

부분 피복된 HSS 공구의 단속절삭시의 마멸

(Wear of Partially Coated Tool in Interrupted Cutting)

김동욱*, 조용주**, 지용권***, 김인성****, 류병진***

(* 부산대 대학원, ** 부산대 기계공학과, *** 삼성중공업 소재연구팀,

**** 삼성중공업 TM 생산부)

D.W.Kim, Y.J.Cho, Y.G.Ji, I.S.Kim, B.J.Ryu

Key word : flank wear, crater wear, microchipping, diffusion, abrasion, adhesion

ABSTRACT : Tool test was conducted to investigate the wear process of only flank face TiN coated HSS tool in interrupted cutting for various cutting speeds and feed rates. Flank wear was caused by microchipping at the cutting edge. At high cutting speed, the crater which was formed as a result of diffusion and abrasion lowered cutting edge and influenced flank wear. Flank wear due to chipping was little influenced by cutting speed.

제 1 장 서 론

생산성향상과 공구의 수명향상을 위하여 절삭공구의 마멸 현상에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다.

공구마멸에 대한 연구는 연속절삭 조건에서 주로 이루어 졌다. 이때 발생하는 마멸로는 공구와 공작물, 공구와 칩 사이에서의 마찰로 인한 높은 열로 긁힘, 웅착 등에 의한 점진적인 마멸이 나타나는 것으로 알려져 있다.

Venkatesh⁽¹⁾에 따르면 HSS공구로 절삭이 이루어질 때 발생하는 높은 온도에 의하여 공구에서 침으로 텅스텐과 크롬, 망간 등과 같은 구성요소들이 빠져나가는 확산이 일어나며 이로 인하여 공구의 강도가 떨어짐으로써 마멸이 쉽게 일어난다고 하였다.

근래에는 고온에서 높은 경도를 갖는 초경 혹은 세라믹공구의 사용이 늘어나는 추세이다.

Loladze⁽²⁾는 초경공구도 확산에 의해 공구의 강도가 떨어지며 이로 인하여 공작물에 포함된 단단한 입자들에 의한 긁힘 마멸과 절삭 시에 발생하는 BUE와의 상호작용으로 인한 웅착마멸과 뜰김마멸 등이 발생한다고 하였다. 확산을 막고 마찰을 줄이기 위하여 초경 혹은 세라믹에 피복한 공구도 많이 사용되고 있다.

그러나 초경 혹은 세라믹공구는 큰 취성으로 밀링, 세이퍼 등과 같은 단속적인 절삭가공에서는 만족스럽지 못한 수명을 갖는다.

단속절삭에서는 연속절삭과는 달리 점진적인 마멸뿐만 아니라 기계적인 반복응력과 반복열응력으로 피로균열에 의한 파손의 영향이 크게 나타난다.

Soderberg⁽³⁾ 등은 기계적인 반복응력에 의한 균열은 공구의 절연에 평행하게 발생하며 반복열응력에 의한 균열은 공구의 절연에 수직으로 발생함을 보이고, 이러한 균열에 의하여 공구의 절연이 침평으로 마멸된다고 하였다.

Pekelharing⁽⁴⁾은 절삭이 끝나는 순간에 일어나는 침평이, 절삭이 시작하는 순간에 일어나는 침평보다 더 크다고 하였다.

단속절삭에서는 침평에 의한 파손이 지배적이므로 주로 인성이 높은 HSS공구가 쓰이고 있다. 그러나 단속절삭에서도 공구와 공작물, 공구와 칩 사이에서의 마찰로 인한 높은 열로 긁힘, 웅착 등에 의한 점진적인 마멸이 발생한다.

이를 보완하기 위하여 최근에는 인성이 높은 HSS공구에 높은 경도를 가진 재질을 피복하여 공구의 내마멸성을 향상시키고 수명연장의 효과를 도모하는 추세이다. EL-BIALY⁽⁵⁾ 등은 이러한 피복들은 대체로 낮은 마찰계수로 인하여 절삭력이 줄어들며, 구성인선의 크기도 줄어들어 공구의 수명이 연장되는 효과가 있음을 보였다.

피복된 공구는 고가이므로 공구의 절연이 마멸되었을 경우에 재연삭하여 사용하는 경우가 많다. 이때 공구는 여유면에만 피복된 형태가 된다.

공구의 일부분만 피복된 공구의 마멸에 대한 연구로는 Ramalingam⁽⁶⁾, HALE⁽⁷⁾ 등을 들 수 있는데 이들에 따르면 경사면에 피복된 공구는 피복으로 인한 경사면의 침파의 마찰감소와 구성인선의 크기가 작아지므로 인하여 경사면뿐만 아니라 여유면 마멸에도 강한 특성을 보이나 여유면에만 피복된 경우에는 여유면 마멸에만 강하게 나타난다고 하였다.

그러나 이러한 논문들은 주로 마멸율에 대해서만 비교분석하였을 뿐이며 절삭조건에 따른 마멸기구에 대한 연구와 이

해가 미흡한 면이다.

그러므로 연삭한 뒤의 공구와 같이 여유면에만 피복되어 있는 공구의 단속절삭에 있어서 공구의 마멸에 대한 대책이 마련되지 못하므로 해서 여러 가지 문제점이 발생하고 있다.

본 실험은 HSS에 TiN 피복을 한 단인공구를 재연삭하여 단속절삭을 할 때 발생하는 마멸메카니즘을 규명해봄으로써 공구의 수명과 생산성 향상을 위한 기초자료로 제공하고자 함에 있다.

제 2 장 실험 방법

절삭실험은 선반에서 하였으며, 절삭이 단속적으로 이루어 지도록 환봉에 2개 혹은 4개의 사각홀을 팠다. 공작물의 형상과 규격은 Fig. 1과 같다. 공작물의 재질은 노말라이징(normalizing) 열처리를 한 SCM420을 사용하였으며 경도는 170~190(HB)이다.

절삭공구는 여유면에 TiN이 약 2 μm 두께로 피복된 HSS 단인공구를 사용하였으며 공구의 형상과 규격은 Fig. 2와 같다.

절삭실험에 사용한 절삭유는 유시론오일(Yusilon Oil) No. 7로써 비수용성 유제이다. 유시론오일 No. 7은 고속(40~70 min), 저속(10min/min)가공에 모두 적용되는 범용성이 높은 절삭유이다.

절삭조건으로 절삭속도를 20, 25, 30(m/min), 이송량을 0.31, 0.13, 0.60(mm/rev)으로 변화하여 실험하였다.

공구의 마멸상태 및 그 변화는 광학현미경과 전자주사현미경을 이용하여 관찰하였으며, EDS를 이용하여 성분분석하였다.

제 3 장 실험 결과 및 고찰

4.1 여유면에 나타나는 마멸

일반적인 HSS공구의 연속절삭에서는 공구와 절삭면 사이의 미끄럼 접촉에 의해 긁힘과 웅착으로 여유면에 점진적인 마멸이 나타나게 된다. 이러한 긁힘 또는 웅착에 의한 여유면의 마멸을 줄이기 위하여 경도가 높고 마찰계수가 낮은 TiN 등과 같은 재료를 피복한 공구들이 많이 사용되고 있다.

여유면이 피복된 공구의 단속절삭에서는, 피복재의 높은 경도와 낮은 마찰계수로 긁힘, 웅착 등의 점진적 마멸은 억제되지만, 반복적인 용력에 의한 피로파손으로 절인이 칩핑되어 여유면 마멸이 발생한다. 이렇게 칩핑을 일으키는 반복 용력은 절삭력에 의한 기계적인 용력과, 절삭온도에 의한 열

용력의 주기적 변화에 의해 나타난다. 기계적 반복용력에 의한 균열은 절인에 평행하게 나타나는데 비하여 반복 열용력에 의한 균열은 절인에 주로 수직방향으로 나타난다.

Fig. 3은 20(m/min)인 절삭속도와 0.31(mm/rev)인 이송량으로 180분 동안 절삭한 뒤의 절인에 나타난 균열을 보여주고 있다. 절삭이 저속에서 이루어졌고, 또 균열이 절인에 평행한 형태이므로 반복하중에 의한 균열로 여겨진다. 이러한 점에서 본 실험조건에서 나타나는 칩핑의 주원인은 반복 열용력보다는 기계적 반복용력에 의한 것으로 생각된다.

Fig. 4는 칩핑이 발생한 후의 공구 절인 부분을 SEM으로 관찰한 사진으로, 피복이 벗겨진 공구의 절인 부분에서 미세하게 긁힌 흔적이 보인다. 이러한 미세한 긁힘에 의해 점진적인 마멸도 칩핑과 아울러서 발생하는 것으로 사료된다.

Fig. 5는 미세한 긁힘의 원인을 알아보기 위하여 선반에서 절삭속도 10m/min, 절삭두께 0.31mm로 2차원 절삭으로 조정한 뒤 급속정지시켰을 때의 절삭상태를 찍은 사진이다. 여기서 구성인선이 두 부분으로 나누어지는 것을 볼 수 있다.

Fig. 6 (a),(b),(c)는 구성인선의 생성과 탈락의 과정을 나타낸 것이다. 절삭이 진행됨에 따라 구성인선이 두 부분으로 나누어지는 것을 볼 수 있다. 이것은 Jacobson^[4] 등이 보여준 구성인선의 생성과 탈락의 과정과 같다. 두 부분으로 나누어진 구성인선의 윗 부분은 칩과 함께 경사면으로 유통되고 아래부분은 공작물의 절삭면에 남아서 피복이 벗겨진 절인의 여유면 부분을 긁어내는 것으로 여겨진다.

Fig. 7은 여유면의 피복이 벗겨진 후에 공구의 절인이 점진적인 마멸로 인하여 만들어진 그루브(groove)의 모습을 나타낸 것이다.

Fig. 8 (a),(b),(c),(d)는 칩핑으로 피복이 벗겨진 후에 나타나는 점진적인 마멸과 더불어 다시 칩핑이 발생하는 과정을 나타낸 것이다.

4.2 경사면에 나타나는 마멸

칩이 경사면 위로 유통함에 따라 여러 가지 원인으로 인하여 공구면에 크레이터 형태의 마멸이 발생한다. 공구에 크레이터가 만들어지면 경사각이 커지는 효과가 얻어져 절삭날의 앞부분이 예리하게 되어 절삭이 잘되는 경우도 있으나 절인이 약화되어 파손이 쉽게 발생하여 공구의 수명을 짧게 하는 경우도 있다.

절삭공구의 약화는 크게 칩과의 마찰열로 인한 경도의 저하와 고온에서의 공구성분의 확산에 의한 강도의 저하를 들 수 있다.

SCM420 소재는 일반적으로 가공 경화성이 크고 열전도율은 일반 탄소강의 1/2~1/3정도로 낮아 열발산이 적고, 공구와의 친화성으로 마찰계수가 크므로 다른 소재에 비하여 절인 부근의 온도가 높게 나타난다. 이에 따라 공구재료의 경

도 저하가 심하며, 확산의 가능성도 크다.

Fig. 9는 크레이터가 형성된 공구 단면을 나타낸 것으로 절삭시에 발생하는 고온으로 인한 HSS의 조직변화나 또는 전단력으로 인한 소성유동의 흔적은 뚜렷하지 않다. Mills⁽³⁾ 등은 절삭속도가 최소한 40m/min 이상이 되어야 공구의 조직에 변화가 나타난다 하였다. 본 실험은 절삭속도가 30m/min 이하인 조건에서 이루어졌으므로 조직변화 및 소성유동은 없는 것으로 사료된다.

확산의 가능성을 확인하기 위하여 Fig. 10(a),(b)에 크레이터면과 칩이 닿지 않은 공구모재의 성분을 EDS으로 분석한 결과를 나타내었다. 크레이터에서 텡스텐의 성분이 줄어든 것을 알 수 있으며 이는 텡스텐이 공구에서 칩으로 확산이 이루어졌음을 나타낸다. HSS에서 텡스텐 등과 같은 공구의 구성요소가 확산에 의하여 빠져나가게 되면 공구의 경도는 현저히 감소하게 된다.

절삭속도가 HSS의 조직변화나 또는 전단력으로 인한 소성유동의 흔적이 뚜렷이 나타나지 않는 낮은 절삭속도 구간으로, 확산에 의해 공구의 강도가 저하되어 가공경화된 칩이 경사면을 긁으므로 크레이터가 나타난다고 볼 수 있다.

경사면에 나타나는 크레이터는 그 정도가 심하지 않을 때는 여유면 마멸에 직접적인 영향을 미치지 않지만 크레이터가 절인까지 확대되면 크레이터로 인한 절인의 마멸이 여유면 마멸로써 나타난다.

Fig. 11(a),(b)는 공구에 나타난 크레이터를 표면조도기를 이용하여 나타낸 것이다. 크레이터가 발생하는 초기시점에서는 공구의 절인에서부터 어느 정도 떨어진 곳에서 발생하므로 절인이 비교적 양호하게 유지되나 크레이터 마멸이 절인 쪽으로 확대 성장하게 되면 공구의 절인이 심하게 파손되고 절인이 낮아지는 것을 알 수 있다.

4.3 절삭조건에 따른 공구의 마멸을

일반적으로 여유면 마멸 폭으로 공구의 수명을 결정하며, 이것은 여유면의 마멸폭이 증가하게 되면 마찰력의 급격한 증가로 마찰열이 심하게 발생하며, 가공 중의 이상상태인 채터진동이 발생하여 표면조도가 나빠질 뿐만 아니라 여유면 마멸로 절인이 둔화되면 그만큼 가공오차가 발생하기 때문이다. 경사면에 발생하는 크레이터도 확대 성장하게 되면 절인에 영향을 줍으로써 여유면 마멸이 급격하게 커질 수 있다. 그러므로 가공오차를 공구수명의 기준으로 할 때, 가공오차의 범위를 벗어나게 되는 여유면 마멸 폭을 결정할 때는 여유면 마멸폭과 크레이터로 인하여 절인이 낮아지는 양을 합한 것으로 하여야 한다. 이를 나타낸 것이 Fig. 12이다. 칩핑 등으로 피복이 벗겨진 폭을 나타내는 ①과 크레이터의 성장으로 인하여 절인이 내려앉은 양을 나타내는 ②의 합으로 나타난다. 그림에서 ①은 피복이 제거된 폭(Worn coating

width)으로, ②는 크레이터로 인한 절인의 낮아진 양(Lowering of cutting edge due to crater)으로 나타내었다.

Fig. 13, Fig. 14는 절삭량이 $1.86 \times 106(\text{mm}^3)$ 일 때 크레이터로 인한 절인의 낮아진 양과 칩핑에 의해 피복이 제거된 폭과 이 두개의 합을 더한 여유면 마멸을 나타낸 것이다. 절삭속도가 일정한 조건인 Fig. 13에서 칩핑에 의해 피복이 제거된 폭과 크레이터에 의한 절인의 낮아짐이 이송량 증가에 따라 미미하게 커짐을 보여준다. 이송량이 일정한 조건인 Fig. 14는 절삭속도 증가에 따라 칩핑에 의해 피복이 제거된 폭의 변화는 미미하지만 크레이터로 인한 절인의 낮아짐은 커짐을 보여준다. 크레이터로 인한 절인의 낮아짐은 이송량의 변화보다 절삭속도에 더욱 민감함을 알 수 있다.

칩핑은 절삭력과 온도의 반복적 변화에 의한 반복응력에 의한 피로에 의한 과손이다. Fig. 15는 이송량이 일정할 때 절삭속도에 따른 절삭력의 변화를 나타낸 것이다. 절삭속도의 증가에 따른 절삭력의 증가는 미미하다는 것을 보여준다. 이는 절삭속도의 변화에 따른 절인의 칩핑 크기의 변화가 미미하다는 것을 잘 설명해준다. Fig. 16은 절삭속도가 일정할 때 이송량에 따른 절삭력의 변화를 나타낸 것이다. 절삭력이 이송량의 증가에 따라 증가하는 것을 보여준다. 이송량의 증가에 따라 주분력은 증가하지만 절삭면적도 커짐을 고려하면 비절삭력은 거의 일정하게 나타난다. 따라서 이송량의 변화도 절인의 칩핑에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 것으로 사료된다.

크레이터는 절삭온도의 영향을 크게 받는다. 절삭온도는 절삭속도에 민감하나 이송량에는 별 영향을 받지 않는다.⁽¹⁰⁾ 이러한 경향은 이송량과 절삭속도의 변화에 따른 크레이터에 의한 절인의 낮아짐의 변화와 잘 일치한다.

본 실험의 범위에서 이송량의 변화와 절삭속도의 변화가 피복이 제거되는 폭에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났으며, 절삭속도의 변화는 이송량의 변화보다 크레이터로 인한 절인의 낮아짐에 미치는 영향이 크므로 여유면마멸에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

따라서 일정한 양을 절삭할 때 생산성 향상을 위해서는, 절삭속도를 증가시키는 것보다 이송량을 높이는 것이 공구의 수명연장에 유리할 것으로 생각된다.

제 4 장 결 론

여유면이 피복된 HSS공구로 단속절삭 하였을때 나타나는 마멸현상을 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 절삭초기에 칩핑이 발생한 후 굵힘과 뜰김에한 점진적 마멸과 계속적인 칩핑에 의하여 여유면마멸폭이 성장 한다.

- (2) 공구의 피복 층에서는 점진적인 마멸은 거의 나타나지 않았다.
- (3) 확산으로 인하여 공구강도가 저하되어 크레이터 마멸이 일어난다.
- (4) 높은 절삭속도에서는 크레이터의 확대 성장으로 인하여 절인이 낮아지므로써 여유면 마멸이 가속된다.
- (5) 칩핑에 의한 여유면 마멸은 절삭속도와 이송량의 변화에 거의 영향을 받지 않는다.
- (6) 이송량을 높이는 것이 절삭속도를 높이는 것보다 공구의 수명연장에 유리하다.

참 고 문 헌

- (1) V.C.VENKATESH, "On a Diffusion Wear Model for High Speed Steel Tools", ASME Journal of Lubrication Technology, Vol. 100, July 1978, pp. 436~441
- (2) T.N.Loladze, "Adhesion and Diffusion Wear in Metal Cutting", Jounal of the Institution of Engineers(india), Vol.XVIII, No.3, 1962, pp108-141
- (3) Steffan Soderberg and Sture Hogmark, "Wear Mechanisms and Tool Life of High Speed Steels related to Microstructure", wear, 110(1986), pp315-329
- (4) A. J. Pekelharing, "Cutting Tool Damage in Interrupted Cutting", Wear, 62(1980), pp37-48
- (5) B. H. EL-BIALY, A. H. REDFORD, and B. MILLS, "Proposed Wear Mechanism for Titanium Nitride Coated High Speed Steel", Surface Engineering 1986 Vol.2 No.1 pp29-34
- (6) S.Ramalingam and R.Van Wyk, "A Study of Crater Wear-Flank Wear Interactions in Machining using Selectively Coated Tools", Proc.7th north american metal working research, 1975, pp228-233
- (7) T.E.HALE and D.E.GRAHAM, "The Influence of Coating Thickness and Composition upon Metal-Cutting Performance", Proc. Conf. on Cutting Tool Materials, 15-17 Sept. 1980, Ft Michell, Kenturcky, 175-192
- (8) B.Mills, D.W.Wakeman, A.Aboukhashaba, "A New Technique for Determining the Temperature Distribution in High Speed Steel Cutting Tool Using Scanning Electron Microscopy", Annale of the CIRP, Vol.29, 1, 1980
- (9) Steffan Jacobson and Per Wallen, "A New Classification System for Dead Zones in Metal Cutting", Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol.28, No.4, pp529-538, 1988
- (10) G.Boothroyd, Fundamentals of Machining and Machine Tools, MARCEL DEKKER, INC, 1989



(c) 2-intermittent cutting



(b) 4-intermittent cutting

Fig. 1 Shape of workpiece

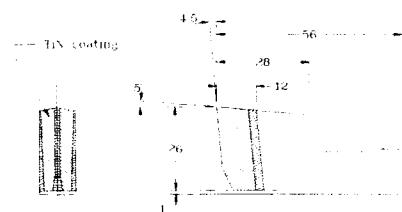


Fig. 2 Shape of tool

rake face



Mechanical fatigue

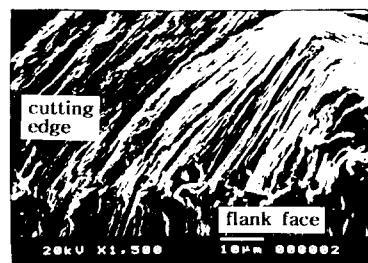


Fig. 4 Abrasive wear of cutting edge

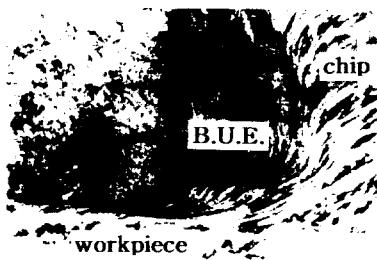


Fig. 5 The photo of cutting process by quick stop device



Fig. 9 Section of the cutting edge

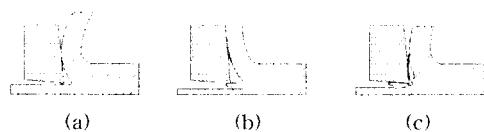


Fig. 6 Formation of B.U.E.

- (a) growth of B.U.E
- (b) division of B.U.E
- (c) separation of B.U.E.

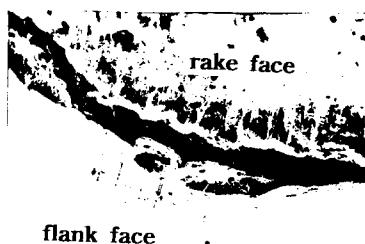


Fig. 7 Occurrence of groove a cutting edge

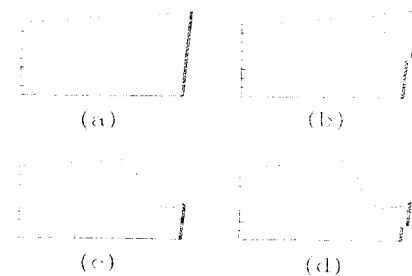
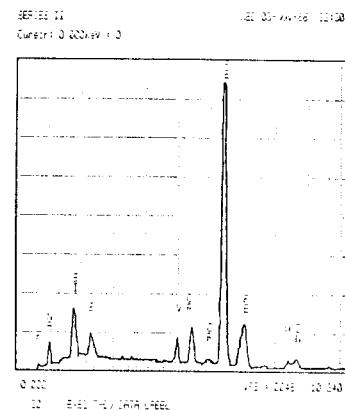


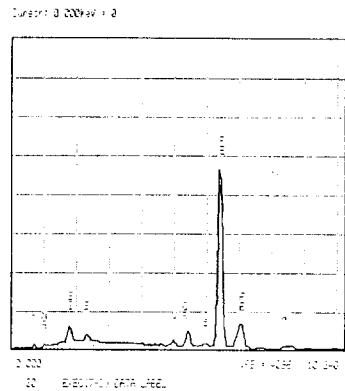
Fig. 8 Wear of cutting edge

- (a) initial tool
- (b) chipping
- (c) gradual wear
- (d) chipping again



(a)

2.000 Fe K_α Fe L_{2,3} Cr K_α Si K_α W L_{2,3} V K_α Ti K_α Sn K_α Ni K_α Zr K_α
12.040 14.00 3.75 2.05 11.35 2.08 1.36 3.91 0.40

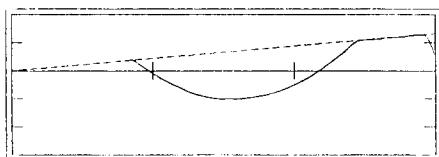


(b)

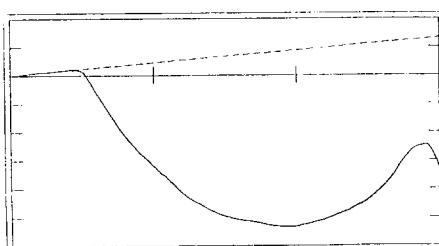
2.000 Fe K_α Fe L_{2,3} Cr K_α W L_{2,3} V K_α Ti K_α Sn K_α Ni K_α W K
12.040 20.00 3.34 1.94 1.24 0.77 0.77 0.00

Fig. 10 Analysis of EDS in

- (a) clean face of tool
- (b) crater of tool



(a)



(b)

Fig. 11 Shape of the crater and cutting edge wear after (a) 20min (b) 110min



Fig. 12 Classification of flank wear

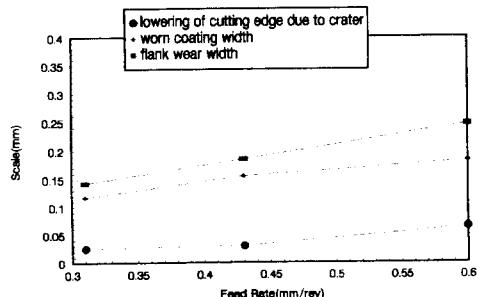


Fig. 13 The relation between flank wear and lowering of cutting edge due to crater when cutting speed is 20m/min

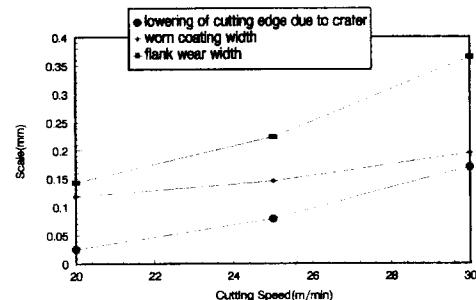


Fig. 14 The relation between flank wear and lowering of cutting edge due to crater when feed rate is 0.31mm/rev

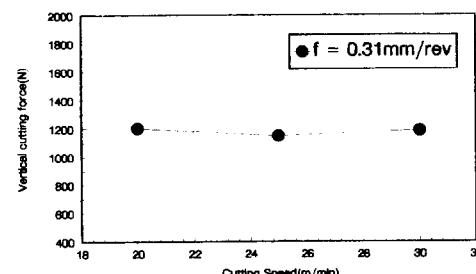


Fig. 15 The relation between vertical cutting force and cutting time according to cutting speed

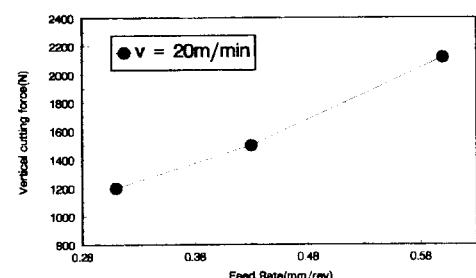


Fig. 16 The relation between vertical cutting force and cutting time according to feed rate