

절단용 공구의 미세형상 에지성형을 위한 경사축 연삭법의 개발

권 성 · 박규열
기계공학부

<요 약>

본 논문은 절단용 공구의 에지형상의 성형연삭을 위한 새로운 연삭방법의 개발에 관한 것이다. 구체적으로는 볼록한 형상을 갖는 절단용 공구의 에지형상을 대상으로 하여 특수하게 설계된 슷들의 회전축을 피삭재의 높이방향으로 일정각도 경사시킴으로써 슷들과 피삭재와의 사이에 형성되는 기하학적 상관관계를 이용하는 연삭법이다. 본 방식을 적용하면 연삭공정의 단축으로 인하여 에지형상의 패속제조가 가능하며, 에지의 정점부에 형성되는 버의 발생이 현저하게 감소된다.

Key Words : Profile Grinding(형상연삭), Tilted-head Spindle Grinding (경사축연삭법), Knife Edge(나이프 에지), Shape Function(형상함수)

Development of Tilted-head Spindle Grinding Method for Profiling the Micro-shape Edge of Cut-off Tools

Seong Kwon · Kyuyeol Park
School of Mechanical Engineering

<Abstract>

In this paper, a new grinding method for profiling the knife edge of cut-off tools was developed. In detail, for profiling the convex type edge shape, specially designed grinding wheel is tilted with some angle to the horizontal direction(i.e., tilted-head

spindle grinding method) in order to give a specific geometrical relationships between wheel and workpiece. By utilizing this method, it is capable of efficient machining of precise knife edge by reducing the grinding process and lessening the burr formation at the top of edge in the conventional machining method.

Key Words : Profile Grinding(형상연삭), Tilted-head Spindle Grinding (경사축 연삭법)
Knife Edge(나이프 에지), Shape Function(형상함수)

1. 서 론

절삭공구를 이용한 미세 홈형상의 버니싱 성형가공의 대표적인 예로는 룰링엔진(Ruling engine)과 다이아몬드 공구를 사용한 광회절용 렌즈(Grating lens)의 가공을 들 수 있다. 광회절용 렌즈는 평면 혹은 오목한 형상의 유리기판 위에 도포된 금속막에 톱날상의 단면을 갖는 미세한 홈이 동심원상에 불균일한 간격으로 형성되어 있으며, 렌즈의 성능은 배열된 격자홈의 형상과 배열상태에 의존하게 된다. 이와 같이 절삭공구의 에지의 형상을 전사 시킴으로서 높은 가공정도가 요구되는 정밀부품을 얻고자 할 경우, 사용되는 공구의 에지의 형상정도가 우선적으로 필요하게 된다. 또한 이외에도 다양한 용도를 갖는 절단용 공구가 필요함에도 불구하고 에지형상의 효과적인 제조방법이 개발되지 않은 채, 복잡한 제조공정을 거쳐서 생산되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 정밀한 형상이 요구되는 절단용 공구의 에지형상의 제조효율 및 절단성능의 향상을 목적으로 하여 새로운 형태의 연삭방식을 개발하였다. 구체적으로는 에지의 정점으로부터 점차적으로 기울기가 감소하여 볼록한(Convex) 형상을 갖게 되는 나이프의 에지형상을 대상으로 하여 숫돌의 회전축을 피삭재의 높이방향으로 일정각도 경사시킴으로서 얻어지는 숫돌과 피삭재와의 사이에 형성되는 기하학적 상관관계를 이용하는 연삭방식으로서, 본 연구에서는 동방식의 이론적 근거를 정립하고 더불어 적용효과에 관하여 조사하였다.

2. 나이프 에지의 정밀 연삭 제조방법

2.1 일반 연삭법에 의한 제조방법

에지의 기본적인 형상은 직선과 곡선 혹은 이의 복합형태로 구성되며 Fig. 1과 같이 에지의 형상에 따라서 절단용 공구로서의 용도 및 성능이 좌우된다. 또한 기하학적으로는 동일한 형상으로 구성된 에지의 경우에도 에지가 이루는 선단각 (Cutting angle or tip angle)에 따라서 상이한 절단성능 및 수명을 갖게 된다.

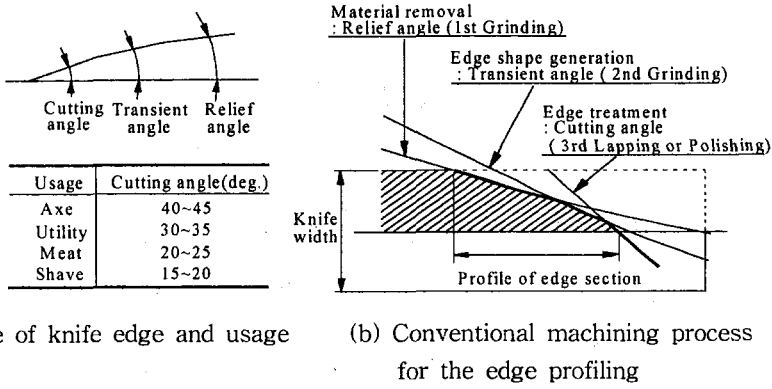


Fig. 1 Typical usage of knife edge and machining process

따라서 선단부의 에지형상 및 각도는 절단공구로서 중요한 설계의 기준이 된다. 일반적으로 임의의 형상을 갖는 절단용 공구의 에지형상은 피삭물의 형상의 특성으로 인하여 Fig. 1 (b)와 같은 제조공정을 갖게 된다.

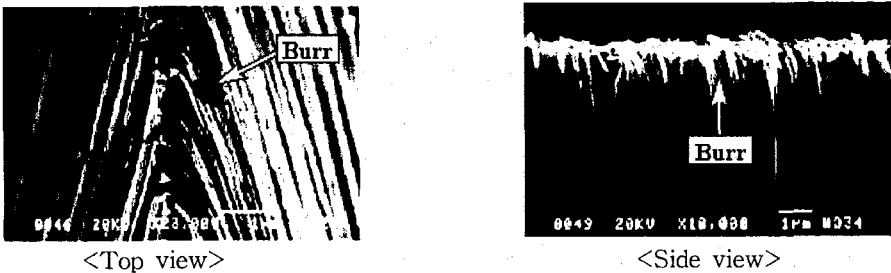


Fig. 2 SEM view of the knife edge generated by conventional machining process

Fig. 2는 Fig. 1(b)에서 제시한 기존의 일반적인 가공방식으로 3공정의 연삭가공을 통하여 성형된 에지형상으로서 에지의 선단부에 다량의 버가 발생됨을 알 수 있다. 따라서 절단용 공구로 사용하고자 할 경우에는 버의 제거 및 표면특성의 향상을 위한 후처리 공정이 필요하며, 또한 공정의 추가로 인하여 생산성이 제약을 받게 된다.

2.2 슛돌 회전축의 경사를 이용한 에지형상의 연삭법

2.2.1 슛돌 회전축의 경사에 의한 연삭기구

본 연구에서 제시하는 절단용 공구의 에지형상의 성형연삭법은 특별하게 설계된 형상을 갖는 슛돌의 회전축(주축부)을 피삭재의 높이방향으로 일정 각도만큼 경사시킴으로써 슛돌과 피삭재와의 사이에 형성되는 특이한 기하학적 상관관계를 이용하는 연삭방식(이하, 경사축연삭법으로 약함)이다. 즉, Fig. 3에서 경사축연삭법에 있어서 에지형상과 슛돌형상과의 기하학적 관계를 도시한 바와 같이, 슛돌의 폭방향으로 서로 다른 반경을 갖는 단일

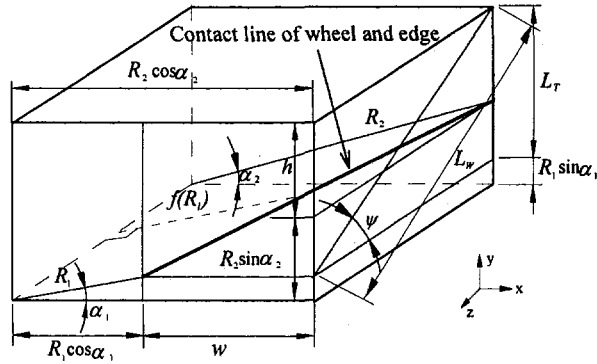


Fig. 4 Geometrical relationships between the wheel and the knife edge in the tilted-head spindle grinding method

전기의 식(1), (2), (3)을 토대로 슷들과 에지형상과의 기하학적 관계를 삼차원 직교 좌표계에서 나타내면 Fig. 4와 같이 표현되며, 일정한 폭: w 와 높이: h 를 갖는 에지의 가공에 있어서 L_T 와 L_W 및 ψ 의 관계를 나타낸다. 여기서 x 는 에지의 폭방향, y 는 에지의 높이 방향, z 는 에지의 길이방향을 나타낸다. x 축 방향의 관계는 식 (1)로부터 식 (4)와 같이, 또한 y 축 방향에서는 식 (2)로부터 식 (5)와 같이 표현 할 수 있다.

$$w = R_2 \cos \alpha_2 - R_1 \cos \alpha_1 \quad (4)$$

$$L_T + R_1 \sin \alpha_1 = h + R_2 \sin \alpha_2 \quad (5)$$

한편, Fig. 4에서 점선으로 표시된 $f(R_i)$ 는 슷들의 폭방향의 임의의 위치의 슷들 반경 R_i 가 에지와 접촉하는 점에 대한 법선으로서, xy 평면상에서 설계된 에지 형상의 임의의 점에서 슷들과 에지의 접촉상태(접촉각)를 나타낸다. 임의의 에지의 형상부에서 접하는 슷들의 법선 $f(R_i)$ 는 기울기 α_i 와 접촉점(x_i, y_i)를 지나는 직선함수식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(R_i) = \alpha_i(x - x_i) + y_i \quad (0 < x < R_i \cos \alpha_i) \quad (6)$$

2. 2. 2 에지형상과 슷들형상의 상관관계

설계된 에지형상을 구현하기 위해서는 에지형상이 일정한 함수형태로 표현되어야 하며, 이를 위해서는 초기조건으로서 에지의 높이, 폭 및 에지의 임의의 점에서 각도가 필요하다. 이와 같은 설계정보를 토대로 해서 구하게 되는 에지의 형상함수 $f_e(x)$ 는 에지의 폭의 변화에 따른 높이 방향의 기울기의 변화가 선형적일 경우에 2차함수로 구성할 수 있다. 한편 전기의 초기조건으로부터 R_1, R_2, L_W 가 결정되며, 단 슷들폭 방향으로 각 점에서의 슷들반경은 에지의 형상함

수와 상관 관계를 갖는다. 구체적으로 함수형태로 구성된 에지형상의 임의 점과 접하는 부위에서 숫돌의 반경은 에지의 형상에서 숫돌중심축으로의 법선의 길이에 해당하며, 법선식의 형태는 전기의 식 (6)과 같다. 숫돌반경은 에지형상의 임의점(x_i, y_i)과 그 점에서의 법선으로 숫돌중심축과 만나는 점 $[R_2 \cos \alpha_2, -\frac{1}{f_e'(x_i)}(R_2 \cos \alpha_2 - x_i) + y_i]$ 의 길이에 해당하며 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_i = (R_2 \cos \alpha_2 - x_i) \left[1 + \left(\frac{1}{f_e'(x_i)} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

또한 숫돌의 폭방향에서의 각 지점의 숫돌반경은 숫돌의 폭과 중심축 높이의 선형적 비례관계로 하기의 식 (8)과 같이 결정되어진다.

$$R = L_w \frac{f(R_i) - R_1 \cos \alpha_1}{L_T} \quad (8)$$

3. 설계결과의 그래픽 시뮬레이션 및 검증

본 연구에서 제안한 방법을 임의의 형상을 갖는 에지의 연삭가공에 적용하기에 앞서 삼차원 그래픽 방법을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 먼저 삼차원 그래픽상에서 요구되는 에지형상과 전술한 방법을 이용하여 설계된 숫돌의 형상 및 숫돌축의 경사각을 설정하였다. 대상으로 한 에지의 형상은 Fig. 2를 토대로 에지 선단부의 각도가 17.5° 를 갖는 높이: $h=0.35mm$, 반폭: $w=0.05mm$ 의 마이크로형상을 갖으며, 이때 에지의 형상함수는 전술한 바와 같이 기울기의 변화가 선형적인 곡선함수로 가정하면 위의 조건으로부터 다음의 식 (9)와 같은 에지의 형상함수가 얻어진다.

$$f_e(x) = -76.568x^2 - 3.172x + 0.35 \quad (9)$$

Table 1 Edge profile calculated by shape function

x	y	Contact angle(deg.)
0.000	0.350	17.500
0.005	0.332	14.251
0.010	0.311	12.004
0.015	0.285	10.363
0.020	0.256	9.113
0.025	0.223	8.130
0.030	0.186	7.338
0.035	0.145	6.685
0.040	0.101	6.139
0.045	0.052	5.675
0.050	0.000	5.276

unit : mm

Table 1은 형상합수에 의해서 결정되어진 에지폭의 변화에 따른 에지높이와 에지의 각 점에서의 접촉각을 나타낸다. 스톨의 형상은 앞절에서 제시한 방법을 토대로, 스톨의 장반경: $R_2=100mm$ 와 스톨폭: $L_W=150mm$ 를 초기조건으로 할 경우, 식 (1), (2), (3)으로 부터 단반경: $R_1=95.727mm$, 스톨 회전중심의 변화량: $L_T=21.618mm$, 스톨 회전축의 경사각: $\Psi=8.287^\circ$ 가 얻어진다. 에지의 임의점(x_i, y_i)에서의 스톨반경(단면형상)은 이미 구성된 에지의 형상합수를 토대로 식 (7), (8)에 의해 Table 2와 같이 결정되어지며 이를 도시하며 스톨 형상은 Fig. 5와 같다.

Table 2 Designed wheel shape by edge profile

Wheel width	Wheel radius
0.000	95.727
5.014	95.796
10.767	95.882
17.466	95.989
25.398	96.129
34.978	96.315
46.820	96.571
61.889	96.938
81.771	97.494
109.291	98.395
150.000	100.000

unit : mm

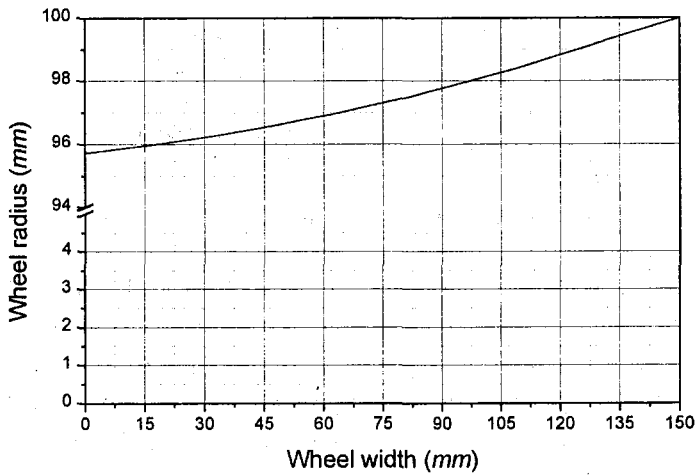


Fig. 5 Diagram of designed wheel shape

Fig. 6는 전술한 방법으로 설계된 경사축 연삭법에 의한 에지형상의 연삭가공의 그래픽 시뮬레이션 과정으로서, 설계된 연삭스톨을 피삭재의 진행방향에 대하여 결정된 각도로 경사시킴으로써 스톨과 피삭재의 상대위치를 설정하고 스톨과 피삭재의 접촉부위를 확대함으로써 에지형상이 창성되는 과정을 확인하였다.

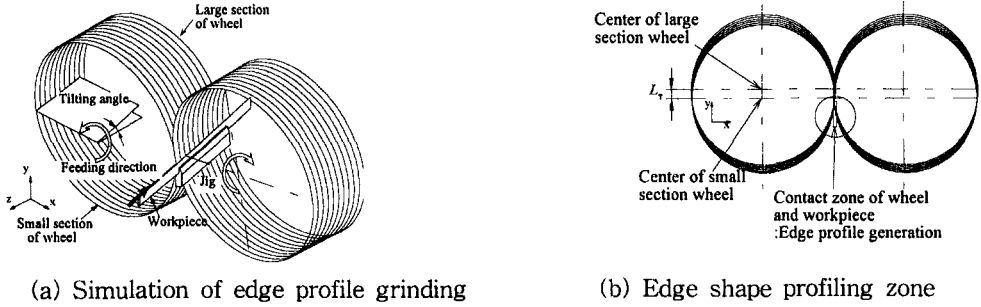


Fig. 6 Process of three dimensional graphic simulation of edge profile grinding

Fig. 7은 시뮬레이션의 결과로서 슛돌 각부위의 회전궤적과 피삭재와의 접촉형태를 통해서 가공되는 에지의 형상을 예측하는 것이 가능하다.

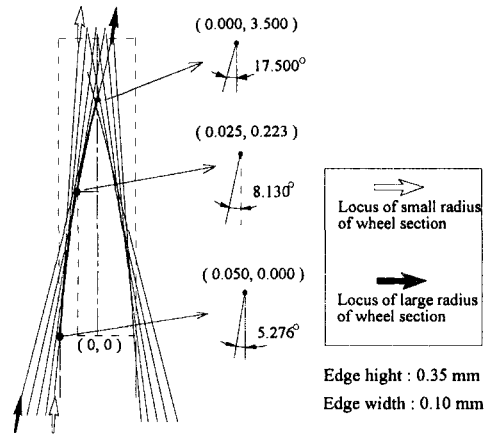


Fig. 7 Configuration of wheel pass and generated edge profile

본 결과에서는 슛돌의 폭방향으로 피삭재와 접촉하는 부위가 변화하며, 단위소재의 피삭재의 높이 방향으로 연속적으로 가공이 진행됨으로써 최종적으로 에지형상이 불룩한 형상을 갖게됨을 확인할 수 있다. 또한 예시한 바와 같이 에지의 xy평면의 임의의 좌표점에서의 접촉각이 Table 1에서 제시한 에지의 설계각과 동일함을 확인할 수 있다. Fig. 8은 본 연구에서 개발된 방식을 적용하여 레이저 블레이드(Razor Blade)의 에지연삭을 위하여 설계, 제작된 경사축 연삭기의 조립도를 나타낸다.

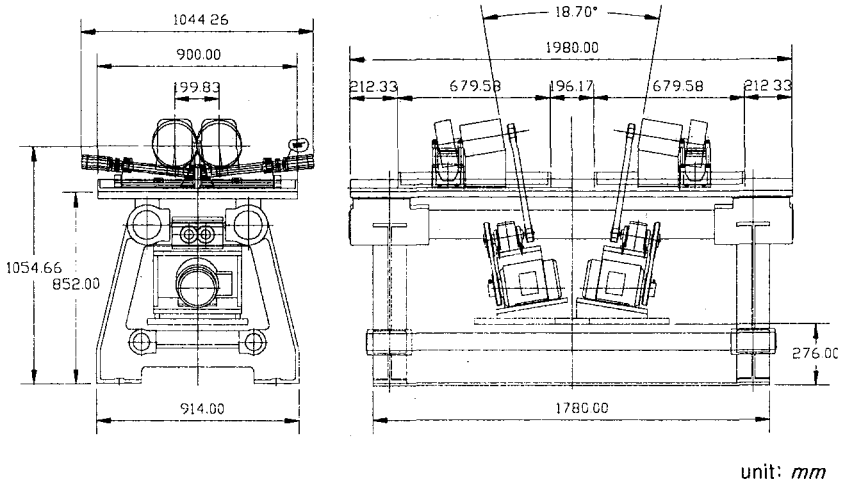


Fig. 8 Assembly drawing of the micro-shape edge grinding machine using the tilted-head spindle grinding method

Fig. 9는 전술한 전용 연삭기를 사용하여 연삭가공된 에지의 실제형상을 나타낸다. Fig. 1 (b)에서 기술한 기존의 방식으로 연삭가공된 에지의 경우에는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 에지의 정점부에서 버가 발생되는 반면, 본 새로운 방식을 적용한 경우에는 버의 발생이 현저하게 감소됨을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 경사축연삭법을 적용한 연삭가공에서는 Fig. 7의 결과에서 제시한 바와 같이 슷들의 각 부위가 상이한 궤적을 가지며 가공이 진행되고, 따라서 에지의 정점부에서 제거단위의 미세화 효과가 얻어진 결과로 판단된다. 단, 가공된 에지는 설계치에 비하여 접촉각이 1~2° 정도 작은 값을 갖는 것으로 나타났으며, 이는 에지의 가공에 사용되는 슷들의 연삭성능, 슷들과 피삭재의 위치결정 정도 및 진동을 포함하는 가공기계의 운동특성 등에 기인한 것으로 사료된다.

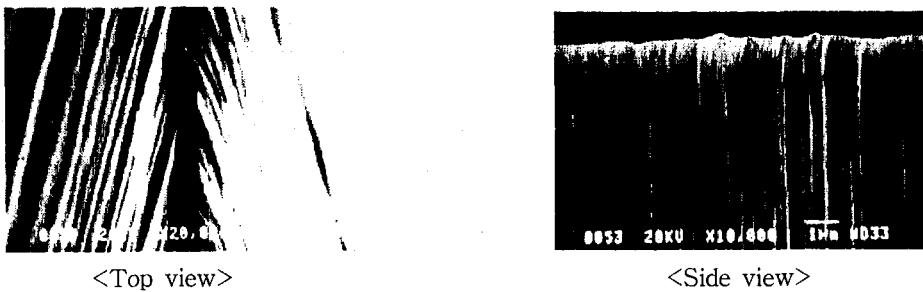


Fig. 9 SEM view of the knife edge generated by tilted-head spindle grinding method

4. 결 론

본 논문에서는 볼록한 형상을 갖는 정밀 나이프에지 가공에 있어서 주축부의 경사에 의한 새로운 연삭 제조방법을 제안하고, 이의 이론적 근거를 정립하였다. 구체적으로는, 본 연구에서 개발된 경사축연삭법의 성립근거로서 예지형상과 슛돌형상의 기하학적 상관관계를 정립하였다. 또한 본 방식을 적용한 나이프에지의 형상가공 시에는 에지의 높이방향으로 슛돌의 각부위에서 상이한 궤적에 의한 제거기구가 작용하여 버의 발생이 현저하게 억제되며, 따라서 절단용 공구의 제조시에 연삭공정의 단축과 더불어 버의 제거공정의 삭감을 통한 공정단축으로 인하여 생산성의 향상효과가 얻어짐을 확인하였다.

한편, 상이한 슛돌반경들의 궤적에 의한 전사과정으로 예지형상이 성형되는 과정을 시뮬레이션을 통하여 가공되는 에지의 각 부위별 치수 및 접촉각과 같은 형상정보의 확인은 물론 슛돌의 부위별 피삭재의 제거량을 산출하는 것이 가능하며 적절한 연삭스�돌의 설계 정보로도 활용이 가능하다. 단, 본방식을 적용한 연삭가공에 있어서는 사용되는 슛돌의 연삭성능의 차이, 슛돌 마모로 인한 슛돌형상의 변화, 사용되는 연삭액 및 연삭조건에 따른 가공상태의 변화 등과 같이 예지형상의 오차를 유발할 수 있는 요인을 검토, 분석하여 설계된 예지형상의 정밀도를 확보하기 위한 후속연구가 필요한 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

1. 上田勝宣, 住谷充夫, 1986 "微細溝の超精密切削加工", 精密工學會誌, Vol. 52/12, pp. 2016.
2. 庄司克雄, 水野雅裕, 井山俊郎, 森田喜男, 1990, "薄形外周刃による精密研削切斷に關する研究-研削抵抗の理論式について", 精密工學會誌, Vol. 56/8, pp. 1493.
3. T.Masaki, K.Kawata and T.Masuzawa, 1990, "Micro Electro-Discharge Machining and Its Applications", Proc. IEEE MEMS, pp. 21.
4. 水野雅裕, 井山俊郎, 高田昌夫, 岡光宣, 鈴木信男, 1996, "高精度スライシング加工における外周刃ブレードの舉動解析", 日本機械學會論文集, Vol.60/569, pp. 314.
5. 水野雅裕, 井山俊郎, 吉田宏, 田牧純一, 1997, "高精度スライシング加工における外周刃ブレードの舉動解析, 砥粒層外周斷面形常が切斷精度に與える影響", 砥粒加工學會誌, Vol. 41/6, pp. 29.
6. 鈴木 清, 北嶋孝之, 蒔崎 剛, 植松哲太郎, 1997, "遠心力利用磁氣研磨法の溝仕上 げへの適用", 砥粒加工學會誌, Vol. 41/3, pp. 102.