

부분 피복 피니언 공구의 마멸에 관한 연구

A Study on the Wear of partially coated Pinion Cutter

김상균(부산대 대학원), 지용권, 김인성(삼성중공업), 조용주(부산대 공대)

S.K.Kim, Y.K.Jee, I.S.Kim(SHI), Y.J.Cho(PNU)

ABSTRACT : The wear of partially coated pinion cutters under several cutting conditions was studied. In the realm of this experiment, chipping was a dominant tool wear mechanism and flank wear was much larger than crater wear. Under the condition of relatively low rotary feed and low radial feed rate, the wear due to chipping was concentrated at the nose part of pinion cutter. Increasing of rotary feed and radial feed rate alleviated the concentration of chipping at nose and prolonged tool life.

Key Words : pinion cutter(피니언 커터), cutting condition(절삭조건), flank wear(플랭크 마멸), crater wear(크레이트 마멸), rake face(경사면), cutting edge(인선), rotary and radial feed(원주와 반경방향 이송)

1. 서 론

기어 제작방법 중에는 세이핑(Shaping)과 호빙(Hobbing)의 두가지가 있는데, 적용되어지는 영역면에서 살펴보면 서로 분담하면서 공존하고 있음에도 불구하고 호빙머신이 더 경제적인 것으로 알려지고 있다. 하지만 워엄(Worm) 기어 등 특수한 제작과정 등을 호빙으로 할 수 없는 곳에 세이핑을 이용하여야만 한다. 세이핑 작업은 아주 작은 치폭을 가진 기어를 제작하는 경우에 발생하는 오버런(Over-Run) 현상을 막을 수 있고, 단이 근접되어 있는 외치차나 내치차의 가공이 가능하다. 그러나 세이핑 절삭가공은 단속적인 절삭으로 이루어짐에 따라 기계적, 열적 반복응력이 작용하여 충격, 피로에 의한 피니언 커터의 마멸이 심하게 발생하게 된다. 내충격성이 큰 HSS를 공구재로 사용하며 HSS의 낮은 내연삭마멸성을 보완하기 위하여 고경도인 TiN, TiC, TiAlN 등을 피복하여 사용한다. 그러나 피복 피니언커터는 상당한 고가이므로 재연삭하여 다시 사용하므로 플랭크면만 피복된 형태로 절삭작업이 이루어지기 때문에 완전피복공구에 비하여 공구수명이 상당히 떨어지고 생산성이 낮다. 세이핑

작업에서의 병목공정을 해소하기 위해서는 부분피복된 피니언 커터의 마멸현상에 대한 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

피니언 커터에 의한 절삭형태는 단속적이고 상당히 복잡한 형태로 이루어지므로 피니언 커터에 의한 절삭실험연구는 매우 드문 편이다.

Bhatia^[1]는 단속절삭에서 반복응력에 의한 칩핑이 지배적인 마멸기구임을 보였고, Zerov^[2], Andreev, Kuljanic은 탄소공구강에서 열적반복응력에 의해 균열이 발생한다고 하였으며, 기계적 반복하중은 열적현상에 의해 발생된 균열을 전파하는 역할을 할 수 있다고 보았다. Zerov^[2] 등은 특히 열적 반복응력의 중요성을 착안하여 가공시간 동안의 절삭과 비절삭시간의 상대적인 크기를 조절할 것을 강조하며, 긴 공회전 시간은 탄소공구강의 성능에 역효과가 있다고 하였다. Dugdale^[3] 등에 의한 최근의 연구에는 기계적 충격만으로 탄소 공구가 파손될 경우는 거의 없음을 밝히고 있다.

일부분만 피복된 공구에 관한 연구로는 HALE^[4], Ramaligam^[5] 등을 들 수 있는데, 이들에 따르면 경사면에 피복된 공구는 피복으로 인한 경사면의 칩과

의 마찰감소와 구성인선의 크기가 작아지므로 경사면 뿐만 아니라 여유면 마멸도 줄여주는 특성을 보이나, 여유면에만 피복된 경우는 여유면에만 강한 특성을 나타낸다고 하였다. 여유면의 피복공구에서 피복은 크레이트 마멸에는 영향을 끼치지 않지만^[1], 여유면과 피삭재와의 마찰력을 줄이고 피복재의 높은 정도로 공구 수명을 연장시킨다. Pekelharing^[6] 등은 부분 피복공구의 단속절삭실험에서 통상적인 세이핑절삭속도 영역에서는 열적 반복응력보다는 기계적 반복응력에 의하여 칩핑이 발생함을 보이고 기계적 반복응력에 의한 칩핑은 절삭속도에 영향을 크게 받지 않음을 보였다.

본 연구에서는 산업현장에서 병목현상을 보이는 기어 세이핑 공정에서의 생산성을 높이고 공구수명을 높이기 위하여, 널리 쓰이고 있는 TiN 여유면 부분 피복된 피니언 커터의 절삭실험으로 마멸형태를 분석하여 공구수명을 늘리고 생산성을 높이는 개선된 절삭조건을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

기어세이퍼 머신(Gear Shaper M/C)으로 기어 절삭작업을 하면서 피니언 커터의 마멸실험을 하였다.

기어 세이핑 운동은 Fig. 1에서 보는 것처럼 기어 절삭을 위한 피니언 커터의 상하 왕복운동, 원주방향 이송(rotary feed), 그리고 반경방향 이송(radial feed) 운동으로 이루어진다.

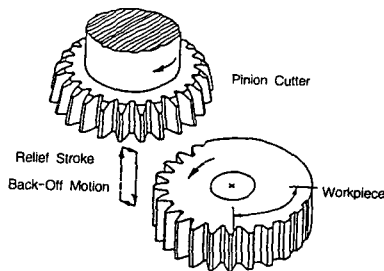


Fig. 1 Tool Motion of gear shaping

커터의 마멸 형태와 거동을 기존 절삭조건에서 분석한 후 이를 바탕으로 개선된 절삭조건을 제시하여 이 조건에서의 실험 결과를 기존조건의 결과와

비교 검토한다. 이들 조건들은 Table 1과 같다. 기어의 절삭공정은 황삭(roughing), 중삭(intermediate), 정삭(finishing)의 3단계를 거쳐 이루어진다.

Table 1 Cutting conditions

Cut (mm)	Cutting Speed (m/min)			Radial Feed (mm/min)			Rotary Feed (mm/min)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Rough.	3.6	23	20.4	0.2	0.37	131.9	157	171.0	
	2.45			0.1	0.19				
Interm.	0.4	46	51.0	3	4	148.7	196	257.0	
Finish.	0.4	46	51.0	2	3	79.9	65	128.0	

Remark
condition 1 : present cutting condition
condition 2 : firstly improved cutting condition
condition 3 : secondly improved cutting condition

공구의 마멸 특성을 파악하고 가공갯수에 따른 마멸량의 변화를 측정하기 위하여 일정한 갯수의 가공물을 가공한 후 Off-line시켜 피니언 커터의 마멸 상태를 관측하고, 이 과정을 플랭크 마멸량이 0.2mm가 될 때까지 반복실험하였다.

플랭크 마멸은 광학현미경으로 측정하였으며 경사면의 마멸은 형상측정기(Contourgrapher)로 측정된 형상으로 측정하였다. 그리고 공구의 마멸 거동을 파악하기 위해 금속현미경을, 마멸기구의 분석을 위해 주사식전자현미경(SEM)을 사용하였다.

피니언 커터는 상용제품으로 재질은 HSS를 고온에서 압축·성형한 ASP30이며 TiN으로 코팅 처리되었으며 재사용을 위하여 경사면을 연마하여 플랭크면만이 부분 코팅된 형태이다. 커터의 사양은 Table 2과 같다. 피삭재는 SCM420을 사용하였다.

Table 2 Specification of Pinion Cutter Tool

Cutter Teeth	44
Module	3
Pressure Angle	27°
Relief Angle	5°
Helix Angle	0°
Conical Angle	0°

절삭유는 고속(40~70 m/min), 저속(10 m/min)의 범용 절삭가공의 전용유제인 비수용성 유시론 오일 No. 7을 사용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 절삭조건 1(기준조건)에서의 마멸

Fig. 2은 형상측정기로 측정된 마멸된 커터의 전형적인 단면형상이다. 경사면의 마멸에 의하여서도 절인이 낮아짐에 따라 총 마멸폭은 경사면에서의 마멸량과 여유면에서의 플랭크 마멸을 더하여 나타내어진다.

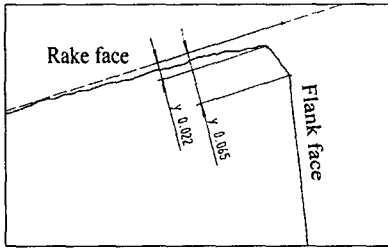


Fig. 2 Contour of worn tool after working 10EA under cutting condition 1

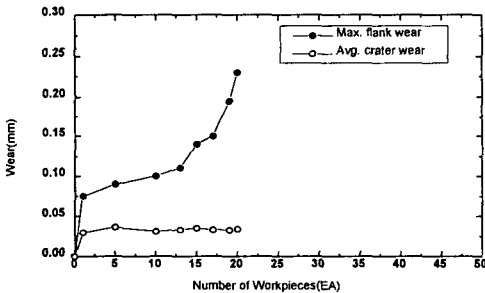


Fig. 3 Tool wear vs. the number of workpieces under cutting condition 1

Fig. 3은 가공갯수에 따른 공구마멸량의 변화를 나타낸 것이다. 경사면 마멸은 가공갯수가 증가하여도 크게 변하지 않으며 수명이 다하였을 때의 크기도 플랭크 마멸의 크기에 비해 미미함을 보여준다. 플랭크 마멸은 초기칩핑이 생긴 후 가공갯수에 따라 미미한 증가를 보이다가 15EA 이후에는 급격히 증가하고 있다.

Fig. 4는 수명이 다한 공구의 측면플랭크(side flank) 인선부위를 확대한 SEM 사진이다. 인선이 칩핑으로 마멸된 것을 볼 수 있으며 좀 더 확대하

여 관찰한 결과 돌출된 탄화물(carbide) 입자를 볼 수 있었으며 이는 칩핑이 발생한 부위에 탈락하는 구성인선이 미소 연삭마멸을 일으켰음을 알 수 있다.

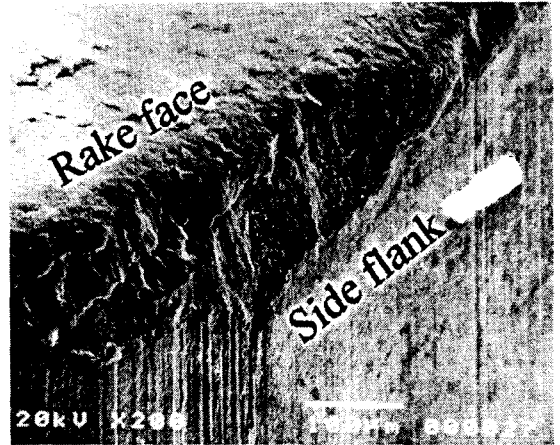


Fig. 4 Flank wear under cutting condition 1

TiN으로 피복되어 있는 플랭크면은 TiN의 높은 내마멸성으로 연삭마멸에 의한 플랭크 마멸폭의 증가는 거의 나타나지 않았다. 이에 초기칩핑이 발생한 후 플랭크 마멸폭의 증가가 미미하였음을 알 수 있다. 수명이 다하기 직전의 급격한 마멸폭의 증가는 반복하중에 의한 피로파손 형태의 칩핑에 의한 것으로 볼 수 있다. Fig. 5는 노우즈부의 마멸 상태를 나타낸 그림으로서 17EA 가공 직후에는 관찰되지 않았고 18EA 이후에 급격한 칩핑이 발생하여 공구 수명에 이른 것이다.

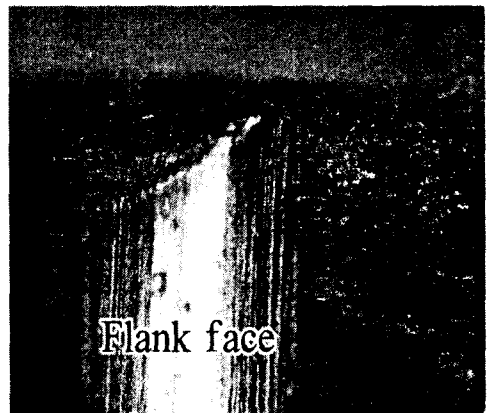
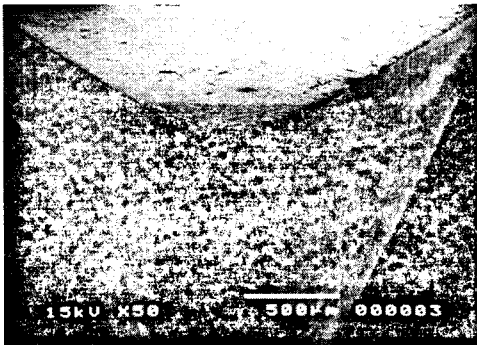


Fig. 5 Flank wear after working 20EA under cutting condition 1

공구인선에 따라 발생한 플랭크 마멸의 상태를 SEM으로 관찰하였다. Fig. 6(a)는 가공물 20EA를 가공한 후 인선의 마멸 상태를 공구의 정면에서 찍은 SEM 사진이며, Fig. 6(b) 측면플랭크의 인선에 대한 마멸 사진이다. 측면플랭크면에 비해 공구 노우즈 부위에 상대적으로 마멸이 집중되어 발생하였음을 볼 수 있다.



(a)



(b)

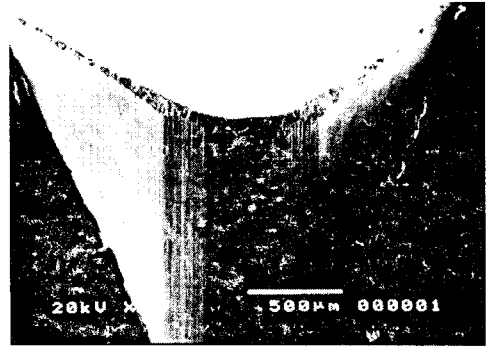
Fig. 6 Photo of tooth after working 20EA under cutting condition 1 (a) cutting edge at front view (b) flank wear at side view

3.2 절삭조건 2(첫째 개선조건)에서의 마멸

칩핑이 노우즈부에 집중하여 발생하는 것을 완화하기 위해서 원주방향이송과 반경방향이송을 증가시킨 조건으로 실험하였다. 이송률을 높임에 따라 선체 가공시간도 줄일 수 있었다.

형상측정기로 측정된 마멸된 단면형상은 절삭조건 1과 크게 다르지 않았으며 경사면의 마멸도 절삭조건 1과 같이 미소하였고, 그 크기도 가공갯수가 증가함에 따라 큰 변화를 나타내지 않았다. Fig. 7(a)

는 인선의 마멸 상태를 공구의 정면에서 찍은 SEM 사진이며, Fig. 7(b) 측면플랭크의 인선에 대한 마멸 사진이다. Fig. 6와 비교하면 칩핑에 의한 플랭크 마멸이 측면플랭크에도 고르게 나타남을 보여준다. 이는 가공 부하가 치면주위로 분산됨을 의미한다. 이에 따라 공구의 수명도 증가하게 된다.



(a)



(b)

Fig. 7 Photo of tooth after working 49EA under cutting condition 2 (a) cutting edge at front view (b) flank wear at side view

Fig. 8은 가공갯수에 따른 공구 마멸량의 변화를 나타낸 것이다. 절삭조건 1에서와 마찬가지로 크레이트 마멸은 그래프에서와 같이 거의 일정한 크기로 미미한 값을 보여주고 있다. 플랭크 마멸의 크기는 초기칩핑이 생긴 후 미미한 증가를 보이다가 40EA 가공 후에는 급격히 마멸량이 급증함을 보여준다. 그러나 가공부하가 치면주위로 분산되어 공구수명이 절삭조건 1에 비해 크게 증가했음을 알 수 있다.

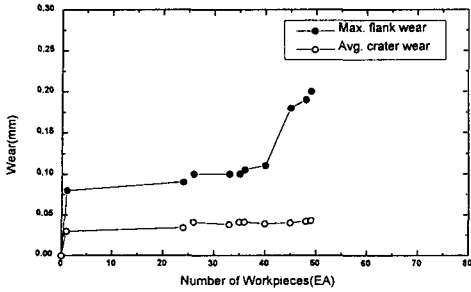
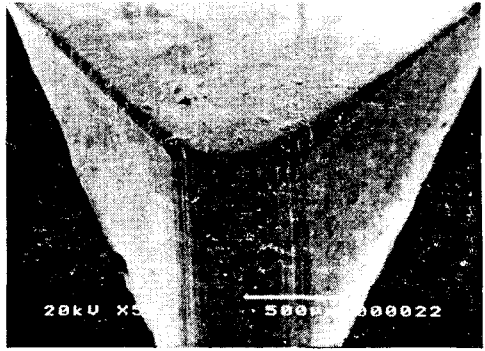
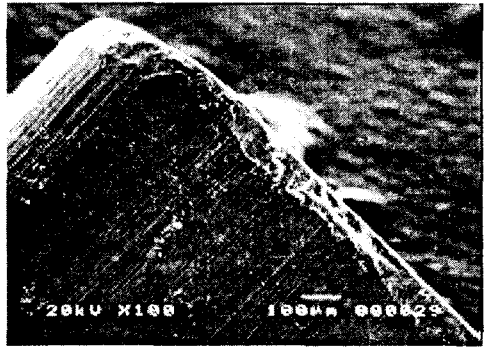


Fig. 8 Wear vs. the number of workpieces under cutting condition 2



(a)



(b)

Fig. 9 Photo of tooth after working 72EA under cutting condition 3 (a) cutting edge at front view (b) flank wear at side view

3.3 절삭조건 3(둘째 개선조건)에서의 마멸

절삭조건 2와 절삭조건 1과의 비교에서 알 수 있듯이 이송량의 증가가 공구수명과 가공시간의 단축에 중요한 인자이므로 생산성을 더 높이기 위하여 조건 2보다 원주방향 이송을 더 증가시킨 조건으로 실험하였다. 절삭시간은 절삭조건 2보다 10분 단축, 가공갯수는 20여개 더 가공할 수 있었다.

Fig. 9(a)는 인선의 마멸 상태를 공구의 정면에서 찍은 SEM 사진이며, Fig. 9(b) 측면 플랭크의 인선 대한 마멸 사진이다. 그림에서 측면플랭크 방향으로 플랭크 마멸이 절삭조건 2보다 확대되어 더 균일하게 되었음을 알 수 있으며 이는 노우즈에 집중되었던 절삭부하가 절삭조건 2에서 보다 더 측면플랭크로 분산되어 공구 수명을 증가시킬 수 있었음을 알 수 있다.

Fig. 10은 가공갯수에 따른 공구 마멸량의 변화를 나타낸 그림이다. 절삭조건 1과 2와 마찬가지로 경사면에서의 마멸은 플랭크 마멸에 비해 무시할 정도이며 가공갯수에 따른 변화도 미미하였다. 플랭크 마멸도 초기칩핑이 발생한 후 거의 일정한 값을 유지하다가 수명이 다하기 직전에 급격히 증가함을 볼 수 있다. 그러나 노우즈에 집중되었던 플랭크 마멸이 측면플랭크로 분산, 균일하게 됨에 따라 절삭조건 1, 2보다 훨씬 더 많은 가공물을 가공할 수 있었다.

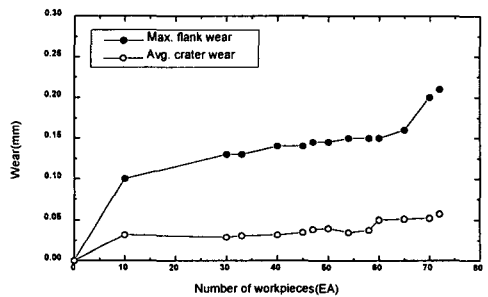


Fig. 10 Wear vs. the number of workpieces under cutting condition 3

3.4 실험결과 고찰

전술한 바와 같이 세이퍼와 같은 공구는 복잡한 절삭기구를 보이고 있으므로, 이를 잘 파악하기 위해서는 단순화시켜 서로 대응시키는 과정이 필요하

다. 즉, 피니언 커터의 원주방향 이송(Rotary Feed)과 반경방향 이송(Radial Feed)을 각각 선삭에서의 두께(depth), 이송(Feed)에 해당된다고 할 수 있다. 이러한 측면에서 각 조건을 검토하면, 절삭조건 1은 원주방향 이송과 반경방향 이송이 다른 조건에 비해 작기 때문에 회전당 적은 절입으로 빈번한 절삭을 하므로 Fig. 5, 6와 같이 노우즈에 칩핑이 집중되어 발생하여 상대적으로 공구수명이 나타났던 것으로 사료된다.

절삭조건 2와 3은 조건 1에 비해 상대적으로 반경방향과 원주방향의 이송이 크기 때문에 절삭 깊이가 커진 효과를 나타내어 회전당 가공횟수가 상대적으로 줄어들고 노우즈에 집중되었던 절삭부하도 측면플랭크로 분산되었기 때문에 공구 수명도 길어지게 되었다.

4. 결 론

이상과 같은 조건으로 부분 피복된 피니언 커터의 절삭실험을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기계적 반복응력에 의한 칩핑이 피니언 커터의 지배적 마멸기구로 나타났다.
- (2) 원주방향의 이송(Rotary feed)의 증가에 따라 커터의 nose부에 집중되었던 칩핑이 완화되고, 측면 플랭크의 인선에도 균일하게 발생하여 공구 수명이 연장되었다.
- (3) 절삭속도 부분에서는 절삭속도를 증가해도 크레이트 마멸량이 미소하므로 향후 속도를 증가시킬 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] S.M.Bhatia, P.C.Pandey, "Wear of Cemented Carbide Tools in Intermittent Cutting", *Wear of Material*, 1979, pp.492-500
- [2] Zerov, N.N., and Sawaiskin, H.A., "Carbide Cutting Tool Life at Interrupted Heavy Cutting Conditions", *Russ. Engg. J1.*, Vol. 43, No.2, 1963, pp.43-47
- [3] Khadim Al-Tornachi, M.J., and Dugdale D.S., "Fracture of Cemented Carbide Tools in Face Milling", *Proc. of 17th Int. Machine Tool Des. and Ref. Conf.*, London, Sept. 1977, pp. 523-528
- [4] T. E. Hale & D. E. Graham, "The Influence of Coating Thickness and Composition upon Metal-Cutting upon Metal-Cutting Performance", *Proc. Conf. on Cutting Tool Materials*, 15-17 Sept. 1980, Ft Michell, Kenturky, pp.175-192
- [5] S. Ramalingam and R. VanWyk., "A Study of Crater wear-Flank wear Interactions in machining using selectively Coated Tools", *Proc. of 7th North American Metal working Research*, 1975, pp.228-233
- [6] A.J.Pekelharing, "Cutting Tool Damage in Interrupted Cutting", *Wear*, 62(1980), pp.37-48