

볼 엔드밀을 이용한 난삭재의 고속가공 특성

High Speed Machining of Difficult-to-cut Material using Ball Endmill

손창수(부산대 원), 강명창(부산대 기계기술연구소), 김정석 이득우(부산대 ERC/NSDM),
황경현(KIMM), 김종관(삼성항공)

Chang-soo Son* (Gaduated school, Pusan Univ.), Myeong-chang Kang(RIMT, Pusan Univ.), Jeong-seok Kim
Deug-woo Lee(ERC/NSDM, Pusan Univ.), Kyeong-hyun Hwang(KIMM), Jong-Kwan Kim(Samsung Aerospace)

Abstract

Inconel 718 is one of the most difficult workpiece for machining, So it is necessary to evaluate the machining characteristics of Inconel 718.

In this study, High speed machining of this material was carried out with TiN coated WC ball endmill and TiN coated HSS ball endmill. The cutting force and shape of machined surface and chip type were investigated according to variation of cutting speed, feed rate and depth of cut.

Key Words : High Speed Machining (고속 가공), Ball End-mill (볼 엔드밀), Cutting Force (절삭력),
Machined Surface (가공면), Chip type (칩 형상), Tool Wear (공구마멸)

1. 서론

최근 항공산업의 급속한 발전과 더불어 항공기 부품소재의 생산에 많은 노력이 행해지고 있다. 하지만 항공기 부품의 특수성으로 인해 항공기 부품소재는 대부분이 절삭가공에 있어 난삭성을 띠고 있으며 이러한 난삭성 소재의 고정밀 고능률가공에는 상당히 많은 문제점을 안고 있다. 특히 항공기 엔진부품으로 많이 쓰이는 초내열합금인 인코넬 718(Inconel 718)소재는 항공기 부품소재로 각광을 받고 있지만 소재비가 워낙 고가이고 가공경화가 생기기 쉬우며 공구재료와의 친화성이 높고 열전도성이 나쁘기 때문에 가공성 평가가 거의 행해지지 않아 절삭데이터가 거의 없는 실정이고 절삭조건의 선정이 어려운 단점이 있다.

이러한 초내열합금의 절삭가공을 위해서 공구의 재질과 형상, 그리고 가공방법에 관한 연구가 진행되고 있다. 狩野勝吉은 초경 K종과 코팅 재종을 저속으로 사용하면 인코넬의 가공에 적합하다고 나타내고 있다.⁽¹⁾ 하지만 다른 재종에 대한 고속화가 착실히 진행되고 있기 때문에 비록 초내열합금이라도 고속절삭에 대한 요구가 증가하고 있다.

이러한 고속절삭시 가장 큰 문제점으로 공구의 내열성을 들 수 있는데 공구의 내열성 확보를 위해 세라믹공구가 대두되고 있다. 山根八洲男^(2,3)등은 세라믹공구에 의한 인코넬 718의 고속가공에 의한 절삭특성을 관찰하였는데 고속의 절삭속도에서는 TiC성분이 첨가된 세라믹공구가 내마멸성이 좋지만 정상적인 플랭크 마멸보다는 노치마멸이 주를 이루게 되어 이의 개선이 필요하다고 발표하고 있다.

그러나 위의 연구들은 대부분이 선삭에서 이루어져 왔으며 부품 생산시 필요한 엔드밀가공에 대한 연구는 거의 이루어지지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 고속도장 볼엔드밀공구와 초경 볼엔드밀공구를 이용하여 고속의 스핀들 회전수에서 절삭속도와 절삭깊이등의 가공조건에 따른 인코넬 718의 고속가공 특성을 살펴보았다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치 및 가공 방법

본 실험을 위한 장치도를 Fig. 1에 나타내었다.

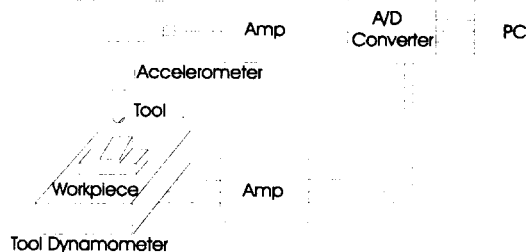


Fig. 1 Experimental setup

고속의 절삭속도에서의 절삭성 평가를 위해 최고 스피indle 회전수가 20000rpm인 머시닝센터(Makino-V55)의 테이블 위에 공구동력계(kistler 9257 B)를 장착하여 인코넬 718을 가공하여 나온 절삭력신호와 스피indle의 가속도 신호, 절삭 도중 배출되는 칩, 그리고 절삭후 가공물의 표면을 관찰하였다. 이 때 신뢰성 있는 가공특성 평가를 위해 1날의 볼엔드밀을 이용하여 실험을 실시하였다.

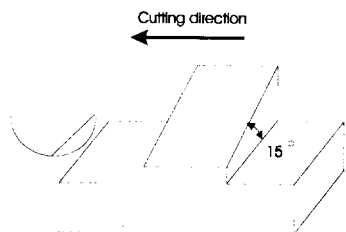


Fig. 2 Cutting type of tool and workpiece

Fig. 2는 볼엔드밀을 이용한 고속가공시 공구와 공작물사이의 위치를 나타낸 것으로 가공시 배출된 칩에 의한 재절삭이 이루어지지 않게 하기 위해 공구와 공작물간에 경사각을 주어 유효 칩배출공간(Effective Chip Space)을 넓게 하는 것이 필요하다. 그러나 한계치 이상의 경사각에서는 공구 날에 걸리는 부하가 커지며 이로 인해 공구수명에도 악영향을 미칠 수가 있다. 따라서 본 실험에서는 경사각을 15°로 설정하여 실험을 실시하였다.

2.2 실험조건

본 실험에 사용된 피삭재인 인코넬 718의 성분조성을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of Inconel 718

C	Ch	Fe	Ni	Mo	N	Ti	Al	T	Co	HrC
0.02	17	15	50	2.8	4.75	0.75	0.3			
~	~	~	~	~	~	~	~	0.1	1	42.3
0.08	21	21	55	3.3	5.5	1.15	0.7			

본 실험의 실험조건을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Experimental condition

Tool	TiN Coated WC 10 ϕ Ball Endmill, TiN Coated HSS 10 ϕ Ball Endmill
Workpiece	Inconel 718
Spindle Revolution	600, 1000, 3000, 5000, 8000, 10000, 12000, 15000, 18000
Feed/tooth(mm), Ft	0.1, 0.15, 0.2
Pick Feed(mm), Pf	0.1, 0.15, 0.2
Axial Depth(mm), Ad	0.2, 0.3, 0.4

본 연구에서는 최고 20000 rpm의 회전수를 얻을 수 있는 머시닝 센터에서 TiN 코팅 초경공구와 TiN 코팅 고속도강공구를 이용하여 스피indle 회전수에 따른 가공특성을 살펴보기 위해 회전수를 서서히 증가시키면서 18000 rpm까지 회전수를 증가시키며 실험을 실시하였다. 이때 공구경로당 이송량과 공구의 회전당 이송량을 항상 같게 하여 축방향 절입깊이에 따른 가공특성을 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 가공조건에 따른 절삭력 및 가속도신호

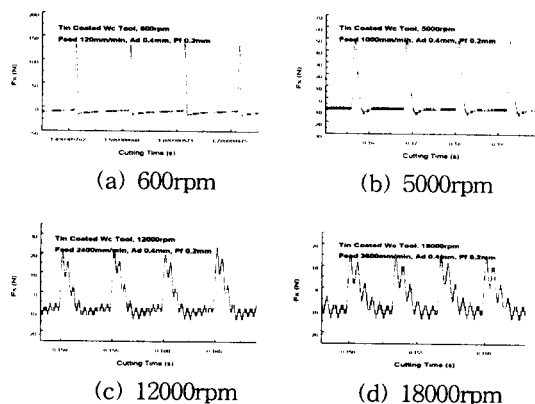


Fig. 3 Characteristics of cutting forces signal according to spindle speed

Fig. 3은 스피들 회전수를 증가시키며 가공할 때 획득된 절삭력신호를 나타낸 것으로 스피들 회전수가 증가할수록 절삭력의 파형은 불안정해지는 것을 알 수 있다. 이는 Fig. 4에 나타낸 것과 같이 스피들 회전수의 증가하면 스피들 주축의 떨림을 수반하게 되고 이러한 스피들의 떨림이 절삭시 공구와 피삭재에 바로 반영되어 나타나게됨을 알 수 있다.

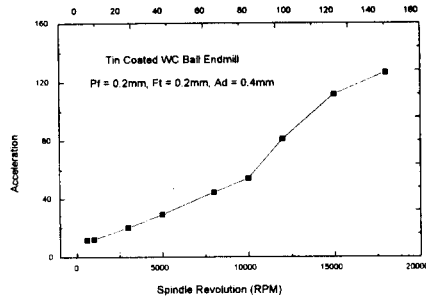
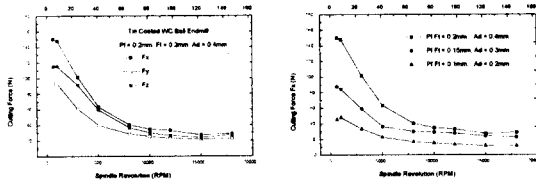


Fig. 4 Acceleration according to spindle revolution

스피들 회전수의 증가에 따른 절삭력의 변화와 축방향 절입깊이와 공구경로당이송량, 그리고 공구 날당이송량의 변화에 따른 절삭력의 변화를 Fig. 5 (a)와 (b)에 나타내었는데 절삭속도가 증가할수록 절삭력은 지속적으로 감소하게 되어 절삭속도의 증가에 따라 절삭력은 일정값에 수렴하게 됨을 알 수 있다.



(a) According to rpm (b) According to Pf, Ft, Ad

Fig. 5 Characteristics of cutting forces according to cutting condition using WC ball endmill

동일한 가공조건에서 고속도강공구를 이용하여 인코넬 718을 가공하였을 때의 절삭력을 Fig. 6에 나타내었는데 절삭속도가 증가하면 절삭력이 감소하지만 반경방향분력(F_y)과 축방향 분력(F_z)이 엔드밀 절삭시 주분력인 이송분력(F_x)보다 점점 커지게 되는데, 이는 고속의 절삭속도에서는 공구 마멸이 급격하게 빨리 진전되어 축방향분력과 반경방향분력이 커지게 되는 것으로 고속도강공구는 고속의 절삭속도에는 적합하지 않음을 알 수 있다.

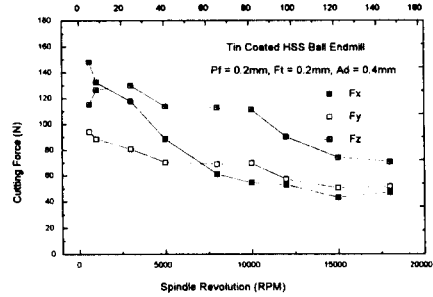
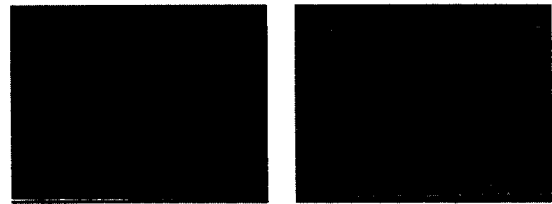


Fig. 6 Characteristics of cutting forces according to cutting condition using HSS ball endmill

3.2 가공조건에 따른 칩 및 표면형상

스피들 회전수에 따른 가공물의 표면형상과 가공시 배출된 칩 형상을 공구현미경으로 관찰한 결과를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다.

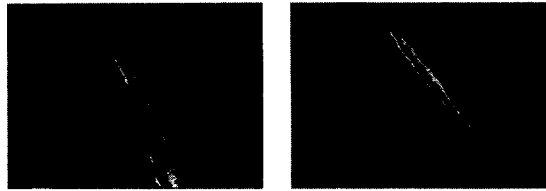


(a) HSS ball endmill (b) WC ball endmill

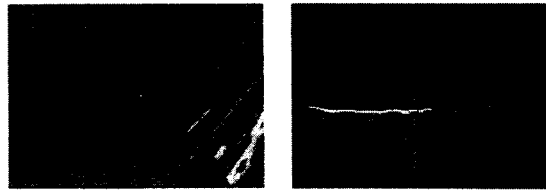
Fig. 7 Shape of machined surface according to tool materials

초경공구를 사용하였을 때는 절삭에 의한 가공표면에 절삭흔이 잘 관찰되어진다. 하지만 고속도강공구를 사용하였을 때는 절삭흔이 관측되지 않고 불량한 가공면이 생성됨을 알 수 있다. 그리고 이 때 배출된 칩의 형상을 나타낸 Fig. 8에서 고속도강공구를 사용하였을 때 배출된 칩을 살펴보면 고속의 스피들 회전수에서는 공구와 피삭재인 인코넬718과 열·화학적 반응을 일으키고 있으며 이러한 영향으로 인해 불량한 가공면이 생성되는 것으로 사료된다. 그리고 초경공구를 사용하였을 때의 칩형상에서는 8000rpm이상의 절삭속도 영역에서는 배출되는 칩이 뭉쳐서 나오는 것처럼 보이는 현상이 발생하기 시작하는데 이는 Fig. 4에 나타낸 것과 같이 절삭속도의 증가는 절삭력의 급격한 감소를 가져오게 되고, 이에 의해 공구날과 피삭재간의 전단각(Shear Angle)이 커지게 되어 칩의 두께가 가늘어지고 배출

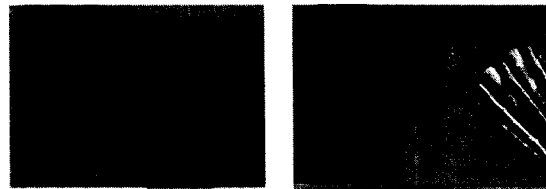
시 연속적으로 붙어 나오면서 전단형 칩이 발생하는 것으로 사료되며 이러한 전단형 칩은 결과적으로 칩의 단면적을 크게 하여 칩의 원활한 배출을 방해하고 불량한 가공면의 생성을 초래하게 된다.



(a) HSS ball endmill 600rpm (b) WC ball endmill 600rpm



(c) HSS ball endmill 5000rpm (d) WC ball endmill 5000rpm



(e) HSS ball endmill 10000rpm (f) WC ball endmill 10000rpm

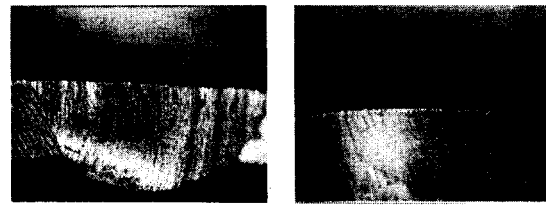


(g) HSS ball endmill 18000rpm (h) WC ball endmill 18000rpm

Fig.8 Chip type of inconel 718 according to spindle speed

3.3 공구재종에 따른 공구마멸

Fig. 9는 초경공구와 고속도강을 이용하여 동일한 가공조건에서 인코넬718을 가공하였을 때의 공구재종에 따른 공구마멸 패턴을 나타낸 것으로서 초경공구는 약 0.03mm의 마멸이 발생하여 약 0.73mm의 마멸이 발생한 고속도강보다 내마멸성에서 월등히 뛰어난 것을 알 수 있다.



(a) HSS ball endmill (b) WC ball endmill

Fig. 9 Wear patterns of WC and HSS ball endmill

Spindle revolution : 6000rpm, Feed : 1600mm/min
Pick feed : 0.2mm Axial depth : 0.4mm,
Cutting Length : 1400mm

4. 결 론

불엔드밀을 이용한 인코넬 718의 고속가공을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고속의 스피들 회전속도에서 TiN 코팅 고속도강 공구에 비해 TiN코팅 초경 공구의 가공성이 뛰어나다.
- 2) 절삭속도가 증가함에 따라 절삭력은 지수적으로 감소한다.
- 3) 가공면과 칩의 형상, 그리고 절삭력의 변화를 관찰한 결과, 고속의 절삭속도에서 안정적인 가공 영역의 존재 가능성을 확인하였다.

참고문헌

- 1) 狩野勝吉, “データでみる切削加工の最先端技術”, 工業調査會
- 2) Norihiko Narutaki, “セラミック工具によるインコネル718高速切削”, 日本精密工學會誌 59/11/1993
- 3) Norihiko Narutaki, “高速切削におけるセラミック系工具の損傷”, 日本機械學會論文集(C編) 58권 543호(1992-3)