

MQL장치를 이용한 보링 가공시 최적절삭조건에 관한 연구

한동룡[#]

A Study on the Optimal Cutting Condition in Boring using MQL System

Dong-Yong Han[#]

(Received 20 May 2011; received in revised form 15 June 2011; accepted 8 August 2011)

ABSTRACT

Lubrication has an important role to reduce frictional forces and temperature between cutting chips and the face of a tool. However, it has harmful effects to workers' health and working environment. The purpose of this thesis is to find cutting conditions through the quality analysis in boring for SM45C steel using MQL(Minimum Quantity Lubrication). Machining process is super drill, tip drill, end mill and boring in order. Experimental factors of boring and the quantity of mist air are properly selected. With the analysis of experimental data, this thesis shows that boring with MQL improves the surface roughness when spindle speed is 934rpm or feeding speed is 74mm/min.

Key Words : Minimum Quantity Lubrication(극미량절삭유), Surface Roughness(표면거칠기) Bearing Ratio(베어링률), Geometric Tolerance(기하공차), Circularity(진원도), Cylindricity(원통도)

1. 서 론

최근 산업분야는 자동화, 고속화, 고정밀, 고능률 생산시스템으로 발전하고 있다. 그러나 산업 기술의 발전과 더불어 환경오염이라는 심각한 문제가 대두되고 있다. 제품의 제조과정에서부터 폐기에 이르기까지 전 과정에 걸쳐 친환경적인 생산시스템으로의 관심이 높아지고 있다. 제품의 제조과정에서 발생하는 폐기물이나 유해물질의 발생과 사용을 억제하고, 폐기 시에도 재활용이 가능하고 환경오염을 줄일 수 있는 재료의 적용 등 많은 분야에서 연구가 진행되고

있다^[1,2]. 금속의 가공분야에서도 여러 가지의 문제점이 지적되고 있는데 그 중에서 절삭유제는 최근의 관심분야 중의 하나이다. 그러나 이러한 절삭유제에는 윤활성의 향상을 위하여 염소(Cl), 인(P), 황(S) 등의 극압 첨가제들이 첨가되어 있어 절삭가공 시 비산, 연소, 휘발하면서 유독성 물질이라는 다이옥신이 발생된다고 보고되고 있으며 이러한 물질의 발생은 인체에 매우 유해하며 아울러 작업장의 환경을 심각하게 오염시키고 있다^[3]. 생산에서 절삭유제와 관련한 비용이 총생산비용의 7~17% 정도로 공구비용의 4배 정도가 소요된다고 보고되고 있다^[4]. 따라서 근간에는 절삭유제의 사용을 최소화하고 냉각, 윤활, 칩의 배출이 용이한 절삭가공이 행하여지고 있는데 절삭가공 시 압축공기를 절삭유 대신에 사용하거나, 냉풍

교신저자 : 한국폴리텍VII대학

E-mail : hanyong@kopo.ac.kr

을 이용하는 방법, 그리고 세미드라이(semi-dry) 또는 MQL(minimum quantity lubrication)가공이라 하여 고압의 압축공기와 인체에 무해한 식물성 오일을 미스트화 하여 적정한 비율로 혼합하여 극소량의 윤활유만을 가공면에 분사하여, 거의 건삭가공에 가까운 가공조건으로 가공이 행하여지고 있다^{15,6)}. 따라서 본 연구는 기계부품의 재료로 널리 사용되고 있는 중 탄소 강재인 SM45C를 사용하여 보링가공에 적합하도록 MQL 장치를 자체적으로 설계, 제작하고 보링가공 시 습식(wet)가공과 MQL 가공에서 이송피드와 절삭속도의 변화에 따른 표면거칠기의 영향과, 베어링률(bearing ratio)의 변화, 진원도와 원통도 등의 형상정밀도의 변화 등의 비교분석을 시행하여 보링가공시 최적의 가공조건과, 습식가공과 MQL 가공의 적용 가능성에 대하여 조사하였다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 실험장치

MQL을 이용한 보링가공에서의 절삭조건의 변화에 따른 가공특성 및 품질특성의 변화에 대하여 분석하고 최적의 가공조건을 확립하고자 TNV40A 머시닝센터를 이용하여 시험편을 가공하였으며, MQL 장치는 일반적으로 시판되고 있는 장치의 문제점인 압축공기와 미스트 오일의 양적인 배합조정이 어려운 단점을 보완하여 보링가공에 적합하도록 MQL장치를 자체적으로 설계 제작하여 적용하였다. Table 1에 실험장치에 대한 사양과 MQL 및 습식가공에 사용된 장치를 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1 Specification of experimental equipment

Item	Unit	Specification
Table size	mm	900x410
Spindle speed	rpm	4,000
Number of tool	ea	24
CNC controller		FANUC/SIEMENS

MQL 장치는 오일의 유면에 고압의 압축공기를

가하여 분사압력을 형성시키고 내부에 샷갯형의 분리판을 설치하여 미스트의 상태를 적절하게 유지되게 하고 끝부분의 모양을 곡면으로 설계하여 자연스럽게 미스트의 와류를 형성하도록 하였다. 내부의 탱크용량은 2ℓ 정도로 하였으며 특징적으로 내부 유로 중간에 유량계를 설치하여 미스트와 압축공기의 유량조절이 용이하도록 하였다. Fig. 1에는 제작된 장치의 사진을 나타내었다.



Fig. 1 Photo of MQL System

2.2 시험편

본 연구에 사용된 재료는 일반적으로 가격이 저렴하고 기계적성질이 우수하여 기계공업분야에서 널리 사용되고 있는 중탄소강의 SM45C를 조질(Q.T)하여 사용하였다. Table 2에 재료의 화학적인 조성에 대한 스펙트럼 분석치 그리고 실험재의 규격 등을 표시하였다. Fig. 2는 가공된 시험편의 사진이다.

Table 2 Chemical composition and specification of material

Material	SM45C	Specimen size	350 x 300 x 25(t)mm		
Composition	C	Si	Mn	P	S
%	0.46	0.24	0.73	0.011	0.03

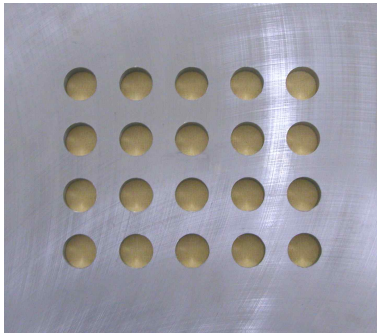


Fig. 2 Test piece

2.3 절삭조건 및 가공방법

조질처리된 시편의 가공은 먼저 MQL 가공과 WET 가공 그리고 미스트의 양을 다량으로 분사하여 거의 습식과 유사한 본 논문에서는 MQL+WET로 지칭한 3가지방법으로 진행하였다. 가공은 (주)통일의 TNV-40A 머시닝센터에서 4가지의 공구에 대한 가공 조건으로 각각 프로그래밍하여 자동으로 가공을 시행하였다. 1차가공은 $\phi 12\text{mm}$ 슈퍼드릴로 작업하고, 공구의 마모시험을 위한 2차가공으로 $\phi 28\text{mm}$ 의 팁드릴 가공을, 3차가공으로는 $\phi 30\text{mm}$ 엔드밀 가공을 실시한 후 4차 최종가공으로 $\phi 30.2\text{mm}$ 의 보링가공순으로 실험을 진행하였으며 이때의 절삭조건은 현대자동차연구소에서 보링가공 시 추천하는 절삭조건을 참고로 하여 이송피드를 33~123mm/min로, 스피ndl의 회전수를 669~1115rpm로 각각 5단계로 변화시켜 절삭조건에 대한 가공 표면의 품질특성의 변화를 분석하기 위한 실험을 시행하였다. 이때 WET 가공은 W2종1호(극동오일)절삭유제를, MQL 가공에서는 식물성 오일(Lubri fluid F100)을 압축공기와 혼합 유량 60cc/min과 90cc/min로 분사압력 6bar와 9bar로 각각 노즐을 통하여 분사하였다. Table

Table 3 Cutting conditions of MQL, WET, MQL+WET cutting

Item	1	2	3	4	5
Feed (mm/min)	33	47	74	104	123
Spindle speed (rpm)	669	796	934	1040	1115

3에는 절삭조건을, Table 4에는 절삭공구의 사양에 대하여 나타내었다.

Table 4 Lists of cutting tools used for MQL, WET, MQL+WET cutting

Processing	Tool name	Specification	Company
1st	Super drill	12mm	Nikken
2nd	Tip drill	28mm	Taegutec
3rd	End mill	30mm	Korloy
4th	Boring	30.2mm TBGT 060102	Atom, Taegutec

3. 실험결과 및 고찰

3.1 이송과 회전수변화에 따른 표면거칠기의 변화

MQL, WET, MQL+WET 가공에서 이송피드를 33, 47, 74, 104, 123mm/min으로, 스피ndl 회전수를 669, 796, 934, 1040, 1115rpm 각각 5단계로, 변화시켜 표면거칠기의 변화를 고찰하였다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 이송피드에 따른 표면거칠기의 변화는 이송속도가 33mm/min에서 123mm/min으로 증가될수록 증가되는 경향을 나타내었으며, Ra(중심선평균거칠기)는 MQL 가공에서는 평균 1.25 μm 에서 2.97 μm 로, WET 가공의 경우 0.83 μm 에서 2.21 μm , MQL+WET 가공에서도 1.01 μm 에서 3.10 μm 정도로 3가지 경우 모두 증가되었다. Fig. 4는 스피ndl의 회전수 변화에 대한 표면거칠기의 변화에서는 스피ndl의 회전수변화가 669rpm에서 1115rpm으로 커짐으로서 표면거칠기가 향상되는 경향을 나타내었다. MQL 가공의 경우 669rpm에서 평균 2.38 μm 1115rpm에서는 1.56 μm 로, WET 가공에서는 평균 1.64 μm 에서 1.11 μm 로, MQL+WET 가공에서 2.49 μm 에서 1.47 μm 로 각각 다른 조건에서 모두 표면거칠기 감소되었다. Fig. 3과 4에 이송피드와 스피ndl의 회전수 변화에 따른 표면거칠기의 변화에 대한 내용을 표시하였다.

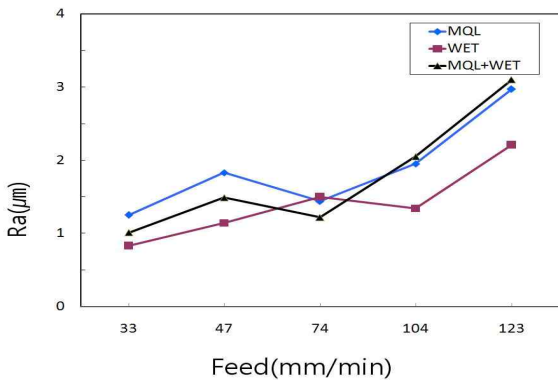


Fig. 3 Effect of feed on surface roughness

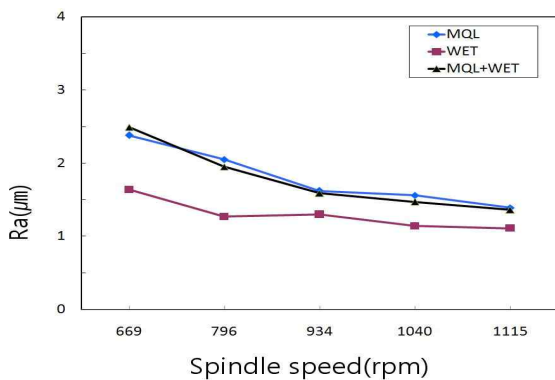


Fig. 4 Effect of spindle speed on surface roughness

3.2 이송과 회전수 변화에 따른 베어링률

베어링률은 미세 표면의 형상에 따른 마모에 대한 내용을 나타내는 것으로 표면거칠기 측정 시 평가길이 내에서 평면부분이 차지하는 비율을 백분율로 표시하여 나타내어진다. 본 논문에서는 MQL과 WET, MQL+WET 가공에서의 가공 표면의 표면거칠기 외에 좀 더 마모와 수명측면에서 접근하여 보았다. 이송피드 변화에 따른 베어링률의 변화에서는 3가지 방법 모두 베어링률이 감소되는 경향을 나타내었다. 이송피드가 가장 작은 33mm/min일 때 표면거칠기도 가장 우수함으로, 베어링률 역시 MQL 가공 69%, WET 가공 67.5%, MQL+WET 가공 68% 정도로 전체 이송조건 중 가장 높게 나타났다. 이송피드가 33mm/min에서 123mm/min으로 증가됨에 따라 가공 표면의 표면거칠기가 커지게 되어 베어링률도 감소되어지는 것으로 판단된다. 스피들의 회전수 변

화에 따라서는 절삭속도가 커지게 되어 절삭열의 발생과 공구와 경계부에서의 마찰 마모도 지속적으로 발생하는 상황에서는 WET 가공이 MQL 가공 보다 다소 양호한 것으로 보인다. 이는 수용성 절삭유제를 사용하는 WET 가공이 냉각능력과 윤활능력이 좋았던 것으로 보이며 상대적으로 미스트와 압축공기를 혼합하여 사용하는 MQL 방식에서는 미스트와 압축공기의 배합 비율이 적절치 못함으로 인하여 냉각과 윤활능력이 다소 부족 하였던 것으로 보여진다. Fig. 5와 6에 이송피드와 스피들 회전수 변화에 따른 베어링률에 변화에 대하여 나타내었다.

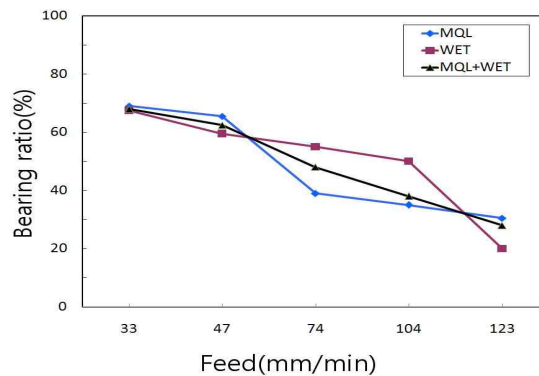


Fig. 5 Effect of feed on bearing ratio

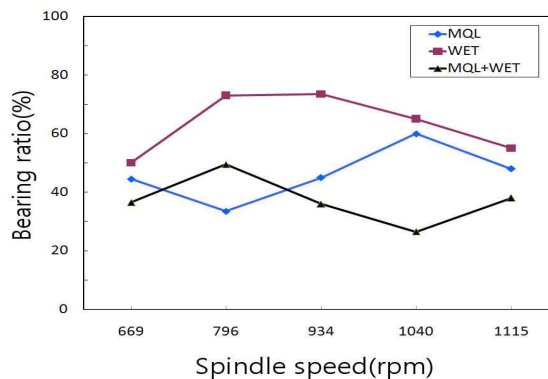


Fig. 6 Effect of spindle speed on bearing ratio

3.3 이송과 회전수변화에 따른 기하공차

표면거칠기는 가공된 표면을 고배율로 확대하여 나타낸 것이라면 MQL과 WET 가공에서의 가공에 대한 정밀도로 형상에 대한 기하편차에 대하여 고

찰하여 보았다. Fig. 7에는 이송피드에 대한 진원도의 변화를 나타낸 것으로 MQL 가공이 WET 가공과 MQL+WET 보다 우수하게 나타났으며, 이송피드가 33mm/min에서 74mm/min으로 증가함에 따라 모두 진원도가 감소하였으나, 74mm/min 이상의 이송피드에서는 다시 진원도가 증가하였으며 74mm/min 일 때 MQL, WET, MQL+WET 가공의 진원도가 각각 평균 0.7 μ m, 3.3 μ m, 1.5 μ m,로 3가지 가공방법 모두 우수하였으며, 이송피드에 따른 진원도는 WET 가공보다 MQL 가공이 양호하였다. Fig. 8에서 스핀들 회전수 변화에 따라서는 669rpm에서 934rpm으로 가면서 진원도가 양호하였으며 934rpm 이상의 속도에서는 다시 증가함으로 스핀들 회전수 796rpm에서 934rpm일 때가 진원도가 우수하게 나타났다.

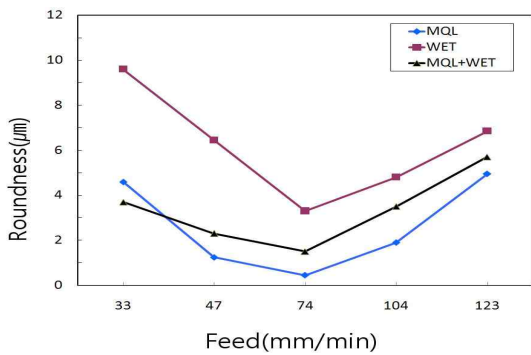


Fig. 7 Effect of feed on roundness

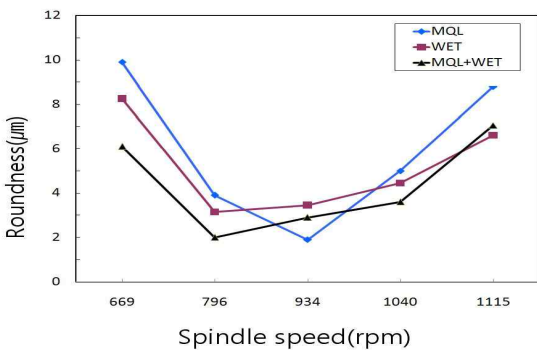


Fig. 8 Effect of spindle speed on roundness

Fig. 9에서 원통도는 이송피드의 변화에 따라 진원도에서의 경우와 마찬가지로 이송피드 74mm/min 일 때가 3가지 가공방법 모두 비교적 안정된 결과를 나타내었으며, 그 중 WET 가공 5 μ m, MQL+WET

가공 5.6 μ m, MQL 가공 3.9 μ m로 MQL 가공이 가장 우수하였다. 이송피드 74mm/min 이상과 이하의 범위에서의 원통도는 매우 불안정한 결과를 나타내었다. Fig. 10에서의 스핀들의 회전수 변화에 따라서는 934rpm에서 비교적 안정된 결과를 나타내었고 WET 가공의 경우 이 범위를 벗어난 영역에서는 매우 불안정하게 나타났다. MQL 가공은 스핀들 회전수가 796rpm에서 1040rpm 범위까지 비교적 안정된 결과를 보이고 있으므로, MQL 가공에서의 이송피드는 74mm/min일 때, 스핀들의 회전수는 796rpm에서 1040rpm의 범위가 가공 조건이 우수한 것으로 판단 된다.

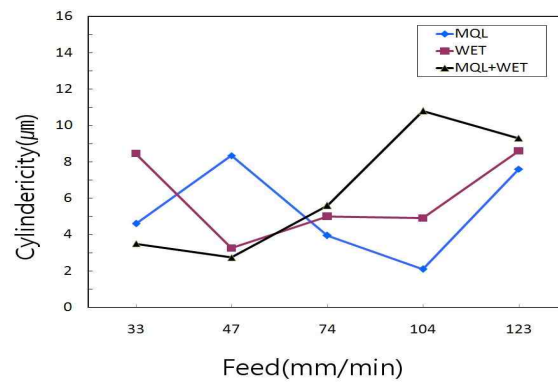


Fig. 9 Effect of feed on cylindricity

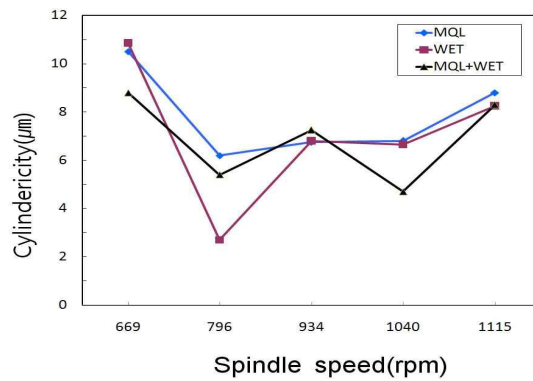


Fig. 10 Effect of spindle speed on cylindricity

4. 결론

본 연구에서는 기계구조용탄소강재 SM45C의

- MQL, WET, MQL+WET 가공을 통하여 표면거칠기, 진원도, 원통도를 고찰한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.
1. MQL, WET, MQL+WET 가공에서 이송과 회전수의 변화에 따른 표면거칠기는 MQL과 WET 모두 이송이 증가함에 따라 표면거칠기가 커지며, 회전수가 증가함에 따라서는 반대로 감소되는 경향을 나타내었다. 이송피드 74mm/min와 스피들 회전수 934rpm에서 모두 양호하게 나타났다.
 2. 표면의 베어링률은 표면거칠기에서와 마찬가지로 이송피드가 증가함에 따라 감소되고 회전수가 증가함에 따라 증가되는 경향을 나타내었다. 또한 WET 가공의 경우가 베어링률이 다소 높게 나타났다.
 3. 형상정밀도는 진원도와 원통도 모두 이송피드 74mm/min에서 가장 작은값을 나타내었고, 스피들 회전수 934rpm에서 가장 양호하였다. 따라서 3가지 가공조건 모두 이송피드가 74mm/min과 회전수 934rpm에서 가장 양호함을 알 수 있었다.
 4. 결과를 종합하여 볼 때 표면 정상면에서는 MQL, WET, MQL+WET 가공이 유사하나 경제적 환경적 측면에서 MQL 가공이 우수하며, MQL 가공에서는 이송피드 74mm/min와 회전수 934rpm일 때 표면거칠기와 베어링률 및 기하편차가 가장 양호함으로 실험된 범위 내에서 가장 우수한 가공조건으로 판단되어진다.
 6. 이종항, “환경 친화적인 절삭가공 기술”, 한국정밀공학회지, 제18권, 제9호, pp. 31-36, 2001.

참고문헌

1. 신성우, “MQL 선삭가공에서 절삭조건과 원통도의 상관 관계분석”, 한국기계가공학회지, 제8권, 제3호, pp. 74-81, 2009.
2. 이지형, “MQL밀링가공의 가공성 및 경제성평가”, 한국정밀공학회지, 춘계학술대회 논문집, 2007.
3. 박수현, “MQL에 의한 엔드밀가공에서의 절삭력 분석 및 표면거칠기 향상에 관한 연구”, 한국정밀공학회, 추계학술대회논문집, 2006.
4. 이종항, “환경 친화적인 세미드라이 선삭가공 특성”, 한국정밀공학회지, 제9권, 10호, 2002.
5. 최현중, “압축공기를 이용한 환경 친화적 연삭가공기술”, 한국정밀공학회지, 제18권, 제9호, 2001.