

구멍이 있는 공작물의 가공시 형상특성

이종선*, 원종진⁺, 안운상⁺, 홍석주⁺⁺, 윤희중⁺⁺⁺

(논문접수일 2001. 12. 24, 심사완료일 2002. 8. 6)

Geometric Characteristics on Workpiece with Hole in Face Milling

Jong-Sun Lee*, Chong-Jin Won⁺, Won-Sang An⁺, Suck-Ju Hong⁺⁺, Hee-Joung Youn⁺⁺⁺

Abstract

This study is to investigate the characteristics of the surface around a hole on inlet and outlet of product which are manufactured by face mill or end mill cutting with a hole or a pocket in its surface. Furthermore, experiments for optimization of process conditions to minimize the change of characteristics of milling cut surface after a hole cutting operation are implemented. This result is apply to manufacture of mold products and metal products by diecasting.

Key Words : Geometric Characteristics(형상특성), Surface Roughness(표면조도), Hole(구멍), Face Mill(정면밀링가공), Depth of Cut(절삭깊이), Depth of Endmill(구멍깊이)

1. 서론

절삭가공⁽¹⁾은 공작물보다 경도가 높은 공구로 설계도면에 정의한 공차 범위안에서 불필요한 부분을 제거하는 가공방법이다.

공작물을 가공하는 과정에 많은 공작기계를 사용하며, 이 기계들 중 하나가 밀링머신이다. 밀링머신 가공방법은 정면밀링가공, 보링, 포켓, 형상가공 등 응용 범위가 다양하

다. 정면밀링가공(face mill)은 한번에 많은 양의 부피를 가공할 수 있는 장점을 가지고 있으며 최근에는 공구재질의 개발, 고속 절삭 밀링머신의 개발로 더 많은 부피를 한번에 가공하고, 양호한 표면조도와 평면형상을 얻을 수 있으며 가공 공정수를 단축하기 위하여 새로운 기술 개발에 관한 연구가 시도되었다⁽²⁻⁴⁾.

또한 정면밀링가공에서 가공평면의 표면조도에 영향을 미치는 요소인 절삭조건과 공구형상, 절삭속도, 절삭깊이,

* 주저자, 대전대학교 기계설계공학과 (jongsun@road.daejin.ac.kr)
주소: 487-711 경기도 포천군 포천읍 선단리 산 11-1번지, Tel: 031-539-1975
+ 국민대학교 기계·자동차공학부
++ 조선대학교 기계공학과
+++ 인천기능대학 자동화시스템과

공작물의 특성 등에 관하여 많은 연구가 있어왔다^(5~7).

본 논문에서는 공작물에 구멍이나 포켓이 있는 경우 정면 밀링커터나 엔드밀로 가공할 때 진입부와 퇴출부 구멍 주위에 표면특성의 변화가 생기는 것을 절삭가공을 통하여 고찰하고, 구멍 가공 후 밀링 가공면의 표면 특성 변화를 최소화하는 가공방법에 대하여 연구하였다.

2. 정면밀링가공

절삭가공에 의한 공작물의 표면조도(surface roughness)는 공구의 형상, 절삭조건, 절삭유의 사용여부 및 공작물의 재질에 따라 영향을 받게 된다. 팁(Tip)교환형 정면 밀링커터로 가공 시 날의 형상 불량, 날이 축방향으로 미끄러질 때, 날의 마모가 불균일할 때, 칩(Chip)의 흐름이 불량할 때, 이송량이 맞지 않는 경우 가공면의 조도는 좋지 않다.

본 논문에서는 구멍이 있는 공작물의 중심을 통과하는 정면밀링가공을 통하여 진입부와 퇴출부의 표면조도 변화에 대하여 살펴보고자 한다. 또한 공작물의 중앙에 공구가 위치할 경우에 각각의 절삭날에 대해 가장 짧은 절삭 길이를 갖게 되며 진입부에서는 상향절삭(up cut milling), 퇴출부에서는 하향절삭(down cut milling)이 이루어짐을 알 수 있다. 상향절삭과 하향절삭은 공구와 공작물 사이의 상대운동 방향에 의해 결정되며 상향절삭은 공구와 공작물의 상대운동 방향이 반대인 경우이고, 하향절삭은 상대운동 방향이 동일한 경우이다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치 및 측정장치

본 실험에 사용된 공작물은 기계부품으로 많이 사용되는 기계구조용 탄소강인 SM45C를 사용하였고, 공작물의 크기는 40×60×30mm를 사용하였다. 또한 사용된 공작기계는 CNC 밀링머신으로 통일중공업에서 제작된 TNV-40M이며 제원은 Table 1과 같다.

사용된 공구는 한국야금의 밀맥스(EP4125R)와 인서트(ST20E-SPCN1203EDR)를 사용하였다. 표면 변화를 측정하기 위한 3차원 측정기는 Rank-Taylor Hobson사의 Form Talysurf Series 2를 사용하였다. 이 측정기는 Traverse unit column, Traverse table, Interface unit와 데이터 처리 장치인 PC와 프린터로 구성되어 있다. Table 2는 측정장치의 제원을 나타내고 있으며 Fig. 1은 구성요소들을 나타내고 있다.

Table 1 CNC milling machine specification

working table surface(mm)	910×410
spindle speed (rpm)	4,000
X, Y, Z table feed length(mm)	560×290×510
table net weight(kg)	500
main spindle taper	NT.40
main spindle power(kw)	AC 5.5

Table 2 Specification of the measuring system

Traverse unit	
traverser length(mm)	120
measuring speed (mm/sec)(±5%)	1
dimension(mm)	365×120×160
weight(kg)	11.5
Column	
range(mm)	450
height(mm)	630
weight(kg)	47
Traverse table	
range(mm)	50
Stylus	
tip radius(μm)	1.5-2.5
stylus force over full range(mgf)	70-80

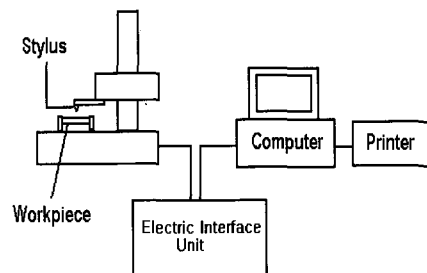


Fig. 1 Schematic illustration of surface roughness measurement system

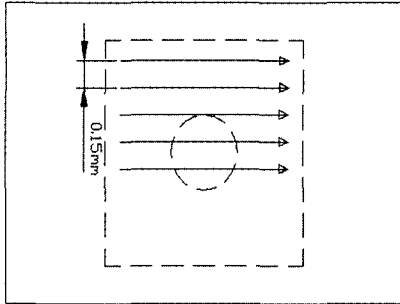


Fig. 2 Measuring direction of workpiece

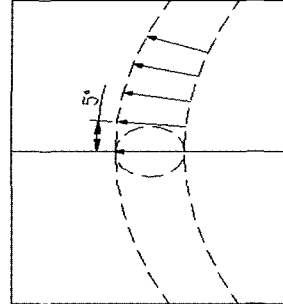


Fig. 3 Measuring degree of hoop direction

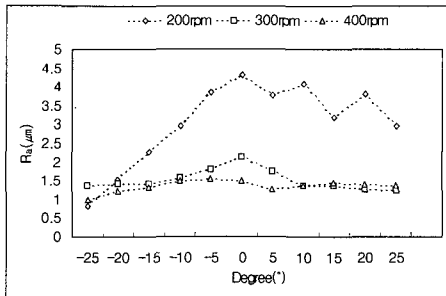


Fig. 4 2D surface roughness & measuring degree (Depth of cut = 1.0mm, Depth of endmill = 0.4mm)

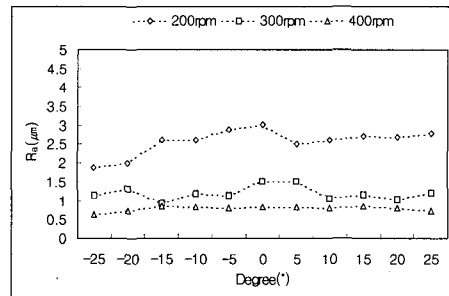


Fig. 5 2D surface roughness & measuring degree (Depth of cut = 1.0mm, Depth of endmill = 0.6mm)

3.2 실험 방법 및 측정

본 실험은 CNC 밀링머신에서 $\phi 10\text{mm}$ 엔드밀로 공작물을 절입깊이 0.4, 0.6, 0.8mm로 작업한 후 정면밀링커터로 각각 절입깊이 1.0mm로 가공하였고, $\phi 10\text{mm}$ 엔드밀로 공작물을 절입깊이 0.6mm로 작업한 후 정면밀링커터로 각각 0.6, 1.0, 1.6mm로 가공하였다. 또한 가공 진행 방향은 공작물의 중앙을 통과하고 절삭속도 80, 118, 157m/min로 변화시켜 가공하였다. 공작물 이송속도는 40mm/min, 밀링커터의 지름은 125mm, 절삭날은 8개로 선정하였다. 팁은 같은 절삭조건을 형성하기 위하여 한번 절삭 후 교환하고, 공작물은 바이스 중심에 위치하고 바이스 죠(jaw)에 공작물 두께의 2/3를 체결하였다.

측정은 표면조도 측정기를 사용하여 Fig. 2와 같이 공작물 이송의 직각 방향으로 측정하고, 0.15mm 간격으로 연속적으로 200회 3차원 측정을 하였다. 2차원 측정은 Fig. 3과 같이 공작물에 구멍이 위치해 있던 중심으로부터 상하 5°씩 원주방향을 따라서 5등분씩 측정하였다. Fig. 2~Fig. 3에서 실선은 시편크기, 은선은 측정부분, 원은 정면밀링커터로 가공하기전의 엔드밀 절입깊이를 나타낸다.

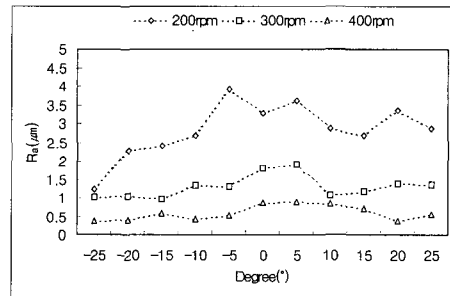


Fig. 6 2D surface roughness & measuring degree (Depth of cut = 1.0mm, Depth of endmill = 0.8mm)

4. 실험결과 및 분석

공작물의 이송속도, 회전수, 절삭깊이에 따른 구멍주위의 표면조도 변화를 나타낸 것이 Fig. 4~Fig. 6이다. 또한 구멍주위의 표면형상이 어떠한 특성을 가지고 변화하는지를 2차원 측정으로는 표현하기가 어렵기 때문에 Fig. 2와 같은 방법으로 3차원 측정을 실시하여 엔드밀 절입깊이와 정면

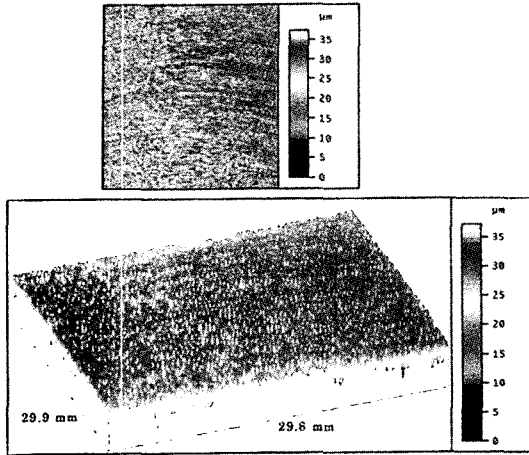


Fig. 7 3D shape of milled surface (Depth of cut=1.0mm, Depth of endmill=0.4mm, Feed=40mm/min, Speed=200rpm)

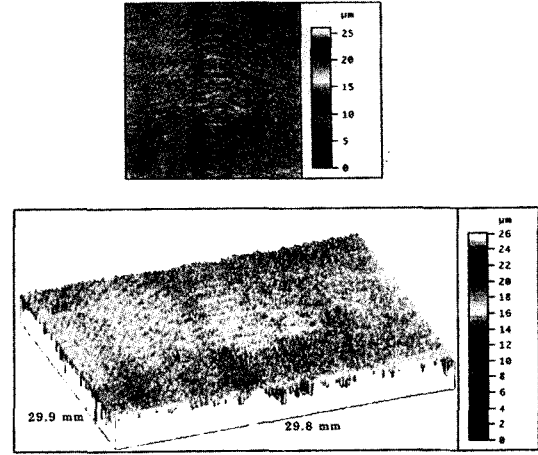


Fig. 8 3D shape of milled surface (Depth of cut=1.0mm, Depth of endmill=0.4mm, Feed=40mm/min, Speed=300rpm)

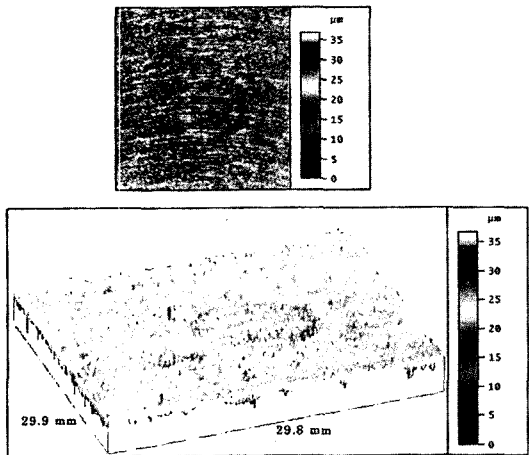


Fig. 9 3D shape of milled surface (Depth of cut =1.0mm, Depth of endmill=0.4mm, Feed=40mm/min, Speed=400rpm)

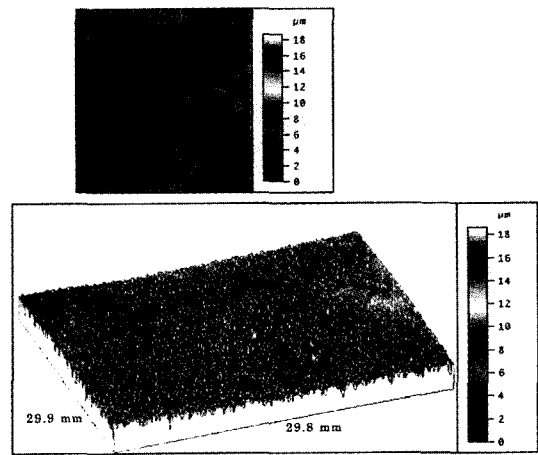


Fig. 10 3D shape of milled surface (Depth of cut = 0.6mm, Depth of endmill=0.6mm, Feed=40mm/min, Speed=400rpm)

밀링커터의 절입깊이 차이, 회전수 그리고 이송속도를 변화시켜 표면형상 변화를 Fig. 7~Fig. 17과 같이 나타내었다.

Fig. 4~Fig. 6에서 볼 수 있듯이 엔드밀과 정면밀링커터의 절삭깊이 차이가 0.2, 0.4, 0.6mm에서 표면조도의 현저한 변화가 0°이후로 나타난다. 또한 절삭깊이 차이가 0.2mm인 Fig. 6에서는 표면조도의 변화폭이 회전수 200rpm에서 가장 큼을 알 수 있다.

구멍을 중심으로 -5°~10°에서 불규칙적인 표면조도의 변화가 일어나고, 특히 5°이후로 표면조도에 영향이 있음을 알 수 있다. 또한 엔드밀과 정면밀링커터의 절입깊이 차이

가 0.2mm, 0.4mm, 0.6mm일 때 회전수 400rpm에서 구멍이 표면조도에 미치는 영향이 적다는 것을 알 수 있다.

회전수 400rpm에서는 표면형상의 변화가 크게 나타나고, 300rpm에서는 상대적으로 작은 변화를 나타내며, 200rpm에서는 변화가 거의 없으므로 회전수가 증가할수록 구멍주위의 표면형상에 영향을 주고 있음을 Fig. 7~Fig. 9에서 알 수 있다.

Fig. 10~Fig. 14의 경우는 절삭깊이의 변화를 주어 가공한 결과 절삭깊이 차가 1.4mm에서 구멍의 영향이 없으며, 절삭깊이 차이가 없는 절삭 조건에서도 구멍의 영향이 없었다.

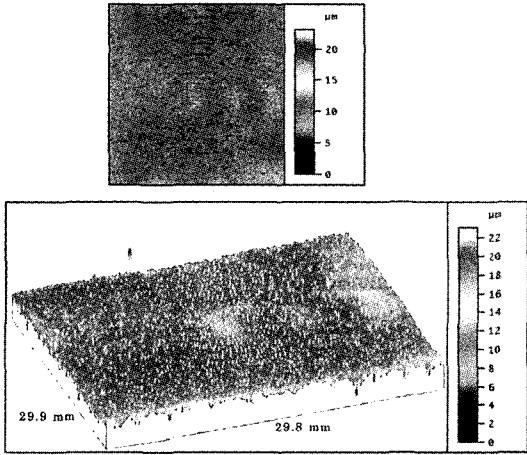


Fig. 11 3D shape of milled surface(Depth of cut=1.0mm, Depth of endmill=0.6mm, Feed = 40mm/min, Speed = 400rpm)

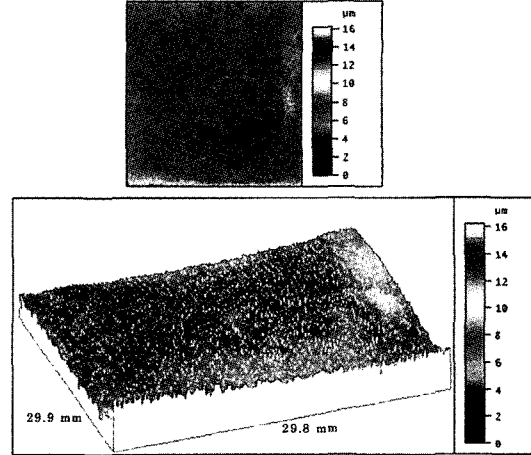


Fig. 12 3D shape of milled surface(Depth of cut=1.6mm, Depth of endmill=0.6mm, Feed=40mm/min, Speed=400rpm)

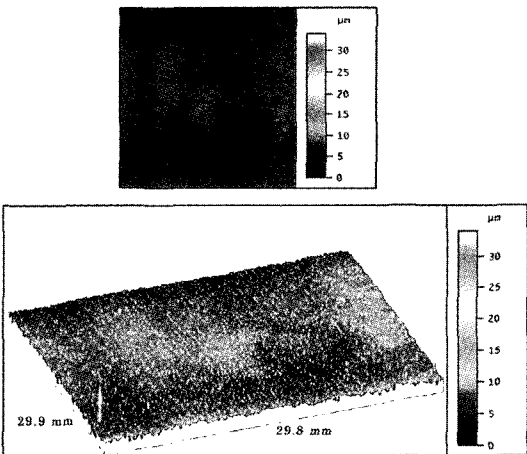


Fig. 13 3D shape of milled surface(Depth of cut=1.8mm, Depth of endmill=0.6mm, Feed=40mm/min, Speed=400rpm)

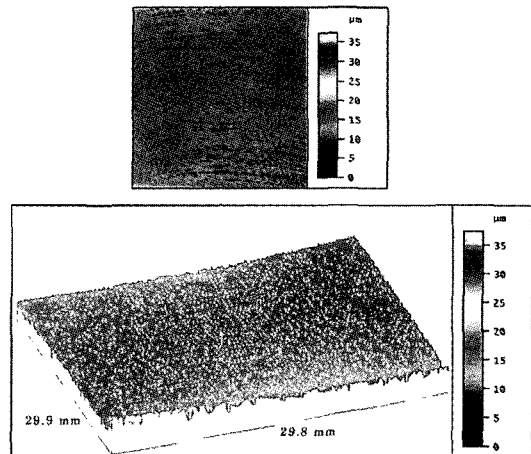


Fig. 14 3D shape of milled surface(Depth of cut=2.0mm, Depth of endmill=0.6mm, Feed=40mm/min, Speed=400rpm)

본 실험 결과 이송속도가 40mm/min인 경우 회전수 200rpm 에서는 절입깊이 차이 0.4mm 이상, 300rpm에서는 절입깊이 차이 0.6mm 이상, 400rpm에서는 절입깊이 차이 1.4mm 이상일 때 가공전의 구멍형상이 공작물의 표면에 미치는 영향이 없음을 알 수 있다. 구멍중심이 0°인 경우 표면형상의 영향이 적고 -5°와 5°에서 가장 큰 형상변화를 나타내고 있다.

또한 절삭속도가 상대적으로 느릴 때와 엔드밀 절입깊이와 정면밀링커터의 절입깊이 차이가 클 때, 표면형상에 영향이 적음을 알 수 있다.

Fig. 15~Fig. 16은 회전수 300rpm, 이송속도 40mm/min

인 경우 절삭깊이 차이 0.2mm, 0.4mm일 때 구멍주위의 형상변화가 뚜렷이 나타난다.

Fig. 17은 동일조건에서 절삭깊이 차이 0.6mm인 경우로서 구멍주위의 형상변화가 없었다.

5. 결론

본 논문에서는 정면밀링가공에서 공작물에 구멍이 있을 때 구멍깊이와 절입깊이 차이, 회전수의 변화가 공작물 표면형상에 어떠한 영향을 미치는지에 관하여 실험을 수행하

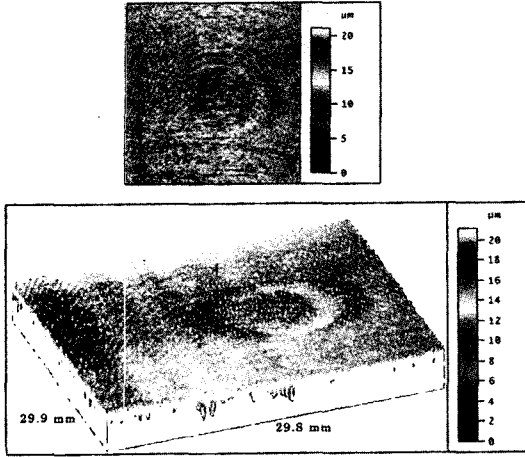


Fig. 15 3D shape of milled surface(Depth of cut=1.0mm, Depth of endmill=0.8mm, Feed=40mm/min, Speed=300rpm)

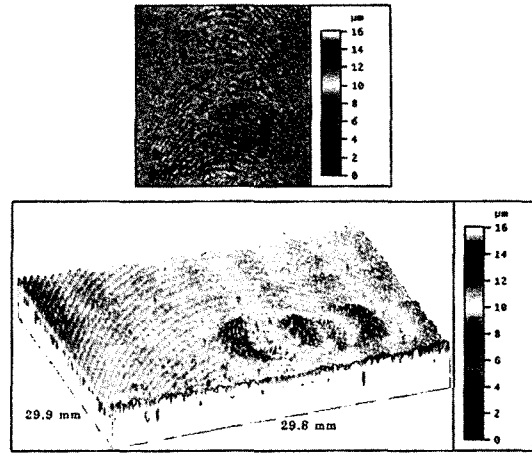


Fig. 16 3D shape of milled surface(Depth of cut=1.0mm, Depth of endmill=0.6mm, Feed=40mm/min, Speed=300rpm)

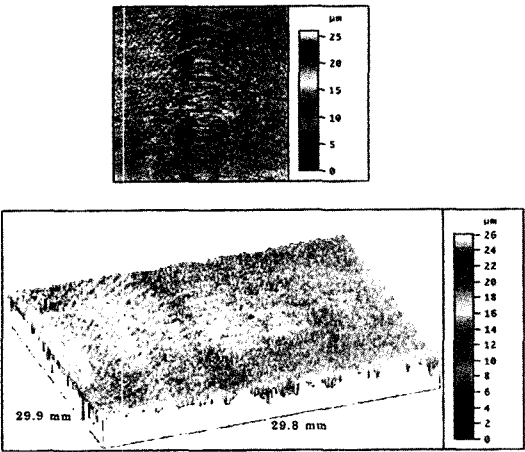


Fig. 17 3D shape of milled surface(Depth of cut=1.0mm, Depth of endmill=0.4mm, Feed=40mm/min, Speed=300rpm)

여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 가공전 공작물 표면에 나타나 있는 구멍형상은 정밀밀링가공 후 공작물 표면형상에 영향이 있음을 알 수 있었다.
- (2) 가공전 구멍의 형상은 절입깊이와 이송속도, 회전수에 따라 표면조도에 영향을 주므로 가공조건 선정시 중요한 요소이다.
- (3) 절삭속도가 상대적으로 느릴 때와 절입깊이의 차이가 클 때, 표면형상에 영향이 적음을 확인하였다.

- (4) 요철이 많은 주물제품이나 다이캐스팅으로 생산된 금속제품의 2차 표면가공에 본 연구 결과를 적용한다면, 양호한 표면을 얻기 위한 후속가공 공정의 단계를 줄일 수 있다고 예측된다.

참고 문헌

- (1) 손명환, 절삭가공론, 문운당, pp. 255~270, 1993.
- (2) J. Tlustý, S. Smith and C. Zamuda, "Operation planning based on cutting process model", *Annals of the CIRP*, Vol. 30, No.1, pp. 517~521, 1990.
- (3) M.D. Tsai, S. Takada, M. Inui, F. Kimura and T. SATA, "New NC routines for quality in milling", *Annals of the CIRP*, Vol. 40, No. 1, pp. 95~98, 1991.
- (4) W.A.Knight, *Fundamentals of Machining and Machine Tools*, pp. 166~173. 1989.
- (5) 박문진, 밀링가공면의 기하학적인 특성에 관한 연구, 석사학위논문, 국민대학교, 1997.
- (6) 김성청, 박희건, 이용석, "엔드밀에 의한 원통가공시 절삭조건에 따른 진원도의 실험적 연구", *한국공작기계학회논문집*, 제8권, 제4호, pp. 52~60, 1999.
- (7) 윤종학, 이종원, 정기영, 정문섭, "머시닝센터에서 볼 엔드밀 가공으로 고능률, 고정밀도 제고를 위한 표면가공조건", *한국공작기계학회논문집*, 제7권, 제3호, pp. 99~103, 1998.