

고속가공의 절삭 깊이에 따른 알루미늄 합금 7075의 표면 거칠기에 대한 연구

박은식*

A Study on Surface Roughness of Al alloy 7075 to Cutting depth in High-speed Machining

Eun-sik Park*

(Received 11 October 2010; received in revised form 16 November 2010; accepted 9 December 2010)

ABSTRACT

Recently the industry high-speed machining has been applied to the automotive, aircraft, electronics parts machining because the effect of cost savings, machining time reduction and productivity improvement. In this study recently the aircraft structural aluminum alloy 7075 used in cutting the ball end-mill on the surface roughness terms most affect the parameters of the spindle speed and feed rate on the surface roughness of the work-piece according to the cutting depth is to investigate. Cutting depth at 0.3 mm has the lowest surface roughness.

Key Words : High-Speed Machining(고속가공), Surface Roughness(표면 거칠기), Spindle Speed(주축속도), Feed Rate(이송속도), Ball End-mill(볼 엔드밀)

1. 서 론

최근 산업현장에서 많이 사용되고 있는 고속가공은 가공시간 단축, 생산성 향상 등에 있어서 비용절감 효과가 크기 때문에 자동차, 항공기, 전자 등의 부품가공에 많이 적용되고 있다. 특히, 항공기 산업의 부품은 대량생산이 아니고 생산량이 제한되는 소량의 주문생산 규모이지만, 부품의 종류가 수십만으로 많기 때문에 소량 다품종의 생산방식을 취하고 있다. 그런데 이러한 부품은 고도의 신뢰성과 안정

성이 요구되기 때문에 부품제작 시에 고도의 정밀성이 요구된다.

현재 고속가공기는 고속 주축의 개발로 주축의 회전수가 10000 rpm에서 50000 rpm의 고속 주축을 탑재한 고속가공기가 널리 보급되고 있다.^(1~3)

Shaw⁽⁴⁾는 공구수명과 가공면의 표면 거칠기에 영향을 주는 절삭변수인 주축 회전속도와 이송속도의 최적의 조건을 제시하였고 Greenhow 등^(5~9)은 절삭가공에서 잔류응력과 표면 거칠기는 주축 회전속도가 높을수록, 절삭공구 날수의 이송속도가 작을수록 표면 거칠기가 감소한다고 하였다.

절삭가공에 있어서 강재의 가공표면 거칠기에 관한 연구는 많지만, 아직까지 항공기 부품에 널리 사

* 한국폴리텍VI대학 달성캠퍼스 컴퓨터응용기계학과
E-mail : packys@kopo.ac.kr

용되고 있는 알루미늄 합금의 고속 볼 엔드밀 절삭 조건에서 얻어지는 표면 거칠기 특성에 대한 연구가 국내에서는 아직 미진한 상태이다.

본 연구에서는 최근 항공기 부품에 많이 사용되고 있는 알루미늄 합금 7075의 볼 엔드밀 절삭가공에 있어서 표면 거칠기에 가장 많은 영향을 미치는 가공인자 중 주축 회전속도와 이송속도를 파라미터로 하여 가공물의 표면 거칠기에 미치는 절삭 깊이에 따른 영향을 조사하는 것이 목적이다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험은 알루미늄 합금 7075의 고속 절삭가공에서 절삭 깊이에 따른 가공물의 표면 거칠기를 고찰하기 위한 것으로 실험에 사용한 고속가공기는 국내 M사에서 제작한 3축 수직형으로 최대 주축 회전속도가 24000 rpm이고 외부 냉각기를 이용한 수냉식 주축 냉각방식을 채택하고 있으며 고속가공기의 주요제원은 Table 1에 나타내고 있다.

절삭공구는 대구택에서 생산하고 있는 고속가공 알루미늄용 ϕ 12 mm의 2날 볼 엔드밀(AEB2120S TT9020)로 사용하였으며 실험에 사용된 볼 엔드밀의 형상과 제원은 Fig. 1와 Table 2에 보여주고 있다.

본 실험에 사용된 알루미늄 합금 7075는 알루미늄 합금 7000계열로 기계적 성질이 대단히 우수한 구조용 경량소재로 기존 항공기 주재료인 2000계열보다 매우 높은 강도를 가지고 있으며 현재 알루미늄 합금 중 최고의 강도를 유지하고 있어 항공기용 고강도 및 내식성 재료로 사용되고 있다.

시험편의 크기는 25 mm × 25 mm × 120 mm로 절삭 깊이를 일정하게 하기 위해 평면도가 0.01 mm이하가 되도록 평면 연마하여 시험에 사용하였다.

Table 1 The specification of high-speed machine

Items		Specification
Type		HSE-700S
Max. spindle speed (rpm)		24000
Max. feed rate (mm/min)		24000
Table size (mm)		650 × 700
work-piece mass (kN)		3.92
Controller		PC controller based on windows NT
Stroke	X axis (mm)	600
	Y axis (mm)	650
	Z axis (mm)	250

Table 2 Dimension of tool

Φ D	Φ d	L	l	R
12 mm	12 mm	75 mm	10.5 mm	6 mm

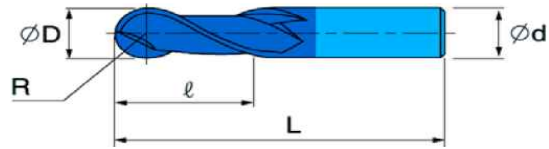


Fig. 1 Shape of high-speed ball end-mill

시험편의 화학적 성분과 기계적 성질을 Table 3 및 4에 나타내었다.

절삭가공시 시험편과 공구냉각에 적용된 비수용성 절삭유는 국내 K사의 고속가공 알루미늄용으로 본 연구에서는 100%의 원액을 사용하였고, 각각의 물성값은 Table 5에 나타내고 있다.

Table 3 Chemical composition of work-piece Al alloy 7075(wt.%)

Zn	Cu	Mg	Fe	Si	Cr	Mn	Ti	Al
6.1	2.0	0.8	0.5	0.4	0.35	0.2	.0.2	balance

Table 4 Mechanical properties of work-piece Al alloy 7075

Tensile strength, Ultimate (MPa)	570
Tensile strength, Yield (MPa)	505
Elongation, Break (%)	9
Elasticity modulus (GPa)	7.2
Shear strength (N/mm ²)	151.9

Table 5 Physical properties of non-soluble cutting oil

Test items	Test method	Value
Specific gravity, @15/4 °C	ASTM D1298	0.8456
Color	ASTM D1500	10.5
Viscosity, cSt @40 °C	ASTM D445	11.77
Pour point (°C)	ASTM D97	-12.5
Flash point (°C)	ASTM D92	186
Corrosion (100 °C × 1 hr)	KS M2018	1a

Fig. 2는 고속 가공기에서 시험편의 절삭과정을 나타낸 것으로 전 부하 가공시 시험편의 떨림을 방지하기 위해 시험편을 유압척에 견고하게 고정하여 절삭하였다.

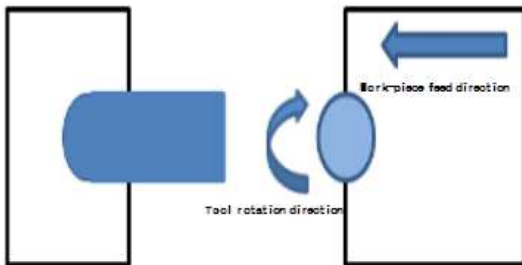


Fig. 2 Cutting process of work-piece by high-speed machine

Table 6에는 절삭조건을 나타내고 있는데, 주축의 회전속도를 10000 rpm에서 20000 rpm까지 1000 rpm 간격으로, 이송속도는 1000 mm/min에서 2000 mm/min까지 200 mm/min의 간격으로, 절삭 깊이는 0.1 mm에서 0.4 mm까지 0.1 mm간격으로 비수용성 절삭유에 의한 절삭 실험을 실시하였다.

Table 6 Cutting conditions

Cooling method	Non-soluble cutting oil
Spindle speed (rpm)	10000, 11000, 12000, 13000, 14000, 15000, 16000, 17000, 18000, 19000, 20000
Feed rate (mm/min)	1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000
Cutting depth (mm)	0.1, 0.2, 0.3, 0.4

Fig. 3은 표면 거칠기 측정시스템을, Table 7에는 조도측정기의 주요제원을 나타내고 있다. 표면 거칠기의 정확한 측정을 하기 위해 수준기로 수평을 맞춘 후에 컷오프 값은 0.8 mm로, 기준길이는 컷오프 값의 5배인 4 mm로, 범위 값은 25 μm로 설정하였으며 가공된 시험편을 알코올로 세척 후 측정테이블 위에 올려놓고 절삭방향의 볼 엔드밀 중심부분에 이송장치를 작동하여 측정하였다.

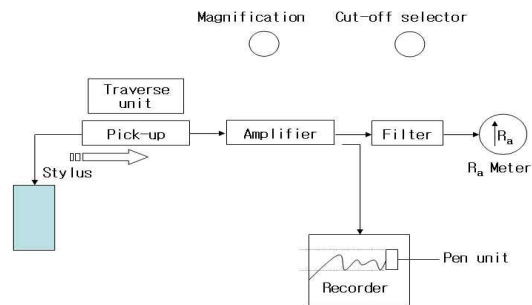


Fig. 3 Measuring instrument of surface roughness

Table 7 The specification of surface roughness measuring instrument

Item	Specification
Model	Mitutoyo SURF-TEST SV-414
Limit indication (μm Rmax)	600
Cut off value (mm)	0.08 ~ 8
Basic range (mm)	0.25 ~ 8
Stylus force (N)	0.00392
Driving speed (mm/s)	0.02 ~ 1.2
Tip radius (μm)	5

증폭기 및 기록기로부터 최대높이(Rmax), 10점 평균 거칠기(Rz), 중심선 평균 거칠기(Ra)를 측정한다. 그 중에서 중심선 평균 거칠기 값을 선정하여 3회 측정된 평균값을 데이터로 사용하였다.

절삭가공 후 가공 표면의 형상을 관찰하기 위해 광학현미경(Mitutoyo, TF-510F)에 부착된 CCD 카메라에 의해 표면을 컴퓨터에 전송하여 형상 측정프로그램(XTMeasure)로 이미지를 저장하여 관찰하였다. 그리고 각 실험조건의 시험편에 대해 대물렌즈 10, 대안렌즈 10배로 표면 거칠기를 측정하는 볼 앤드 밀 중심부분에 측정하여 관찰하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 4에서는 이송속도가 1000 mm/min부터 200 mm/min 간격으로 2000 mm/min까지, 절삭 깊이를 0.1 mm부터 0.1 mm 간격으로 0.4 mm까지 변화시켰을 때 주축 회전속도에 따른 표면 거칠기 특성을 나타내고 있다.

Fig. 4로부터 실험범위인 이송속도가 증가할수록 표면 거칠기가 거칠어지는 것을 보여주며, 이것은 분당 이송속도 증대에 따른 절삭공구의 날당 절입량이 증가하면 공구에 날당 절삭량의 증가로 절삭력이 커지게 되어 진동이 발생하기 때문이다.

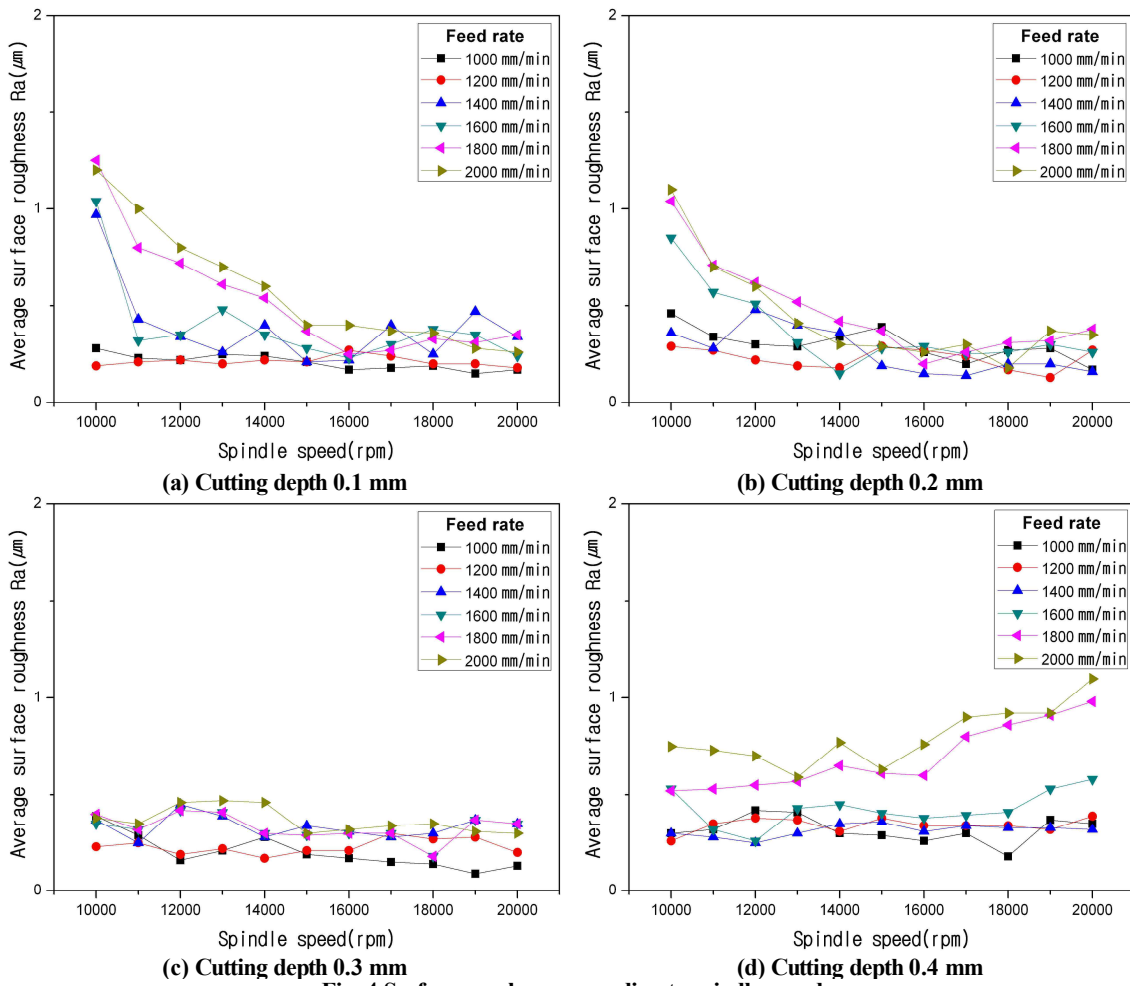
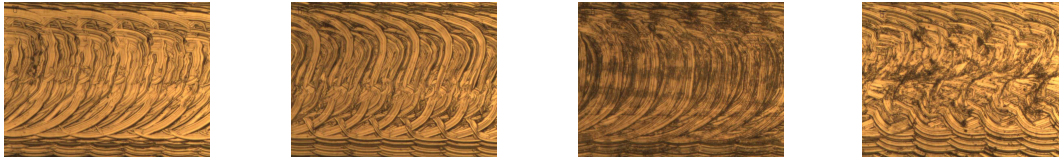
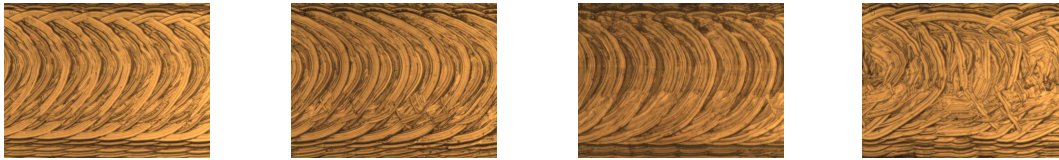


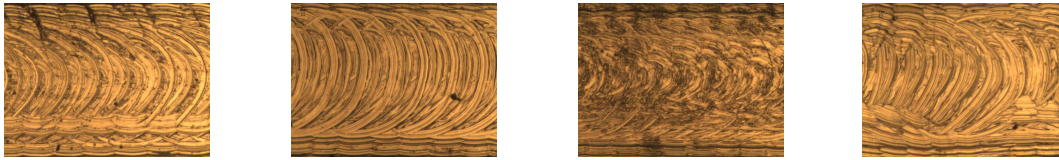
Fig. 4 Surface roughness according to spindle speed



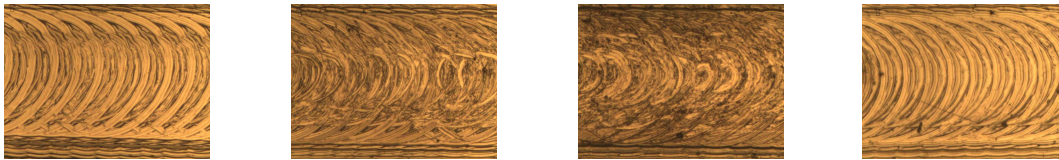
(a) Cutting depth 0.1 mm, (b) Cutting depth 0.2 mm (c) Cutting depth 0.3 mm (d) Cutting depth 0.4 mm
Fig. 5 Optical micrographs surface: feed rate 1200 mm/min, spindle speed 10000 rpm in Al alloy 7075(x100)



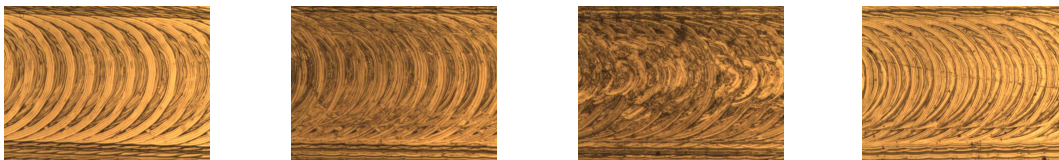
(a) Cutting depth 0.1 mm (b) Cutting depth 0.2 mm (c) Cutting depth 0.3 mm (d) Cutting depth 0.4 mm
Fig. 6 Optical micrographs surface: feed rate 1200 mm/min, spindle speed 12000 rpm in Al alloy 7075(x100)



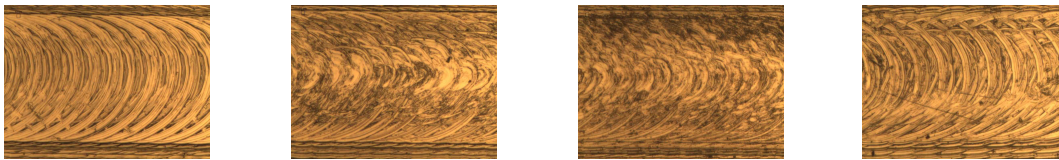
(a) Cutting depth 0.1 mm (b) Cutting depth 0.2 mm (c) Cutting depth 0.3 mm (d) Cutting depth 0.4 mm
Fig. 7 Optical micrographs surface: feed rate 1200 mm/min, spindle speed 14000 rpm in Al alloy 7075(x100)



(a) Cutting depth 0.1 mm (b) Cutting depth 0.2 mm (c) Cutting depth 0.3 mm (d) Cutting depth 0.4 mm
Fig. 8 Optical micrographs surface: feed rate 1200 mm/min, spindle speed 16000 rpm in Al alloy 7075(x100)



(a) Cutting depth 0.1 mm (b) Cutting depth 0.2 mm (c) Cutting depth 0.3 mm (d) Cutting depth 0.4 mm
Fig. 9 Optical micrographs surface: feed rate 1200 mm/min, spindle speed 18000 rpm in Al alloy 7075(x100)



(a) Cutting depth 0.1 mm (b) Cutting depth 0.2 mm (c) Cutting depth 0.3 mm (d) Cutting depth 0.4 mm
Fig. 10 Optical micrographs surface: feed rate 1200 mm/min, spindle speed 20000 rpm in Al alloy 7075(x100)

Fig. 4의 (a), (b)는 절삭 깊이 0.1 mm, 0.2 mm에서 주축 회전속도에 따른 표면 거칠기를 나타낸 것으로 이송속도가 1000 mm/min과 1200 mm/min은 주축 회전속도가 증가해도 표면 거칠기는 거의 변화하지 않는 일직선을 보여주고 있다. 하지만 이송속도가 1400 mm/min, 1600 mm/min, 1800 mm/min 및 2000 mm/min은 주축 회전속도가 10000 rpm에서 16000 rpm까지 증가하면 표면 거칠기가 양호해지고 이후의 주축 회전속도에서는 이송속도가 1000 mm/min, 1200 mm/min과 동일한 경향을 보여주고 있다. 이것은 절삭공구의 날당 절입량 감소로 인한 커셉 높이(cusp heights)감소로 이론적 조도^(4, 10)와 유사한 경향을 보여주고 있다.

Fig. 4의 (c)는 절삭 깊이가 0.3 mm일 때 주축 회전속도에 따른 표면 거칠기를 나타낸 것으로 본 실험의 주축 회전속도인 증가해도 표면 거칠기는 일정한 것을 보여주고 있다. 이것은 본 연구의 실험조건인 절삭 깊이가 0.1 mm에서 0.4 mm까지, 이송속도가 1000 mm/min에서 2000 mm/min까지, 주축 회전속도가 10000 rpm에서 20000 rpm까지의 조건 중 가장 양호한 표면 거칠기를 보여주고 있으며 본 연구에서 실험적 최적의 절삭 깊이를 보여주고 있다.

Fig. 4의 (d)는 절삭 깊이가 0.4 mm에서 주축 회전속도에 따른 표면 거칠기는 나타낸 것으로 이송속도가 1000 mm/min, 1200 mm/min, 1400 mm/min 및 1600 mm/min은 주축 회전속도가 증가에 따른 표면 거칠기는 거의 변화하지 않는 것을 보여주고 있다. 하지만 이송속도가 1800 mm/min, 2000 mm/min은 주축 회전속도가 10000 rpm에서 15000 rpm까지는 일정한 표면 거칠기를 보여주고 있으나 이후 16000 rpm에서 20000 rpm에서는 급격하게 표면 거칠기가 거칠어지는 것을 보여주고 있다.

Fig. 5, 6, 7, 8, 9, 10은 이송속도 1200 mm/min, 주축 회전속도가 10000 rpm에서 20000 rpm까지 2000 rpm으로 증가할 때 절삭 깊이에 따른 알루미늄 합금 7075의 절삭가공 표면을 광학현미경에 부착된 CCD 카메라에 의해 컴퓨터로 전송하여 형상 측정프로그램으로 사진을 저장한 것이다.

Fig. 5, 6, 7, 8, 9, 10의 (c)는 절삭 깊이가 0.3 mm일 때 볼 엔드밀 중심부분의 절삭가공 표면으로 주축 회전속도가 증가할수록 날당 절삭량의 감소하

여 절삭자국의 거리가 짧아지고, 희미해지는 것을 보여주고 있다.

Fig. 5, 6, 7, 8, 9, 10의 (d)는 절삭 깊이가 0.4 mm일 때의 절삭가공 표면으로 주축 회전속도가 낮아질 수록 절삭자국의 모양이 불규칙한 것으로 앞에서 고찰한 절삭공구의 날당 절입량이 증가하여 절삭공구에 진동이 발생하는 것을 보여주고 있으며, 특히 Fig. 5의 (d)는 비정상적인 절삭가공 표면을 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 볼 엔드밀 고속가공시 다양한 절삭 조건에서 절삭 깊이가 0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm 및 0.4 mm일 경우 표면 거칠기 변화에 미치는 영향을 비교하여 다음과 같은 주요한 결과를 얻었다.

1. 이송속도가 증가할수록 절삭공구의 날당 절삭량의 증가로 절삭력이 커지게 되어 진동의 발생으로 표면 거칠기는 거칠어진다.
2. 절삭 깊이 0.1 mm, 0.2 mm에서 이송속도 1200 mm/min이하의 주축 회전속도가 증가해도 표면 거칠기는 거의 변화하지 않고, 이송속도가 1400 mm/min이상은 주축 회전속도가 16000 rpm까지 증가하면 표면 거칠기가 양호해지고 이후의 주축 회전속도에서는 표면 거칠기가 변화가 없었다.
3. 절삭 깊이가 0.3 mm일 때 본 연구의 실험조건인 절삭 깊이가 0.1 mm에서 0.4 mm까지, 이송속도가 1000 mm/min에서 2000 mm/min까지, 주축 회전속도가 10000 rpm에서 20000 rpm까지의 조건 중 표면 거칠기가 가장 양호해진다.

참고문헌

1. H. J. Bae, S. J. Lee, Y. B. Seo, H. S. Park, "Topography Analysis in High Speed Working by Flat Endmill", KSMPE, Vol. 1, No. 1, pp. 79~88, 2002.
2. K. H. Kim, D. W. LEE, H. S. Kang, M. C. Kang, J. S. Kim, "Study on the Tool Holding

System for High Speed Machining of the Deep Pocket”, KSMPE, Vol. 1, No. 1, pp. 38~47, 2002.

3. P. Lim, G. E. Yang, “Optimal Cutting Condition of Tool Life in the High Speed Machining by Taguchi Design of Experiments”, KSMPE, Vol. 5, No. 4, pp. 59~64, 2006.
4. M. C. Shaw “Optimum Selection of Machine Tool: Speed and Feeds”, Int. J. Mech. Des. Res. Vol. 5, pp. 25 ~ 34, 1965.
5. J. N. Greenhow, C. Rubenstein, “The Dependence of Cutting Force on Feed and Speed in Orthogonal Cutting with Worn Tools” Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 9, pp. 1 ~ 16, 1969.
6. Schulz, H. Hock, St., “High speed of Dies and Moulds-Cutting Conditions and Technology”, CIRP, Vol. 43, pp. 63 ~ 67, 1994.
7. C. H. Yoo, J. H. Song, Y. H. Lee, “A Study on CAD/CAM Pocket Processing using the High Speed Machine”, KSMPE, Vol. 3, No. 3, pp. 32~38, 2004.9
8. Shamoto, E., Hatinas, Y., “Prediction of Shear Angle in Orthogonal Cutting with Maximum Shear Stress and Technology”, ASME, Vol. 1, PP. 121 ~ 128, 1997.
9. Mustafizur Rahman, Md. Shamsuddin Chowdhung, “Influence of Different Tool Materials on High speed Machining of Hardened Tool Steel”, The 5th International Conference on Die and Mould Technology, pp. 25 ~ 30, Singapore Expo, 21 to 23 March 2000.
10. J. Wang, T. Kuriyagawa, X. P. Wei, D. M. Guo, “Optimization of cutting conditions for single pass turning operations using a deterministic approach”, Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 42, pp. 1023 ~ 1033, 2002.