

STS 304 선삭시의 공구마멸 특성

이재우[#]

Tool-Wear Characteristics in Turning of STS 304

Jae-Woo Lee[#]

ABSTRACT

The effect of tool geometry on the tool wear in turning the austenitic stainless steel, STS 304 was investigated. The wear of TiN-TiCN-TiC-TiAlN coated tungsten carbide tool was the smallest, showing larger wear in the order of Si-Al-O-N ceramic, TiN coated tungsten carbide, TiN-TiCN-TiN coated tungsten carbide, TiC-TiN cermet and M20 tungsten carbide tools at the same cutting conditions. The S-type tool of M20 with the larger side cutting edge angle showed the smallest tool wear in all tests due to preventing the groove wear of the side cutting edge. The wear of the S-type tool with the rake angle of 15° became smaller than with that of -5°, but the tool with the nose radius of 0.8mm did not perform much better with increasing the rake angle.

Key Words : STS (스테인레스 강재), Tool life (공구수명), groove wear (경계마멸), Tool geometry (공구형상), Cutting edge (절삭날)

1. 서론

스테인레스 강재는 금속조직적으로 오스테나이트계, 마르텐사이트계 및 페라이트계의 3종으로 분류할 수 있으며, 그 중에서 오스테나이트계 스테인레스 강재의 난삭성이 가장 크다. 오스테나이트계 스테인레스 강재의 절삭가공에 관하여는 종래부터 많은 연구보고가 행해져 왔으며, 난삭성을 가지는 원인으로는 (1) 인성이 높아서 공구재료에 응착되기 쉽다. (2) 가공 경화성이 크고, 공구의 경계마멸이나 칩핑이 발생하기 쉽다. (3) 열전도성이 낮고, 절삭날에서의 절삭온도가 상승되기 쉽다. 등을 들 수 있다.^{1,4} 이 재료의 절삭을 위한 일반적인 주의 사항으로는 (1) 공구의 경사각을 크게 하고, 공

구의 강성을 높일 것. (2) 가공 정확도가 크므로, 절삭 깊이나 이송을 너무 작게 하지 않을 것. (3) 적당한 칩브레이크를 사용하여 절삭칩의 처리를 용이하게 할 것. (4) 피삭재와 친화성이 낮은 공구 재료를 사용할 것. (5) 적절한 절삭유를 사용할 것. 등이 알려져 있다.^{1,4}

근래에는 공구제조 기술의 진보에 따라 선삭에서는 어느 정도 문제가 개선되고는 있으나, 실제의 절삭에서는 절삭날에서의 경계마멸(groove wear) 때문에 단시간에 공구 수명에 달하는 문제가 많이 발생하고 있으므로,^{1,4} 가공능률의 향상과 가공비용의 절감을 위하여 경계마멸의 발생을 적극 억제시킬 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 STS 304의 절삭에서 경계마멸을 억제하기 위한 공구 형상을

접수일: 2003년 4월 11일; 게재승인일: 2003년 7월 11일

[#] 교신저자: 두원공과대학 기계과

E-mail: jwlee@doowon.ac.kr, Tel: (031) 670-7136

구하고자 하며, 이를 위하여 각종 재종의 공구 및 각종 형상의 공구로 선삭 실험을 행하고, 마멸 형태 및 공구마멸 진행속도 등을 비교 검토하였다.

2. 실험방법 및 피삭재

2.1 피삭재

본 실험에서 사용한 피삭재는 오스테나이트계 스테인레스강재인 STS 304이다. Table 1에 피삭재의 화학성분을, Table 2에 피삭재의 물리적 및 기계적 성질을 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of workpiece(%)

C	Si	Mn	Ni
0.04	0.52	1.04	8.31
Cr	Mo	Fe	Cu
18.56	0.13	bal.	0.15

Table 2 Mechanical and physical properties of workpiece

Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation (%)
530	220	45
Hardness (H _B)	Thermal conductivity (W / (m · k))	
171	16.82	

2.2 실험 방법

피삭재의 형상은 직경 80, 길이 600mm의 중실 환봉이며, CNC 선반을 이용하여 습식에서 Table 3의 절삭조건으로 외경 선삭 하였다. 절삭유는 수용성 절삭유(KS W2종)를 1:50의 비율로 희석하여, 매분 7ℓ의 비율로 공구 경사면 측으로 주입하였다. 사용된 공구 재종은 Table 3과 같이 초경공구 M20종, TiC-TiN계 서멧공구, TiN-TiCN-TiC-TiAlN의 4층 플라즈마 CVD 코팅공구, TiN-TiCN-TiN 3층 CVD 코팅공구, TiN 단층 PVD 코팅공구 및 Si-Al-O-N 세라믹 공구이며, 본 연구에서 사용된 모든 코팅공구의 모재는 초경합금이고, 공구 형상을 변화시킨 실험 이외에 적용된 모든 공구의 형상은 (-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8)인 슬로우어웨이형 공구이다. 본 연구의 모든 공구는 미쯔비시머티리얼(주)에서 제조된 것으로, TiN-TiCN-TiC-TiAlN의 4층

Table 3 Tool materials and cutting conditions

Tool materials	1) Tungsten carbide, M20
	2) TiC-TiN cermet
	3) TiN-TiCN-TiC-TiAlN coated carbide (plasma CVD)
	4) TiN-TiCN-TiN coated carbide (CVD)
	5) TiN coated carbide (PVD)
	6) Si-Al-O-N ceramic
Cutting speed (V)	150 m/min
Depth of cut (t)	1.5 mm
Feed (f)	0.2 mm/rev.

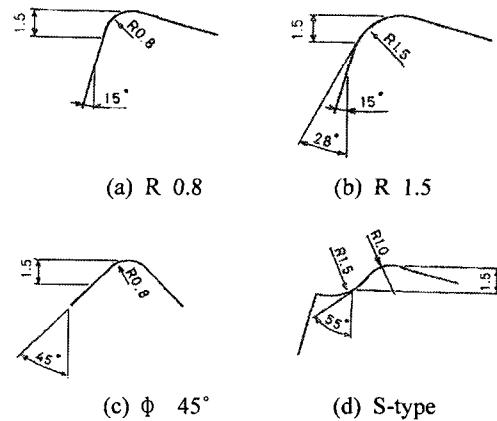


Fig. 1 Geometries of tested tools

플라즈마 CVD 코팅공구는 TiAlN 코팅의 시험용으로 특별 제조된 것이다.

M20의 초경공구에 대해서는 Fig. 1과 같이 4종류의 형상을 가진 공구로 절삭 실험을 행하고, 경계마멸 억제에 유효한 공구 형상을 검토하였다. 옆면 절삭날각을 크게 하고, 경계부에서의 절삭칩 두께를 작게 하는 것이 경계마멸의 방지에 효과적이라 판단되므로, 경계부에서의 절삭칩 두께를 감소시키기 위하여 노우즈 반경(R)을 1.5mm로 한 공구(Fig. 1(b)), 옆면 절삭날각(ϕ)이 45°인 공구(Fig. 1(c)), 절삭날에 오목(凹)형의 노우즈부를 가진 공구(Fig. 1(d))를 사용하여 공구마멸 진행상황을 비교하였다. Fig. 1의 R1.5 공구 및 S 타입의 공구에서 경계부에 상당하는 지점의 옆면 절삭날각은 각각 28°, 55°이다. R1.5의 공구는 공구 연삭기에서 #220

의 메쉬를 가지는 다이아몬드숫돌을 사용하여 노우즈부를 황삭 연삭하였으며, 그 후 #400의 메쉬를 가지는 다이아몬드 숫돌을 사용하여 반지름 1.5mm의 크기로 노우즈부의 다듬질 연삭을 CNC 연삭기에서 행하였다. 또한 S 타입 공구는 평면연삭기에서 다이아몬드 입도가 #150이고 반지름 1.5mm 크기인 봉형 숫돌을 사용하여 옆면 절삭날에 반지름 1.5mm의 오목(凹)형상을 가공한 후에 CNC 연삭기에서 #400의 메쉬를 가지는 다이아몬드 숫돌을 사용하여 노우즈부의 반지름이 1mm가 되도록 다듬질 연삭하였다. 한편, 공구연삭을 위한 숫돌의 입도가 작을수록, 선삭시에 공구와 피삭재와의 응착에 따른 취성 손상이 커진다는 보고⁵가 있으므로, 형상을 변경하기 위한 모든 공구의 표면거칠기가 본 연구에서 사용된 상용품의 표면거칠기와 동등급이 되도록 하였으며, 공구의 표면에 과도한 잔류응력이 발생하지 않는 연삭 조건을 선정하였다.

절삭조건은 STS 304의 선삭에서 일반적으로 행해지는 중삭의 조건 범위인, 절삭속도 150m/min, 절삭깊이 1.5mm, 이송 0.2mm/rev.로 일정하게 하였다. 공구의 여유면 마멸폭은 일정한 시간마다 공구 현미경을 사용하여 최대 값을 측정하였고, 최대 여유면 마멸폭이 0.3mm를 넘는 시점에서 절삭을 종료하였다. 서멧공구와 세라믹공구와 같이 공구의 절삭날에 모따기가 되어 있는 공구에 대해서는 그 폭을 제외시킨 값을 여유면의 마멸량으로 취하였다. 또한 공구의 마멸기구 및 마멸형태를 명확히 조사하기 위하여, 주사전자 현미경으로 절삭에 사용된 모든 공구의 마멸부를 관찰하고 사진 촬영하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 공구 재종의 영향

각종 공구를 사용하여 동일한 절삭조건에서 STS 304를 절삭한 때의 공구 마멸진행상황과 공구 마멸 형태를 조사하였다.

Fig. 2는 초경공구 M20종, TiC-TiN 서멧, TiN-TiCN-TiC-TiAlN 코팅공구, TiN-TiCN-TiN 코팅공구, TiN 코팅 공구 및 Si-Al-O-N 세라믹 공구를 사용하여 절삭한 때의 공구의 마멸진행선도를 보인다. 세라믹 공구를 사용하여 절삭한 경우는 1.5분만에 0.31mm의 여유면 마멸이 발생하였으며, 단시간의 심한 마멸로 인하여 정상적인 절삭이 불가능하

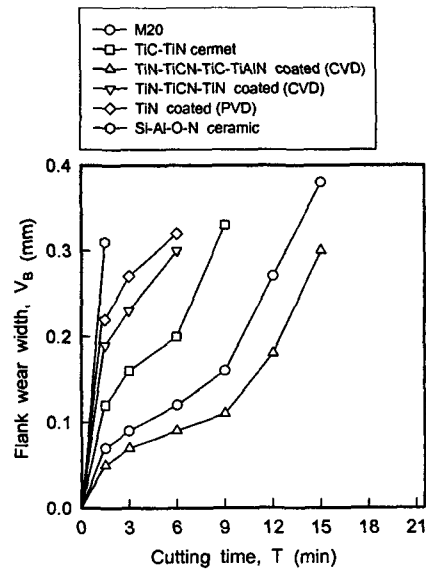


Fig. 2 Wear progress curves of various tools on cutting time

였다. 본 실험에 사용된 6종의 공구 중에서 TiN-TiCN-TiC-TiAlN 코팅 공구의 마멸진행속도가 가장 작았으며, M20 초경공구는 TiN-TiCN-TiC-TiAlN 코팅 공구에 비해 공구마멸진행속도가 약간 빠르다. TiN-TiCN-TiC-TiAlN 코팅 공구 및 M20 초경공구는 절삭시간 9분까지의 마멸진행속도는 작지만 그 이후는 공구마멸이 급속히 진행된다. TiN-TiCN-TiN 코팅 공구 및 TiN 코팅 공구는 M20 초경공구에 비해 마멸진행속도가 약 3배 이상 빠르다. 또한 TiC-TiN 서멧 공구는 TiN-TiCN-TiN 코팅 공구 및 TiN 코팅 공구에 비해서는 공구마멸진행속도가 느리나, M20 초경공구에 비해서는 마멸진행속도가 현저히 크며, 공구 마멸의 관점에서 본다면 TiN-TiCN-TiC-TiAlN 코팅, M20 초경, 서멧, TiN-TiCN-TiN 코팅, TiN 코팅, Si-Al-O-N 세라믹공구의 순으로 공구성능이 좋다고 할 수 있다.

Fig. 3은 초경공구, TiN-TiCN-TiC-TiAlN 코팅공구, TiN-TiCN-TiN 코팅공구 및 TiN 코팅공구의 절삭종료후의 공구마멸형태를 나타내며, Fig. 4는 TiC-TiN 서멧과 Si-Al-O-N 세라믹 공구로 절삭한 때의 공구마멸형태를 나타내었다. M20 초경공구, TiN-TiCN-TiN 코팅공구 및 TiN 코팅공구에서는 크고 깊은 홈형상의 경계마멸(groove wear)이 관찰되었으며, Si-Al-O-N 세라믹공구의 경우는 경계부에



(a) M20, T=15min



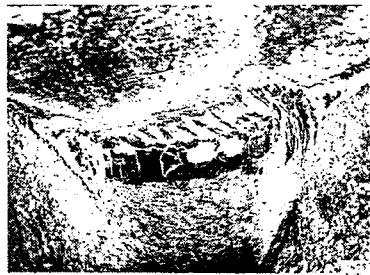
(b) high magnification of (a)



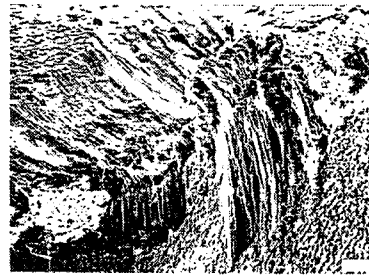
(c) TiN-TiCN-TiC-TiAlN coated, T=18min



(d) high magnification of (c)



(e) TiN-TiCN-TiN coated, T=6min



(f) high magnification of (e)



(g) TiN coated, T=6min



(h) high magnification of (g)

Fig. 3 Typical wear patterns on cemented carbide and coated tools

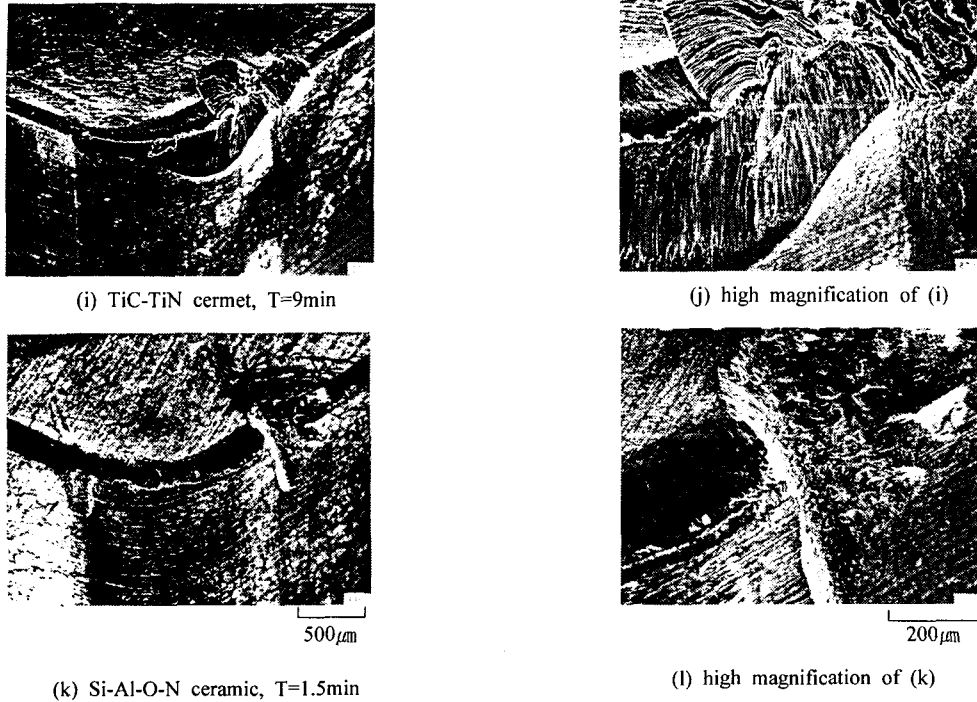


Fig. 4 Typical wear patterns on TiC-TiN cermet and Si-Al-O-N ceramic tools

서 연속적인 칩핑에 의한 큰 손상이 발생되었는데, 이와 같은 경계마멸 때문에 공구수명이 현저히 짧아진다고 판단된다. M20 초경공구, TiN-TiCN-TiN 코팅공구 및 TiN 코팅공구에서의 경계마멸은 절삭 시간의 경과에 따라 여유면과 경사면의 양쪽에서 발생하여 크고 깊은 홈상으로 발전되며, 절삭날은 홈의 깊이 만큼 후퇴된다. 경계 마멸이 발생하는 원인은 여러 가지가 있지만,^{6,11} 스테인레스 강재의 절삭에서 옆면 절삭날의 경계 마멸에는 가공경화와 응착이 주요 원인으로 인식되어 있다.¹⁻³ Fig. 3에서 보이는 바와 같이 절삭 후에 크고 깊은 홈형상의 경계마멸이 생성된 M20 초경공구, TiN-TiCN-TiN 코팅공구 및 TiN 코팅공구의 경계 마멸부의 확대 사진에서, 절삭방향으로 미세홈의 흔적이 많이 발생되어 있다. 이러한 미세홈의 흔적은 피삭재와 공구와의 미시적인 응착에 따른 칩핑과 박리에 의한 것으로 보인다. 공구와의 친화성이 높은 스테인레스 강재의 절삭에서는 피삭재와 공구의 마찰에서 마찰계수가 높고 응착이 발생하기 쉬우며,

또한 피삭재의 가공경화 현상 때문에 전회의 가공에서 가공경화 된 영역을 옆면 절삭날이 절입하는 때에 큰 충격이 발생하며, 톱니형칩이 생성되므로 선삭시의 공구에 크고 작은 절삭저항이 교대로 작용하여 절삭저항의 변동이 심하고,¹² 전술한 이유에 의해 피삭재와 공구사이에서 일단 응착이 발생하면 이러한 절삭저항의 변동에 의해 칩핑과 박리가 더욱 활발히 진행될 것으로 판단된다. 따라서, 공구의 인성이 낮을수록, 또한 공구의 응착성이 클수록 경계마멸이 더욱 일어나기 쉬운 것으로 판단된다. 한편 전술한 가공경화 현상은 경계부에서의 압축 전단응력의 구배를 한층 높일 것이며, 또한 스테인레스 강재는 열전도성이 매우 낮으므로 경계부에서의 절삭열에 따른 응력구배도 높아질 것으로 보이는데, 경계부에서의 높은 응력구배가 경계마멸을 증가시킨다는 보고가 있으나,⁶ 이러한 응력구배는 옆면 절삭날각을 증가시킴에 의해 다소 완화될 것으로 판단된다.

한편 서멧 공구와 TiN-TiCN-TiC-TiAlN 코팅공

구의 경우는 경계 마멸은 발생되지 않았으나 공구의 노우즈부가 크게 마멸되었다. TiN-TiCN-TiC-TiAlN 코팅공구의 마멸이 가장 작은 원인으로는, TiAlN 피복층은 TiN층에 비해 피삭재인 스테인레스 강재와의 응착 현상이 절삭시에 발생하기 어렵고, TiC층과의 밀착성이 우수하므로 절삭시에 TiC층으로부터 박리되기 어렵기 때문으로 판단된다. 또한, PVD 처리에 의한 TiN 코팅공구를 사용하여 절삭하는 때에, TiN층은 스테인레스 강재에 대한 응착성이 크므로 코팅층의 미시적인 박리가 쉽게 일어나기 때문에 공구마멸이 M20 초경공구에 비해 큰 것으로 보인다. CVD 처리에 의한 TiN-TiCN-TiN 코팅공구를 사용하여 절삭하는 경우에는 스테인레스 강재로부터 공구의 TiN 피복층에 대한 용착이 발생하고, 표면층인 TiN 층은 TiCN층에 대해 밀착성이 우수하며, CVD 처리에 의한 코팅층은 PVD 처리에 비해 모재에 대한 부착성이 좋으므로, TiN층의 미시적인 박리시에 하부의 코팅층과 함께 모재도 국부적으로 박리시키기 때문에 공구마멸진행속도가 큰 것으로 보인다. 한편 Fig. 4에서 나타낸 바와 같이, Si-Al-O-N 세라믹공구의 경우는 스테인레스 강재에 대한 응착성이 초경공구에 비하여 매우 낮아서 응착 현상은 발생되기 어렵지만, 스테인레스 강재의 절삭에서 절삭칩의 생성 기구에 의해 발생하는 진동 때문에, 인성이 가장 낮은 세라믹공구의 경우는 본 연구에서 사용된 다른 공구에 비해 경계부의 절삭날에 칩핑이 더욱 발생하기 쉽게 되어 단 시간에 경계부의 마멸이 크게 발달되는 것으로 보인다. Si-Al-O-N 세라믹공구는, 공구와의 친화성이 높고 경계마멸이 많이 발생하는 내열합금의 절삭에 사용되는 경우가 있으나,¹³ 본 연구에서 행해진 절삭조건에서는 Si-Al-O-N 세라믹공구는 적절하지 않은 것으로 판단된다.

3.2 경계마멸 억제를 위한 공구 형상

이와 같이 STS 304의 절삭에서는 공구의 경계마멸의 진행에 의해 단시간에 수명에 달하는 경우가 많다. 그러나 공구의 노우즈부의 마멸량은 경계마멸량에 비해서는 상대적으로 작으므로 경계마멸이 억제되면 공구 수명은 증대될 것으로 보인다. 따라서 9분간의 절삭에서 공구의 여유면 마멸폭이 $V_B=0.16$ mm로서, 공구 노우즈부의 마멸량이 비교적 작은 M20 초경공구를 사용하여 경계마멸 억제에 유효한 공구형상을 검토하였다.

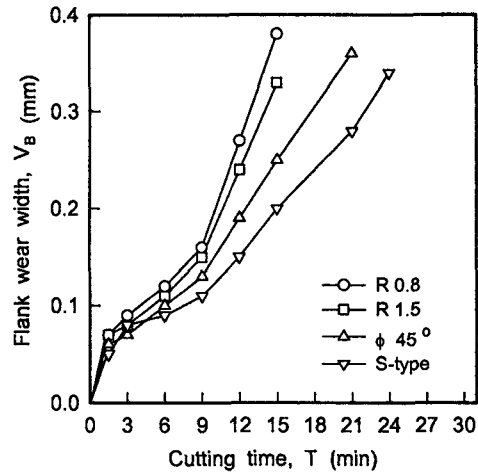
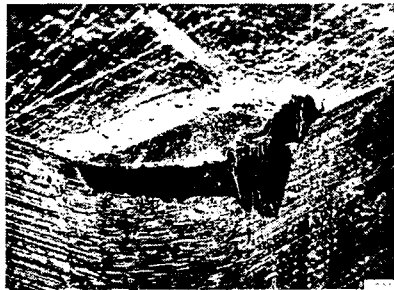


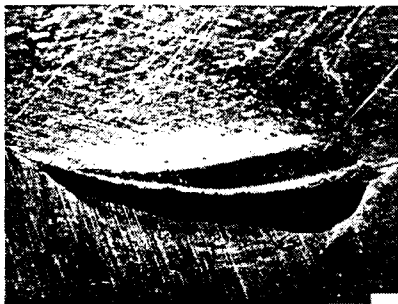
Fig. 5 Wear progress curves of M20 tungsten carbide tools with different geometry {Rake angle (α)= -5° }

M20 초경공구를 사용하여 Fig. 1에 나타낸 각 형상의 공구로 동일한 절삭조건에서 STS 304를 절삭한 때의 공구 마멸진행선도를 Fig. 5에 나타내었다. R0.8 공구로 절삭한 때는 경계마멸이 급속히 진행되어 절삭개시 15분 후에 여유면 마멸폭이 0.38mm에 달하였고, R1.5 공구도 마멸진행속도가 크고 절삭개시 15분만에 여유면 마멸폭이 0.33mm로 되었다. 또한 $\phi 45^\circ$ 공구는 15분 동안의 절삭에서 여유면 마멸폭이 0.25mm로서 R0.8 공구와 R1.5 공구에 비해서는 마멸진행속도가 느리며, S 타입의 공구에서는 24분간의 절삭에서 여유면 마멸폭이 0.34mm로 되어, 공구 형상을 달리한 4종의 공구 중에서 마멸진행속도가 가장 작으며, S 타입의 공구는 R0.8 공구에 비해 15분간의 절삭에서 약 50% 크기의 공구마멸을 보인다.

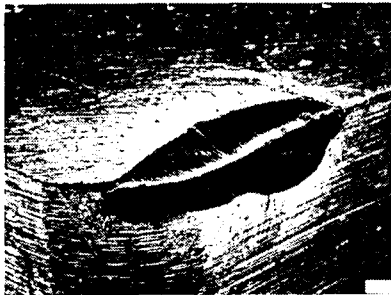
Fig. 6에는 Fig. 5의 절삭조건에서 절삭한 때의 절삭 종료시의 공구마멸형태를 나타내었다. R0.8 공구에서는 노우즈부의 마멸은 절삭날에 평행하고 마멸폭도 작지만 경계부에는 큰 경계마멸이 발생하였다. R1.5 공구의 경우는 R0.8 공구만큼 큰 경계마멸은 아니지만 경계부에 가까워짐에 따라 마멸폭이 크게 되었다. $\phi 45^\circ$ 공구는 R0.8에 비하면 마멸형태는 개선되어 있지만 역시 경계부의 마멸이 가장 크다. 한편, R0.8 공구는 전술한 바와 같이, 절삭시간의 경과에 따라 여유면과 경사면의 양쪽에서



(a) R 0.8, T=15min



(b) R 1.5, T=15min



(c) ϕ 45°, T=21min



(d) S-type, T=24min

Fig. 6 Typical wear patterns of M20 tungsten carbide tools with different geometry ($\alpha = -5^\circ$)

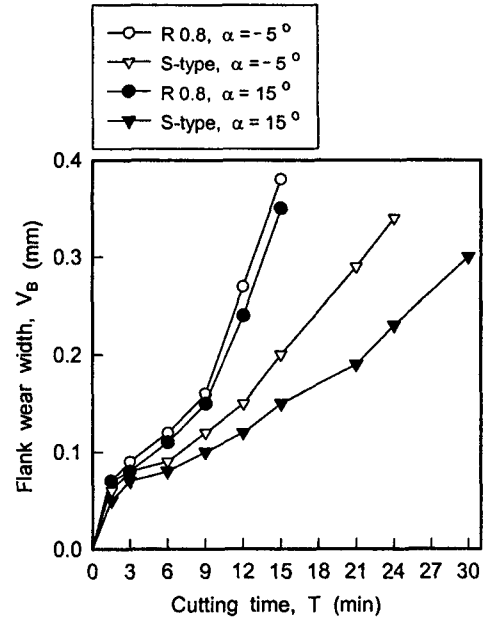


Fig. 7 Wear progress curves of M20 tungsten carbide tools with different rake angle

마멸이 발생하여 크고 깊은 홈상의 경계마멸을 형성하였고, 절삭날은 홈의 깊이 만큼 후퇴되어 있으나, R1.5 공구, ϕ 45° 공구에서는 크고 깊은 홈상의 경계마멸은 발생하지 않았다. 또한, S 타입의 공구에서는 24분 절삭 후에도 경계 마멸은 발생하지 않고 절삭날에 평행한 마멸형태를 보인다. 이상의 결과로부터 경계 마멸을 억제하여 공구 수명을 증가시키기 위해서는 S 타입의 공구가 유효하다고 판단된다.

스테인레스 강재의 절삭에서는 공구마멸과 절삭날의 이상 손상을 억제하기 위하여 경사각을 크게 하는 경우가 있다.⁴ 따라서 본 연구에서도 M20 재종의 R0.8 공구 및 S 타입공구에 대하여 앞면 및 옆면 경사각(α)을 15°로 변경하여 동일한 절삭조건에서 절삭함에 의해 경사각의 영향을 조사하였다. Fig. 7은 이 때의 마멸진행상황을 보인다.

R0.8로서 15°의 경사각을 가진 공구는 -5°의 경사각을 가진 공구에 비해 마멸 크기가 크게 감소되지는 않았으나, S 타입의 공구에서는 경사각을 15°로 한 경우가 -5°의 경사각을 가진 공구에 비해 마멸진행속도가 현저히 감소되었다. S 타입의 경사각 15°의 공구는 -5°의 경사각을 가진 R0.8

공구에 비해 여유면 마멸폭 0.3mm에 달하기까지의 절삭시간이 2.3배 향상되었으며, S 타입의 공구에서는 경사각을 -5° 에서 15° 로 증가시킴에 의해, 24분간의 절삭에서 33%의 공구마멸 감소효과가 있었다. 따라서 S 타입의 공구에서는 경사각이 커지면 공구수명을 연장시키는 효과가 매우 크다고 할 수 있다.

Fig. 8은 경사각 15° 의 R0.8 및 S 타입 공구로 절삭한 경우의 공구마멸형태를 보이는 주사전자현미경 사진이다. R0.8의 공구에 대하여 15° 의 경사각을 형성시킨 것은, Fig. 5(a)에서 보이는 경사각 -5° 의 R0.8 공구에 비해 노우즈부의 마멸은 상당히 작아졌지만 경계마멸은 -5° 의 R0.8 공구와 마찬가지로 크게 발달되어 있다. 한편 15° 의 경사각을 가지는 S 타입 공구는 절삭날에 평행한 마멸형태를 보이고 있으며 경계마멸은 발생되지 않았다. 경사각이 커지면 절삭칩의 생성기구에 따른 진동이 작아지고, 가공경화와 절삭저항도 낮아지며, 피삭

재와 공구와의 응착현상도 감소되는 효과가 있으므로, S 타입의 공구에서는 경사각을 크게 함에 의해 공구마멸이 현저히 감소된 것으로 보인다. 한편, R0.8의 공구는 옆면 절삭날각이 작기 때문에 공구의 경계부에서 높은 응력구배가 발생하므로⁶, 본 연구의 절삭조건에서는 경사각의 증가 효과가 발휘되지 못한 것으로 판단된다.

4. 결론

각종 공구를 사용하여 STS 304를 절삭한 결과 다음과 같은 결론이 얻어졌다.

1) 경사각이 -5° 인 경우, TiN-TiCN-TiC-TiAlN 코팅공구, M20 초경공구, TiC-TiN 서멧 공구, TiN-TiCN-TiN 코팅공구, TiN 코팅공구, Si-Al-O-N 세라믹공구의 순으로 공구마멸이 작다.

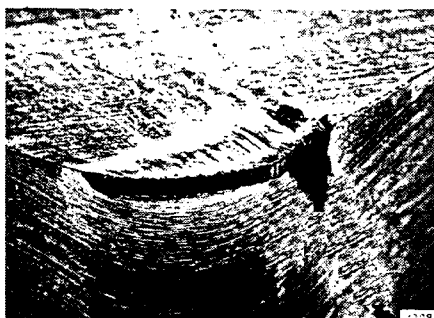
2) 공구의 형상을 변화시킨 경우, 경계부에서의 옆면 절삭날각이 55° 로 형성된 S 타입 공구, 옆면 절삭날각 45° 인 공구, 노우즈 반경 1.5mm인 공구, 노우즈 반경 0.8mm인 공구의 순으로 공구마멸이 작다.

3) S 타입의 공구는 경계마멸을 억제하는 효과가 있으며, 경사각이 -5° 인 경우에 S 타입의 공구는 R0.8 공구에 비해 15분간의 절삭에서 약 50% 크기의 공구마멸을 보인다.

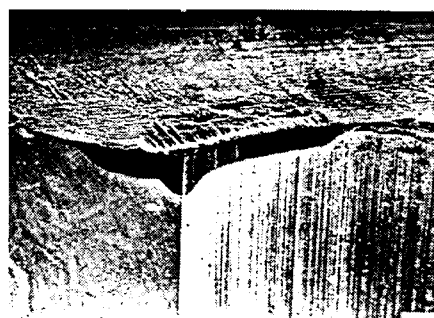
4) S 타입의 공구에서는 경사각을 -5° 에서 15° 로 증가시킴에 의해, 24분간의 절삭에서 33%의 공구마멸 감소효과가 있으나, 노우즈 반경 0.8mm의 공구에서는 공구마멸에 대한 경사각의 증가 효과가 거의 나타나지 않았다.

참고문헌

1. Lim, K. Y., Yu, K. H., Cheong, C. Y. and Seo, N. S., "A Study on the Machinability of SUS 304," J. of the KSPE, Vol. 10, No. 1, pp. 34-41, 1993.
2. Yu, K. H., Cheong, C. Y. and Seo, N. S., "A Study on the Cutting Characteristics of SUS 304 by Flank Wear," J. of the KSPE, Vol. 11, No. 2, pp. 182-188, 1994.
3. Kwon, Y. K., Oh, S. H. and Kim, D. H., "Characteristics of Tool Wear and Cutting Temperature in Machining of SUS 304," J. KSPE,



(a) R 0.8, T=15min



(b) S-type, T=30min

Fig. 8 Typical wear patterns of M20 tungsten carbide tools with the rake angle of 15 deg.

- Vol. 11, No. 1, pp. 71-79, 1994.
4. Takeyama, H., "Performance of Carbide Tools in Machining 18-8 Stainless Steel," Trans. ASME, Ser. B, Vol. 83, pp. 572-578, November 1961.
 5. Takeyama, H., Iijima, N. and Yamamoto, Y., "Effect of Surface Treatment of Cutting Tool upon Its Brittle fracture due to metal Adhesion - Study on Surface Characterization of Cutting Tool Material and Prevention of Its Brittle Fracture (Part 1)," J. JSPE, Vol. 52, No. 2, pp. 79-84, 1986.
 6. Nakayama, K., "The Metal Cutting in Its Principle," Korona, pp. 163-166, 1978.
 7. Ono, T. and Takeyama, H., "Basic Investigation on Grooving Wear," J. JSPE, Vol. 41, No. 3, pp. 85-91, 1975.
 8. Gieszen, C. A., "The Effect of gases on Finish Turning - Groove Formation Influence by Gaseous Environment," Annals CIRP, Vol. 18, pp. 563-570, 1970.
 9. Luk, W. K. and Scrutton, R. F., "The Origin of Groove Wear in the Turning Operation," Inst. J. Prod. Res., Vol. 6, No. 3, pp. 197-204; 1968.
 10. Show, M. C., Thurman, A. L. and Ahlgren, H. J., "A Plasticity Problem Involving Plane Strain and Plane Stress Simultaneously - Groove Formation in the Machine of High Temperature Alloys," Trans. ASME, Ser. B, Vol. 88, pp. 142-151, 1966.
 11. Nakayama, K., "Cutting Tool without Corner Roundness," J. JSPE, Vol. 40, No. 5, pp. 409-416, 1974.
 12. Nakayama, K., "On the Formation of Saw-Toothed Chip in Metal Cutting," J. JSPE, Vol. 43, No. 1, pp. 117-122, 1977.
 13. Katsura, H., "Ceramic Tool," J. JSPE, Vol. 61, No. 6, pp. 764-772, 1995.