변화를 Fig. 12은 Scallop height 0.01(mm)에 대한 Fig. 13는 Scallop height 0.05(mm) 조건에 대한 표면거칠기 확대 사진을 보여준다.

4. 결 론

금형 가공 시 제품 R부 표면거칠기에 대한 가공 특성으로 가공방법, 가공방향, 가공경로를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 정삭 가공 시 상방향 절삭이 하방향 절삭보다 좋은 표면거칠기를 보였다.
2. 제품의 R값이 변하지 않는 경우 다른 조건은 동일한 정삭 가공경로는 Pick feed 방식이 Feed 방식보다 표면거칠기 및 가공시간의 측면에서 유리함을 알 수 있다.
3. 중삭가공에서는 표면거칠기를 좋게 하는 목적보다 빠르고 안정적인 소재제거율에 목적이 있기에 형상 및 가공여유량을 고려하여 하방향절삭이 유리함을 확인할 수 있다.

따라서 본 연구 결과는 볼 엔드밀을 이용한 금형 구면 가공의 표면품질을 향상하기 위한 기초 데이터로 사용할 수 있다.

REFERENCES

1. Park, J. Y. and Wang, D. H., Surface Profile Characteristics Machined by Ball Endmill According to Cutting Direction, Collection of the Institute of Advanced Materials, Vol. 11, pp. 5-14, 1999.
2. Kline, W. A. and Devor, R. E., "The Prediction of Cutting Forces in End Milling with Application to Cornering Cuts," International Journal of Machine Tool Design Research, Vol. 22, No. 1, pp. 7-22, 1982.
3. Tal, C. C., Fhu, K. H., "Model for Cutting Forces Prediction in Ball-End Milling," International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 35, No. 1, pp. 45-54, 1991.
4. Feng, H. Y. and Menq, C. H., "A Flexible Ball-End Milling System Model for Cutting Force and Machining Error Prediction", Trans. of ASME, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 118, No. 4, pp. 461-469, 1996.
5. Sutherland, J. W., "An Improved Method for Cutting Force and Surface Error Prediction in Flexible End Milling Systems," ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 108, pp. 212-269, 1986.
6. Feng, H. Y., and Menq, C. H., "A Flexible Ball-End Milling System Model for Cutting Force and Machining Error Prediction," Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 18, pp. 461-469, 1996.
7. Yun, I. W., "Investigation of Cutting Conditions in Milling of AMPCO Metal for Minimizing Surface Roughness," A Thesis for a Master, Chonnam National University, Republic of Korea, 2016.
7. Doo, S. and Hong, J. W. and Suh, N. S., "A Study on the Cutting Force and Machining Error on the Inclined Plane in Ball-end Milling", Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol. 18, No. 7, 2001.