브러시 디버링 연삭 시스템 공정 최적화에 대한 연구

신관수*

(논문접수일 2012. 04. 23, 수정일 2012. 05. 24, 심사완료일 2012. 05. 31)

A Study on the Process Optimization of Brush Deburring Grinding System

Shin, Kwan Soo*

Abstract

Due to the increasing demand for carious methodologies, the quality improvement of products were introduced. A brush, the most frequently used type of grinding process, is one of the deburring. In order to produce consistent burr shape, various machining conditions have been combined and applied to disk grinding process. By tool dynamometer, acoustic emission sensor and acceleration sensor depend on changes in processing conditions(depth of engagement, cutting speed, workpiece position, workpiece orientation, cutting time) signals were obtained for brush deburring grinding system. Root mean square obtained by processing the signal processing conditions by analyzing the characteristics of deburring is to derive the optimum conditions.

Key Words : Brush deburring grinding system(브러시 디버링 연삭 시스템), Processing condition(가공조건), Root mean square(제곱근 편차), Optimum condition(최적조건)

1. 서론

절삭가공을 수행 후 피절삭물의 끝단에는 버(burr)가 생성된다. 이 버를 제거하는 작업을 디버링(deburring)이라 하며 디버링작업은 제품의 품위를 높이는 작업이다. 산업이 발달함에 따라 공정 자동화가 실현되고 정밀도가 우수한 부품이 요구되는 현실에서 부품의 질을 높이기 위하여 표면가공 기술과 모서리 처리 기술 그리고 버제거 작업인 디버링에 많은 관심이 집중되고 있다⁽¹⁻³⁾. 최근 버를 제거하기위하여 버의 크기와 형상을 측정하여 디버링공정을 자동화시키려는 연구가 진행되고 있다⁽⁴⁻¹²⁾. 공정의 자동화 노력에도 불구하고 디버링공정 자동화는 한계가 있어 숙련자에 의한 수작업으로 대부분 이루지는 실정이다. 따라서 공구의 선택 또한 중요한 제약 조건이다. 이러한 디버링

은 특별한 매뉴얼이 없이 단지 작업자의 숙련도에 따라 제품의 품질이 결정 되어 진다. 작업자의 숙련도가 높을수록 모재에 변화가 거의 없는 디버링 작업이 이루어지고 작업자 마다 각기 다른 품질의 제품이 생산되고 같은 작업자라도 해도 반복 작업의 경우 각기 다른 품질의 제품이 생산되어 지는 형편이다. 디버링 작업의 정밀도는 최종 제품의 정밀도에 큰 영향을 미치게 된다. 디버링 작업이 불량한 경우 공작물의 다음 공정 시 불안정한 클램핑을 초래하여 과절삭 또는 미절삭을 초래할 뿐만 아니라 클램핑의 약화를 초래할 경우 채터가 발생하여 가공면이 웨이브 현상을 가지게 되어 최종 품질을 저하 시키게 된다. 최근에는 브러시 공구를 이용한 디버링 작업이 수행 되고 있다⁽¹²⁻¹⁴⁾. 브러시공구의 특성을 파악하기 위하여 브러시 공구의 형상에 따른 영향을 분석한 연구가 진행되기도 하였다⁽¹²⁾. 공구의

* 인천대학교 기계시스템공학부 (shin@incheon.ac.kr)
주소: 402-750 인천광역시 남구 인천대길 319(도화동 235)

형상 이외에도 공구와 절삭물간의 접촉형태인 공구와 공작물와의 접촉각도, 공구의 회전속도에 따른 절삭속도, 공구와 공작물의 위치에 따른 절삭속도 및 가공시간의 변화에 따라 디버링의 결과가 달라질 것이다. 브러시공구를 이용한 디버링 작업을 자동화 시키기 위하여 공구와 공작물간의 관계에 의한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 브러시 공구를 사용하는 디버링 시스템을 음향방출센서, 공구동력계 및 가속도 센서를 사용하여 공구와 공작물간의 관계에 의한 가공 공정의 특성을 분석 하여 브러시 디버링 연삭 시스템의 최적 가공 조건을 도출하여 디버링 분야에 도움을 주고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 Acoustic Emission(AE)

음향방출(AE: Acoustic Emission)은 탄성체의 파괴나 소성 변형 중에 나타나는 탄성파(elastic stress wave)이다. 이와 같은 탄성파는 물체의 물리적 내부 변화에 따라 나타나므로 이를 해석하는 효과적인 도구로 사용된다. AE신호는 방향성이 없으며 신호의 감쇠가 거의 없어 빠른 속도로 표면으로 균일하게 전달되므로 센서의 설치에 용이하다.

탄성체의 변형에 의한 AE발생원은 소성변형에 의한 AE, 파괴에 의한 AE로 나누어지는데 소성변형에 의한 AE는 연속형 신호(continuous type signal)로 나타나고 파괴에 의한 신호는 돌발형신호(burst type signal)로 나타난다. 파괴에 의해 나타나는 돌발형신호를 다른 외부의 잡음과 분리하여 파괴검출에 이용한다. AE 신호는 절삭조건 즉 절삭속도, 이송속도, 경사각과 공작물의 재질에 따라 결정되나 이중 가장 영향을 미치는 변수는 공작물 재질과 절삭속도이다.

2.2 Root Mean Square(RMS)

각종 취득된 신호를 분석함에 있어서 연속형의 신호를 해석

하는 신호의 에너지량을 측정하는 것이 타당하다. 발생된 에너지 값을 비교 하기 위하여 Root Mean Square(RMS)수치로 환산하여 비교한다. 식 (1)은 RMS식을 나타낸다.

$$RMS = \left[\frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} v^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

3. 실험장치 및 방법

3.1 시편제작

스테인리스 브러시를 이용한 디버링 공정 실험을 위한 시편은 탄소강(SC45)을 유연성 디스크를 이용하여 제작하였다. 밀링머신의 스핀들에 전동 그라인더를 고정하고 공구와 가공물과는 25°의 각도를 이루도록 하고 디스크의 입도는 36, 60 및 80을 이용하여 가공하였다. 그라인더의 회전 속도는 11,000rpm으로 고정하고 절삭 깊이는 0.5mm~1.5mm로 변화를 주었다. 디버링 공정간에 버의 폭 및 형상에 따라 정삭현상의 차이를 확인하기 위한 얇은 버와 두꺼운 버형상의 시편을 생성하기 위한 절삭 깊이이다. 이송속도는 520mm/min으로 고정하였다. 시편 제작을 위한 실험도는 Fig.1과 같다.

Fig. 2 Experimental apparatus of lateral brush

Fig. 1 System diagram of disk grinding

① Spindle ② Workpiece ③ Dynamometer sensor ④ Brush
⑤ AE sensor ⑥ Acceleration sensor ⑦ Milling machine

Fig. 3 Experimental apparatus of brush

3.2 실험장치 및 방법

필라멘트 브러시를 이용한 브러시 완제품을 이용하여 디버링 공정의 특성해석을 수행하였다. 브러시 공구를 밀링머신의 스피indle에 고정하고 공정특성 분석을 위해 AE 센서와 가속도 및 공구 동력계를 이용 측정하였다. 스피indle의 회전속도는 1000, 1,500rpm으로 변화를 주고 절삭깊이는 2mm에서 8mm 사이에 2mm 간격으로 증가시켰다. 브러시 중심에서부터 반경방향으로의 가공간의 특성변화를 관찰하기 위해 중심으로부터 40mm, 55mm 및 70mm 지점에서 시편을 위치시켜 공정을 수행하였다. 시편과 브러시 공구의 상대적인 위치변화에 따라 디버링 공정의 최적 조건을 도출하기 위해 시편과 브러시 공구의 접촉각을 15°, 30° 및 45°로 변화를 주어 실험하였으며 이때 가공

하는 모습을 Fig. 2에 나타냈으며, 또한 이 장치의 개략도를 Fig. 3에 나타냈다.

4. 실험결과

4.1 절삭깊이에 따른 공정 분석

브러시와 시편의 접촉각을 45°, 절삭속도 1,500rpm, 절삭시간 2분으로 유지하여 디버링 연삭 공정을 수행하였다. 브러시의 중심에서부터 55mm의 지점에 시편을 고정하여 가공물의 모서리부분에 연삭이 이루어지도록 설치하였다. 절삭깊이는 2에서 8mm로 2mm씩 증가시켰다. Fig. 4는 AE, 가속도, 공구 동력계를 이용하여 취득된 절삭깊이에 따른 RMS값의 평균값

(a) AE trend

(b) Acceleration trend

(c) Cutting force trend

Fig. 4 Level trend with respect to depth of engagement

(a) AE level

(b) Acceleration level

(c) Cutting force

Fig. 5 Level trend with respect to cutting speed

이다. 절삭깊이에 따른 변화량이 선형적인 구간을 확인할 수 있다. 브러시 공구와 가공 시편의 연삭 공정 메카니즘으로 가속도와 공구동력계의 Y축 방향으로 가장 큰 값이 확인된다. 이는 Y축 방향 즉 공구의 회전 접선방향이 Y축이기 때문이다. 절삭깊이별 AE신호는 다음과 같다. 절삭량이 2mm일때 AE의 RMS값은 0.7525Volt, 4mm 일 때 0.8575Volt, 6mm 일 때 0.9938Volt, 8mm 일 때 1.1150Volt로 점차 증가하였다.

4.2 공구 회전속도에 따른 공정 분석

브러시와 시편의 접촉각을 45°로 유지하고 공구의 회전속도를 1,000, 1,250 및 1,500rpm으로 변화를 주어 디버링 연삭 공정을 수행하였다. 브러시 중심으로부터 55mm인 지점에 시

편을 고정하여 가공하였다. Fig. 5는 절삭깊이 6mm에서의 AE, 가속도, 공구동력계의 RMS 평균값이다. 절삭깊이와 동일하게 공구의 회전속도에서도 선형구간을 확인할 수 있었다. 절삭력은 회전속도에 비례한다는 사실을 유추할 수 있다. 회전속도에 따른 AE의 변화량은 회전속도가 1,000rpm일 때 RMS값은 0.4800Volt, 1,250rpm일 때 0.7625Volt, 1,500rpm일 때 0.9938Volt로 증가하고 가속도의 변화량 또한 회전속도가 증가함에 따라 증가함을 알 수 있다.

4.3 공작물 가공 위치에 따른 공정 분석

Fig. 6은 브러시와 시편은 45°의 각을 유지하고 디버링 연삭 공정을 수행한 결과이다. 절삭깊이 6mm, 브러시 중심위치와

(a) AE level

(b) Acceleration level

(c) Cutting force

Fig. 6 Level trend with respect to workpiece position

(a) AE level

(b) Acceleration level

(c) Cutting force

Fig. 7 Level trend with respect to workpiece orientation

브러시 중심과 공작물과의 거리가 40, 55, 70mm일 때 AE 센서의 RMS 평균값은 각각 0.6188, 0.7525, 1.0238Volt이다.

4.4 공구 접촉각에 따른 공정 해석

공구와 가공 시편의 접촉각을 15°에서 45°로 15°간격으로 측정하였다. 절삭깊이는 6mm로 고정하고 가공 시편의 고정 위치는 브러시 중심위치에서 55mm 지점에서 측정하였다. 공구와 가공 시편과의 접촉각이 작아짐에 따라 가공 면적이 증가하게 되고 이에 따라 연삭 공정은 더욱 활발히 진행된다. 각도가 커질수록 상대적인 접촉면이 축소되어 디버링 연삭공정도 그만큼 감소함을 확인할 수 있다. 공구와 공작물의 각도에 따라 접촉각이 15° 일 때 1.0825Volt, 30°일 때 1.0325Volt, 45°일

때 0.9938Volt로 점차 감소한다. Fig. 7은 공구 접촉각에 따른 각 신호 값의 변화를 나타낸 것이다.

4.5 가공시간에 따른 공정 해석

브러시와 시편 각도 45°, 절삭깊이 6mm, 브러시 중심에서부터 55mm지점에서 1,500rpm으로 1분에서 3분간 1분 간격으로 디버링 연삭공정을 수행하여 신호를 취득하였다. 시간에 따른 신호취득결과를 확인해보면 일정시간이후 모든 센서에서 RMS 변화량이 감소하는데 이는 가공이 진행됨에 따라 가공 시편이 마모되어 공구와 가공 시편의 접촉면적이 점차 감소함에 따라 절삭현상이 둔화되기 때문이다.

절삭시간에 따른 AE 신호에 추세를 본 결과 1분 단위로 1.1150, 0.9938, 0.9813Volt로 변화한다. 변화요인으로는 시간의 경과에 따라 접촉면이 절삭되면서 접촉면이 감소하면서 그에 따라 RMS값이 미세하게 감소하게 된다(Fig. 8).

4.6 최적 가공 조건

Fig. 9는 브러시 중심에서 가공 시편의 위치와 절삭깊이와의 상관관계를 도출한 그래프이다. 브러시 중심에서 가공 위치가

(a) AE level

(b) Acceleration level

(c) Cutting force

Fig. 8 Level trend with respect to Cutting time

Fig. 9 AE level

Fig. 10 Removed weight

떨어짐에 따라 디버링 연삭 공정이 활발히 진행되고 절삭깊이에 증가에 따라서도 역시 증가함을 확인할 수 있다. 이를 바탕으로 가공물의 재질에 따라 적절한 연삭 조건을 보장하는 가공 위치와 절삭깊이를 도출해 낼 수 있다. 즉 AE신호의 크기(level)를 기준으로 이를 충족시키는 절삭깊이와 가공위치 조건을 산출할 수 있다. Fig. 9에서와 같이 숙련자의 경험치에 의한 AE 신호 한계치가 1.0Volt로 설정되면 절삭깊이 6mm에 대한 공구의 위치는 중심으로부터 56mm이내에서 운용하여야 한다.

Fig. 10은 가공 시편의 위치와 절삭깊이에 따른 절삭량의 상관관계를 도식한 그래프이다. 각 신호에서 취득된 결과와 동일하게 절삭량에서도 동일한 상관관계가 확인되었다. 디버링 면적과 버의 크기를 사전에 예측이 가능하면 최적의 절삭 조건을 유추해 낼 수 있다.

5. 결 론

브러시 공구를 사용하는 디버링 시스템의 자동화를 위하여 최적가공공정을 도출하기 위하여 음향방출센서, 공구동력계 및 가속도 센서를 사용하여 공구와 공작물간의 관계에 의한 가공 공정의 특성을 분석 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 절삭깊이와 공구동력계, 음향방출센서 및 가속도 센서의 신호가 비례 관계에 있으며, 가속도와 공구동력계의 Y축 방향으로 가장 큰 값이 확인되었다.
- (2) 공구회전속도와 공구동력계, 음향방출센서 및 가속도 센서의 신호가 비례 관계에 있다.
- (3) 브러시 중심과 시편과의 거리와 공구동력계, 음향방출센서 및 가속도 센서의 신호는 비례적인 관계에 있으나 포물선 형태의 증감 형태가 나타난다.
- (4) 공구와 공작물의 접촉각도와 센서들의 신호 값은 반비례 관계에 있다. 상대적인 접촉면이 축소되어 디버링 연삭량이 감소함을 확인하였다.
- (5) 가공시간과 센서들의 신호 값은 반비례 관계에 있다. 가공이 진행됨에 따라 가공 시편이 마모되어 공구와 가공 시편의 접촉면적이 점차 감소함에 따라 연삭량이 감소하였다.
- (6) 버의 크기에 따라 최적의 절삭조건을 유추하여 작업 현장에서 사용할 수 있는 데이터 베이스 구축의 기반을 마련하였다.

후 기

이 논문은 인천대학교 2010년도 자체 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) Lee, Y. C., Kim, G. N., and Kwak, T. S., 2010, "Investigation for Mirror-surface Machining Properties of Mold Core of Glass Molding Press by Parallel Grinding and Magnetic Assistance Polishing," *Journal of the KSPE*, Vol. 27, No. 12, pp. 22~27.
- (2) Kim, G. D., Loh, B. G., and Kim, J. S., 2006, "Development of Ultra-precision Ultrasonic Surface Machining Device Using Cyclic Elliptical Cutting Motion of a Couple of Piezoelectric Material," *Journal of the KSPE*, Vol. 5, No. 3, pp. 29~35.
- (3) Yoon, J. H., Lee, J. W., Jung, K. Y., and Jung, M. S., 1998, "Cutting Condition for Improving Cutting Efficiency and Accuracy by Ball Endmill on a Machining Center," *Journal of the KSMTE*, Vol. 7, No. 3, pp. 99~103.
- (4) Yoo, S. M., 2009, "A Study on the Flexible Disk Deburring Process Arc Zone Parameter Prediction Using Neural Network," *Journal of the KSMTE*, Vol. 18, No. 6, pp. 681~689.
- (5) Park, D. S., Han, J. Y., Seong, E. J., and Han, I. Y., 2006, "Deburring of the Inner Edge in Intersection Hole by Powder Blasting," *Proceedings of the KSMPE Spring Conference*, pp. 44~49.
- (6) Yoon, J. H., Ahn, B. W., and Park, S. J., 2004, "A Deburring Characteristics of Small Punching Holes using Micro Press," *Journal of the KSPSE*, Vol. 13, No. 3, pp. 61~67.
- (7) Won, J. Y., Choi, Y. J., Lee, S. Y., and Choi, H. J., 2003, "Deburring Technology using Ultrasonic Cavitation," *Proceedings of the KSME Fall Conference*, pp. 1798~1803.
- (8) Bae, J. Y., Joo, Y. M., Kim, J. U., and Lee, S. R., 2002, "A Development of Deburring System using Vision Sensor," *Proceedings of the KSME Spring Conference*, pp. 900~904.
- (9) Choi, G. J., Kim, Y. W., Shin, S. W., and Ahn, D. S., 1998, "Deburring of Irregular Burr using Vision and Force Sensors," *Journal of the KSPSE*, Vol. 2, No. 3, pp. 83~88.
- (10) Shin, S. W., Gal, C. S., and Ahn, D. S., 1996, "A Study on the Automation of Deburring Process Using Expert's Skills," *Proceedings of the KSPE Fall Conference*, pp. 685~688.

- (11) Park, K. T., and Choi, J. W., 1994, "Intelligent Robot System for Deburring," *Proceedings of the KSPE spring Conference*, pp. 371~376.
- (12) Shin, K. S., 2010, "A study on the Character of Brush Deburring Grinding System," *Journal of the KSMTE*, Vol. 19, No. 3, pp. 414~418.
- (13) Shin, K. S., 2001, *A study on the Analysis and Optimization of Brush Grinding Process*, A Thesis for a Doctorate, Kyunghee University, Republic of Korea.
- (14) Mathai, G., and Melkote, S., 2012, "Effect of Process Parameters on the Rate of Abrasive Assisted Brush Deburring of Microgrooves," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 57, pp. 46~54.