

AE신호를 이용한 자동 연마가공에서의 연마면 상태감시

김동환*, 申云峰*, 김화영**, 안중환**

Polishing Surface State Monitoring of Automatic Polishing Process Using Acoustic Emission Signal

Dong-Hwan Kim*, Yun-Feng Shen*, Hwa-Young Kim**, Jung-Hwan Ahn**

* 부산대학교 대학원 지능기계공학과

** 부산대학교 기계공학부

Abstract

Die polishing technology is very critical to determine quality and performance of the final products. Die polishing processes have not been automated because the automation requires a great deal of experience and skill of experts. Thus, to implement a fully automated polishing process, the development of polishing status monitoring system replacing the skill of experts is critical.

AE is known to be closely related to material removal rate(MRR). As the surface is rougher, MRR gets larger and AE increase. The surface roughness can be indirectly estimated using the AE signal measured during automatic die polishing process.

In this study, The polishing state monitoring system using AErms signal was developed. This system can be not only to monitor the abnormal state but also to estimate a state of surface roughness of polishing surface qualitatively.

1. 서론

금형은 제품생산에 널리 이용되는 필수적인 도구로서 그 가공기술은 제품의 품질을 결정짓는 중요한 요소이다. 최근 금형의 제조 과정에서, 형상 가공의 경우 CAD/CAM시스템이나 CNC공작기계 등의 발전으로 자동화가 상당히 발전되어 왔으나 그 제조공정의 약 30~50%를 점유하고 있는 연마가공은 아직까지 지식과 기술이 체계화되어 있지 않고 숙련공의 경험과 기술에 의존한 수작업으로 이루어지고 있는 실정이다.⁽¹⁾

이러한 금형의 연마작업의 문제점을 해결하고 제품의 다양화, 고정밀화, 제조가격의 저렴화 등 수요자의 요구를 충족시키기 위해서는 종래의 가공방식과 숙련공의 경험에 의존해 온 생산방식에서 탈피하여 금형연마작업의 자동화가 필수 불가결하다. 연마작업의 자동화를 달성하는데 어려운 문제는 숙련공처럼 융통성 있고 효율적으로 연마작업상태를 느끼고 판단할 수 있는 감시시스템을 구성하는 것이다. 즉, 연마공정 중의 이상상태를 감지하고 숫들의 적절한 교체시기를 판단할 수 있는 실시간 연마상태 감시기능이 필요하다.

연마가공에서 개개의 슯돌입자에 의한 가공이 행해질 때 AE신호를 발생한다. 이러한 AE신호를 이용한 연마상태의 감시를 위해 압전 세라믹 센서를 이용한 방법이 제안되고 있다.⁽²⁾ AE신호는 연마에 의한 재료 제거량과 밀접한 관계가 있고 연마제거량은 공작물의 표면상태 및 공구입자 크기에도 관계가 있기 때문에 연마가공의 감시에 AE신호를 이용한 연구가 시도되고 있다.⁽³⁾

연마와 같이 항상 슯돌입자에 의해 AE신호가 발생하는 경우는 신호를 통해 가공상태가 정상인지 아닌지를 구별하는 것이 어렵고 별로 연구가 되어 있지 않다. 본 연구에서는 AE신호를 이용한 금형연마가공의 상태감시 가능성을 검토하여 연마의 효율을 높이고자 한다.

2. 연마가공에서의 AE신호

2.1 고능률 연마공정

연마공정 시 마무리면을 평가하는 중요한 파라미터 중의 하나인 표면거칠기는 연마횟수가 증가함에 따라 지수함수적으로 감소하는 것으로 알려져 있다.⁽¹⁾ Fig. 1은 금형 연마가공 시 여러 입자의 슯돌을 사용하여 최단 시간에 목표하는 거칠기를 얻어내는 과정을 보인 것이다. 전가공면의 초기 거칠기에서 목표하는 거칠기로 만들기 위해서는 여러 개의 연마공구가 필요하며, 전체 연마 횟수를 줄일수록 고능률의 연마공정이 된다.

2.2 연마공정에서의 AErms 평가

AE란 고체 재료가 소성변형이나 파괴될 때, 발생하는 탄성에너지가 음파로 고체를 통해 전송되는 파를 말한다.⁽⁴⁾ 연마가공 시에 AE신호는 슯돌입자와 공작물 사이의 가공에 의해 발생하며 가공 부하의 크기에 따라 발생하는 AE파의 크기가 달라진다.

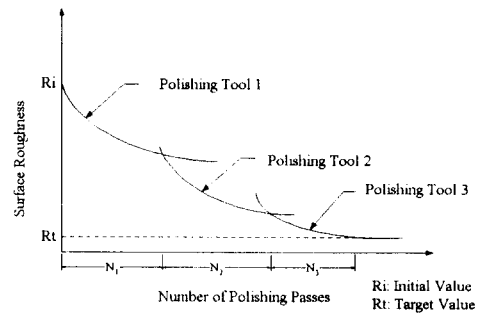


Fig. 1. Diminishment of surface roughness

AE신호의 해석기법에는 AE에너지, 진폭, Count 등의 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 AErms값을 이용하였다⁽⁵⁾. AErms의 정의는 식 (1)과 같다

$$AE_{rms} = \sqrt{\frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} AE^2(t) dt} \quad (1)$$

여기서, AE(t)는 AE원신호를 나타내며 ΔT 는 AErms값을 취하는 평균시간을 의미한다.

연마가 진행되어감에 따라 연마스돌과 연마면은 점접촉 형태에서 면접촉 형태로 바뀌어가게 되므로 연마면이 받는 단위면적 당 압력이 점점 감소하고, 소재의 제거형태도 국부적 파단 형태에서 소성변형 형태로 바뀌어간다. 따라서, 연마 제거량이 차차 감소하고 연마제거량의 감소는 AErms값의 감소로 나타나게 된다.

3. 실험조건 및 장치 구성도

3.1 연마 가공 조건

본 실험에서 사용한 공작물의 재질은 금형재료로 많이 쓰이고 있는 SKD-11이고 연마공구는 탄성 슯돌 공구이다. Table 1은 연마대상면을 만들 때 사용한 절삭조건을 보인 것이다.

Table 1 Cutting conditions

Workpiece	SKD-11
Tool	Ball Endmill($\Phi 10$)
Cutting Speed	1000 RPM
Feedrate	500 mm/min
Pickfeed	0.5 mm
Depth of cut	0.5 mm

본 실험에서는 절삭가공 된 공작물을 #100 스톨입자를 통해 4회 가공한 면을 초기면으로 하였고 가압력과 이송속도를 각각 10N과 20N, 100mm/min과 200mm/min의 두 가지 조건으로 하여 연마특성을 살펴보았다. Fig. 2는 연마에 사용된 탄성공구의 구조와 사진을 나타낸다. 탄성공구는 다이아몬드 펠렛과 펠렛을 탄성적으로 지지하기 위한 부드러운 실리콘 몸체를 결합시킨 단단한 금속/합성수지로 구성되어 있다. Table 2는 실험에서 사용한 연마조건을 보인 것이다.

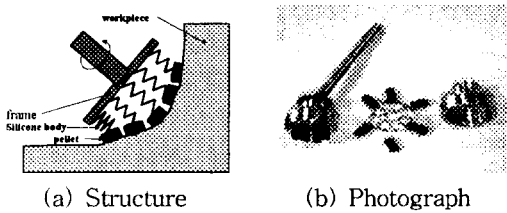


Fig. 2 Structure of elastic polishing tool(EPT)

Table 2 Polishing conditions

Polishing Machine	POLYEM-1205
Spindle Speed	800 RPM
Feedrate	100 mm/min, 200mm/min
Load	10N, 20N
Grain Size	#200

3. 2 실험장치 구성

Fig. 3은 실험장치 구성도를 보인 것이다. 공작물을 자동연마기(POLYEM-1205)에 고정된 뒤, 전하 증폭기를 내장하고 있는 AE센서(NANO 30)를 연마지점에 최대한 가깝게 부착하였다. AE센서를 통해서 획득된 신호는 제작한 RMS Converter를 통해 AErms신호로 변환되며, 이 신호를 오실로스코프를 통해 직접 관찰하거나 A/D 변환한 후에 컴퓨터를 통한 신호분석으로 연마상태를 관찰하였다.

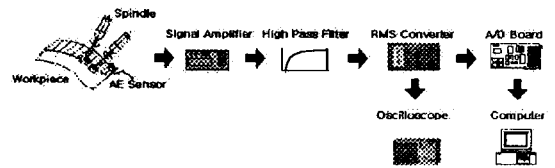


Fig. 3 Equipment for AE measurement

일반적으로 AE센서에서 나오는 신호는 고임피던스이며 아주 미약한 전류가 검출되므로 신호손실과 케이블을 통한 노이즈를 최소화시키기 위한 장치가 필요하다.⁽⁶⁾ Fig. 4는 제작한 RMS Converter의 신호 처리과정을 보여준다.

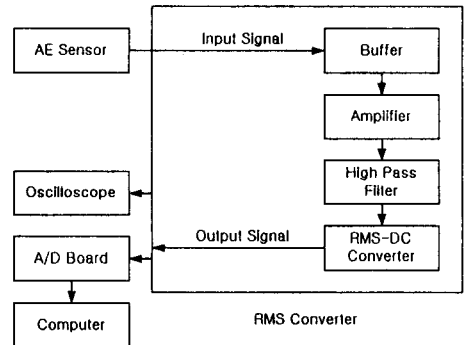


Fig. 4 Signal processing of RMS Converter

4. 실험결과

4.1 가압력의 변화

연마특성에 미치는 인자는 여러 가지가 있지만, 특히 스피들의 회전속도, 공구의 이송속도, 가압력을 들 수 있다. 이런 인자들은 공작물의 표면거칠기나 연마가공 시 발생하는 AERms신호에 영향을 미치게 된다.

가압력의 증가는 공작물에 대한 슷돌입자의 기계적 작용을 증가하게 한다. Fig. 5는 이송속도를 100mm/min으로 일정하게 하고 #200 슷돌입자를 사용하여 가압력을 10N과 20N으로 하였을 때의 공작물의 표면거칠기 곡선과 AERms신호의 평균값의 변화를 나타낸다. 공작물의 표면거칠기 곡선은 Fig. 5(a)에서와 같이 가압력이 20N인 경우, 10N인 경우에 비하여 급격하게 감소하며 따라서 한계거칠기에 도달하는 연마횟수도 감소한다.

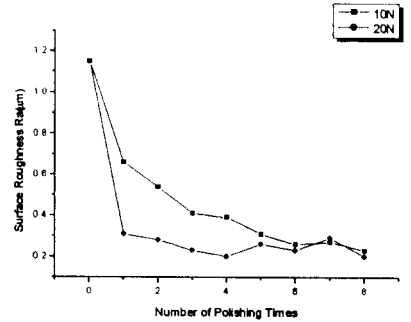
20N의 경우 1, 2회 연마에서 거의 한계거칠기에 도달하며 그 이후 연마에서는 연마면의 표면거칠기 개선 정도가 미약하며 오히려 연마면의 치수정도를 해칠 우려가 있다. 최종적으로 도달할 수 있는 한계거칠기에 있어서는 10N의 경우가 20N의 경우보다 더 좋게됨을 추정할 수 있다.

Fig. 5(b)는 AERms신호의 평균값의 변화를 나타낸다. 가압력이 큰 경우 슷돌입자의 기계적 작용의 증가로 인해 AERms신호의 평균값은 전체적으로 더 큰 값을 나타내며 또한 가압력이 큰 경우 평균값의 기울기는 더 완만하게 나타나는데 이는 한계거칠기에 더 빨리 도달하므로 연마제거량이 감소했기 때문이다. 이와 같이 AERms신호의 감소율을 통하여 연마공구의 교체시기를 판단할 수 있다.

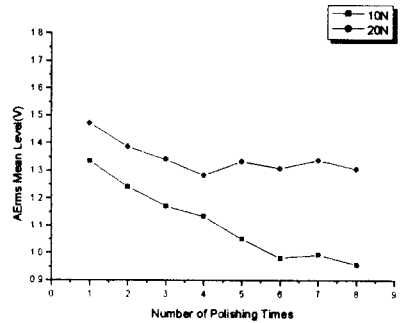
4.2 이송속도의 변화

회전속도의 증가와 이송속도의 감소는 연마면에 단위시간당 기여하는 슷돌입자의 증가를 의미

한다. 이송속도에 대한 회전속도의 비가 같은 경우 연마가공에 의해 나타나는 공작물의 표면거칠기 곡선은 거의 일치한다.⁽⁷⁾ 본 실험에서는 회전속도를 고정하고 이송속도를 달리함으로써 이들 인자가 연마특성에 미치는 특성을 알아보았다.



(a) Surface roughness

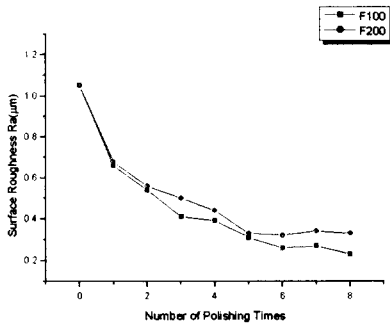


(b) AERms signal

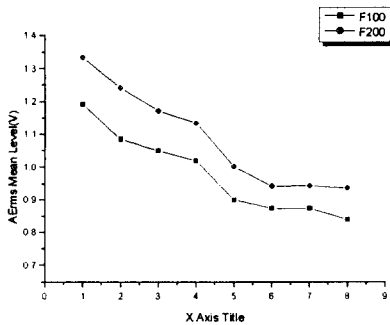
Fig. 5 Comparison of Surface roughness and AERms signal in polishing process

Fig. 6은 가압력을 10N으로 일정하게 하고 #200 슷돌입자를 사용하여 이송속도를 100mm/min과 200mm/min로 하였을 때의 공작물의 표면거칠기 곡선과 AERms신호의 평균값을 나타낸다. 공작물의 표면거칠기 곡선의 경우 Fig. 6(a)에서와 같이 이송속도가 낮을 경우 더 빨리

감소한다. 이송속도가 상대적으로 낮을 경우, 동일한 면적에 대하여 스톨입자가 더 많이 지나가므로 한계거칠기에 도달하는 연마횟수가 감소하고 한계거칠기의 상태도 더 양호하다. Fig. 6(b)는 AErms신호의 평균값을 나타내며 이송속도가 낮은 경우 더 높은 신호가 나타난다.



(a) Surface roughness



(b) AErms signal

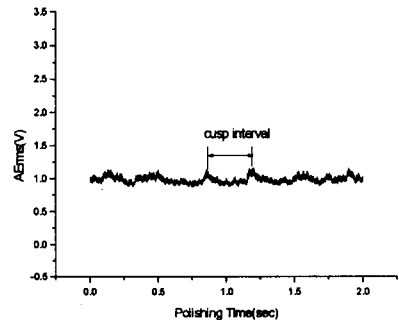
Fig. 6 Comparison of Surface roughness and AErms signal in polishing process

이송속도가 낮은 경우, 한계거칠기에는 빨리 도달하나 가공시간은 더 길게된다. 따라서 이송속도와 스펀들의 회전속도, 그리고 표면거칠기 곡선의 관계를 잘 파악하여 전체 연마가공시간을 단축하도록 연마조건을 설정하는 것이 중요하다.

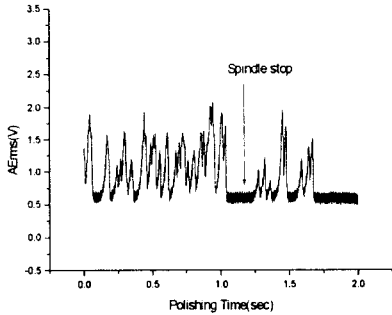
Fig. 5와 Fig. 6의 결과에서 알 수 있듯이 AErms신호를 통해 가압력이나 이송속도와 같은 연마조건에 따른 연마특성을 판단할 수 있고 또한 공작물의 표면거칠기 곡선을 예측할 수 있다. 이러한 AErms신호를 통해 실시간으로 연마공구 교체시기와 연마조건을 선정함으로써 연마작업의 효율성을 높일 수 있다.

4. 3 연마가공 중의 이상상태

연마가공 중 AErms신호의 동적 거동으로부터 연마공구의 파손, 부적절한 연마조건에 따른 과부하 등 이상상태를 감시할 수 있다. Fig. 7은 #100 연마공구로 연마가공 중 검출한 AErms신호를 보여준다. Fig. 7(a)는 연마작업이 원활히 진행될 때 검출한 신호이며, Fig. 7(b)는 이상상태 발생 시 검출한 신호를 나타낸다. Fig. 7(a)의 경우 커스프에 따른 AErms신호의 변화가 뚜렷히 나타나며 연마조건이 적절하여 연마가 잘 진행되고 있음을 나타낸다. Fig. 7(b)의 경우 공작물의 전가공면 상태가 불균일한 경우 AErms신호의 변화가 크게 나타나며 순간적 과부하로 인해 스펀들의 회전이 잠시 멈춘 상태에서 연마가 진행되게 되는데 이 때 검출한 AErms신호를 나타낸다. 이와 같이 AErms신호를 이용하여 연마공정의 이상상태를 실시간으로 감시할 수 있다.



(a) Normal state



(b) Abnormal state

Fig. 7 Variations of AERms signal during polishing process

5. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 AE신호를 이용해서 연마조건 변화에 따른 연마면의 상태와 연마가공 중의 이상상태의 감시 가능성을 평가하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 가공물의 표면거칠기 곡선은 연마횟수가 증가함에 따라 지수함수적으로 감소하며 연마가공 조건이 동일하다면 연마압력이 높을수록, 이송속도가 낮을수록 한계거칠기에 도달하는 연마횟수가 감소한다.
- 2) 이송속도, 가압력 등의 연마조건 변화에 따른 연마특성을 AERms신호를 통해 실시간으로 판단할 수 있으며, 연마숫돌 교체시기를 판단하는데 이용할 수 있음을 보여준다.
- 3) 연마가공 중 검출한 AERms신호의 동적거동으로부터 현재 연마가공 상태를 실시간으로 감시할 수 있으며 과부하로 인한 이상상태를 잘 검출할 수 있었다.

향후 연구과제로 AE신호를 검출할 수 있는 지능형 공구를 개발하여 신호 검출의 유연성과 신뢰성을 높이고, 검출된 신호의 정량적인 특성을

알아냄으로써 숙련공을 대체할 수 있는 연마감시 시스템을 개발하고자 한다.

참고문헌

- (1) 佐佐木哲夫, 三好隆志 他2名, "金型磨き作業の知識獲得と自動化に関する研究(第1報)-金型熟練工の手磨き特性", 精密工學會誌, Vol. 57, No. 3, pp. 497-503, 1991
- (2) 長田 佐, 大内英俊, 河西敏雄, "壓電セラミツクセンサによる研磨加工中の監視(第2報)-圓すいホーンを利用した音響検出" 精密工學會誌, Vol. 63, No. 12, pp. 1710-1714, 1997
- (3) 佐佐木哲夫, 三好隆志 他2名, "金型磨き作業の知識獲得と自動化に関する 研究(第3報)-金型自動磨き装置の試作開發", 精密工學會誌, Vol. 58, No. 12, pp. 2037-2043, 1992
- (4) E. Kannatey Asibu, D.A.Dornfeld, "A Study of Tool Wear Using Statistical Analysis of Meta Cutting Acoustic Emission", Wear, Vol. 76., pp. 247-261, 1982
- (5) Dornfeld, D. and Cai, H. G., "An Investigation of Grinding and Wheel Loading Using Acoustic Emission", Transactions of the ASME, J. of Eng. for Ind., Vol. 106, FEB., pp. 28-33, 1984
- (6) 김성렬, 김화영, 김선호, 안중환, "AE 감시 장치를 이용한 센터리스 연삭 공정의 감시", 한국정밀공학회지, 제16권, 제1호, pp. 108-115, 1999
- (7) 이두찬, 정해도, 안중환, 三好隆志, "자동급형연마의 최적조건선정 전문가시스템 개발", 한국정밀공학회지, 제14권, 제10호, pp. 58-67, 1997