

분말 및 용해고속도 공구의 절삭성

Machinability of the cutting tools of powder metallurgy and conventional high speed steel

정하승(영남대 대학원)*, 고태조(영남대 기계공학부), 김희술(영남대 기계공학부), 이상석(대구미래대 기계공학), 배종수(한국기계 연구원), 김용진(한국기계 연구원)

H. S. Jung*, T. J. Ko(Yeungnam Univ.), H. S. Kim(Yeungnam Univ.)
S. S. Lee(Taegu Future Univ.), J. S. Bae(KIMM), Y. J. Kim(KIMM)

ABSTRACT

Under the optimal cutting conditions, determined the machinability difference of cutting tools are by two major factors. One is the geometric shape of the cutting tool, and the other is the tool materials or heat treatment or coating of the cutting tool. In this research, we evaluated the machinability of cutting tools with conventional HSS and P/M(powder metallurgy) which was made from the different of materials and manufacture processes.

Tool wear, surface roughness, cutting force and squareness of machined workpiece were evaluated.

Key words : Conventional HSS(용해 고속도강), P/M HSS(분말 고속도강), Tool wear(공구마모), Surface roughness(표면조도), Cutting force(절삭력), Squareness(직각도)

1. 서론

현재 급행 업체에서는 다품종 소량생산의 추세로 흐르고 있으며 급행 제작이 많아지면서 자연히 공구의 수요 또한 날로 증가하는 추세이다. 기존의 급행 제작에 널리 사용되는 절삭공구의 대부분은 용해주조 후 일간 단조 및 압연의 후가공에 의해 제조되고 있으며 이러한 공정에 의해 제조된 공구강은 공구 재료의 불균일한 조직에 따른 인성의 제한과 열처리에 따른 재료의 변형이 생기는 단점이 있는 반면 분말야금에 의한 고속도 공구강

은 안정된 입자의 크기와 균일한 조직으로 뛰어난 강도와 인성을 포함하는 장점이 있다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ 이런 특성을 지닌 분말 고속도공구강에 대한 수요는 세계적으로 매년 증가하고 있으며, 국내시장도 빠른 속도로 증가하고 있지만 분말제조, 고밀도화기술 등 관련산업의 취약함으로 현재 스웨덴, 미국, 일본으로부터 수입하고 있는 실정이다.⁽⁵⁾⁽⁶⁾

본 연구에서는 용해 및 분말고속도강 엔드밀로 절삭속도를 변경하면서 건식절삭과 절삭유를 사용했을 경우와 공기 냉각을 할 때의 절삭성능을 비교 평가하였다.

2. 실험방법 및 장치

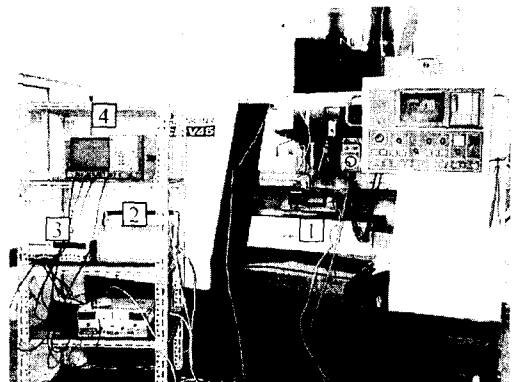


Fig.1 Experimental setup

절삭 실험은 머시닝센터(대우 AC-V45)에서 실험을 하였으며, Fig.1의 □과 같이 실제 절삭에서 공구마모의 증가에 따른 절삭력 변화는 피삭재 아래의 압전센서를 이용한 공구동력계(KISTLER,

9257 type)에 장착하여 절삭이 진행되면서 발생하는 신호를 [2]진하증폭기(KISTLER, 5019A type)에서 증폭하고 이런 아날로그 신호를 [3]데이터 레코더(TEAC, RD-135T)에 저장과 함께 [4]오실로스코프(Lecroy, 9304A)에서 관찰도 가능하다. 아날로그 데이터는 A/D 변환기(DT2833 board)를 통하여 IBM-PC에서 분석하였다.

공구마모는 공구 현미경(Mitutoyo TM301)을 이용하여 플랭크마모 평균폭 VB=0.2mm까지 측정하였다. 마모의 측정부위는 엔드밀 날부 길이를 세 구간으로 나누어 플랭크면을 두 번 측정하여 각 구간의 평탄을 구하였다. 표면 거칠기는 표면조도 측정기(Mitutoyo, Surf-301)를 사용하여 Cutoff 길이가 2.4mm로 측정하여 중심선 평균거칠기(Ra) 값을 얻었다. 직각도 측정은 다이얼 인디케이터(Indicator)로 일정기리를 기준으로 각도를 측정하였다.

평가대상 공구는 M2(SKH51)재종으로 만든 용해 고속도강 엔드밀과 ASP30 엔드밀 그리고 분말 고속도강 엔드밀(551H)을 각각 Ø10mm, Flute 2 날, Helix angle 30° 의 오른날 오른 비틀림으로 동일하게 제작하였다. 절삭방식은 하향절삭 방법을 선택하였고, 절삭깊이는 축 방향 5mm, 반경 방향 0.5mm로 정하였으며, 실험에 사용한 피삭재는 냉간 금형용 재료로 많이 사용되고 있는 합금 공구강(SKD11)으로 로크웰 경도는 HRC20 이다. 절삭조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Cutting conditions used in the experiment

Cutting fluid	Cutting speed (m/min)	Spindle revolution (rpm)	Feed rate mm/min (mm/tooth)
Dry	18.8	600	24 (0.02)
Wet	26.7	850	170 (0.1)
Air	34.5	1100	132 (0.06)

3. 절삭 공구의 특성

용해 고속도강의 가장 중요한 성질은 고온경도가 높고 내마모성이 큰 데 있으며, 원소 성분을 보면 W, Cr, V, Mo 등을 함유하는 합금강으로 용용

점 부근에서 남금실하여 사용한다. 열처리 온도는 그 성능에 많은 영향을 주게 되므로, 재질에 적합한 온도에서 열처리를 하지 않으면 충분한 경도를 얻을 수 없을 뿐만 아니라 재료의 변형이 생길 수도 있다. 용해 고속도강에 포함되어있는 Co 및 Mo는 탈탄을 촉진시키는 경향을 가지고 있으며, 잘 경화되지 않은 탈탄층을 제거하기 위하여 열처리된 소재를 후가공할 때 깊게 연삭하지 않으면 안된다.

분말 고속도강의 내부조직은 편석이 없고, 입자가 균일하여 피로수명을 향상시킴과 동시에 미세한 탄화물과 결정립에 의해 인성이 높고 피연삭성이 양호하며 열처리시 변형이 작고 안정된 성능을 가진다. 오래 전부터 공구의 내마모성을 향상시키는 탄화물의 입자를 더욱 단단하게 하는 V의 함유량을 증가하고자 연구되었지만 기존의 용해 고속도강에는 피연삭성의 저하와 인성이 낮아지기 때문에 적용이 어려웠지만 분말 고속도강에서는 Mo, V, W, Co의 탄화물을 형성하거나 기지를 강화시킬 수 있는 원소의 가감이 쉬워지므로 피연삭성을 저하시키지 않고 V의 함유량을 높일 수 있는 장점을 보였다.

Table 2는 용해 고속도강으로 널리 사용되는 M2(SKH51)재종과 스웨덴의 Uddeholm AB사에서 제조되고 있는 ASP30 분말 공구강 그리고 551H 분말 고속도강의 원소 성분비를 표로 나타냈다. 표에서처럼 551H 분말 고속도강은 V의 함유량을 증가하여 고온경도를 향상하고 피연삭성을 개선하였다.

Table 2 Chemical composition of different tool materials

강종	성분								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Co	Nb
M2 (Conv.HSS)	0.85	0.3	0.3	4.0	5.0	6.0	3.0	-	-
ASP30	1.3	0.3	0.3	4.2	5.0	6.4	3.1	8.5	-
551H (P/M HSS)	1.7	0.3	0.3	4.0	4.5	5.0	5.0	5.0	1.0

4. 성능 평가

4.1 건식(Dry cutting) 절삭에서 절삭성능

Table 1의 건식 절삭조건에서 각각의 엔드밀로 절삭실험을 했을 때 Fig.2는 가공거리에 따른 공구 마모의 변화를 1m간격으로 측정된 것이다. 용해 고속도강 엔드밀은 1m 절삭 후 Fig.4의 플랭크면을 관찰했을 때 미소 칩핑이 발생했으며, 2m에서는 칩의 용착 현상을 보였다. ASP30 엔드밀 또한 2m에서 플랭크마모가 $VB=0.2mm$ 에 도달했으며, 미소 칩핑이 발생했다. 551H 엔드밀의 경우에는 3m까지 절삭을 했으며, 이때 플랭크면에서 칩의 용착 현상을 보였다. 건식 절삭에서 이와 같은 동일한 현상이 발생하는 것은 피삭재로부터 떨어진 칩이 엔드밀과 피삭재 사이에서 배출이 원활하게 이루어지지 못했기 때문이다. Fig 3의 표면거칠기를 볼 때 전반적으로 좋지 못하지만 상대적으로 551H 엔드밀로 가공한 것이 좋게 나타났다.

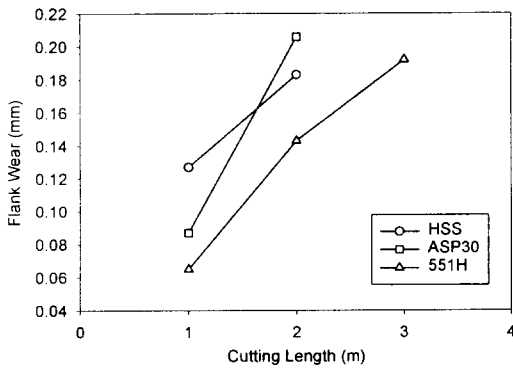


Fig. 2 Flank wear according to cutting length

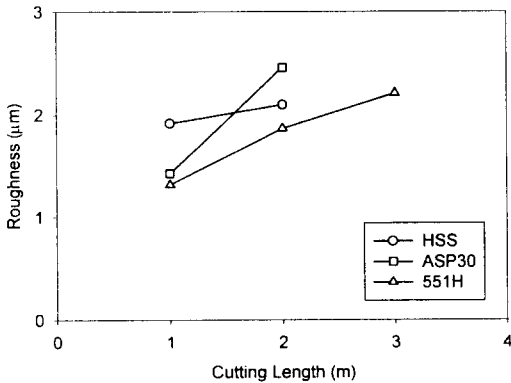


Fig. 3 Surface roughness according to cutting length

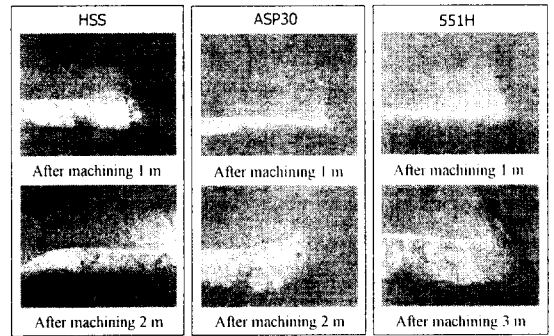


Fig. 4 Wear pattern of Endmill

절삭과정에서 발생하는 엔드밀의 마모와 절삭 현상은 국부적인 지역에서 급속하게 이루어져 직접적인 관찰이 어렵기 때문에 절삭력의 측정은 절삭현상의 실험적 연구에 유용한 수단이 되고 있다. Fig.5는 절삭거리에 따른 절삭력 측정값을 그래프로 나타낸 것이다. 용해 고속도강 엔드밀, ASP30 엔드밀에 비해 551H 엔드밀이 낮게 측정되었다. 이것은 용해 고속도강보다 분말 고속도강의 입자가 미세하여 엔드밀 표면의 기지가 좋으므로 엔드밀과 피삭재사이의 마찰을 줄일수 있기 때문에 동일한 절삭거리에서 절삭력은 작게 나타남을 알 수 있다.

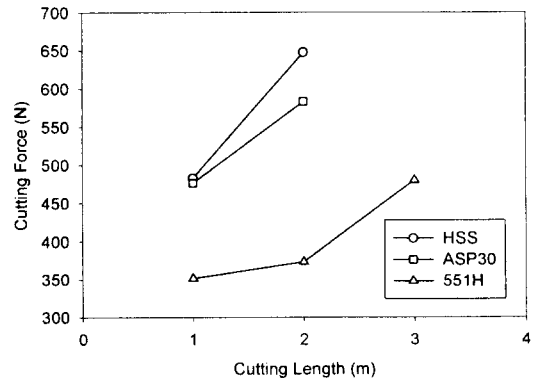


Fig. 5 Cutting force according to cutting length

Fig. 6의 직각도 측정은 엔드밀로 절삭한 측면

을 세 구간으로 나누어 다이얼 인디케이터로 일정 거리를 측정하였고, 측정값은 아래쪽 즉 엔드밀의 날끝이 접촉하는 부분에서 위쪽으로 측정하였으며, 값이 Negative인 것은 절삭을 하면서 엔드밀의 날끝부터 조금씩 마모가 일어난다는 사실을 알 수 있다. 이러한 자료는 엔드밀의 기하학적 형상을 파악하는데 있어 중요한 근거로 작용한다.

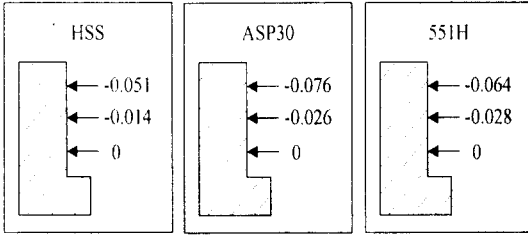


Fig. 6 Squareness of machined workpiece

4.2 습식(Wet cutting) 절삭에서 절삭성능

Fig.7는 가공거리에 따른 플랭크면의 마모변화를 습식 절삭조건에서 각 엔드밀로 절삭실험을 측정 한 것이다. Fig.9의 용해 고속도강 엔드밀은 2m 부터 마모가 급격히 증가하면서 4m에서 플랭크면 전반에 걸쳐 미소 칩핑이 발생했으며, ASP30 엔드밀의 마모 그래프는 직선적인 경향을 보이다가 7m부터 융착 현상과 칩핑이 나타났고, 551H 엔드밀은 4m와 9m에서 플랭크마모가 증가하다가 10m에서 융착 현상을 보였다.

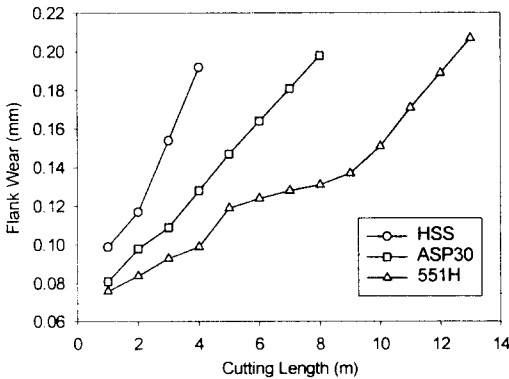


Fig. 7 Flank wear according to cutting length

절삭성능 면에서 건식 절삭과 비교해 볼 때 절삭 속도와 이송속도가 증가함에도 성능이 뛰어난 것은 절삭유를 사용함으로 절삭시 엔드밀과 피삭재 사이에서 발생하는 마찰과 절삭열을 감소하고 윤활작용으로 플랭크면의 융착 또는 칩핑 현상이 줄어들기 때문이다. 이런 이유로 Fig.8에서처럼 표면 거칠기가 건식 절삭일 때 보다 좋게 나타났다.

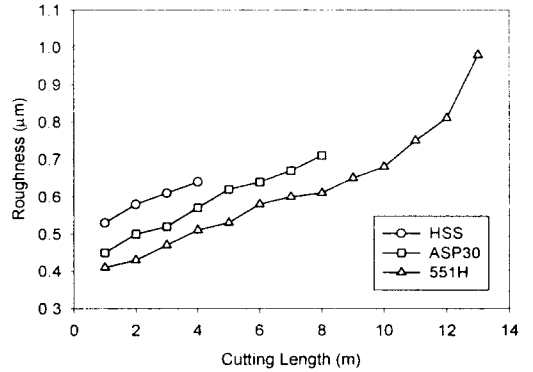


Fig. 8 Surface roughness according to cutting length

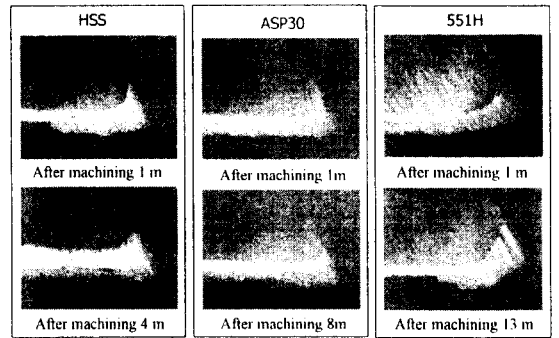


Fig. 9 Wear pattern of Endmill

Fig.10은 절삭유를 사용했을 경우 절삭력의 변화를 나타낸 그래프이다. 용해 고속도강 엔드밀은 2m지점에서 마모는 급격히 증가했지만 절삭력은 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있으며, ASP30 엔드밀의 경우 일정한 증가폭을 유지하다 7m에서 급경사를 이루는 것으로 보아 플랭크면에 칩의 융착이나 구성인선이 발생했을 가능성이 높다. 551H 엔드밀은 6m지점에서 절삭력이 낮아

지긴 했지만 전반적으로 보면 마모 그래프와 흡사한 형태로 절삭시 발생하는 절삭현상을 평가하기 쉽다. 절삭유를 사용했음에도 건식 절삭일 때보다 절삭력이 높게 나타나는 것은 절삭조건을 보면 알 수 있듯이 절삭속도에 비해 상대적으로 이송속도가 빠르기 때문에 절삭시 이송방향으로 절삭부하가 많이 작용하고 있음을 알 수 있다. 플랭크마모 $VB=0.2\text{mm}$ 를 기준으로 볼 때 전체적인 절삭길이가 건식 절삭보다 길게 나타나는 것은 절삭유의 사용으로 절삭시 엔드밀에서 발생하는 마찰열과 절삭열의 감소로 플랭크면의 융착 또는 칩핑 현상이 줄었고 마모 또한 줄게되었지만 실제 엔드밀에 작용하는 절삭력은 그래프에 나타난 것처럼 상당히 크다는 것을 알 수 있다.

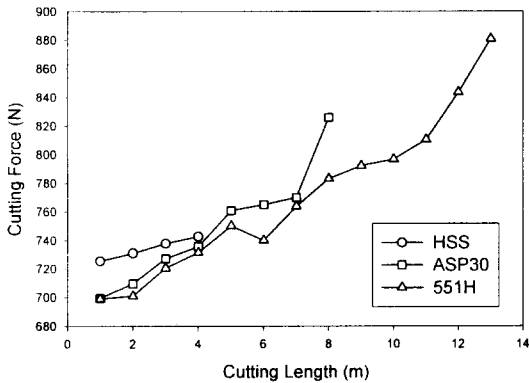


Fig.10 Cutting force according to cutting length

Fig.11은 피삭재의 측면을 측정한 값이며, 전반적으로 비슷한 직각도를 보인다. 건식 절삭에서는 플랭크마모가 골고루 이루어졌지만 습식 절삭에서는 날 끝부분의 마모가 크게 나타나는 것을 측정값으로 알 수 있다.

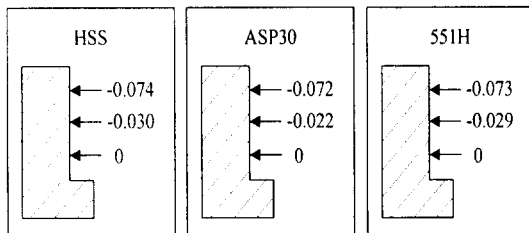


Fig. 11 Squareness of machined workpiece

4.3 공기냉각 절삭에서 절삭성능

Fig.12는 절삭시 발생하는 플랭크면의 마모변화를 Table 1의 조건에서 각 엔드밀로 절삭실험을 측정한 것이다. 이때 사용되는 공기란 압축기에서 나오는 고압의 공기를 엔드밀과 피삭재의 접촉부분에 뿌려주는 방식으로 실제 고속가공에서는 절삭유 사용으로 인한 화재의 위험 때문에 Air를 사용하고 있다.

용해 고속도강 엔드밀의 마모 그래프는 직선적이고 급격한 증가를 보이다 2m부터 플랭크면에 칩핑 현상이 발생하고, ASP30 엔드밀과 551H 엔드밀은 플랭크마모가 비슷하게 증가하면서 4m와 5m지점에서 칩핑 현상을 나타냈다.

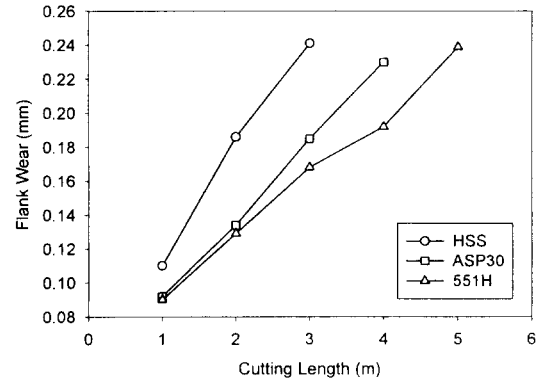


Fig.12 Flank wear according to cutting length

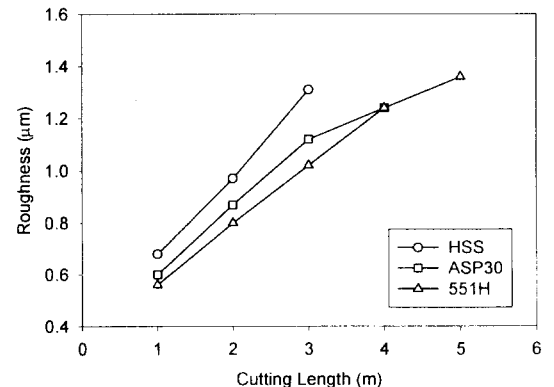


Fig. 13 Surface roughness according to cutting length

Fig.14의 플랭크면을 찍은 사진을 건식, 습식 절삭의 사진과 비교해볼 때 마모 면이 월등히 우수함을 볼 수 있는데 이것은 고압의 공기를 절삭지점에 뿌려줌으로 냉각 과 원활한 칩 배출작용을 하기 때문이다. 절삭 성능 면에서 습식 절삭보다는 못하지만 건식 절삭에 비해 절삭속도와 이송속도가 훨씬 빠름에도 좋은 성능을 보였다.

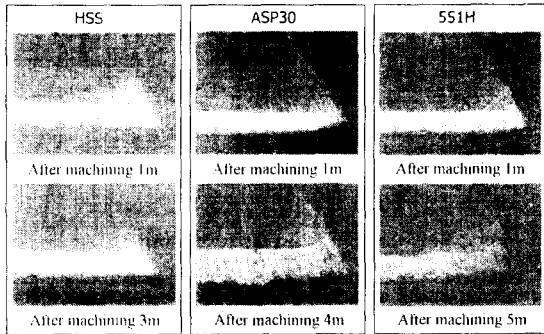


Fig. 14 Wear pattern of Endmill

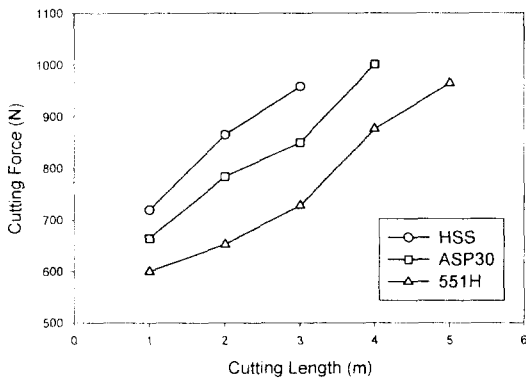


Fig.15 Cutting force according to cutting length

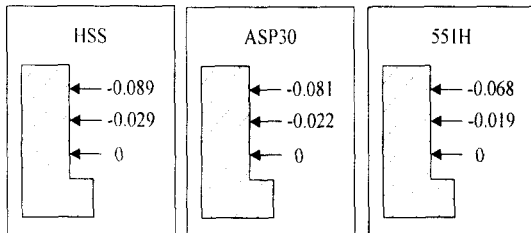


Fig. 16 Squareness of machined workpiece

표면 거칠기는 Fig.13처럼 일정한 증가폭을 가지며, 건식 절삭 때 보다 좋다. 플랭크마모와 표면조도의 관찰을 통해서만 절삭현상을 볼 때는 건식 절삭보다 우수했지만 절삭력 측정 그래프 Fig.15를 확인한 결과 절삭과정에서 엔드밀에 많은 힘이 작용한다는 사실을 알 수 있었다. 절삭력을 측정할 그래프에서 용해 고속도강 엔드밀보다 분말 고속도강 엔드밀의 절삭력이 낮게 나왔다.

5. 결 론

용해 고속도강 엔드밀과 분말고속도강 엔드밀로 건식 및 습식 절삭과 공기 냉각으로 절삭속도와 이송속도를 변화하면서 절삭 특성을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 분말 고속도강 엔드밀(551H)이 용해 고속도강 (con. HSS)엔드밀과 ASP30 엔드밀보다 절삭성 측면에서 우수함을 공구마모, 표면조도, 절삭력, 직각도 측정실험을 통하여 확인했다.
2. 절삭조건에서 건식 및 공기 냉각으로 절삭했을 때 보다 절삭유를 사용했을 경우가 절삭성 평가를 했을 때 뛰어난을 확인했다.
3. 건식보다 공기 냉각으로 절삭하는 경우 플랭크마모와 표면조도는 우수했지만 절삭력 측정 그래프를 확인한 결과 절삭과정에서 엔드밀에 많은 힘이 작용한다는 사실을 알 수 있었다.

6. 참고 문헌

1. F. A. Kirk, Powder Metallurgy, 1981.
2. E. Klar, Metal Handbook 9th edition, Powder metallurgy, ASM, 1984, pp.784.
3. 정형식, 김병기, 김용진, "분말 공구강의 제조 및 응용", 금속학회, Vol.6, pp.166-175.
4. P. R. Brewin, "Powder Metallurgy -An Overview", The Institute of Metals, 1991.
5. A. Fujiki, Y. Maki, M. Kanou and I. Tanimoto, "Powder and Powder Metal", 1988.
6. M. Torraiba, L. E. G. Ganbroneri, J. M. Ruizprietio and M. M. Dasneves, "Powder Metal". 1993.