한국공작기계학회논문집 Vol.12 No.4 2003. 8.
Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers

PDP 격벽 금형 미세 홈 가공 특성 평가

김남훈+, 이은상*, 이득우+, 김남경++, 김덕환+++

(논문접수일 2003. 2. 15, 심사완료일 2003. 6. 27)

Evaluation of Machining Characteristics of the Micro Grooving for the Mold of PDP Barrier Rib

Nam-Hun Kim+, Eun-Sang Lee*, Deug-Woo Lee+, Nam-Kyung Kim++, Dug-Hwan Kim+++

Abstract

This paper describes the machining characteristics of a developed micro grooving machine. Experiments have been conducted on the various grooving condition such as spindle revolution speed, feed rate and depth of groove. V and U-shaped blade tool and STD11 workpiece was used in this study. To evaluate the developed micro grooving machine, AE signal obtained from each experimental condition was analyzed, and cutting stability was compared with the surface state. As a result, this study presented the process to optimize grooving condition and possibility of application of AE technique in groove machining.

Key Words : Micro Grooving(미세 홈 가공), Blade(블레이드), Acoustic Emission(음향방출)

1. 서 론

다가오는 멀티미디어 시대를 맞이하여 TV, 컴퓨터, 인터넷의 기술을 조합한 차세대 멀티미디어 디스플레이 소자로서 PDP는 새로운 장을 열 것으로 보이며, 올 2005년의 디스플레이 시장은 CRT가 44%, 대형 LCD가 34%, LCD가 11%, PDP가 11%를 형성하고, 가정용 PDP의 수요는 상기 11%중 80%이상을 차지할 것으로 예측된다[1].

PDP는 두께가 3mm정도 되는 2장의 유리 기판을 사용하여 각각의 기판 위에 적당한 전극과 형광체를 도포하고, 전극간에 발생시킨 방전에 의한 발광 현상을 이용한 표시장치이다.

+ 부산대학교 정밀기계공학과
* 주저자, 인하대학교 기계공학과 (leees@inha.ac.kr)
주소: 402-751 인천시 남구 용현동 253
++ 진주산업대학교 기계설계공학과
+++ LG전자 생산기술원

PDP의 제조 공정 중 격벽의 형성 공정은 방전 공간을 분할하고, 누화 (cross talk)를 방지하기 위하여 높이 100um의 격벽을 형성하는 것으로 PDP 제조 공정 중 가장 어려운 공정이다.

현재 PDP 제조사들의 통상적인 격벽의 제조 방법으로는 Sand blasting, Photo casting 등이 있으나 이들 각각은 과다한 재료의 소모 및 제조 시간이 많이 소요되는 단점으로 인하여 대형 PDP의 가격을 고가로 만들로 있다. 이러한 문제를 극복하기 위한 방안으로 격벽 재료와 바인더를 혼합하여 Forming Mold로 찍어내는 기술이 제안되어 연구가 진행되고 있다[2].

현재의 micro-grooving 기술의 대부분은 뛰어난 치수 정밀도를 제공하는 화학적인 에칭방법에 기초를 두고 있으나, 몇 가지 단점을 가지고 있다. 예를 들어 포토리소그라피 공정이나 LIGA 공정은 많은 투자비와 공정 시간을 요구하고 있다. Micro-Grooving의 또 다른 방법으로 단결정 다이아몬드 가공의 경우 단결정 다이아몬드 바이트는 내충격성이 약하므로 경취성 재료 가공에는 부적합하며 예로 동, 알루미늄 등의 금형 재료에 대해 형삭 가공을 사용하였다[3].

본 연구에서는 40 이상의 PDP 격벽 금형의 제작을 위해 3축 제어 Micro-grooving Machine을 개발하였다. 가공기의 구조는 가공 공작물의 대형화와 진동문제를 고려하여 테이블을 고정하고 공구를 이송하는 방법을 적용하여, 조작성 및 정밀도를 향상시켰다. 각 축은 초 정밀급 LM Guide 시스템을 적용하여 정밀 래핑 가공된 석정반 위에 고정하였다.

가공 공구는 미세한 지립의 다이아몬드와 CBN 블레이드를 각각 V와 U형상으로 제작한 후 고속 에어스핀들에 장착하여 사용하였다. 개발된 Micro-grooving Machine의 가공 특성을 평가하기 위하여 STD11을 소재로 사용하여 가공 평가 실험에서 얻어진 AE(Acoustic emission)신호를 각 조건별로 비교 분석하였으며, 표면의 형상을 관찰하여 절삭의 안정성을 비교하였다.

2. AE 신호의 평가

가공 특성 평가를 위한 온라인 모니터링 기술은 제조 분야에서 해결해야 하는 매우 중요한 기술이다. Fig. 1은 Groove 가공시 블레이드의 파손에 따른 금형 표면의 손상을 보여주고 있다. 대형 금형의 가공시 블레이드의 이상 유무를 감지하는 것은 매우 중요하다. 대형 금형 재료의 제작 비용이 매우 고가이므로, 가공 실패로 인한 금형의 재가공

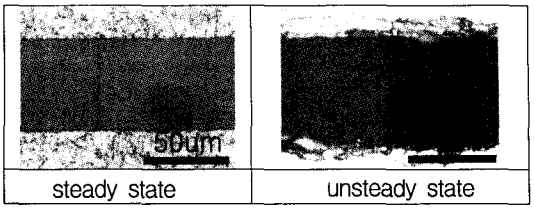


Fig. 1 Compared shape of groove under steady & unsteady state

비용의 낭비를 줄이기 위해서는 가공 상태의 모니터링 및 제어를 위한 연구가 필수 불가결하다.

AE 센서는 높은 민감도를 나타내며 고주파 응답 특성을 가지므로, 초정밀가공시의 가공 상태 모니터링에 널리 쓰이고 있다[5-6]. 본 논문에서는 홈 가공시 발생하는 AE 신호의 특성을 파악하기 위해 주파수 해석과 AE_RMS 파라메타를 사용하여 신호를 분석하였다.

주파수 해석을 이용하여 재료의 변형이나 파괴에 따른 가공 결과와의 상관관계를 검토하였고, AE_RMS를 이용하여 AE신호의 크기와 실험시의 물리적 변수와의 관계를 고찰하였다.

Kannatey-Asibu는 절삭가공에 있어서 AE 신호의 에너지량을 AE 발생원의 일량으로 해석하고, 에너지의 척도로서 AE 교류파의 AE_RMS 값을 다음과 같이 정의하였다[7].

$$AE_{RMS} = [1/\Delta T \int_0^{\Delta T} V^2(t)dt]^{1/2}$$

단, 여기서 V(t) 는 AE 원신호(Raw Signal)를 나타내며, ΔT는 RMS를 취하는 평균시간을 나타낸다.

3. 실험 장치 및 방법

Fig. 2는 개발된 Micro-grooving Machine을 보여주고 있다. 개발된 홈 가공기의 성능 평가를 위한 실험으로 STD11을 피삭재로 사용하여 홈 가공의 특성을 평가하였다. 다이아몬드와 CBN 블레이드를 공구로 사용하여 다양한 가공조건에 따른 미세 홈의 형상을 관찰하였다.

최적의 가공 조건을 구하기 위한 가공 변수로는 주축회전속도(25,000-40,000rpm), 이송 속도(0.4-0.8mm/sec), 홈가공 깊이(100-300 μm)등을 조정하여 실험을 하였고, 실험시 가공 버(burr)의 발생 여부를 주 관찰 대상으로 하였다.

홈 가공 중에 발생하는 AE 신호를 획득하기 위해서 공작

물의 측면에 그리스(grease)를 이용하여 AE 센서를 부착하였고, 잡음에 강인한 차동형(differential type)으로 응답주파수 특성이 넓은 주파수 범위에서도 균일한 감도를 나타내는 광대역 센서를 사용하였다. 프리엠프 (1220A (PAC))와 메인엠프(AE1A(PAC))를 사용하여 신호의 증폭(52dB)과 필터링(100～1200㎑)을 실시 하였으며, 12비트의 분해능을 갖는 A/D변환기 (gagescope CS1012)를 사용하여 AE 센서에서 얻어진 전기적 신호를 5MHz의 샘플링 속도로 디지털화하여 컴퓨터에 저장하고, 홈 가공에 따른 AE 신호의 특성을 분석하였다. 개발된 PDP 격벽 금형용 미세 홈 가공 시스템의 주요 사양을 Table 1에 나타내었고, 실험 장치 및 조건은 Table 2에 나타내었다.

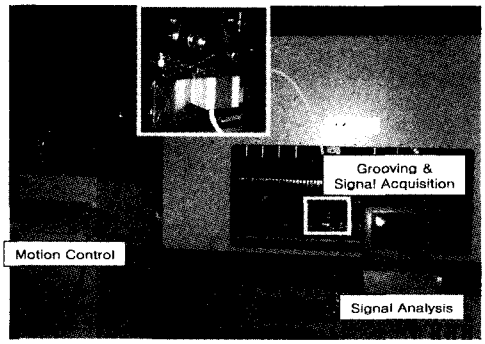


Fig. 2 Micro-grooving system

Table 1 Specification of developed-Grooving system

Factor	Specification	
Spindle (rpm)	Air-bearing Max. 60.000	
Travel length (mm)	X-Axis	Stroke: 1800
	Y-Axis	Stroke: 2500
	Z-Axis	Stroke: 100
Accuracy - Repeatability (mm)	X-Axis: ± 0.01 Y-Axis: ± 0.002 Z-Axis: ± 0.002	
System size (mm)	3,000(W) x 2,000(D) x 1,000(H)	

Table 2 Experimental condition

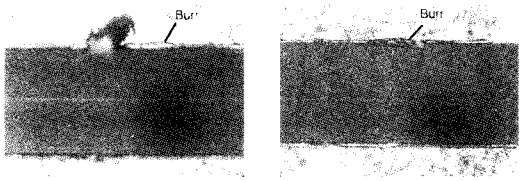
Machining parameters	
Workpiece Hardness	STD11 (HRC 58)
Cutting Tool	ϕ 52 Diamond Blade CBN Blade
Spindle revolution speed	25,000~40,000 rpm
Operation	Down cutting
Tool feed rate	0.4～0.8 ㎜/s
Depth of groove	100~200 ㎛
Amplification of signal	52dB
Sampling rate (A/D)	5㎒

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 홈 가공기의 특성 평가

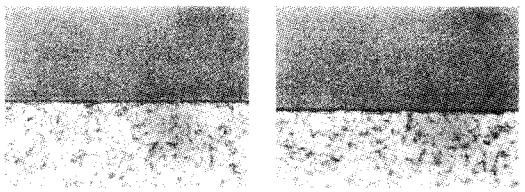
Fig. 3은 다이아몬드 블레이드를 사용한 가공 결과를 나타낸 것이다. 다이아몬드 입자로 구성된 블레이드를 사용한 STD11의 가공 결과 모든 조건에서 홈의 경계면에 버가 심하게 발생하였다. 이것은 재료특성상 연성파괴절삭으로 가공이 실시된 것을 알 수 있다.

일반적으로 CBN은 고경도 난삭재의 재료 제거에 우수한 가공 성능을 발휘하는 공구 재료이다. Fig. 4에서 보는 것과 같이 CBN 블레이드를 사용한 홈 가공에서는 다이아몬드를 사용한 경우와 비교할 때 버의 발생 및 연성파괴절삭이 현저하게 줄었다.



30,000rpm **35,000rpm**

Fig. 3 Micrographs of Groove (In case of Diamond blade, Feed rate : 0.6mm/sec, Depth of Groove : 150 μ m)



30,000rpm 35,000rpm

Fig. 4 Micrographs of Groove (In case of CBN blade, Feed rate : 0.6mm/sec, Depth of Groove : 150 μ m)

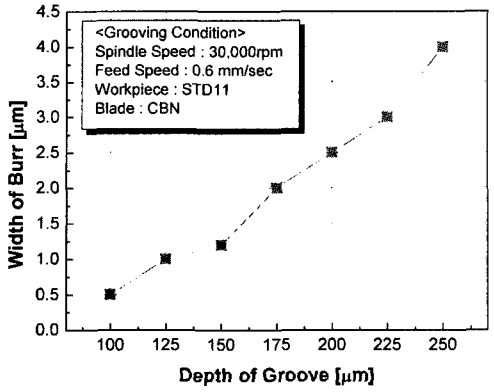


Fig. 5 Surface state in accordance with depth of groove

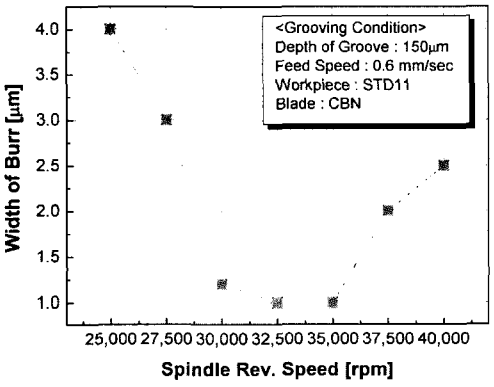


Fig. 6 Surface state in accordance with spindle revolution speed

Fig. 5와 6은 가공 조건에 따른 버의 크기를 측정한 결과를 나타내는 그래프이다. Fig. 5는 절입 깊이에 따른 버의 생성 결과를 나타낸 것으로, 그래프의 경향은 절입 깊이에 따라 버의 폭이 비례적으로 증가함을 알 수 있다. 그래프에서 보는 것과 같이 250 μm이상의 과도한 절입이 주어졌을 때 발생되는 버의 폭은 상대적으로 증가폭이 크게 나타남을 알 수 있는데 이는 가공시 가공 저항의 증가와 공구와 가공 공작물의 마찰에 의한 마찰열이 상승함에 따라 기인된 결과로 예측할 수 있다. Fig. 6은 주축 회전 속도에 따른 버의 생성 결과를 나타낸 것으로, 본 개발 장비에 적용된 스핀들의 최적의 가공 조건은 30,000-35,000rpm임을 알 수 있다. 따라서 실험 결과 30,000-35,000rpm의 주축 회전속도에서 200 μm 이하의 절입값과 0.6mm/sec의 이송 속도가 개발된 홈 가공기의 최적의 가공 조건임을 알 수 있었다.

Fig. 7은 V 형상을 가지는 CBN 블레이드 사용하여 홈

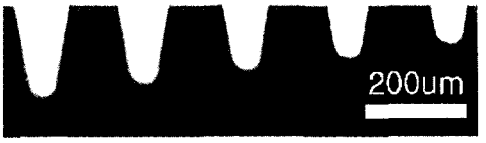


Fig. 7 Micrograph of a mold (Spindle revolution speed: 27,500rpm, Feed rate: 0.6mm/sec, Depth of groove: 150mm)

가공한 시편의 단면을 촬영한 것이다. 금형의 이형성을 향상시키기 위하여 9°의 경사각을 갖도록 가공하였다.

4.2 AE_RMS를 이용한 홈 가공 특성 평가

Fig. 8은 가공 시간에 따른 AE_RMS 신호의 변화 경향을 보여주고 있다. 시간 영역의 신호와 가공 경향과의 연관성을 알아보기 위해 AE 원 신호를 임의의 시간 간격으로 획득하여 RMS 변환한 후, 변환된 RMS 신호의 평균값을 구하여 가공시간에 따라 그래프로 나타내었다. 신호의 경향을 살펴보면 초기에 높은 피크(peak) 값을 가진 후에, 안정된 가공 상태로 홈 가공이 진행됨을 알 수 있다. 이러한 현상은 일반적인 연삭 가공의 경우와 일치하는 것으로, 블레이드를 이용한 홈 가공이 일반적인 절삭가공의 메커니즘을 잘 반영하고 있다는 것을 알 수 있다[8]. 그리고 향후 초기 high peak 값을 제어하는 연구를 수행한다면 더 나은 홈 가공 결과를 예측할 수 있을 것이다.

Fig. 9는 홈가공 깊이에 따른 AE_RMS 신호의 특성을 나타내는 것이다. 가공 깊이가 증가함에 따라 AE_RMS 신

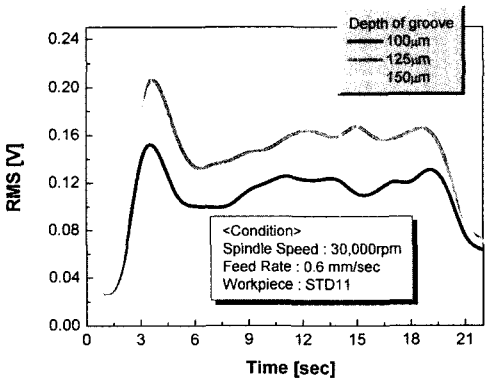


Fig. 8 AE_RMS characteristics in accordance with grooving time

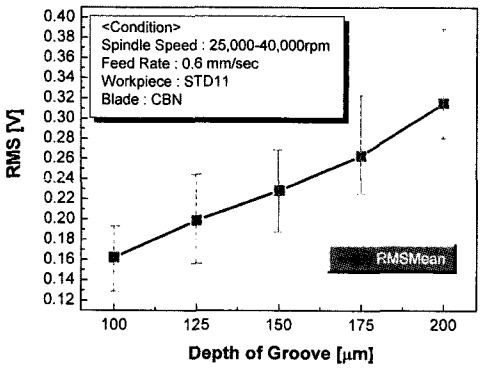


Fig. 9 AE_RMS characteristics in accordance with depth of groove

호의 값이 상승하므로, AE 신호가 홈 가공의 정성적인 특징을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

4.3 AE 주파수 해석을 통한 가공 특성 평가

앞서 언급했듯이 대형 PDP 가공의 In-process Monitoring 기술은 가공 능률과 비용 측면에서 매우 중요하다. 본 연구에서는 AE 주파수 해석을 통해 시간 영역에서 샘플링된 신호들을 FFT Analyser를 이용하여 주파수 영역의 신호로 변환시켜 가공시 발생하는 물리적인 현상과의 관계를 살펴보았고, 이를 이용한 In-process Monitoring 기술의 활용 가능성을 검토하였다.

Fig. 10은 실험 결과에 따른 주파수 특성을 나타내고 있다. Fig. 10에서와 같이 가공 결과가 안정적인 홈 가공 영역에서 주파수 분석의 결과는 가공조건에 관계없이 일정한 주파수 대역(100-120㎑)에서 민감도를 나타내고 있다. Fig. 11은 버가 발생한 시편의 신호로부터 분석된 주파수 특성이다. 이 경우, 주파수 분석 결과가 가공이 안정적일 경우의

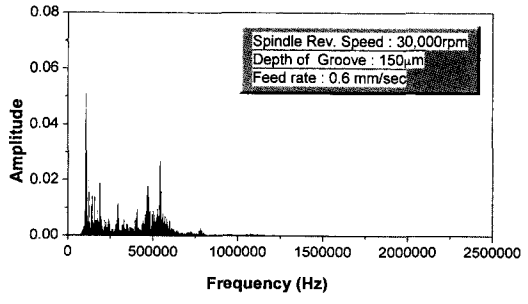


Fig. 10 AE frequency characteristics in accordance with grooving condition

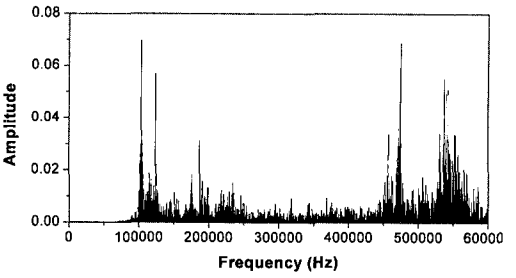


Fig. 11 AE frequency characteristics in case of burr (Spindle revolution speed: 27,500rpm, Feed rate: 0.6mm/sec, Depth of groove: 150 μ m)

주파수 분석 결과와 비교할 경우 주파수 영역이 불규칙하여 이상 상태의 가공이 진행되었음을 예측할 수 있다.

따라서 본 실험에서 얻은 신호의 결과를 바탕으로 홈 가공시 이상상태의 감시에 AE를 이용한 in-process 계측의 가능성을 기대할 수 있다.

5. 결 론

블레이드를 이용한 PDP 격벽 형성용 금형에 대한 홈 가공의 가공 특성평가와 가공상태의 감시 및 이상 진단에 대한 AE의 적용 가능성을 규명하기 위한 실험 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 연구에서 PDP 격벽 금형용 미세 홈 가공 특성 평가 실험 결과, CBN 블레이드를 사용하여 30,000 - 35,000 rpm의 주축 회전속도에서 200 μ m 이하의 절입값과 0.6mm/sec의 이송 속도가 최적의 가공 조건임을 현미경 관찰을 통한 버의 발생을 비교함으로써 알 수 있다.

(2) AE 주파수 영역의 신호는 안정된 가공 상태에서는 가공 조건에 관계없이 균일한 주파수 민감도를 나타내지만, 공작물에 버가 발생했을 때에는 불규칙한 주파수 특성을 나타낸다. 따라서 홈 가공시의 AE 주파수 특성을 이용하여 이상상태의 감시를 위한 활용이 기대된다.

후 기

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구 되었음(KRF-2002-041-D00045).

참 고 문 헌

(1) KIPO, 2001, *2000 New Technology Tendency Report - Technology Tendency of Plasma Display Panel*, KIPO, pp. 179~216.

(2) Cho, I. H., Jeong, S., C., Park, J. M. and Jeong, H. D., 2001, "The Application of Micro-Groove Machining for the Mold of PDP Barrier Ribs", *J. of Materials Processing Technology*, Vol. 113, pp. 355~359.

(3) Lim, H. S. and Ahn, J. H., 1998, "A Study on the Cutting Conditions of Self-Induced Chattering in Micro Shaping with Diamond Tool", *J. of KSPE*, Vol 15, No. 3, pp. 141~149.

(4) Tonshoff, H. K., Jung, M., Mannel, S. and Rietz, W., 2000, "Using Acoustic Emission Signals for Monitoring of Production Processes", *Ultrasonics*, Vol. 37, pp. 681~686.

(5) Min, H. S., Lee, S. H. and Ahn, S. E., 2002, "Monitoring of Laser Fusion Cutting Using Acoustic Emission", *Trans. of KSMTE*, Vol. 11, No. 3, pp. 39~44.

(6) Maeng, M. J. and Chung, J. K., 2001, "Wear Detection of Coated Tool Using Acoustic Emission", *Trans. of KSMTE*, Vol. 10, No. 5, pp. 9~16.

(7) Elijah, K. A. and Dornfeld, D. A., 1981, "Quantitative Relationships for Acoustic Emission from Orthogonal Metal Cutting", *ASME*, Vol. 103, pp. 330~340.

(8) Malkin, S., 1988, *Grinding Technology*, John Wiley & Sons Press, pp. 107~142.