

고속가공을 이용한 고경도 코어부의 가공성 향상기술

임유업(부산대원)*·김정석**·강명창(부산대 ERC/NSDM)**·박희영((주)양정)***

Improvement Technique of Machinability in machining high-hardened Core Part through High Speed machining

Yu Up Lim, Jeong Suk Kim, Myung Chang Kang and Hee Young Park

Key Words: High Speed Machining(고속가공), Die and Mold(금형), QRO90, CAD/CAM, Tool Wear(공구마멸), Surface Shape(표면형상), Run out(런아웃), Acceleration(가속도)

Abstract

As the development of High Speed Machining, It is applied in many fields of manufacturing. Among them is to manufacture die and mold. But it still remains as a hard-to-work to apply it in machining pre-hardened materials such as hardened QRO90. It also difficult to machine new materials because there is no machining date of them. Therefore, in this study, we are trying to improve the machinability of new material, QRO90 by applying various cutting conditions, and selecting the best condition which not only reduce the machining time but improve the quality of die and mold made of QRO90 material.

1. 서 론

고속가공의 발전에 따라서 생산성 향상과 동시에 고경도·고품질의 가공면을 얻기위한 연구가 진행되고 있다.⁽¹⁾ 또한 신소재나 고경도 소재등 난삭재의 가공에도 고속가공이 응용되면서 공구 수명을 향상시키고 가공시간의 단축과 금형의 수명을 향상시키기 위한 가공기술의 개발에 관한 연구가 활발하다.⁽²⁾

회전형 및 스크롤 방식의 압축기 부품인 로터에서 다이캐스팅용 성형부 코어의 경우 현재 STD61종을 이용한 범용가공을 통해 생산하고 있으나 다이캐스팅 사출시 수명이 현저히 저하되어 부품으로서의 재기능을 다하지 못하고 있는 실정이다. 그러므로 신소재인 QRO90을 이용한 제품을 개발하고자 하는데 소재를 열처리한 후 경도

가 HRc60인 고경도이고, 심부의 깊이가 23mm이상이어서 일반가공으로는 가공이 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 고경도 열처리 소재에 대하여 고속가공을 적용하여 기존의 가공공정을 단축시키는 것은 물론 수명이 향상된 고경도·고품질의 금형을 생산하고자 한다.

현재 고속가공은 주축회전수 100,000rpm, 이송속도 80mm/min까지 수행되고 있으나 고경도의 난삭재를 가공하는 경우에는 10m/min의 비교적 저속에서 가공이 이루어지고 있는 실정이다.⁽³⁻⁶⁾

따라서 고경도 소재인 열처리된 QRO90에 대한 가공특성을 파악하여 고속가공의 이점을 최대한 살리면서 최적의 가공조건에서 가공이 수행되도록 하고자 본 연구를 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험조건 및 실험장비

QRO90소재는 크롬, 몰리브덴, 바나듐합금 열간공구강으로 화학조성은 Table 1과 같다. 뛰어난 고온강도와 내열충격성을 가지며 열처리성과 열

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

** 부산대학교 기계공학부/ ERC/NSDM

*** (주)양정

전도도가 우수하여 알루미늄 다이캐스팅용 금형 재료로 적합한 소재이다.

Table 1 Chemical properties of QRO90 material

	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
wt%	0.40	0.30	0.75	2.60	2.25	0.80

최적의 절삭조건을 선택하기 위해서 공구마멸을 최소화하는 조건과 가공시간을 단축시키는 두 가지 상충된 조건을 고려해야한다. 이를 위해서 다양한 절삭조건들을 변화시키면서 실험을 수행하였다.

가공성 평가실험은 TiAlN으로 PVD코팅 처리된 지름 8mm, 2날의 볼 엔드밀을 사용하여 수행하였다. 사용된 공작기계는 최대 주축 회전속도 20,000rpm, 최대 이송속도 50m/min인 고속머시닝 센터 MAKINO-V55이며, 상세한 절삭조건은 Table 2와 같다.

Table 2 Cutting conditions of the experiments

Machining Center	MAKINO V55
Tool	8mm Ball endmill
Workpiece	QRO90(HRC60)
RPM	4000, 8000, 12000, 16000
Feed	800, 1600, 2400, 3200
Feed/Tooth(mm)	0.1
Pick Feed(mm)	0.1, 0.3, 0.5
Axial Depth(mm)	0.1, 0.3, 0.5
Coolant	Dry, Wet

고속가공이 일반 범용가공에 비해서 많은 장점이 있는 것은 사실이지만 고속의 절삭속도로 인해 발생하는 마찰열 문제와 이로인한 공구의 마멸을 감소시키기 위한 연구가 시급한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 고경도 소재의 고속가공시 냉각방법에 대한 가공특성을 평가해 보았는데 동일한 조건에서 건삭과 습삭절삭에 대한 공구마멸의 크기와 형태를 비교하였다.

또한 가공조건 중에서 공구마멸과 가공시간에 직접적인 관련이 있는 절삭속도, 피크피드, 절입

깊이등의 절삭조건 변화에 따른 가공특성을 파악하기위한 실험을 수행하였다. 이를 위해서 Fig. 1과 같이 가공중 발생하는 런아웃 신호와 가속도 신호를 비교하고 가공 후 공구마멸과 표면조도, 표면형상을 비교하였다.

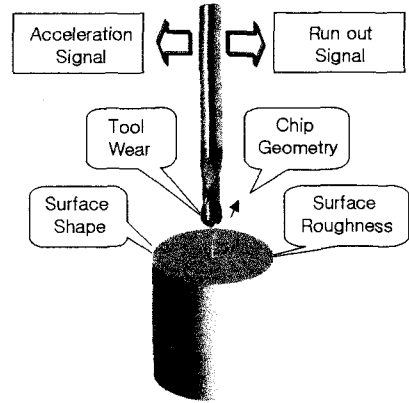


Fig. 1 Signals and properties measured to evaluate each cutting conditions

3. 가공성 평가실험 및 고찰

3.1 절삭속도변화에 따른 가공특성

우선 절삭속도의 변화에 의한 가공특성을 평가하기 위해서 다른 절삭조건을 동일하게 하고 Table 3과 같이 주축 회전수를 4000rpm에서 16000rpm까지 변화시키면서 실험을 수행하였다.

Table 3 Cutting conditions to compare the effects of cutting velocity

RPM	Feed (mm/min)	Pick Feed (mm)	Axial Depth (mm)
4000	800	0.3	0.3
8000	1600	0.3	0.3
12000	2400	0.3	0.3
16000	3200	0.3	0.3

절삭속도의 변화에 의해 발생한 런아웃 신호의 변화는 Fig. 2과 같다. 4000rpm의 비교적 저속에서 다소 불안정한 파형을 보이며 주축의 회전수가 증가함에 따라 런아웃 신호의 레벨이 다소 증가하게 되고 8000rpm에서 신호가 안정되고 레벨이 낮음을 볼 수 있다.

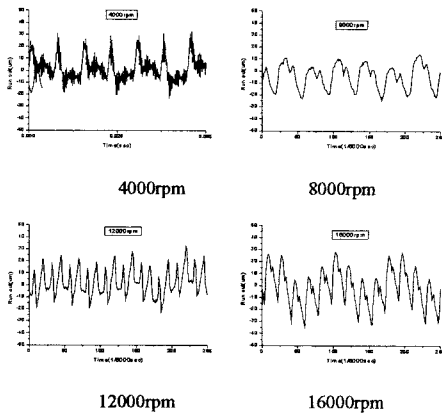


Fig. 2 Run out signals at a different cutting speed

절삭속도에 따른 가속도신호의 변화는 Fig. 3과 같다. 런아웃 신호와 유사하게 4000rpm에서 매우 불안정한 경향을 보이는데, 이는 고경도 소재를 가공하기에 불충분한 절삭속도로 공구에 큰 절삭력이 걸리기 때문이다. 마찬가지로 8000rpm에서 안정된 신호를 나타내며 고속으로 갈수록 불안정 요소가 많아짐을 알 수 있다.

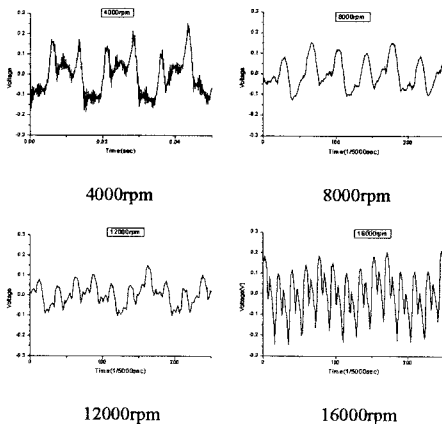


Fig. 3 Acceleration signals at a different cutting speed

Fig. 4는 절삭속도 변화에 따른 공구마멸의 변화이다. 한날당 가공되는 칩체적은 동일하지만 절삭속도가 변화함에 따라 마멸의 폭은 거의 일정하면서 고속으로 갈수록 절삭속도의 증가로 인하여 치평현상등 이상마멸이 발생함을 관찰할 수 있었다. 주축회전수 8000 rpm에서 가장 정상적인 마멸형태를 보였다.

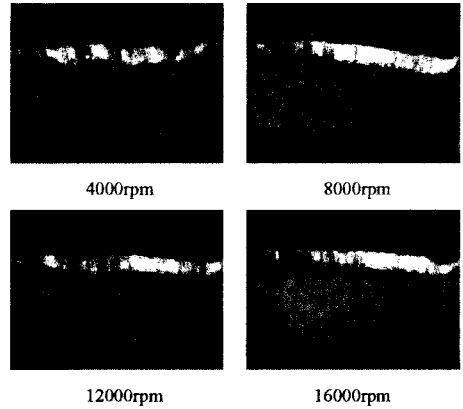


Fig. 4 Flank wear according to the variation of cutting speed

Fig. 5는 절삭속도의 변화에 따른 표면형상의 변화이다. 표면형상은 공구마멸과 밀접한 관련이 있기 때문에 공구마멸이 가장 정상마멸 형태를 보인 8000rpm에서 날당이송에 의한 표면형상을 잘 관찰할 수 있었고, 다른 조건에서는 공구마멸로 인하여 다소 불균일한 표면형상을 보인다.

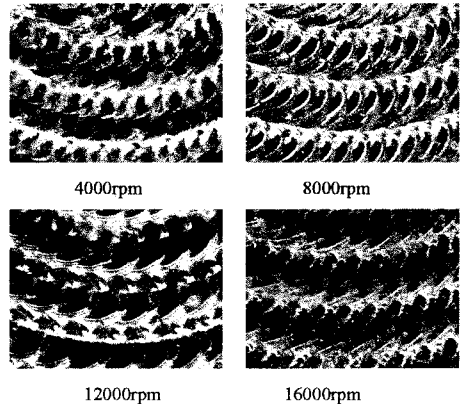


Fig. 5 Shapes of machined surfaces at a different cutting speed

절삭속도의 변화에 따른 칩형상의 변화는 Fig. 6과 같은데, 저속에서는 날당 이송량에 의한 균일한 형상의 칩이 배출되지만 고속에서는 칩이 배출되기 전 재절삭으로 인하여 칩의 형상이 불균일해지고, 정삭가공시에 표면형상에도 영향을 주게된다. 따라서 고속가공에서 고품위의 가공면을 얻기 위해서는 칩이 생성된 후 원활하게 배출되게 하는 냉각방법등의 선택이 중요하다.

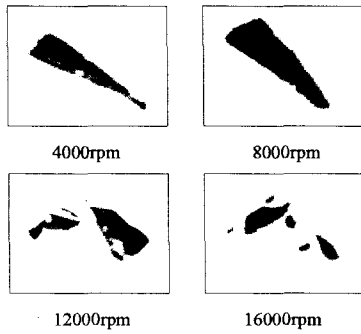


Fig. 6 Chips generated at a different cutting speed

고속가공을 이용한 고경도소재 가공시 냉각방법에 의한 가공특성을 비교하기 위하여 건식냉각 방식과 습식냉각방식에 대해서 공구마멸의 크기 및 형태를 비교하였다. 상세한 절삭조건은 Table 4과 같으며, 평가방법은 볼랜드밀을 이용하여 평면절삭하면서 절삭거리 7m간격으로 공구 여유면의 마멸폭과 마멸의 형태에 대해서 비교하였다.

Table 4 Cutting conditions

RPM	8000
Feed(mm/min)	1600
Pick Feed(mm)	0.3
Axial Depth(mm)	0.3
Coolant	Dry, Wet

Fig. 7에서와 같이 초기 공구마멸은 유사하지만 가공거리가 길어짐에 따라 그 형태가 달라짐을 알 수 있는데, 건식절삭의 경우 가공길이에 비례하여 거의 선형적으로 여유면 마멸폭이 증가하며 마멸형태는 정상마멸이어서 매우 바람직하다.

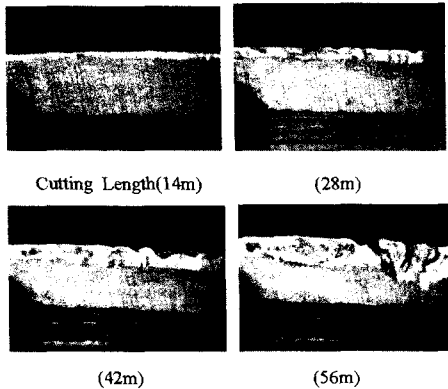


Fig 7 Flank wear in use of dry air

반면 습식절삭의 경우 Fig. 8과 같이 공구날이 가열과 급냉의 반복에 의해 치핑이 발생하는 등 이상마멸의 형태를 관찰할 수 있다. 이로 인해 가공면의 형상에도 심각한 악영향을 주게된다.

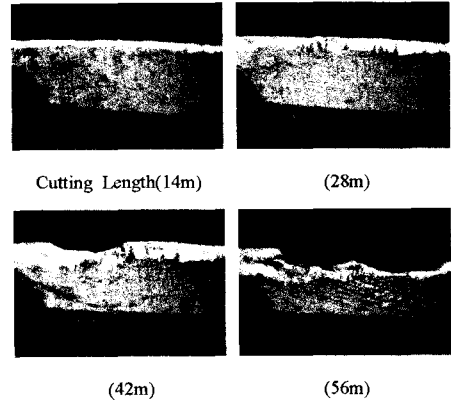


Fig. 8 Flank wear in use of cutting fluid

3.2 피크피드 변화에 따른 가공특성

피크피드의 변화가 공구마멸이나 표면형상에 미치는 영향을 평가하기 위해 Table 5와 같은 실험조건에서 런아웃과 가속도 신호를 측정하고 공구마멸과 표면형상에 대하여 상호 비교하였다

Table 5 Cutting conditions

RPM	Feed (mm/min)	Pick Feed (mm)	Axial Depth (mm)
8000	1600	0.1	0.3
8000	1600	0.3	0.3
8000	1600	0.5	0.3

Fig. 9, Fig. 10은 피크피드의 변화에 따른 런아웃 신호와 가속도 신호의 변화이다. 피크피드가 증가함에 따라 한달당 절삭하는 칩의 체적이 증가하게 되고 공구에 걸리는 절삭력이 커져서 런아웃과 가속도 신호의 레벨이 증가하게 된다.

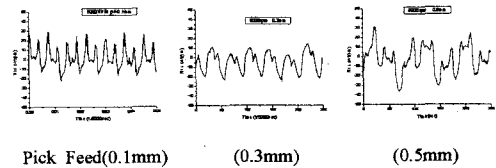


Fig. 9 Run out signals according to the variation of pick feed

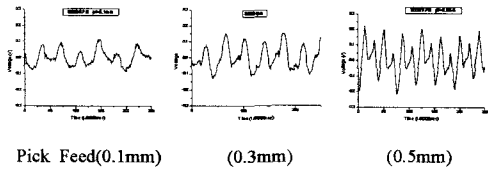


Fig. 10 Acceleration signals according to the variation of pick feed

또한 Fig. 11과 Fig. 12는 마멸폭이 피크피드의 크기에 비례하여 증가하고 표면형상은 피크피드와 날당이송량을 같게하여 가공한 경우가 가장 양호함을 보여준다.

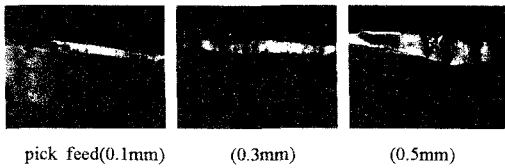


Fig. 11 Flank wear according to the variations of pick feed

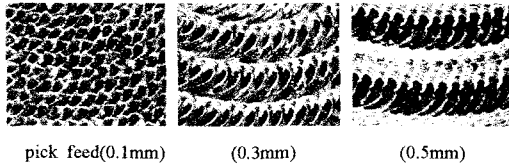


Fig. 12 Shapes of machined surfaces at a different pick feed

3.3 절입깊이 변화에 따른 가공특성

절입깊이 변화가 공구마멸과 표면형상에 미치는 영향에 대해서 Table 6과 같은 조건으로 실험을 수행하였다.

Table 6 Cutting conditions

RPM	Feed (mm/min)	Pick Feed (mm)	Axial Depth (mm)
8000	1600	0.3	0.1
8000	1600	0.3	0.3
8000	1600	0.3	0.5

Fig. 13, Fig. 14는 절입깊이의 변화에 따른 런아웃과 가속도신호의 변화인데 절입깊이가 증가할수록 절삭력이 크게 걸리게 되므로 런아웃과 가속도 신호의 레벨이 증가한다. 앞에서 피크피드의 변화에 따른 신호레벨의 증가에 비하여 그

증가폭이 커짐을 알 수 있다.

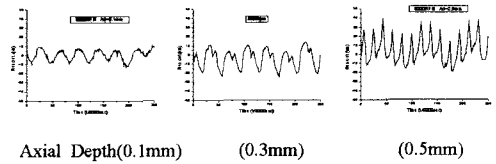


Fig. 13 Run out signals according to the variations of axial depth

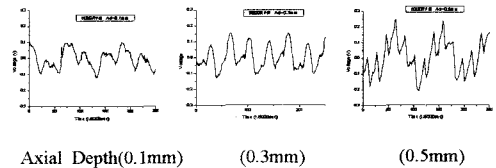


Fig. 14 Acceleration signals according to the variations of axial depth

Fig. 15와 Fig. 16에서는 피크피드의 증가에 비해 절입깊이를 증가시킨 경우가 마멸폭이 훨씬 커지고 칩핑등 이상마멸이 발생하게 되므로 절입깊이의 증가가 공구마멸에 가장 지배적인 영향을 주는 인자임을 알 수 있다. 이러한 사실을 통하여 가공중 발생하는 런아웃과 가속도신호는 공구마멸이나 그때 생성되는 표면형상과 상관관계가 있으며 초기신호와 증감폭을 관찰하고 미리 측정된 마멸과 신호레벨의 상관관계에 의해서 공구마멸에 대해 가공중 미리 예측하는 것이 가능함을 알 수 있다.

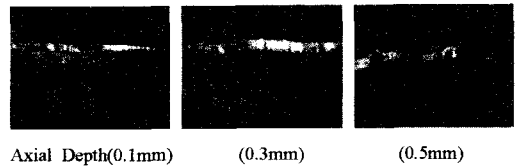


Fig. 15 Flank wear according to the variations of axial depth

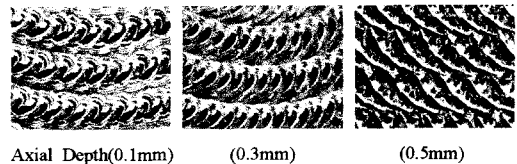


Fig. 16 Shapes of machined surfaces according to the variations of axial depth

3.4 Core부의 가공에의 응용

Unigraphics를 이용하여 Core부에 대한 3D 모델링을 수행한 후 가공성 평가실험을 바탕으로 고경도 소재의 고속가공에 적합한 NC데이터를 출력하였다. 그리고 고속가공기(MAKINO V55)로 전송하여 가공을 수행하였다. 황삭가공시에는 공구마멸을 최소화하면서 가공시간을 단축시킬 수 있도록 절입을 작게 하면서 피크피드를 크게하였고 정삭시에는 가공면의 품질을 향상시키기 위해서 절입과 피크피드를 작게 하여 가공하였다. Fig. 17은 가공방법의 개략도를 나타낸 것이다.

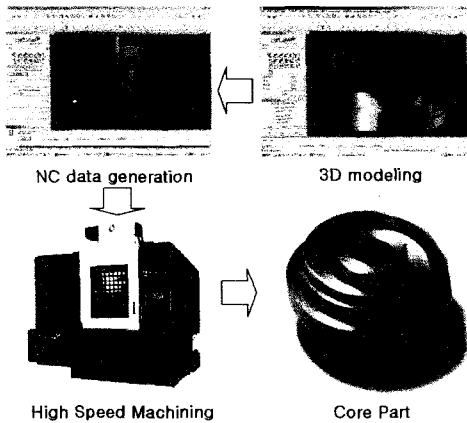


Fig. 17 Machining of Core part through high speed machining

4. 결론

고경도의 난삭재 가공시 다양한 절삭조건에 따른 변화에 따른 가공특성을 파악해 보았는데 절삭속도가 증가함에 따라 공구날의 절입경계 부위에 발생하는 칩핑, 파손등의 이상마멸이 주된 공구마멸의 패턴이 된다. 따라서 칩배출을 용이하게 하고 공구마멸을 줄일 수 있는 냉각방법의 선정 중요한데 건식절삭과 습식절삭의 비교에서는 건식절삭의 경우가 공구마멸이 적고 칩핑이 발생하지 않는 정상마멸의 형태를 나타내고 있어서 고속가공에 적합하였다.

절삭조건에 선정시에는 황삭가공과 정삭가공에 대하여 그 기준이 달라야 한다. 황삭가공에서는 표면의 형상을 고품위로 하기보다는 공구마멸을 줄이면서 가공시간을 단축시키는 것이 관건이므

로 절입을 크게하기보다는 피크피드양을 크게하여 고능률 가공과 동시에 공구마멸을 줄이도록 하였다. 그리고 정삭가공에 의한 Core부의 가공면은 사출물 표면의 품질에 직접 영향을 주므로 고품위의 가공면을 얻기 위해서 절입깊이와 피크피드를 적게하여 가공하였다.

결과적으로 기존의 범용가공으로는 불가능한 고경도 난삭재에 대하여 고속가공에 적합한 절삭조건을 선정하고 이를 응용함으로써 범용가공 후 열처리, 방전가공을 거치던 공정을 고속가공 하나로 대체할 수 있었으며 금형의 품질 및 수명을 향상시킬 수 있었다.

후기

본 연구는 중소기업청의 산학연 공동기술개발 지역컨소시엄 연구를 통한 (주)양정의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) T.Morowaki, 1992, "High Speed Machining", *CIRP*, Vol.41.
- (2) Shulz, H and Hock, S., 1995, "High Speed milling of Dies and Moulds-Cutting Conditions and Technology", *CIRP*, Vol.44, pp. 35~338.
- (3) Derrien, S. and Vigneau, J., 1997, "High Speed Milling of Difficult to Machine Alloys," *Proceedings of the 1st French and German Conference on High Speed Machining*, Metz, France, pp. 284~294.
- (4) C. N. Chu, S. Y. Kim, 1997, "Feed-Rate Optimization of Ball End Milling Considering Local Shave Feature", *CIRP*, Vol. 46, pp.433~436
- (5) Hock, S., 1998, "High Speed Cutting in Die and Mold Manufacture," *Proceedings of the Machine Tool Technologies Association Conference*, Warwick/Loughborough/Manchester, UK, ISBN-0-907348-04-1.
- (6) Sharman, A., Dewes, R.C. and Aspinwall, D.K., 1999, "Tool Life When High Speed Ball Nose End Milling Inconel 718," *Proceeding of the AMPT99/IMC16*, pp. 437~446