

난삭재(내열합금강)의 가공특성평가

Evaluation of Machining Characteristics for Difficulty-to-cut Material (Heat-Resistant Alloy)

김석원(부산대 원), 이득우, 김정석(부산대 ERC/NSDM)
Seok-Won Kim(Graduate School, Pusan Nat'l Univ.),
Deuk-Woo Lee, Jeong-Suk Kim(Pusan Nat'l Univ. ERC/NSDM)

ABSTRACT

Recently, most of advanced materials used a wide industry field commonly have the characteristics of difficulty-to-cut materials. The cutting of difficulty-to-cut materials have a variable optimum cutting conditions and methods according to materials. Above all, it is important of understanding to machinability of each materials. Especially, superalloy with Elevated Temperature Strength like as Inconel718 was used in nuclear power equipment and jet engine parts. This research shows a machining characteristics of Heat-Resistant alloy for high efficiency cutting through cutting force, tool wear and cutting temperature in SUS304 and Inconel718.

Key Words : Superalloy(초내열합금), Difficulty-to-cut materials(난삭재), High-Resistant alloy(내열합금), Elevated Temperature Strength(고온강도)

1. 서론

최근 항공·우주 산업과 같은 첨단분야에서 고경도·고품질을 요구하는 부품이 증가하고 있으며 또한 고강도, 고장력, 내열, 내식, 내마모 등의 특성을 가지는 고성능 부품을 사용하는 추세가 증가되고 있는 실정이다. 그러나 근래 가공소재로 폭넓게 사용되고 있는 신소재의 대부분은 공통적으로 난삭재라는 특성을 가지고 있어 절삭가공에서 발생하는 절삭온도⁽¹⁾에 의해 가공경화현상이 발생되며 공구마멸이나 수명단축을 초래하는 요인이 될 뿐만 아니라, 표면 거칠기 등과 같은 형상정밀도에도 악영향을 미친다. 따라서, 난삭재가공은 재료에 따라 그 가공방법이나 최적조건이 다르므로 일률적으로 해석하여 정립할 수는 없지만 각 재료에 따른 절삭성을 파악하는 것이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.⁽²⁾⁽³⁾

특히, 내열합금강은 절삭가공시 여러 난삭재들 중에서도 고온강도, 공구재료와의 친화성 등 난삭성을 생기게 하는 두가지 이상의 성질이 복합적으로 작용하기 때문에 절삭가공시 피삭성이

매우 나쁘다. Inconel718과 같은 초내열합금강은 우수한 내식성과 고온강도의 특성을 가지고 있어 핵발전설비나 제트엔진의 부품으로 많이 사용되고 있다. 그러나 절삭데이터의 부족 등으로 인하여 관습적인 절삭조건에 따라 절삭가공이 이루어지고 있어 생산성이 매우 낮으며, 여러 가지 절삭현상에 대한 연구가 미비한 상태이다.

본 연구에서는 SUS304와 Inconel718에 대한 절삭력, 공구마모, 절삭온도 등의 측정 실험을 통하여 고능률가공⁽⁴⁾을 위한 초내열합금의 절삭 특성을 이해하고자 한다.

2. SUS304와 Inconel718의 재료특성

SUS304와 Inconel718의 기계적 성질과 대표적 인 화학 성분⁽⁵⁾을 Table 1에 나타내었다.

SUS304는 합금 중의 Cr성분에 의하여 내식성이 우수할 뿐만 아니라 내마모성도 좋다. 이러한 재료특성 때문에 절삭가공시 가공경화가 생기기 쉽고, 열전도율이 작아 공구재료와의 친화성이 높으므로 공구에 칩이 응착되어 이상손상

을 초래한다.

Table 1 Material Properties

	SUS304	Inconel718
Mechanical Properties		
Tensile Strength (MPa)	515	1430
Elongation(%)	40	21
Chemical Composition (%)		
Cr	18.0~20.0	19.0
Ni	8.0~10.5	52.5

Inconel718은 Cr함유량이 SUS304와 거의 같아 비슷한 재료특성을 가지고 있지만, Ni을 다량함유하고 있어 재료강도면에서 3배 정도가 더 크다. 이와 같은 기계적 특성 때문에 Inconel718은 절삭가공이 매우 곤란한 난삭재로 분류되고 있다.

3. 실험 장치 및 실험 방법

3.1 실험 장치

본 실험은 주축이 최고 20,000rpm까지 회전할 수 있는 고속머시닝센터에서 Flat End-mill을 이용하여 주축회전수와 이송속도의 변화에 따라 절삭실험을 수행하였다.

Fig. 1은 실험장치의 개략도를 보여주고 있다. SUS304의 순간절삭온도는 피삭재의 측면에 열전대를 심어 측정한다.

절삭력의 측정은 공구동력계(kistler 9257B)를 공작물의 밀부분에 장착하여 절삭력신호를 획득한다.

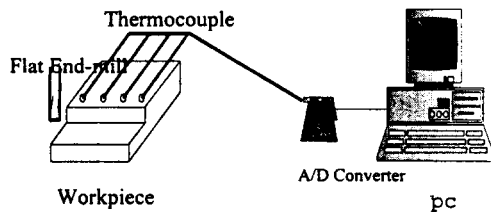


Fig. 1 Experimental Set-up

절삭부위와 열전대 사이의 간격을 0.3mm로 일정하게 유지하여 첫번째 열전대에서는 주축

회전수가 1000rpm, 두 번째에서는 4000rpm, 세 번째는 8000rpm, 네 번째는 12000rpm의 절삭온도를 0.6ms의 샘플링시간으로 6초 동안 측정하였다.

3.2 실험조건

SUS304와 Inconel718의 시편에 주축회전수와 이송속도를 변화시키면서 플랫엔드밀로 측벽가공실험을 행하였다.

각 실험에 대한 실험조건은 Table 2에 나타나 있다.

Table 2 Cutting Conditions

피삭재 절삭조건		SUS304	Inconel718
Cutting Tool	Flat End-mill HSS	Flat End-mill TiN Coated φ 10, 4edges	Flat End-mill 초경합금 AlTiCN Coated φ 10, 3edges
Spindle Revolution (rpm)		1000,4000, 8000,12000	1000,4000, 6000,8000, 10000,12000
Feed Rate (mm/min)		100,400, 800,1200	40,100,200
Cutting Depth (mm)	Axial	5mm	5mm
	Radial	0.1mm	0.1mm
건식, 하향 절삭			

절삭력은 0.067ms의 샘플링시간으로 0.2초 동안 A/D변환기를 통하여 획득하였으며, 공구마모는 CCD카메라로 관찰하였다.

SUS304의 온도측정실험은 시편에 4개의 열전대를 심어 열전대와 절삭부위와의 거리를 일정하게 유지하면서 각 절삭조건에 대한 순간절삭온도의 변화를 측정하였다.

4. 실험결과

4-1. SUS304의 절삭특성

SUS304의 플랫엔드밀가공에서 절삭속도의 증가에 따른 이송방향의 절삭력 파형을 Fig. 2에 나타내었으며 1회전당 이송량은 0.1mm로 하였

다.

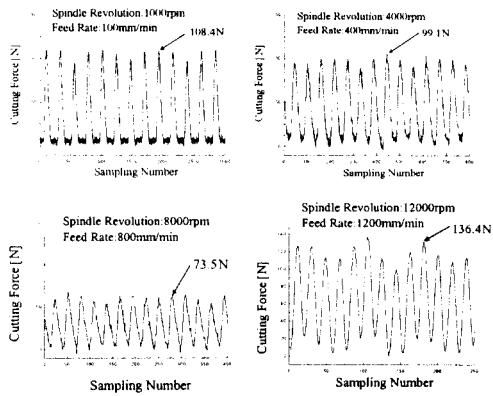


Fig. 2 Variety of Cutting Force

주축회전수가 증가함에 따라 절삭력이 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 12000rpm에서는 절삭속도가 빨라지면서 공구에 칩이 응착, 탈락되면서 칩핑현상이 발생하여 절삭부하가 오히려 증가하였다.

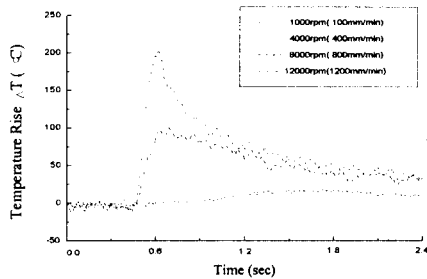


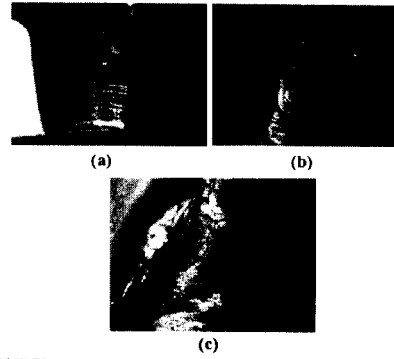
Fig. 3 Cutting Temperature

Fig. 3은 SUS304의 순간온도변화를 열전대를 이용하여 측정한 결과이다.

4000rpm까지는 절삭온도의 변화가 거의 없으나, 절삭속도가 증가할수록 급격히 상승한다.

절삭속도가 빨라질수록 절삭날이 피삭재를 절삭한 후 냉각될 수 있는 시간이 상대적으로 짧아지고, 절삭속도가 증가할수록 공구와 피삭재 사이에 마찰속도가 증가하여 4000rpm일 때보다 급격한 온도상승의 원인이 된다. 따라서 고속절삭시 공구가 정상적으로 마모되기 보다는 급격한 절삭온도의 상승으로 인하여 절삭날에 칩이 응착되어 칩핑과 같은 이상현상이 발생하며 가공물서리부분에 버(Burr)가 발생한다.

Fig. 4는 이와 같은 현상을 CCD카메라로 관찰한 사진이다.



- 절삭조건 : 12000 rpm(1200mm/min) - 절삭깊이 : 0.35 m

Fig. 4 Chip Cohesion Phenomenon

(a)와 (b)는 초기 절삭후 공구의 선단부위와 절삭날에 칩이 응착되어 있는 사진이며 (c)는 0.35m를 절삭한 후 공구선단부위에 칩핑이 일어난 상태를 보여 주고 있다.

4-2. Inconel718의 절삭특성

초경공구(Helix angle 50°)를 이용하여 이송속도 40mm/min, 100mm/min, 200mm/min의 각각에 대하여 주축회전수의 증가에 따른 절삭력 변화를 Fig. 5에 나타내었다.

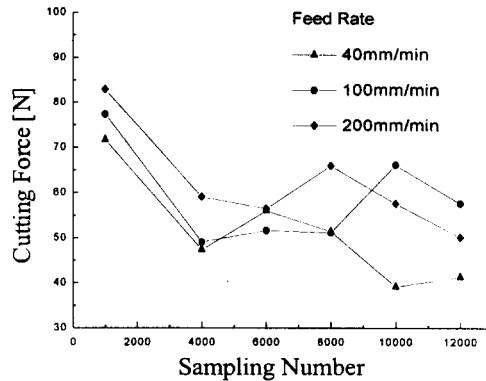


Fig. 5 Cutting Force of Inconel718

주축회전수가 증가하면 절삭력은 4000rpm부근에서 감소하나 고속으로 될수록 각 이송속도마다 증가하다 다시 감소하는 경향을 보이나 이송속도가 40mm/min일 때는 주축회전수의 증가에 의한 한회전당 이송량이 작아지므로 절삭력이 감소한다. 그러나, 10000rpm이상에서는 이송속도가 200mm/min일 때가 100mm/min보다도 오히려 작게 나타나고 있다. 이는 주축회전수에

따라 적정이송속도가 존재한다.

이송속도 40mm/min, 주축회전수 4000rpm에서의 절삭력 파형을 Fig. 6에 나타내었다.

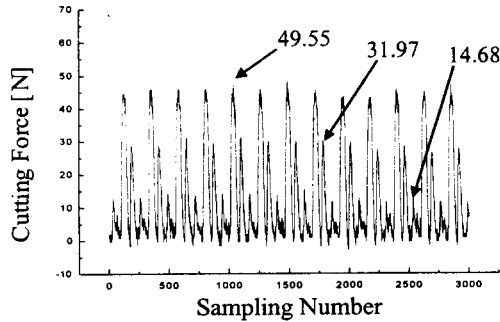


Fig. 6 Cutting Force Signal

절삭력파형에서 나타난 바와 같이 공구의 세 날에 작용하는 절삭부하가 일정하지 않다.

이는 Inconel718의 고온강도특성에 의해 공구 변형이 과도하게 생기기 때문이다. 공구가 일회 전할 때 공구 한날당 칩제거량이 일정하지 않아 공구 한날의 절삭부하가 다른날에 비하여 많이 발생하기 때문이다.

5. 결 론

플랫엔드밀을 이용한 SUS304와 Inconel718의 절삭실험에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고온강도가 큰 Inconel718의 절삭시 공구변형에 의하여 공구 한날당 칩제거량이 일정하지 않다.
2. SUS304의 절삭시 재질의 특성상 절삭온도 상승으로 인하여 0.35m 절삭 후 칩의 응착현상 때문에 치핑과 같은 공구손상이 발생하였으므로 공구의 효과적인 냉각방법이 필요하다.
3. 고능률가공을 위해서는 주축회전수에 대한 적정 이송속도의 선정이 선결되어야 한다.

참고문헌

1. T. I. EL-WARDANY, E. MOHAMMED and M. A. ELBESTAWI, "Cutting Temperature of Ceramic Tools in High Speed of Difficult-to-cut Materials", Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol. 36, No. 5, pp. 611-634, 1996

2. "フライス加工ハンドブック", 切削油技術研究会, 1988

3. 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, 1992

4. Robert I. King, "Handbook of High-speed Machining Technology", CHAPMAN AND HALL, 1985

5. "Metals Handbook", AMERICAN SOCIETY FOR METALS, vol.3