

저주파 가진 성형의 특성 분석

박찬진¹, 최종필¹, 박동영², 홍남표², 이혜진³, 이낙규³, 김성욱⁴, 주은덕⁴, 김병희[#]

Characteristic analysis of low frequency vibration forming

C. J. Park, J. P. Choi, D. Y. Park, N. P. Hong, H. J. Lee, N. K. Lee, S. O. Kim, Andy Chu, B. H. Kim

Abstract

In this paper, the low frequency vibration forming system is developed for micro-patterns formation on the metal substrate. many researchers have studied about micro-forming technologies such as micro deep drawing, press forming, forging, extrusion etc. for the formation of precise micro-patterns on the surface of metal substrates, multi-step forming process must be used to improve qualities of the deformed patterns. Since the low frequency vibration forming system could easily deform the surface of metal substrates, several steps of multi-step forming process should be removed by using the low frequency vibration forming system. In order to find optimal process conditions, we have carried out low frequency vibration forming process with varying the vibration frequency from 110Hz to 500Hz.

Key Words : Low frequency vibration forming , Micro-pattern, Metal substrate

1. 서 론

최근 IT/BT 분야의 발전과 함께 마이크로 응용 부품들의 생산에 마이크로 성형기술이 주목되고 있다. 특히 유체동압베어링의 헤링본(Herring-bone) 패턴이 그 대표적인 예로, 성형을 통한 단가 절감 및 우수한 형상 정밀도 확보를 위한 연구가 진행 중에 있다. 그러나 헤링본 패턴의 경우, 패턴의 깊이가 수십 마이크로미터 이하로, 금속의 탄성복귀 영역 내에 존재하게 되어 성형 기술의 접목이 어려운 실정이다. 이러한 미소 변형에 의한 탄성복귀를 극복하기 위해, 기존에 수행된 연구로써 초음파 진동 성형공정을 수행하였으나 마찰로 인한 열적 변형 및 시스템 공진 등의 문제점이 존재한다는 것을 파악할 수 있었다. 따라서 마이크로 성형 공정에 수~수백Hz의 가진을 통해 금속 표면을 연속적으로 타격함으로써 금속의 표면에

미소 변위 성형을 할 수 있는 가진 성형 기술의 제안 및 가진에 따른 성형 특성을 파악하고자 하였다. 본 논문에서 기술된 저주파 가진 마이크로 성형 공정 기술은 마이크로 성형 공정에서 금속 소재 표면의 패턴에 발생하는 버(Burr)와 같은 결함을 개선하고, 미소 변위 성형을 위해 제안된 신 공정 기술로 재료가 되는 소재의 표면 위에 금형 톨의 패턴이 PZT에 의해 가진되어 성형공정을 수행하는 기술이다. 이 기술을 사용함으로써 성형된 마이크로 패턴의 성형성과 형상 정밀도를 향상시킬 수 있다. 이러한 주파수 및 가진 변위에 따른 성형 특성을 연구하기 위하여 현재 개발된 데스크탑 성형 시스템과 그 외 필요한 시스템을 구성하여 저주파 가진 마이크로 성형 공정을 통한 성형성 결과를 분석하고 비가진 마이크로 성형 특성과의 성형성과 형상 정밀도의 차이를 검증하고자 하였다.

1. 강원대학교 기계메카트로닉스공학과
2. 강원인력개발원
3. 한국생산기술연구원
4. ㈜스페이스솔루션
강원대학교, E-mail:kbh@kangwon.ac.kr

2. 저주파 가진 성형공정의 시스템 설계·제작

2.1 작동원리 및 시스템 설계·제작

본 과제를 통해 개발된 저에너지 모듈형 데스크탑 성형 시스템에 적용할 수 있는 저주파 가진 마이크로 성형 시스템을 Fig. 1과 같이 설계하여 제작하였다. 이 시스템은 크게 마이크로 패턴 성형을 위한 가공력을 제어하는 유압파트와 가진에 따른 특성 파악을 위하여 PZT의 변위와 가해지는 주파수를 제어할 수 있는 PZT 가진 파트로 구성된다. Fig. 2는 PZT 가진 파트의 주요 구성요소를 보여주고 있다. PZT 구동 특성 향상, 즉, 인장 및 전단에 약한 PZT의 단점을 보완하고 히스테리시스 곡선의 보정효과로 인한 PZT 변위의 신뢰성 확보와 예압에 의하여 최대변위는 감소하지만 출력이 증가하는 장점이 있기 때문에 우레탄을 통한 예압을 수행하였으며, 불접촉을 통하여 PZT에 인가되는 전단응력이 최소화 되도록 설계하였다. Fig. 3은 저주파 가진 마이크로 성형 시스템의 제어 알고리즘을 보여주고 있다. 솔레노이드 밸브 구동에 의해 유압프레스는 로드셀에 하중을 인가하게 되고 이러한 하중은 전기적인 신호로

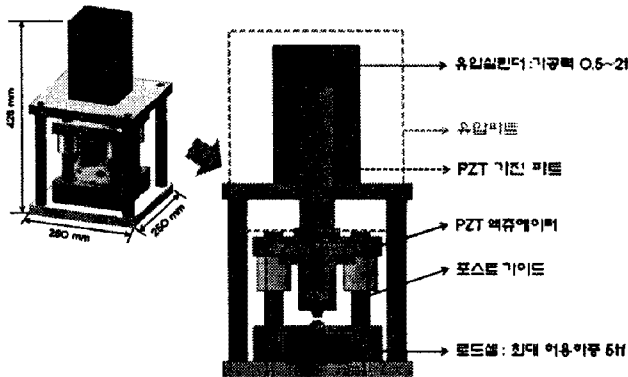


Fig. 1 Designed of the desktop micro forming system

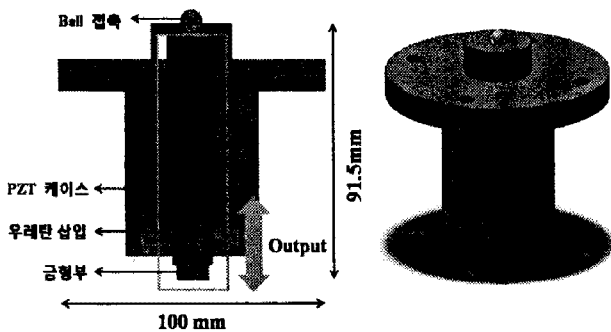


Fig. 2 PZT vibration part of the desktop micro forming system

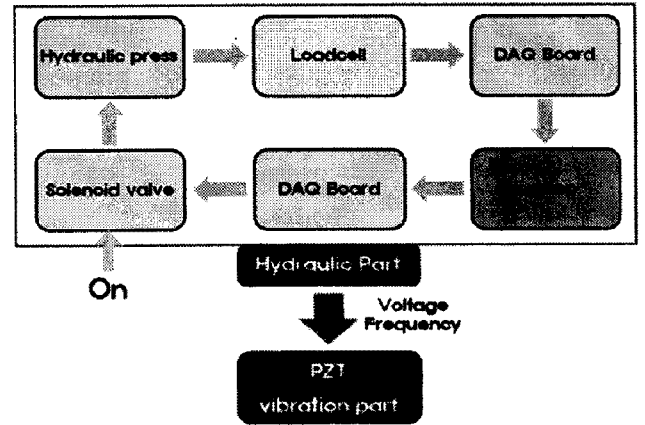


Fig. 3 Schematic of the desktop micro forming system

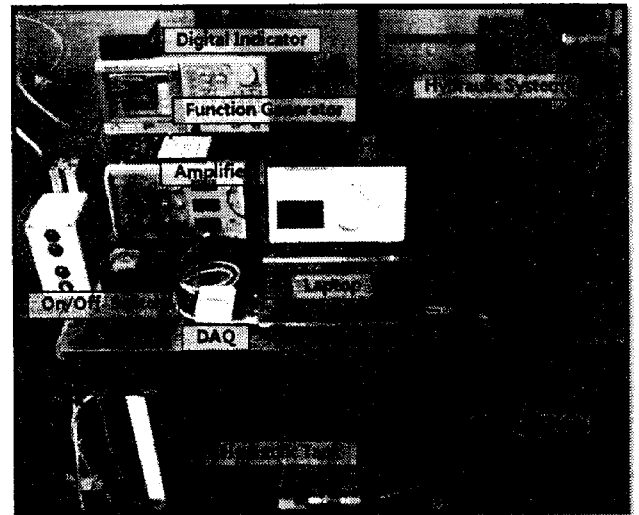


Fig. 4 The desktop micro forming system

DAQ보드에 전달, DAQ보드는 정해진 하중의 초과 여부를 판단하여 솔레노이드밸브를 제어하게 된다. 유압 프레스에 의한 인가 하중의 제어 후, 아래 사진 Fig. 4에 보이는 바와 같이 함수발생기 (AFG3021)와 전압증폭기(svr1000-3)를 사용하여 데스크탑 마이크로 성형 시스템 내부의 PZT 가진 파트에 인가되는 전압 및 주파수를 조절함으로써 저주파 가진 마이크로 성형을 수행하게 된다.

3. 실험 방법 및 결과

3.1 실험 방법

저주파 가진 마이크로 성형의 특성을 파악하기 위해 Fig. 5에 나타낸 것과 같이 황동 소재의 시편과 금형부를 이용하여 가진과 비가진 성형 시의 특성을 파악하였다. 가진 성형에 있어서는, 가

진 주파수 및 가진 시기의 변화에 따른 성형된 패턴의 프로파일, 모서리, 단면 및 성형 표면 등의 측정 범위에 따라 가진 성형의 특성을 분석하였다. 가진 성형 공정시, PZT의 입력 전압을 400V로 동일하게 고정하였으며, 이때 PZT는 약 13 μ m의 변위로 가진을 수행하게 된다. PZT는 자체 커패시턴스로 인해 동적 거동 특성이 전압 증폭기의 출력에 크게 의존하게 되며, 이로 인해 PZT의 출력 및 변위가 증가할수록 동적특성은 저하된다. 성형용 금형부를 사용하여 장비되어 있는 PZT의 최대 허용하중인 약 100kgf의 성형하중이 가중되는 시점까지 성형공정을 수행하는 공정조건을 적용하였다. 또한 저주파 가진 마이크로 성형의 기본 개념은 미소 깊이의 성형 특성을 향상시키기 위한 것이므로 기존 500 μ m 높이의 금형에서 나타나지 않은 마이크로 성형 특성을 분석하기 위하여 Fig. 6과 같이 크기 및 높이가 대폭 감소된 패턴을 제작하여 실험을 수행하였다.

3.2 실험 결과

저주파 가진 마이크로 성형에 의해 얻어진 패턴은 초음파 가진 성형에 비해 파일업 현상 등의 문제점이 없을 뿐만 아니라 열에 의한 산화 흔적도 발생하지 않음을 확인할 수 있었다.

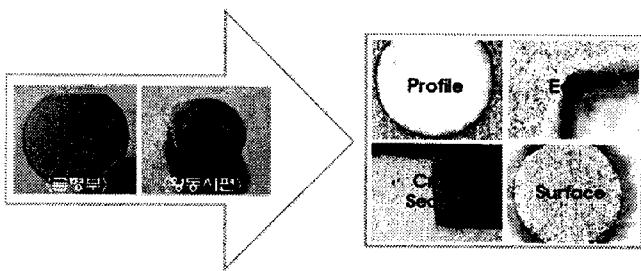


Fig. 5 The measuring range of formed patterns

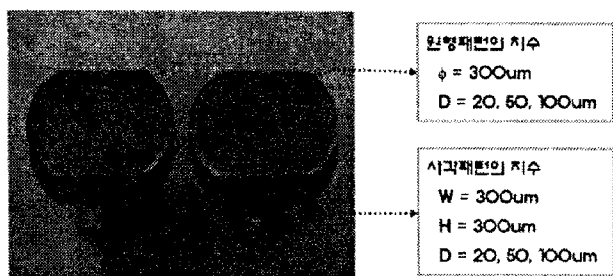


Fig. 6 2nd shape of the mold patterns

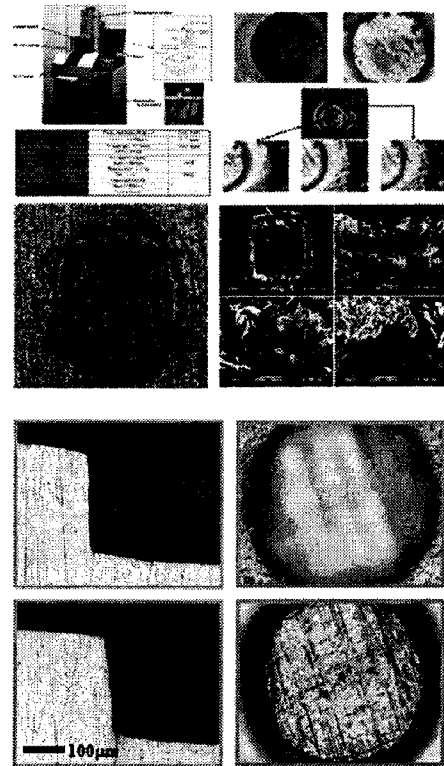


Fig. 7 Comparison of the shape of the pattern according to ultrasonic and Low frequency forming

따라서, 가진 성형에 있어, 초음파 가진 성형 특성보다는 저주파 가진 마이크로 성형 특성이 우수함을 확인할 수 있었다 (Fig. 7). 또한 형상정밀도에 있어서도 향상된 특성을 확인할 수 있었다. 이를 바탕으로 성형 조건 변화에 따른 저주파 가진 성형의 특성을 파악하였다. 비 가진시 마이크로 패턴을 성형한 경우와 가진 주파수에 따라 마이크로 패턴을 성형한 후, 각각의 패턴에 대해 관찰하였다. 비 가진 경우의 원형 마이크로 패턴과 사각마이크로 패턴, 그리고 그 외 110~500Hz 이상의 주파수로 가진한 패턴의 모습을 광학 현미경으로 촬영하여 다음과 같은 결과를 관찰할 수 있었다. Fig. 8은 비 가진의 경우와 110Hz에서의 성형 패턴의 결과를 나타낸 것이며, fig. 9는 각 가진 주파수별 가진 성형 패턴의 모습을 나타낸 사진이다. 분석 결과, fig. 8에 보이는 바와 같이 비 가진의 경우보다 가진 성형 공정의 경우가 좀 더 정밀한 성형이 가능하였다, 성형 공정 후 생기는 버(Burr)등의 결함이 약간 줄어든 것을 확인할 수 있었으며, Fig. 9에서는 주파수 변화와 상관없이 모두 형상 정밀도가 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

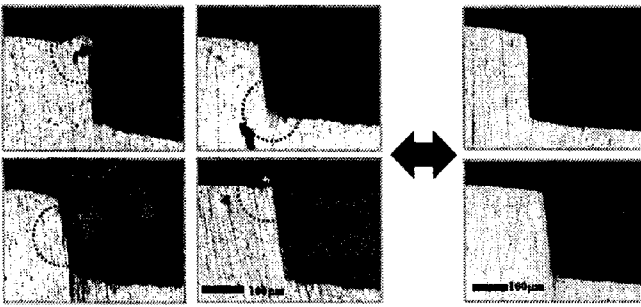


Fig. 8 Comparison of sectional form at non-vibration and vibration frequency(110Hz) forming process

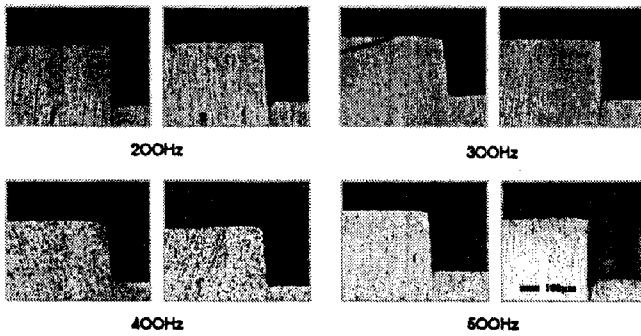


Fig. 9 Comparison of the sectional form according to varying the vibration frequency (110Hz~500Hz)

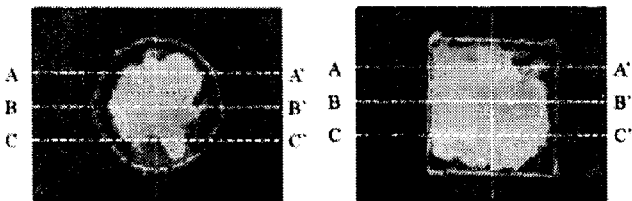
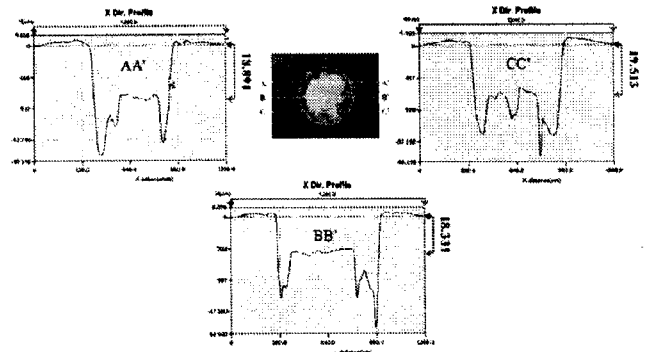
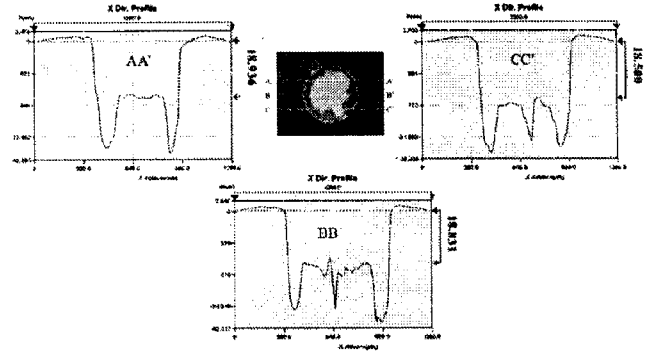


Fig. 10 The profile measuring line

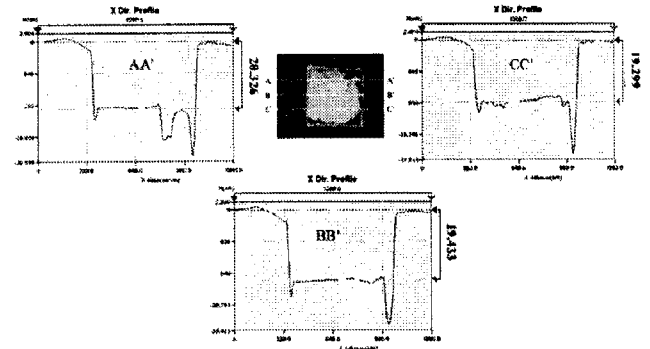
다음으로 2차 제작된 20 μ m 높이의 금형부로 성형 공정을 수행하고 3차원 표면 형상 광학현미경으로 촬영하여, Fig. 10과 같이 측정 라인을 설정하였다. Fig. 11은 가진 및 비 가진에 따른 Z축 방향의 성형성을 측정하기 위한 AA', BB', CC' 라인을 따라 프로파일을 측정한 결과 및 성형된 평균 깊이를 보여주고 있다. (a),(b)의 경우, 마이크로 성형 공정시 가진의 유무와 상관없이 거의 동일한 깊이로 성형되고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 (c),(d)의 경우에는 가진 성형 공정 시 더 우수한 깊이 성형성을 보여주었다. 이러한 측정 결과를 토대로, 마이크로 성형 공정에 있어 저주파 가진은 형상 정밀도 향상 및 Z축 방향의 성형성을 향상시키는 특성을 가지고 있음을 확인하였다.



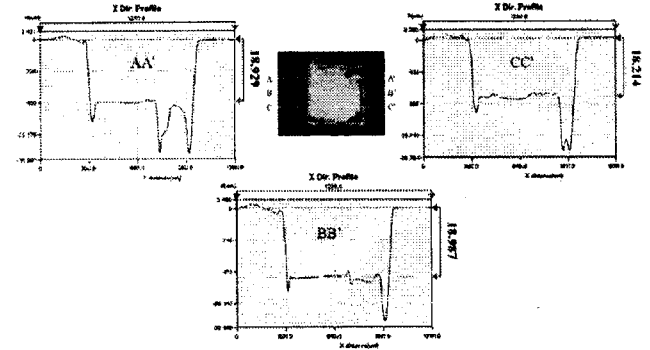
(a) Circle pattern at the vibration forming



(b) Circle pattern at the non vibration forming



(c) Square pattern at the vibration forming



(d) Square pattern at the non vibration forming

Fig. 11 The measuring Results of the non vibration & vibration forming process

4. 결 론

본 논문에서는 초음파 가진 성형의 경우, 재료의 성형에 따른 높은 열로 인하여 산화에 의해 표면 손상이 발생하고 가공의 효율성이 저하된다는 문제점을 해결하기 위해 저주파 가진 마이크로 성형 시스템을 소개 하였다. 이러한 가진 성형을 위한 성형 시스템 제작하고 가진 성형의 특성을 평가하기 위해 여러 구동 조건 및 금형 형상에 따른 가진 성형 실험을 수행하였다. 그 결과, 마이크로 성형 공정에서 저주파 가지는 형상 정밀도 향상 및 Z축 방향의 성형성을 향상시키는 특성을 나타냈으며, 특히 금형부 패턴의 높이가 낮을수록 더 큰 효과를 구현할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 추후 성형을 수행할 재료의 변경 및 다양한 패턴을 통한 성형 평가를 통해 저주파 가진 마이크로 성형의 유용성을 검증할 연구들이 진행되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발사업 중 “차세대 마이크로 팩토리 시스템 기술 개발 사업”의 세부과제로서 수행 중이며 이에 관계자 여러분들에게 감사의 마음을 올립니다. 또한 이 연구에 참여한 연구자는 ‘2단계 BK21 사업’의 지원을 받습니다.

참 고 문 헌

- [1] Hye-Jin Lee, Jong-Pil Choi, Byoung-Hee Kim, Seong-Ouk Kim, Jun-Hee Shin, Eun-Duk Joo, Nak-Kyu Lee, 2008, "Research on the Micro Pattern Forming on the Metal Substrate Using An Ultrasonic Forming Process", Proceedings of the KSMTE Autumn Conference, pp. 111~115
- [2] Hye-Jin Lee, Seong-Ouk Kim, Tae-Joo Kim, Jun-Hee Shin, Eun-Duk Joo, Nak-Kyu Lee, 2008, "Desktop Micro Forming System for Micro Pattern Compressive Forming on the Metal Substrate", Proceedings of the KSMTE Spring Conference, pp. 19~23
- [3] Yong Hong, Hyun-Sik kim, Yu-Gon Ko, Dong-Pyo Hong, Seong-Ouk Kim, 2008, "The Developments of a Gear System for the Micro-Press Actuation" Proceedings of the KSMTE Spring Conference, pp. 3~8