

엔드밀 가공시 헬릭스각 변화에 따른 버어형성에 관한 연구

장 성 민(숭실대원) 유 봉 환(숭실대)

A Study of burr formation along helix angle in end milling

Sung-Min Jang(Soongsil Univ. graduate) Bong-Hwan Ryu(Soongsil Univ.)

ABSTRACT

A burr is formed in every corner of parts as a result of machining, which produces undesirable edge geometry and influence deeply to surface quality of workpiece. Therefore these burrs must be removed certainly. The cost of removing these burrs is directly proportional to their size. Burrs have been among the most troublesome obstruction to high productivity and automation of machining processes. The proper selection of cutting condition and tool geometry will be helpful to reduce the occurrence of burrs. In paper will observe burr formation along helix angle in end milling and certificate experimentally mechanics relation of helix angle and burr formation.

Key words : burr(버), machining(기계가공), edge geometry(선단기하학), surface quality(표면품질), productivity(생산성), automation(자동화), cutting condition(절삭조건), tool geometry(공구기하학), helix angle(헬릭스각), end milling(엔드밀링), mechanics(역학)

1. 서 론

버(Burr)의 형성은 절삭공구의 기하학적 형상에 영향을 받아 공작물의 가공면 표층부에서 재료의 소성유동이 공작물의 단면 및 모서리에 영향을 주어 단면 및 모서리의 기하학적 형상이 변화되는 것이라고 알려져 있다. 버의 발생은 제품의 생산비용 상승 및 제품의 품질과 정도를 악화시킨다. 또한 급속도로 발전하고 있는 산업사회에서는 자동화설비가 빠르게 보급되고 있으며 이러한 자동화 설비 시스템에서는 버의 발생이 생산성뿐만 아니라 생산자동화의 발전에도 심각한 장애요인이 될 수 있다. 그러므로 버를 제거시키기 위한 방법보다는, 그 전에 버를 최소화시킬 수 있는 기술이 도입되어야 하며, 절삭가공에서 제품에 형성된 버는 제품의 기능을 효과적으로 하기 위하여 반드시 제거되어야 한다.

지금까지 버의 특징을 예견하거나 버의 크기를 측정하는 연구는 미흡한 상태이다. Biegel, Buhler,

Hugo, Strasser, Wang는 편칭에 의해 형성되는 버높이를 연구하였다. 이들 연구들은 버 두께와 경도를 무시하였으며, 버 특징을 예견하기 위한 모델을 발전시키지는 못하였다.^(1~6) Dornfeld는 소형직경의 드릴을 사용한 304L 스테인레스강에서의 드릴링에서 버높이와 버두께, 버변화에 관한 회전 당 이송, 절삭속도, 공구재료·마모, 드릴폐킹의 영향을 연구하였다.⁽⁷⁾

Gillespie⁽⁸⁾는 처음에 버형성에 관한 분석에서 버가 공작물 가장자리 부분의 굽힘변형에 의해 형성된다고 가정하였으며 Iwata et al.⁽⁹⁾는 SEM을 이용한 가공중에 버형성을 관찰하여 처음의 음의 전단각과 버크기에 관한 공작물의 exit angle의 영향을 실험적으로 결정하였다. 그러나 아직까지는 밀링가공에서 중요한 공구의 하나로 사용되는 엔드밀 공구의 기하학적 변화가 버형성에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여는 아직 일 반화되지 않았다.

본 연구에서는 헬릭스각의 변화와 다양한 절삭

조건에서 발생하는 버의 높이를 실험적으로 연구한다. 또한 절삭력과 칩두께의 변화에 따른 버의 높이가 엔드밀의 기하학에 어떠한 고 관계를 나타내는지를 실험을 통하여 연구한다.

2. 본 론

2.1 절삭력

밀링가공에서 절삭력은 주분력 F_p , 이송분력 F_f , 배분력 F_b , 그리고 축에 직각방향의 힘 성분인 F_t 로 구분될 수 있다. 절삭력은 절삭조건에 따라 변동이 생기는데 일반적으로 절삭깊이와 이송속도에 비례한다. 상향밀링과 하향밀링에서의 절삭력성분을 표현하면 다음과 같다.^(10~13)

$$(a) \text{상향밀링 } F_p = F_r \cos \phi - F_t \sin \phi \quad (2.1)$$

$$(b) \text{하향밀링 } F_p = F_r \cos \phi + F_t \sin \phi \quad (2.2)$$

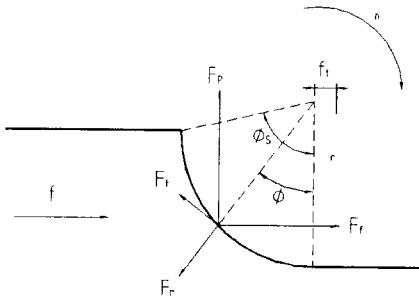


Fig.1 Component of Cutting forces in milling

2.2 칩두께

밀링가공에서 발생하는 칩의 두께는 절삭속도와 이송속도에 따라 변화된다. 따라서 평균 칩두께를 이송속도에 대신하여 절삭변수로 하여도 무관할 것이다. 상향절삭과 하향절삭시에 발생하는 평균 칩두께는 각각 아래와 같다.^(14~15)

$$t_{up} = \frac{f_t d_r}{L_u}, \quad t_{down} = \frac{f_t d_r}{L_d} \quad (2.3)$$

여기서, f_t 는 절삭날당 이송량이며, d_r 은 반경

방향의 절삭깊이를 나타내며, L_u 와 L_d 는 상향절삭과 하향절삭의 칩길이를 나타낸다.

$$L_u, L_d = \frac{\pi}{180} R \cos^{-1} \left(\frac{R - d_r}{R} \right) \pm \frac{f_t}{2\pi R Z} (2Rd_r - d_r^2)^{0.5} \quad (2.4)$$

여기서 R 은 공구반경이며, Z 는 날의 개수를 나타낸다. 양의 부호(+)는 상향절삭, 음의 부호(-)는 하향절삭의 경우이다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치 및 시험편

절삭력 측정에 대하여 이송분력 5000N, 배분력 5000N, 주분력 10000N까지 측정이 가능한 공구동력계를 사용하였으며, 절삭력 성분을 컴퓨터의 모니터상에 출력이 가능하도록 A-D카드를 사용하였다. 실험을 위해 사용된 장치는 Fig.2와 같다.

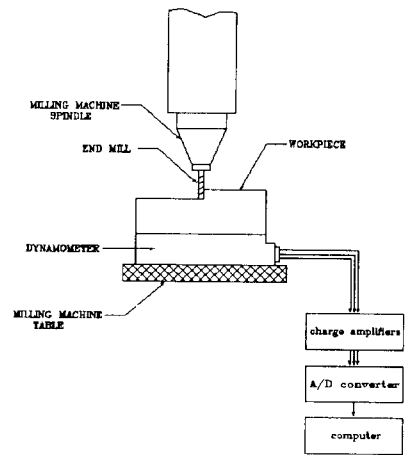


Fig.2 Schematic diagram of experimental apparatus

본 실험에 사용된 시험편은 구리와 알루미늄 합금을 선정하였다. 알루미늄 합금은 열처리 합금으로 항공기용재로 사용이 되는 Al2024-T4와 차량 구조용재로 사용이 되는 Al6061-T6를 사용하였다.

3.2 버의 측정 및 절삭조건

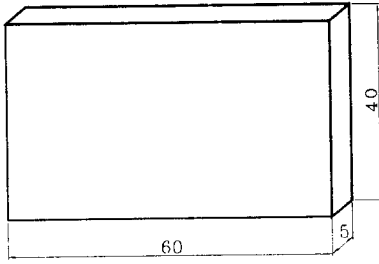


Fig. 3 Dimensions of the test specimen

Table. 1 Mechanical properties of specimen

Workpiece material	Tensile strength (kg/mm ²)	Yielding strength (kg/mm ²)	Elongation (%)
Al2024	44이상	30이상	10이상
Al6061	30이상	25이상	10이상
Copper	22.42	7	45

Table. 2 Chemical compositions of specimen

Workpiece material	Chemical compositions(%)							
	Cu	Si	Mg	Zn	Mn	Cr	Fe	Ti
Al2024	3.8 ~4.9	0.50 이하	1.2 ~1.8	0.25 이하	0.3 ~0.9	0.10 이하	0.50 이하	0.15 이하
Al6061	0.15 ~0.4	0.4 ~0.8	0.8 ~1.2	0.25 이하	0.15 이하	0.04 ~0.25	0.7 이하	
Copper	99.94							

Table.3 Terms of end mill

Angle			Length			Blade		
Helix angle a(°)	Rake angle b(°)	Clear angle C(°)	Outside dia D(mm)	Length L(mm)	Length of cut l(mm)	Shank S	Num Blade Z	Min cutting edge M
25,40	10	8	10	80	25	straight	2	flat

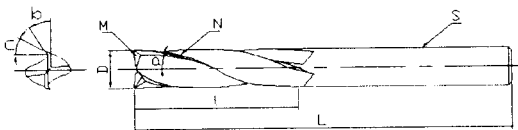


Fig. 4 End mill geometry

사용된 공구는 고온경도가 높고 내마모성이 양호한 고속도 공구강이다.

버의 측정방법은 명확하게 정의 된 것은 아직 없다. 그러나 구분점을 둔다면 시편과 측정기와의 직접적인 접촉에 의한 접촉식 방법과 시편과의 접촉이 이루어지지 않은 채 측정을 하는 비접촉식 방법으로 구분될 수 있을 것이다. 접촉식 방법은 하이트게이지, 마이크로미터, 디지털 인디게이터등의 방법을 고려할 수 있으며, 비접촉식 방법은 공구현미경, 디지털 마이크로경도 시험기 등의 방법을 고려할 수 있다. 본 실험에서 사용된 시편의 재질은 충분한 경도를 지니고 있지 못한 까닭에 본 실험에서는 차선택으로 디지털 마이크로경도 시험기를 이용한 비접촉식 방법을 적용하여 버의 높이를 측정하였다. Fig.3에 나타낸바와 같이 대물렌즈를 조정하여 측정하고자하는 시편에 초점을 맞추면 모니터화면에 확대되어 쉽게 버의 높이를 측정할 수 있기 때문에 편리하게 응용되었다. Table.4는 실험에 사용된 절삭조건이다.

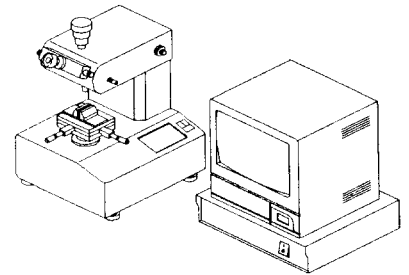


Fig. 5 digital microhardness tester

Table.4 Cutting conditions for burr formation

No.	Workpiece material	Milling operation	cutting speed(m/min)	Axial depth of cut, da(mm)	Feedrate f(mm/min)	Radial depth of cut, dr(mm)
1	Copper Al 6061-T6 Al 2024-T4	Down	12	2	60	5
2					80	
3					100	
4					120	
5				60		
6				80		
7				100		
8				120		
9			15	2	60	
10					80	
11					100	
12					120	
13				4	60	
14					80	
15					100	
16					120	

4. 실험결과 및 고찰

4.1 절삭력과의 관계

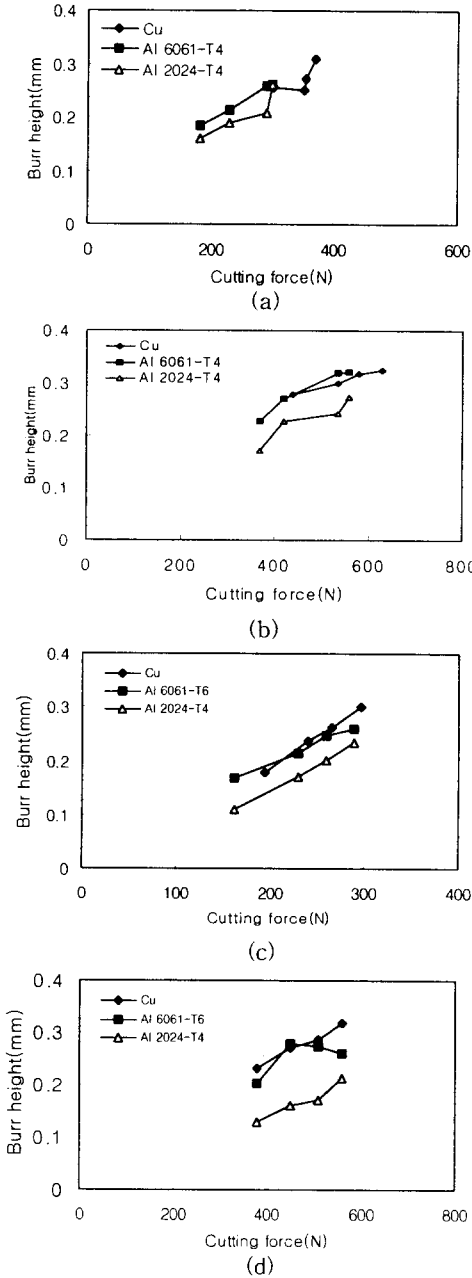


Fig.6 Variation of burr height with principal cutting force in down milling;
 helix angle= 25° $d_r=5\text{mm}$
 (a) $v=12\text{m/min}$ $d_a=2\text{mm}$
 (b) $v=12\text{m/min}$ $d_a=4\text{mm}$
 (c) $v=15\text{m/min}$ $d_a=2\text{mm}$
 (d) $v=15\text{m/min}$ $d_a=4\text{mm}$

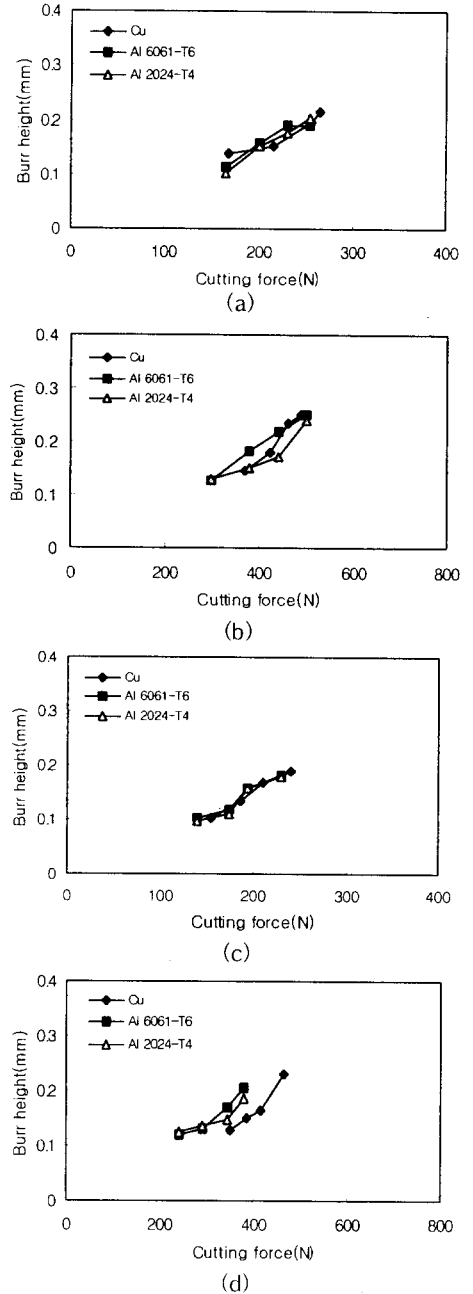
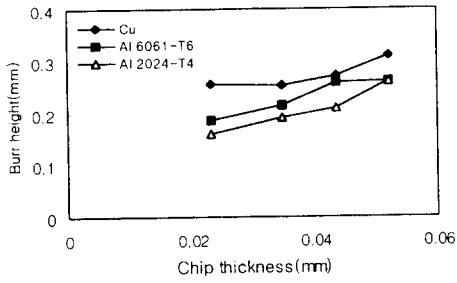
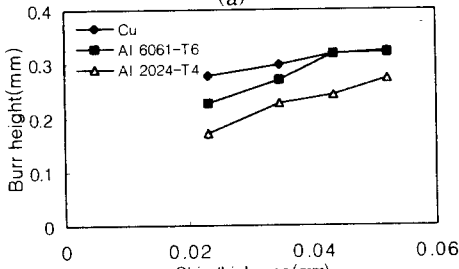


Fig.7 Variation of burr height with principal cutting force in down milling;
 helix angle= 40° $d_r=5\text{mm}$
 (a) $v=12\text{m/min}$ $d_a=2\text{mm}$
 (b) $v=12\text{m/min}$ $d_a=4\text{mm}$
 (c) $v=15\text{m/min}$ $d_a=2\text{mm}$
 (d) $v=15\text{m/min}$ $d_a=4\text{mm}$

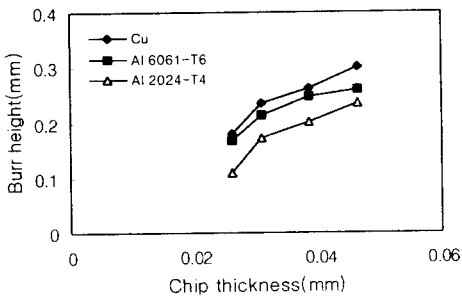
4.2 칩두께와의 관계



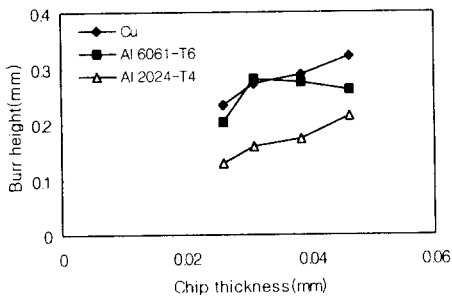
(a)



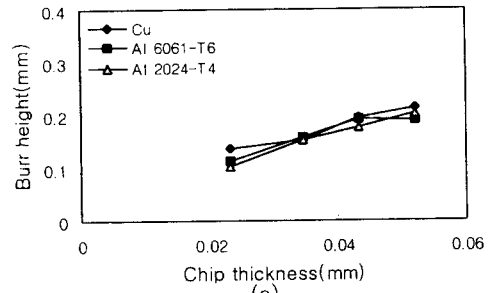
(b)



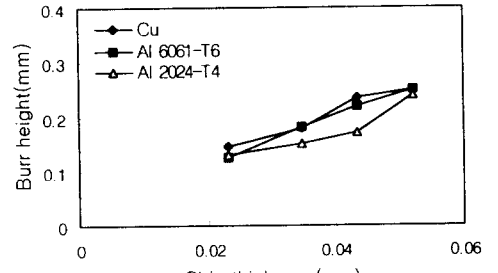
(c)



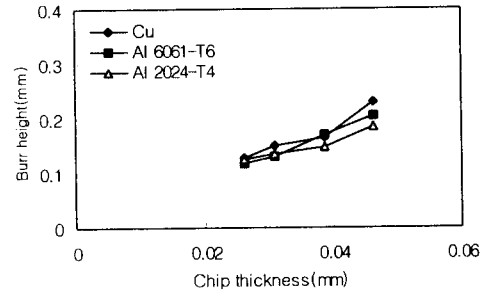
(d)



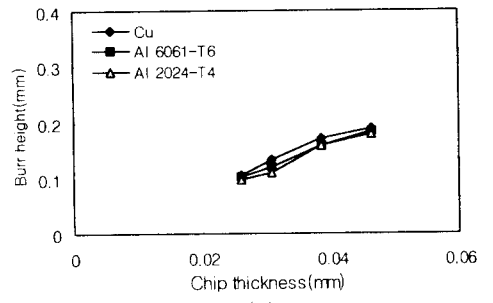
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.8 Variation of burr height with chip thickness in end milling ; $d_r=5\text{mm}$ helix angle= 25°

(a) $v=12\text{m/min}$ $d_a=2\text{mm}$

(b) $v=12\text{m/min}$ $d_a=4\text{mm}$

(c) $v=15\text{m/min}$ $d_a=2\text{mm}$

(d) $v=15\text{m/min}$ $d_a=4\text{mm}$

Fig.9 Variation of burr height with chip thickness in end milling ; $d_r=5\text{mm}$ helix angle= 40°

(a) $v=12\text{m/min}$ $d_a=2\text{mm}$

(b) $v=12\text{m/min}$ $d_a=4\text{mm}$

(c) $v=15\text{m/min}$ $d_a=2\text{mm}$

(d) $v=15\text{m/min}$ $d_a=4\text{mm}$

Fig.6,7,8,9는 구리와 알루미늄합금(AI6061 -T6, AI2024-T4)의 절삭력과 칩두께에 따른 버의 높이를 나타낸 것이다. 연성재료인 구리의 경우가 버의 높이가 크게 나타났으며, 알루미늄의 경우 순도가 높을수록 버의 높이가 작게 나타났다.

Fig. 6은 엔드밀의 비틀림각 25° 에서 측정된 절삭력 변화에 따른 버높이의 변화를 보여준다. 절삭력이 증가함에 따라 본 실험에서 사용된 Cu, AI6061-T6, AI2024-T4의 모든 시편에서 동일하게 증가하는 경향을 나타낸다. 버높이 증가의 연성이 큰 재료인 구리가 가장 크게 나타났다.

Fig. 7은 엔드밀 비틀림각 40° 에서 측정된 절삭력 변화에 따른 버높이 변화를 나타낸다. Fig. 6과 동일한 절삭조건에서 측정된 결과이다. 비틀림각이 25° 일 때 보다 40° 의 경우가 버높이 측정결과 미미한 차이지만 작게 나타났다. 모든 재료에서 동일한 결과를 보여준다.

Fig. 8은 칩두께 증가에 따른 버높이 변화를 나타내고 있다. 칩두께가 증가함에 따라 모든 재료에서 버높이가 증가됨을 알 수 있다. 비틀림각이 25° 인 경우에는 칩두께가 증가함에 따라 재료별 버높이 차이가 현저하게 나타나고 있다.

Fig. 9는 칩두께 증가에 따른 버높이 변화를 나타내고 있다. 비틀림각이 25° 의 경우보다 40° 의 경우가 재료별 버높이 차이가 미소한 차이가 있음을 확인할 수 있다.

5. 결 론

연성재료들이 더 큰 소성변형에 견딜 수 있는 반면, 연성이 그보다 덜한 재료들은 소성변형에 대하여 매우 작은 변형을 가지므로 버의 높이는 연성이 큰 재료에서 더 큰 크기로 나타났다. 따라서 완전한 취성재료에서는 버가 형성되기도 전에 파단이 발생되기 때문에 버가 발전될 수 없다는 것을 짐작할 수 있다. 엔드밀에서 헬릭스 각과 버 높이 사이에는 깊은 연관성이 있음을 알 수 있었다. 절삭력이 크게 작용하면 버의 크기에도 비례하여 크게 발생한다. 헬릭스각이 크면 각을 이루는 선은 공구의 중심선에 대하여 기울기값이 커지므로 절삭력은 반대로 작아진다. 따라서 버의 발생을 감소시킨다. 따라서 헬릭스각

이 커질수록 절삭력 성분의 최소화된다. 이에 따라 버크기를 최소화시킬 수 있다.

참 고 문 헌

1. American Society of Tool and Manufacturing Engineers, "Tool Wear in the Cutting of Thin-Gauge Steel Sheets," ASTME Research Report No.22. May 1, 1959.(Translation and discussion of article by Otto Kienzle and D. Werner Kienzle, Stahl and Eisen, Vol. 78, No. 12, June 12, 1958, pp820-828).
2. Biegel, J. E., and Holmes, R. E., "Development of a Punchability Rating Method for Electrical Steels," ASTME Research Report No. 30, Mar. 1, 1961.
3. Buhler, H., and Pollmar, F., "The Formation of Burrs in the Cutting of Thin Sheet," Bander-Bleche-Rohre, Vol. 12, No. 3, Mar. 1971, pp. 105-111.
4. Hugo, H. R., "How to Improve Metal Stamping Die Performance," Sheet Metal Industries, Feb., 1971, pp. 120-135.
5. Strasser, F., "How Control of Burrs Aids Sheet Metal Stamping," The Iron Age, Vol. 185, No. 3, Jan. 21, 1960, pp. 90-92.
6. Wang, K. K., Taraman, K., and Wu, S. M., "An Analysis of Punching Variables by Two-Level Fractional Factorial Design," ASME paper No. 69-WA/Prod-27, 1969.
7. Julie M. Stein, and David A. Dornfeld, "An Analysis of the Burrs in Drilling Precision Miniature Holes", Manufacturing Science and Engineering, MED-Vol. 2-1 / MH-Vol. 3-1.
8. L. K. Gillespie, and P. T. Blotter., "The Formation and Properties of Machining Burrs", Journal of Engineering for Industry, February 1976.
9. K. Iwata, K. Ueda and K. Okuda, JSPE 48(4)(1982) 510-515.
10. Yellowley, I., "Observations on the Mean

- Values of Forces, Torque and Specific Power in the Peripheral Milling Process," *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 25, No. 4, pp. 337-346, 1985.
11. Deyuan, Z, Yuntai, H., and Dingchang, C., "On-line Detection of Tool Breakages Using Telemetering of Cutting Forces in Milling," *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, Vol. 35, No. 1, pp. 19-27, 1995.
 12. Altintas, Y., and Yellowley, I., "In-process Detection of Tool Failure in Milling Using Cutting Force Models," *Transactions of the ASME*, Vol. 5, pp. 1-6, 1987.
 13. Martellotti, M. E., "An Analysis of the Milling Process," *Transactions of the ASME*, Vol.67, pp. 233-251, 1945.
 14. Martellotti, M. E., "An Analysis of the Milling Process," *Transactions of the ASME*, Vol.63, pp. 677-700, 1941.
 15. Spiewak, S., "An Improved Model of the Chip Thickness in Milling," *Annals of the CIRP*, Vol. 44, No.1, 1995.