

Cu 페라이트의 절삭가공

이재우*

Cutting of Magnetic Cu Ferrite

Jae Woo Lee*

ABSTRACT

In this study, Cu ferrite was machined with cermet tool to clarify the machinability. The main conclusions obtained were as follows. The tool wear becomes the smallest at the cutting speed of 90m/min with the depth of cut of 0.2mm. The surface roughness becomes larger with increasing the cutting speed and the chamfer angle. The tool with the chamfer angle of 15° shows the best performance. The surface roughness increases almost proportionally with the increase of the chip size. The tool wear decreases with increasing feed in the depth of cut not more than 0.2mm.

Key Words : Ferrite (페라이트), Tool wear (공구 마멸), Machinability (절삭성), Cutting speed (절삭속도), Tool performance (공구 성능), Feed (이송), Surface roughness (표면거칠기)

1. 서론

우수한 자기 성질을 가지고 있는 Cu 페라이트는 전자 및 통신 분야 등의 핵심 부품으로써 널리 사용되고 있으며, 그 용도 개발이 활발히 이루어지고 있다. 페라이트는 성형, 소결에 의해 제조되는데, 소결시는 수축이 동반되므로 제품의 형상·치수를 충족시키기 위해서는 소결후에 기계가공이 필요하다.⁽¹⁾

일반의 페라이트는 경도가 높고 취성이 크기 때문에 일반적으로 연삭 및 연마가공이 행해지고 있으며, 단인공구에 의한 선삭가공이 매우 곤란하여 복잡한 형상을 가진 소량 다품종 부품의 가공에는 어려움이 많다.⁽²⁾ 그러나 본 연구에 사용된 Cu 페라이트의 경도는 다른 자성 페라이트에 비해 비

교적 낮기 때문에 선삭에 의해 복잡 형상의 가공이 가능할 것으로 생각되나, 아직 페라이트의 선삭에 관한 연구가 없는 관계로 선삭 이외의 비능률적 가공이 행해지는 경우가 많다.

따라서 본 연구에서는 서멧 공구를 사용하여 절삭성에 미치는 절삭조건 및 공구형상의 영향을 고찰하고, 공구수명 및 표면거칠기의 관점에서 적절한 절삭조건을 검토하고자 한다.

2. 실험 방법

절삭실험에 사용된 페라이트는 CuFe_2O_4 페라이트로서 물리적, 기계적 성질은 Table 1과 같다.

CNC 선반에서 수용성 절삭유(KS W2종)를 사용하여 습식 외경선삭을 행하였으며, 절삭공구는 경

* 두원공과대학 기계과

Table 1 Mechanical properties of Cu ferrite

Shore hardness	Bending strength (MPa)	Bulk density (kg/m ³)	Porosity (%)	Fracture toughness (MPa · m ^{1/2})	Grain size (μm)
84	201	3320	1.2	2.6	2.1

도(Hv) 1700, 항절강도 1800 MPa의 TiCN계 서멧 공구를 사용하였고, 모든 실험에서 공구형상을 -5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8로 일정하게 유지하였으며, 절삭날의 모따기 영향을 조사하기 위한 실험 이외에는 절삭날에 모따기가 되어있지 않은 공구를 사용하였다. 절삭성에 미치는 절삭날의 모따기 영향을 조사하기 위한 실험에서는 마이크로 다이아몬드 공구연삭기를 사용하여 모따기 폭을 0.2 mm로 일정하게 두고, 모따기 각을 25°, 15°, 5°로 변화시켜 모따기를 행하지 않은 공구와의 비교를 행하였다. 또한 절삭성에 미치는 절삭조건 영향을 조사하기 위하여 Table 2와 같이 절삭 속도, 이송량 및 절삭깊이를 변화시켰다.

Table 2 Cutting conditions

Cutting speed, V	30, 60, 90, 120 m/min
Feed, f	0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1 mm/rev.
Depth of cut, t	0.1, 0.2, 0.3 mm

공구경사면의 마멸은 발생되지 않았으므로 공구 여유면의 최대 마멸폭만을 공구현미경으로 측정하였으며, 표면거칠기는 촉침식 표면거칠기 측정기를 사용하여 이송방향으로 측정하였다. 절삭 칩 크기의 측정은 주사현미경상의 대각선에 걸쳐 있는 80개의 절삭칩에 대해 일직선상에 놓인 절삭 칩의 길이를 측정하여 평균값을 취하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 상용의 서멧 공구를 사용하여 절삭 속도를 달리한 경우에 절삭깊이와 공구마멸과의 관계를 보여준다. 90m/min의 절삭속도에서 초기마멸이 가장 작으며 절삭깊이가 깊어짐에 따른 공구마멸진행속도도 가장 낮아진다. 절삭속도가 60m/min인 경우는 초기마멸은 90m/min인 때와 차가

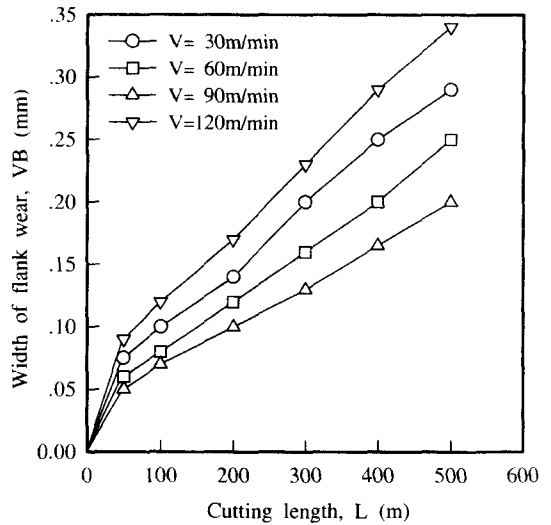


Fig. 1 Effect of cutting speed and cutting length on flank wear width in turning of ferrite with cermet tool
f=0.06mm/rev., t=0.2mm

없으나 절삭깊이가 깊어짐에 따라 절삭속도 90 m/min에 비해 공구마멸진행속도가 다소 빨라진다. 그러나 절삭속도가 90m/min 보다 매우 작거나 높은 경우에는 초기마멸이 현저히 크고 공구마멸진행속도도 매우 빨라지며, 특히 절삭속도 120m/min에서는 가장 나쁜 공구성능을 나타낸다. 이것으로부터 공구수명의 관점에서 본 페라이트의 적정 절삭속도는 약 90m/min라 할 수 있다.

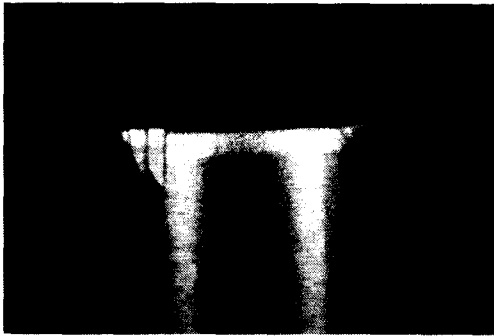
Fig. 2는 이송량 및 절삭깊이를 Fig. 1과 같은 조건으로 하고, 절삭속도를 30, 90, 120m/min으로 변화시킨 경우의 대표적인 공구 마멸 형태를 나타낸다. 절삭속도 30m/min에서 절삭날의 손상은 그다지 없으나 공구의 여유면은 피삭재의 회전 방향으로 가는 홈상의 마멸형태를 보이는데, 이는 공구 탄화물 입자의 탈락이 활발히 일어났음을 나타낸다. 90m/min의 절삭속도에서는 낮은 절삭속도에서 보다 절삭날의 손상은 다소 크나, 홈상의 마멸은 나타나지 않고 평탄한 마멸면을 보이며 공구의 탄화물 입자들이 연삭마멸(abrasive wear)을 일으킨 것으로 보인다. 한편 60m/min의 절삭속도에서는 30m/min과 90m/min의 중간 형태의 마멸면을 보였다. 또한 120m/min의 절삭속도에서는 절삭날의 손



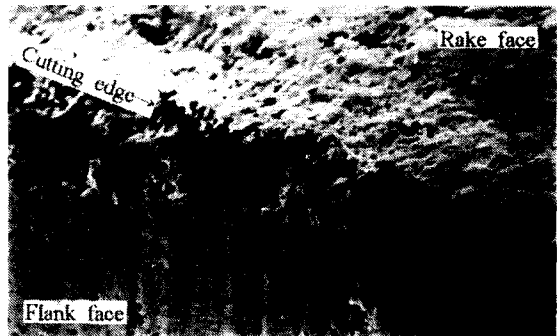
(a) $V=30\text{m/min}$, $L=500\text{m}$



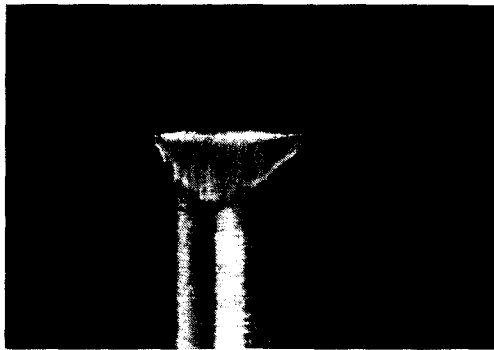
(b) high magnification of (a)



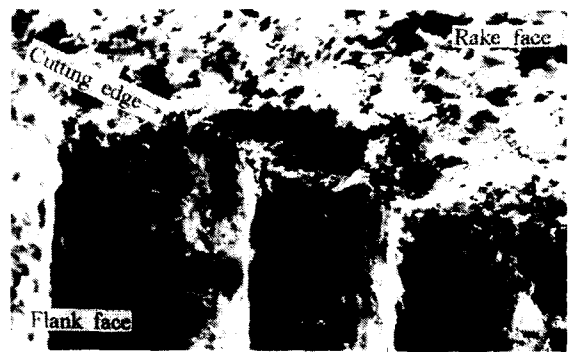
(c) $V=90\text{m/min}$, $L=500\text{m}$



(d) high magnification of (c)



(e) $V=120\text{m/min}$, $L=500\text{m}$



(f) high magnification of (e)

Fig. 2 Typical wear pattern of cermet tools after turning Cu ferrite at different cutting speeds (Micrographs, b, d, & f show the central corner position of each tool.)
 $f=0.06\text{mm/rev.}$, $t=0.2\text{mm}$

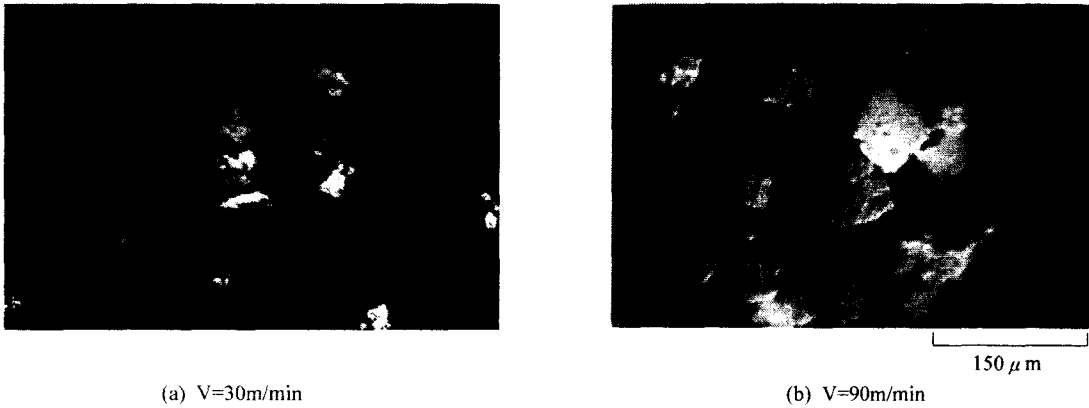


Fig. 3 Photographs of chips formed after turning Cu ferrite at different cutting speeds
 $f=0.06\text{mm/rev.}$, $t=0.2\text{mm}$, $L=200\text{m}$

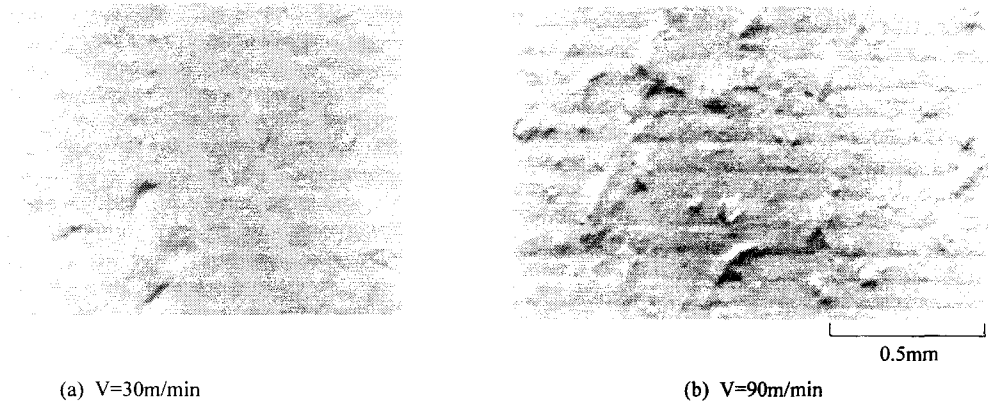


Fig. 4 Photographs of surface turned with cermet tool at different cutting speeds
 $f=0.06\text{mm/rev.}$, $t=0.2\text{mm}$, $L=200\text{m}$

상이 상당히 크고 큰 흠상의 마멸과 요철(凹凸)형 마멸이 공존하는 형태를 보였다.

Fig. 3은 절삭속도를 변화시킨 경우의 절삭칩의 형태를 보인다. 절삭속도 30m/min에서는 Fig. 3(a)와 같이 미소 분말상의 형태를 나타내었고, 90m/min 이상의 절삭속도에서는 Fig. 3(b)와 같이 큰 피상의 절삭칩을 생성하였다. 60m/min의 절삭속도에서는 미소 분말형과 피상의 절삭칩이 혼재하는 형태를 나타내었다. 이와같이 절삭속도가 빨라짐에 따라 절삭칩이 커지는 것은 절삭속도가 빨라짐에 따라 절삭시의 균열이

전방 하측을 향하게 되어 절삭시의 파괴규모가 커지기 때문으로 판단된다.

한편 절삭속도를 달리한 경우의 절삭면을 Fig. 4에 나타낸다. 30m/min의 절삭속도에서는 Fig. 4(a)와 같이 평탄한 절삭면을 보였으나 90m/min 이상의 절삭속도에서는 Fig. 4(b)와 같이 요철(凹凸)이 많고 이송흔적이 큰 절삭면을 보인데 절삭속도가 커지면 절삭시의 거시적 균열이 전방 하측으로 진전하기 때문에 요철이 많은 절삭면을 보이는 것으로 판단된다. 또한 60m/min의 절삭속도에서의 절삭면은 30m/min과

90m/min의 중간 정도의 경향을 나타내었다.

이와 같이 상기의 Fig. 3 및 Fig. 4의 현상으로부터, 절삭속도에 따른 절삭칩의 생성형태의 변화가 Fig. 2의 공구마멸 형태에 큰 영향을 미친 것으로 보인다. 30m/min의 절삭속도에서는 절삭시의 미시적 파괴로 인해 절삭날의 손상은 작으나, 절삭칩이 매우 미세하기 때문에 절삭칩의 배출성이 나빠지며 피삭재와 공구여유면 사이로 절삭칩이 쉽게 침입하여 공구의 탄화물 입자를 탈락시키기 때문에 공구 마멸이 현저히 빨라지는 것으로 판단된다. 그러나 90m/min의 절삭속도에서는 절삭시의 거시적 파괴에 의해 충격에너지가 증가하기 때문에 절삭날의 손상은 다소 커지나, 절삭면과 공구여유면의 접촉면적이 작아지고, 절삭면과 공구여유면 사이로 절삭칩이 침입하기 어려우므로 절삭면과 공구여유면의 접촉에 의해 연삭마멸이 발생하는 것으로 보인다. 한편 120m/min의 절삭속도에서는 절삭온도가 상승하여 공구의 내마멸성이 낮아지고 절삭날에서의 충격력이 증가하기 때문에, 절삭날이 현저히 손상되며 공구의 여유면에서도 대규모의 탄화물 탈락이 발생한 것으로 보인다.

또한 Fig. 1과 같은 절삭조건에서 절삭길이가 증가함에 따른 절삭면의 표면거칠기 변화를 Fig. 5에 나타낸다. 모든 절삭길이에서 절삭속도가 낮을수록 표면거칠기 R_{max} 가 작으며 절삭길이 100m 이상에서의 절삭길이 증가에 따른 표면거칠기 R_{max} 의 증가율은 절삭속도 120m/min인 경우가 약간 크나 90m/min 이하의 절삭속도에서는 그다지 큰 차가 없다. 절삭속도 60 및 90m/min인 경우의 초기 R_{max} 값은 절삭속도 30m/min에 비해 높으나 절삭거리 100m에서의 R_{max} 값은 절삭속도 30m/min와 유사한 값을 나타내어 절삭거리가 50m에서 100m로 증가하였음에도 오히려 R_{max} 값은 낮아지게 된다. 이것은 초기의 절삭에서는 공구 형상이 절삭기구와 잘 맞지 않기 때문에 표면거칠기가 크게 되었으나 초기 마멸의 종료에 의해 R_{max} 값이 안정화 된 때문이며, 절삭속도 120 m/min에서는 초기마멸이 매우 크기 때문에 이와 같은 현상이 나타나지 않는 것으로 보인다. 상기의 결과들로부터 페라이트의 절삭에서는 절삭칩의 파괴 규모가 공구의 성능에 큰 영향을 미치는 것으로 보인다. 그래서 절삭칩의 파괴 규모를 변화시키기 위하여 절삭깊이와 이송량을 변화시킨 경우의 공구마멸 크기를 Fig. 6에 보인다. 절삭깊이

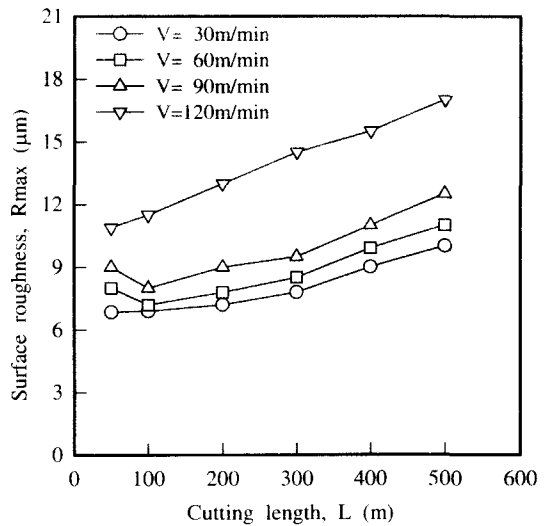


Fig. 5 Effect of cutting speed and cutting length on surface roughness
 $f=0.06\text{mm/rev.}$, $t=0.2\text{mm}$

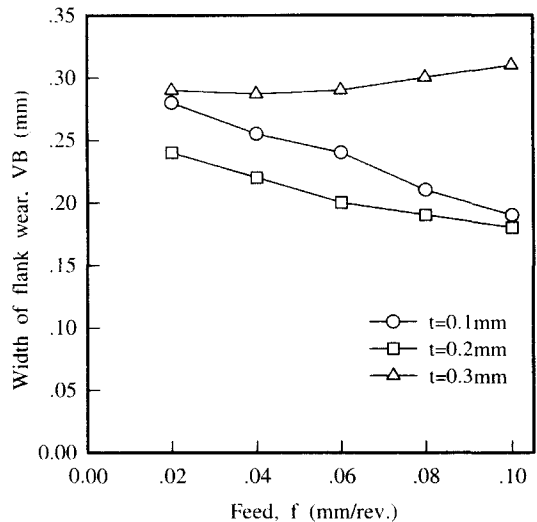


Fig. 6 Effect of feed and depth of cut on flank wear width
 $V=90\text{m/min}$, $L=500\text{m}$

가 0.2mm인 경우에 모든 이송량에서 공구마멸이 가장 작다. 절삭깊이가 0.1mm인 경우에는 이송량이 작은 때는 공구 마멸이 매우 컸으나 이송량의 증가에 따라 공구마멸은 급격히 감소된다. 절삭깊이가 0.3mm인 경우는 이송량이 크게 증가하면 오

히려 공구마멸을 커진다. 또한 이송량이 작은 때는 공구마멸에 미치는 절삭깊이의 영향이 작았으나 이송량이 큰 경우는 절삭깊이의 영향이 매우 크다. 이송량 및 절삭깊이를 적당량 증가시켜 피상의 절삭칩이 생성되면 공구마멸이 작아지나, 절삭깊이 및 이송량이 동시에 큰 경우에는 절삭온도가 높아지고 절삭시의 충격이 커지기 때문에 공구마멸이 현저히 빨라진다.

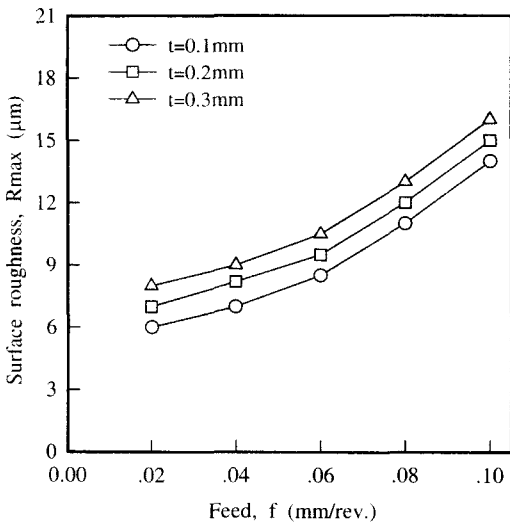


Fig. 7 Effect of feed and depth of cut on surface roughness
V=90m/min, L=300m

Fig. 7은 표면거칠기에 미치는 이송량과 절삭깊이의 영향을 나타낸다. 모든 이송량에서 절삭깊이의 상승에 따른 표면거칠기의 증가율은 유사하며 이송량이 증가하면 표면거칠기는 크게 증가한다. 이송량은 절삭깊이에 비해 표면거칠기에 미치는 영향이 현저한데, 이송량의 증가에 따른 이론적인 이송마크 크기의 증대뿐만 아니라, 절삭시의 절삭면 하측으로의 균열 깊이에는 절삭깊이 보다 이송량이 더 큰 영향을 미치기 때문으로 판단된다.

Fig. 8은 공구 절삭날의 모따기 각도 및 이송량이 공구마멸에 미치는 영향을 보여준다. 이송량이 매우 작은 경우에는 모따기각이 커질수록 공구마멸이 작아지나, 0.06mm/rev. 이상의 이송량에서는 15°의 모따기 공구가 마멸이 가장 작고, 모따

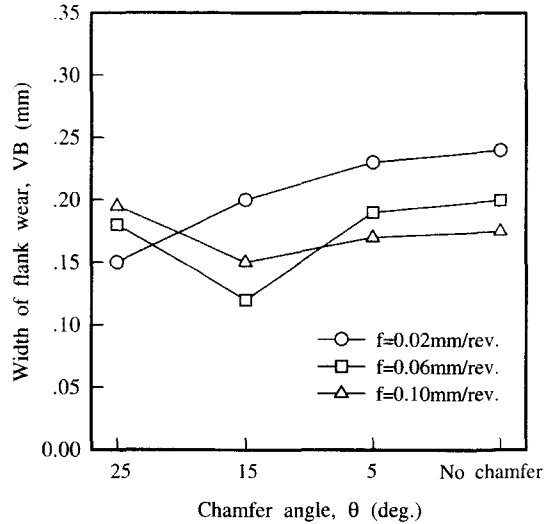


Fig. 8 Effect of the chamfer angle of tool edge on flank wear width
V=90m/min, t=0.2mm, L=500m

기각이 이보다 크거나 작은 경우에 공구마멸은 커진다. 절삭깊이가 0.2mm 이므로 이러한 모따기각의 변화는 공구 경사각을 변화시키는 효과를 가진다. 모따기각이 작을수록 절삭시의 칩생성이 미시적 파괴로 되어 절삭칩의 배출성이 나쁘고 피삭재와 공구여유면과의 마찰이 증가한 때문에 공구마멸이 커지는 것으로 판단되나, 이송량이 0.06mm/rev. 이상인 경우에 25°의 모따기각을 가진 공구는 절삭시의 균열이 전방 하측으로 깊게 진전되고 파괴규모가 매우 커져서 절삭에너지가 크게 증가되므로 공구마멸이 더욱 커진 것으로 보인다.

Fig. 9는 공구 모따기각과 이송량을 달리한 경우의 표면거칠기 변화를 보여준다. 모따기각이 증가할수록 절삭칩의 파괴규모가 커지므로 표면거칠기가 커지는데, 이송량의 변화에 따른 영향을 한층 크게 받는다.

Fig. 10은 절삭속도 및 절삭깊이를 일정하게 유지하고 이송량 및 공구 모따기각을 Fig. 9와 같이 변화시킨 경우에 절삭칩의 크기와 표면거칠기와의 관계를 보인다. 이 경우 표면거칠기와 절삭칩의 크기(d)는 $R_{max}=0.24d-1.34$ 의 관계를 보이는데, 절삭칩 크기의 증가는 절삭시의 파괴 규모가 크다는 것을 의미한다. 이러한 파괴규모의 증대는 표면거칠기의 증대와 깊은 상관관계를 가지므로

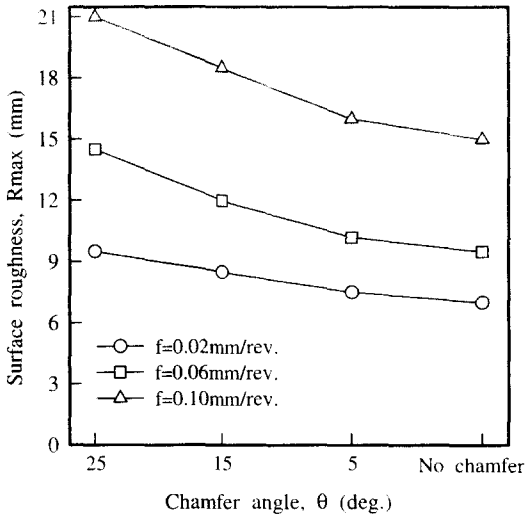


Fig. 9 Effect of the chamfer angle of tool edge on surface roughness
 $V=90$ m/min, $t=0.2$ mm, $L=300$ m

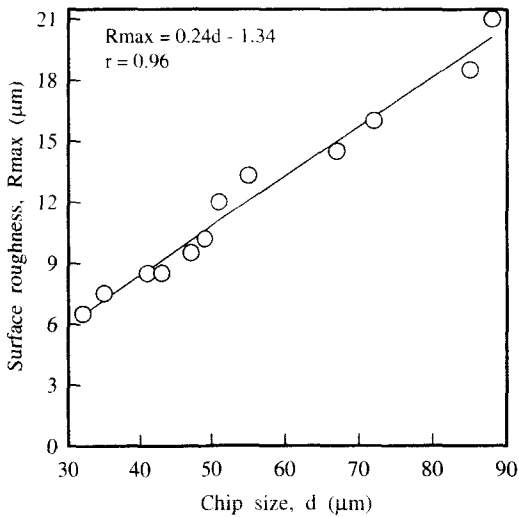


Fig. 10 Relation between chip size and surface roughness
 $V=90$ m/min, $f=0.02, 0.06, 0.10$ mm/rev.,
 $t=0.2$ mm, $\theta =25, 15, 5$ (deg.), $L=300$ m

절삭칩의 크기로부터 표면거칠기를 예측할 수 있다.

4. 결론

서멧 공구로 Cu 페라이트의 절삭 실험을 행한 결과, 다음과 같은 결론이 얻어졌다.

(1) 90m/min의 절삭속도에서 공구마멸이 가장 작으며, 절삭면의 표면거칠기 R_{max} 는 절삭속도가 증가할수록 커진다.

(2) 절삭깊이가 0.2mm일 때 공구마멸이 가장 작다. 절삭깊이가 0.3mm인 경우는 이송량이 증가할수록 공구마멸이 증가하나, 0.2mm 이하의 절삭깊이에서는 이송량의 증가에 따라 공구마멸은 작아진다.

(3) 0.06mm/rev. 이하의 이송량에서는 15°의 모따기각을 가진 공구의 마멸이 가장 작으며, 모따기각이 클수록 표면거칠기는 커진다.

(4) 절삭칩의 크기가 커지면 표면거칠기는 거의 비례적으로 증가한다.

참고문헌

1. Chandrasekar, S., Show, M. and Bhushan, B., "Comparison of Grinding and Lapping of Ferrite and Metals," Trans., ASME, Ser. B, Vol. 109, May., pp. 76-82, 1987.
2. Chandrasekar, S., Show, M. and Bhushan, B., "Morphology of Ground and Lapped Surfaces of Ferrite and Metals," Trans., ASME, Ser. B, Vol. 109, May., pp. 83-86, 1987.