

STS 304의 선삭에서 공구수명 향상을 위한 공구형상

이재우(두원공과대학 기계학과)

Tool Geometry for Improving Tool-Life in Turning of STS 304

Jae-Woo Lee (Mech. Eng. Dept., Doowon Technical College)

ABSTRACT

The austenitic STS 304 stainless steel was turned to clarify the effects of tool geometry on the tool wear. The wear of TiN-TiCN-TiC-TiAlN coated tungsten carbide tool was the smallest, exhibiting 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 large approach angle showed the longest tool life of all tools used in this 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

오오스테나이트계 스테인레스 강재의 절삭가공에 관하여는 종래부터 많은 연구보고가 행해져 왔으며^{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, 가공능률의 향상과 가공비용의 절감을 위하여 경계마멸의 발생을 적극 억제시킬 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 기계적 요인에 의해 발생하는 경계마멸을 억제하기 위한 공구 형상을 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 오오스테나이트계 스테인레스강재인 STS 304이다. Table 1에 피삭재의 화학성분을 보이며, Table 2에 피삭재의 물리적 및

기계적 성질을 보인다.

Table 1 Chemical composition of cutted 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 Properties of cutted 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 7 ℓ의 비율로 공구 경사면 측으로 주입하였다. 사용

된 공구 재종은 Table 3과 같이 초경공구 M20종, Table 3 Tool materials and Cutting conditions tested

Tool materials	1) Tungsten carbide, M20
	2) TiC-TiN cermet
	3) TiN-TiCN-TiC-TiAlN coated carbide (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.

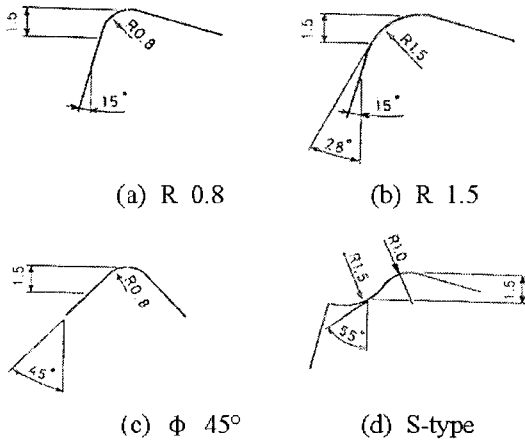


Fig. 1 Geometries of tested tools

TiC-TiN계 서멧공구, TiN-TiCN-TiC-TiAlN 4층 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 초경합금이다. 공구 형상을 변화시킨 실험 이외에 적용된 모든 공구의 형상은 (-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8)로 하였다.

M20의 초경공구에 대해서는 Fig. 1과 같이 4종류의 형상을 가진 공구로 절삭 실험을 행하고, 경계 마멸 억제에 유효한 공구 형상을 검토하였다. Fig. 1(a)는 상용의 스톱어웨이형 공구로서 공구형상은 (-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8)이다. 그런데 기계적요인에 의해 발생하는 경계 마멸을 억제하기 위해서는 옆면 절삭날각을 크게 하고, 경계부에서의 절삭칩 두께를 작게 하는 것이 효과적이라 판단된다. 따라서 절삭칩의 두께를 감소시키기 위하여 노우즈 반경(R)을 1.5mm로 한 공구(Fig. 1(b)), 옆면 절삭날각(ϕ)이 45인 공구(Fig. 1(c)), 절삭날에 오목(凹)형의 노우즈

부를 가진 공구(Fig. 1(d))를 사용하여 공구마멸 진행 상황을 비교하였다. Fig. 1의 R1.5 공구 및 S 타입의 공구에서 경계부에 상당하는 지점의 옆면 절삭날각은 각각 28°, 55°이다.

절삭조건은, 절삭속도 150m/min, 절삭깊이 1.5 mm, 이송 0.2mm/rev.로 일정하게 하였다. 공구의 여유면 마멸폭은 일정한 시간마다 공구현미경을 사용하여 최대 값을 측정하였고, 최대 여유면 마멸폭이 0.3mm를 넘는 시점에서 절삭을 종료하였다. 서멧공구 및 세라믹공구와 같이 공구의 절삭날에 모따기가 되어 있는 공구에 대해서는 그 쪽을 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 공구마멸 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 불가능하였다.

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 비해 마멸진행속도가 현저히 크며, 공구수명의 관점에서 본다면 TiN-TiCN-TiC-TiAlN코팅,

M20 초경, 서멧, TiN-TiCN-TiN 코팅, TiN 코팅, Si-Al-O-N 세라믹공구의 순으로 공구성능이 좋다. M20 초경공구, TiN-TiCN-TiN 코팅공구, TiN 코팅공구 및 Si-Al-O-N 세라믹 공구에서는 경계마멸이 발생하였으며, 이와 같은 경계마멸 때문에 공구수명

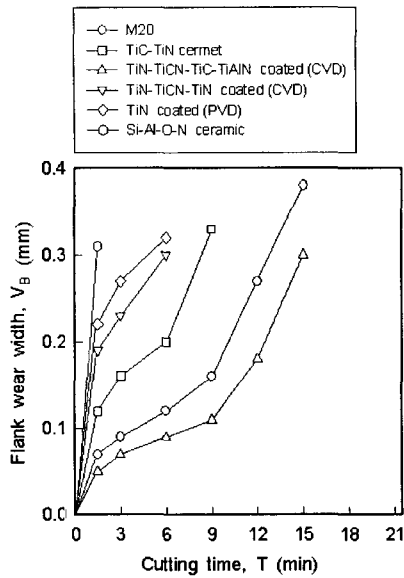


Fig. 2 Wear progress curves of various tools in turning STS 304
 $V=150\text{m/min}$, $t=1.5\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/rev}$.

이 짧아진다고 판단된다. 경계 마멸이 발생하는 원인은 여러 가지가 있지만, 스테인레스 강재의 절삭에서 옆면 절삭날에서의 경계 마멸에는 가공경화가 가장 큰 원인으로 인식되어 있다^{1~4}. Fig. 3에서 보이는 바와 같이 절삭 후에 경계마멸이 크게 생성된 M20 초경공구, TiN-TiCN-TiN 코팅공구, TiN 코팅공구 및 Si-Al-O-N 세라믹공구 마멸부의 전자현미경 사진에서 대규모의 응착 현상은 발견되지 않았으나, 경계마멸부에서 편평하게 마멸된 입자가 거의 보이지 않고 마멸면이 거친 상태로 보이므로, 연삭마멸 (abrasive wear)이 경계부의 주요 마멸기구로는 보이지 않는다. 응착성이 높은 스테인레스 강재의 절삭에서는 피삭재와 공구의 마찰에서 마찰계수가 높으며, 스테인레스 강재의 절삭시에는 톱니형칩이 생성되므로 절삭저항의 변동이 심하고 이러한 절삭저항의 변동에 의해 발생하는 진동 때문에 경계부에서의 미세적인 칩핑이 연속적으로 발생하기 쉬우며, 피삭재의 가공경화 현상 때문에 전회의 가공에서 가공경화된 영역을 옆면 절삭날이 절입하는 때에 큰 충격이 발생한 것으로 보인다. 따라서 스테인레스 강재의 절삭에서 경계마멸이 크게 발생한 것은 피삭재의 가공 경화 뿐만 아니라 공구의 인성과 응착성이 영향을 미치는 것으로 판단되며, 공구의 인성이 낮을

수록, 또한 공구의 응착성이 클수록 경계마멸이 더욱 발생하기 쉬운 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 $V_B=0.16\text{mm}$ 로서, 공구 노우즈부의 마멸량이 비교적 작은 M20 초경공구를 사용하여 경계마멸 억제에 유효한 공구형상을 검토하였다.

M20 초경공구를 사용하여 Fig. 1에 나타낸 각 형상의 공구로 동일한 절삭조건에서 STS 304를 절삭한 때의 공구 마멸진행선도를 Fig. 3에 보인다. R0.8 공구로 절삭한 때는 경계마멸이 급속히 진행되어 절삭개시 15분 후에 여유면 마멸폭이 0.38mm에 달하였고, R1.5 공구도 마멸진행속도가 크고 절삭개시 15분 만에 여유면 마멸폭이 0.33mm로 되었다. 또한 $\phi 45^\circ$ 공구는 15분 동안의 절삭에서 여유면 마멸폭이 0.25mm로서 R0.8공구와 R1.5 공구에 비해서는 마멸진행속도가 느리며, S 타입의 공구에서는 24분간의 절삭에서 여유면 마멸폭이 0.34mm로 되어, 공구형상을 달리한 4종의 공구 중에서 마멸진행속도가 가장 작으며, S 타입의 공구는 R0.8 공구에 비해 15분간의 절삭에서 약 50% 크기의 공구마멸을 보인다.

Fig. 1에 보이는 각 형상의 공구로 절삭한 때의 절삭 종료시의 공구마멸형태는 다음과 같다. 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. 한편, $\phi 45^\circ$ 공구는 R0.8에 비하면 마멸형태는 개선되어 있지만 역시 경계부의 마멸이 가장 크다. 그러나 S타입의 공구에서는 24분 절삭 후에도 경계 마멸은 발생하지 않고 절삭날에 평행한 마멸형태를 보인다. 이상의 결과로부터 경계 마멸을 억제하여 공구 수명을 증대시키기 위해서는 S 타입의 공구가 유효하다고 판단된다.

한편, M20 재종의 R0.8 공구 및 S 타입공구에 대하여 앞면 및 옆면 경사각(α)을 15° 로 변경하여 동일 절삭조건에서 절삭함에 의해 경사각의 영향을 조사하였다. Fig. 4는 이 때의 마멸진행상황을 보인다.

R0.8로서 15° 의 경사각을 가진 공구는 -5° 의 경사각을 가진 공구에 비해 마멸 크기가 크게 감소되

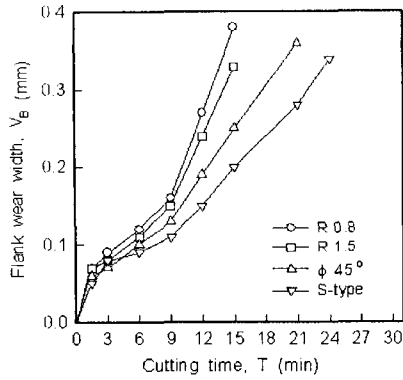


Fig. 3 Wear progress curves of M20 tungsten carbide tools with different geometry
 Rake angle(α)= -5° , $V=120\text{m/min}$, $t=1.5\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/rev}$.

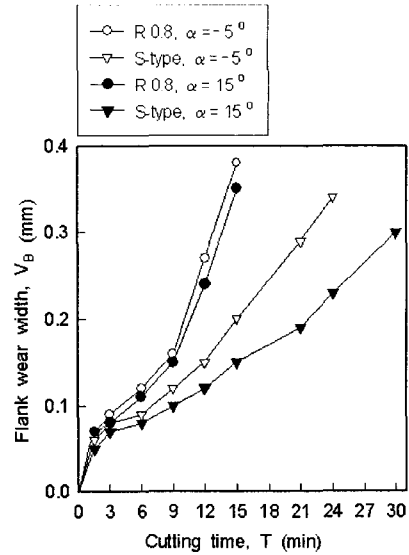


Fig. 4 Wear progress curves of M20 tungsten carbide tools with different rake angle
 $V=120\text{m/min}$, $t=1.5\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/rev}$.

기는 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 경사각을 크게 하면 공구수명을 연장시키는 효과가 매우 크다고 할 수 있다.

경사각 15° 의 R0.8 및 S 타입 공구로 절삭한 경우의 공구마멸형태는 다음과 같다. R0.8의 공구에 대하여 15° 의 경사각을 형성시킨 것은, 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, 피삭재와 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 응력

구배가 발생하므로, 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 공구마멸이 50% 감소되었다.

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. KSPE, Vol. 10, No. 1, pp. 34-41, 1993.
2. Kim, J. T., Seo, N. S., Oh, S. H. and Cheong, C. Y., "A Study on the Flank Wear of Tungsten Carbide Tool in Cutting of SUS 304," J. KSPE, Vol. 8, No. 3, pp. 44-54, 1991.
3. Yu, K. H., Cheong, C. Y. and Seo, N. S., "A Study on the Cutting Characteristics of SUS 304 by Flank Wear," J. KSPE, Vol. 11, No. 2, pp. 182-188, 1994.
4. Kwon, Y. K., Oh, S. H. and Kim, D. H., "Characteristics of Tool Wear and Cutting Temperature in Machining of SUS 304," J. KSPE, Vol. 11, No. 1, pp. 71-79, 1994.