

초음파 진동을 이용한 금형사상의 자동화
공정 연구

선문대학교 기계 및 제어학부*,
대진대학교 기계설계공학과**,
(주) 디자인메카 기술연구원***

편영식*, 권혁홍**, 아즈마 노부히데***

초음파 진동을 이용한 금형사상의 자동화 공정 연구

편영식[†] · 권혁홍* · 아즈마 노부히데**

A study on automated process for surface finishing of die and mould using ultrasonic vibration

Y.S. Pyoug[†], H.H. Kwon*, and N. Azuma**

Key Words: Ultrasonic(초음파), Burnishing(버니싱), Mould(금형)

Abstract

An attempt to automate the surface finishing process of the die and mould has been carried out. An UMB(Ultrasonic Micro Burnishing) equipment, which brought the micro plastic cold deformation to the 3D sculptured surface of mold and dies by ultrasonic vibration and static load, was developed and installed at the head stock of a vertical machining center. To be satisfied with the required surface roughness and hardness, the DB based program was also developed and applied. This equipment composes of UMB equipment, CNC vertical machining center, CAD/CAM system and the DB based program for optimal condition. UMB processing effect was obtained from initial value Ra1.25 and Hk337 to Ra0.085 and Hk521 and similar result was shown in industrial mould application.

1. 서 론

금형의 표면 사상공정은 자동화하기가 어려운 공정으로 알려져 있다. 이를 위해선 시간, 자본 및 숙련된 수작업이 요구되는 공정이다. 이러한 사항을 개선하기 위해 대학 및 연구기관에서는 많은 연구가 되어 왔다⁽¹⁻⁴⁾.

현재 초음파 미세 진동을 이용한 마이크로 버니싱 시스템이 개발되어 turning 공정 및 milling 공정에 적용되고 있다. 특히 금형 사상작업의 자동화를 위해서 적용시험에 관한 연구⁽⁵⁾가 있었고 특허등록도 되어 있다⁽⁶⁾.

본 연구의 목적은 수직형 마시닝센터 장착 가능하여 실제 산업계에 적용이 가능한 초음파 마이크로 버니싱장치의 개발에 있다.

2. 설비 장비의 구축

2.1 자동화 시스템의 개발

Figure.1에 자동화 시스템을 위한 개략도를 나타내었다. 이 초음파 마이크로 버니싱장치는 수직형머시닝센터의 스피들 부분에 쉽게 장착할 수 있도록 설계되었으며, 장치를 더욱 소형화시켜 마시닝센터의 마가징랙에 들어갈 수 있도록 할 예정이다.

[†] 선문대학교 기계 및 제어학부

E-mail : pyoun@sunmoon.ac.kr

TEL : (041)544-6220(200) FAX : (041)530-2307

* 대전대학교 기계설계공학과

** (주)디자인메카 기술연구원

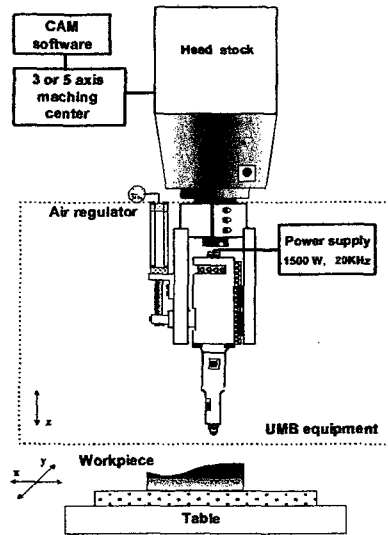


Figure. 1: Schematic diagram of UMB

이 시스템의 장점은 표면 milling 과 같은 모델링 데이터를 유효하게 사용할 수 있는 CAD/CAM 소프트웨어를 그대로 사용할 수 있는 점에 있다. 따라서 공구길이, 볼 반지름, NC데이터를 위한 최소한의 수정만을 필요로 한다.

볼에 초음파 진동을 전달하기 위해 초음파발전기, 진동자, 혼을 적용했다. 초음파의 입력 파워는 1500W로 설정하고, 초음파의 최대진폭이 무부하시 25 μ m까지 나올 수 있도록 설계되었다. 혼과 부스터는 오실로스코프와 주파수 발생기로 공진주파수가 설정값과 일치하도록 설계, 제작되었다. 가공중에 부하변동에 따른 혼 부스터등의 발열을 방지하기 위해 공압장치에서 압축공기를 불어넣는 강제공냉방식으로 제작하였다. 가공에 사용되는 볼은 가공조건을 고려해서 선택하였다. 정적압력과 전체압력은 항상 적절한 값에 설정되며 압력은 air cylinder에서 발생하는 공압을 이용했다. 전체압력은 초음파 진동으로 인한 동적압력과 장치의 무게가 포함된 정적압력을 합한 값이 된다. 정적압력 값은 장치에 부착된 gage에서 항상 확인이 가능하고, 설정된 압력을 유지하기 위해 regulator를 부착했다.

2.2 실험장치 설치

가공대상물은 정밀 금형을 소재로 사용되고 있는 HP4A 소재를 사용했다. Table1은 소재의 화학적 조성을 보였다. Table2는 최적조건을 얻기 위한 소재의 초기 표면거칠기 및 표면경도 값들을 보였다.

Table 1: HP4A composing list

Hp4A	Chemical Composing (wt, %)					
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mb
	0.36~	0.15~	0.85~	Max	0.9~	0.25~
	0.4	0.35	0.95	0.5	1.10	0.35

볼 반지름은 6.35mm이고 세라믹팁(Si₃N₄)을 사용하여 가공했다. 3.4절에서 실험된 최적인자들을 사용해서 fccd의 최대값은 수직머시닝센터의 어전상 3.0m/min로 설정하였다. 최적 path interval은 찾기 위한 시작 값은 최대 높이와 path interval로 구할 수 있는 공식(1)을 사용하여 계산하였으며 path interval은 0.005mm를 시작으로 0.12mm를 상한으로 하였다. 이들의 인자들은 표-2에 보였다.

$$l = 2\sqrt{h(2R - h)} \quad (1)$$

l : path interval, h : cusp높이, R :curvature반지름

Table 2: Initial data

인자	데이터
Path interval (mm)	0.005~0.12
팁 소재	Si ₃ N ₄
팁 반지름 (mm)	0.35
가공대상물 소재	HP4A
가공대상물 형상 (mm)	R29.15
초기 표면거칠기 (μ m)	Ra 1.25
초기 표면경도 (kg/mm ²)	Hk 337

3. 실험과 고찰

3.1 하중특성

초음파 발전장치를 고려할 때 정적압력의 값에 따른 초음파 진동의 진폭, 전체압력에 상관관계를 파악하는 것이 중요하다⁽⁸⁾. 먼저 하중과 가공 후의 금형 표면의 특성변화를 관찰하기 위해 최대진폭을 25 μm , 정적압력을 41.37kPa로 설정하였다.

초음파 진동으로 인한 동적압력을 고려할 때 전체압력은 초음파 진동특성을 관찰할 수 있다. 이 특성을 관찰하기 위해 로드셀과 오실로스코프로 구성된 실험장치를 제작하여 전체압력을 측정하였다. 이 Figure.2는 정적압력에 따른 전체압력의 특성을 보여주고 있다. 정적압력이 증가하면 어떤 정적압력 값부터 전체압력 증가율은 둔화된다. 또 진폭이 일정할 때 정적압력이 증가하면 동적압력은 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 정적압력의 값이 너무 크면 초음파 진동에너지에 손실이 발생하여 에너지가 전달되지 않는 것을 알 수 있다. 단 진폭의 측정은 Polytec사 OFV-2200H를 사용하였다.

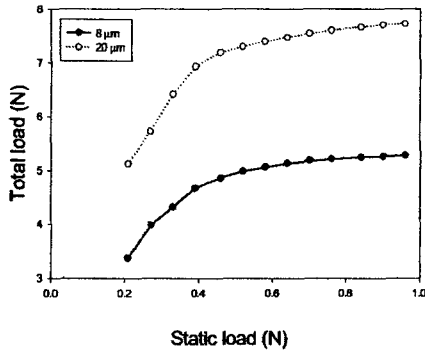


Figure. 2: Total load property

3.2 표면거칠기

path interval에 따른 표면거칠기의 변화를 Figure.3에 보여준다. 이 표면거칠기는 path interval을 줄이면 cusp높이가 감소해서 표면거칠

기가 개선되는 것을 알 수 있다.

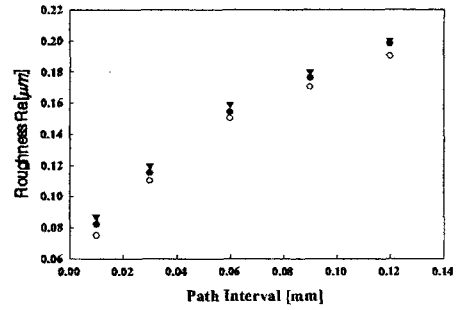


Figure. 3: Effect of path interval on surface roughness

진폭의 변화에 따른 표면거칠기의 결과를 Figure.4에 보였다. 표면거칠기는 진폭이 증가해서 13 μm 까지 개선되어 그 값을 넘어가면 소성변형이 커져서 변형된 값이 cusp높이를 넘어가서 결과적으로 표면거칠기의 값은 나빠진다.

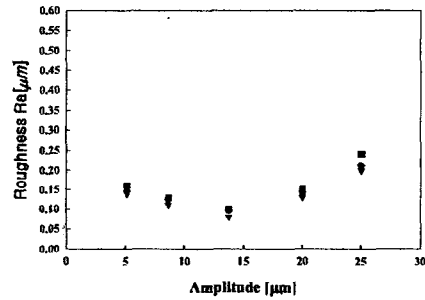


Figure. 4: Effect of amplitude on surface roughness

표면거칠기는 Mitutoyo Sv-624를 사용해서 측정되었으며 Figure.5에 feed rate에 따른 표면거칠기의 값을 보였다. 그 영향은 feed rate가 3m/min까지 거의 차이가 관찰되지 않았다.

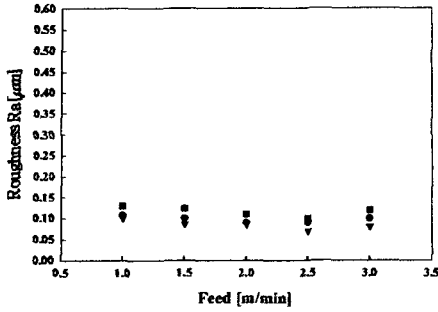


Figure. 5: Effect of feed speed on surface roughness

3.3 표면경도

Figure.6은 path interval 변화에 따른 표면층 깊이에 따른 경도값을 보였다. 이 결과 경도는 path interval이 0.01mm 일때 제일 높은 값을 갖었다. 난위 면적에 가장 많은 충격을 인가했기 때문에 경도 값도 제일 높은 것으로 사료된다.

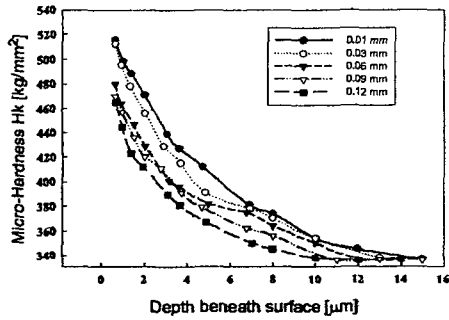


Figure. 6: Effect of path interval on surface hardness

Figure.7은 진폭의 변화에 따라 표면경도가 개선됨을 보인다.

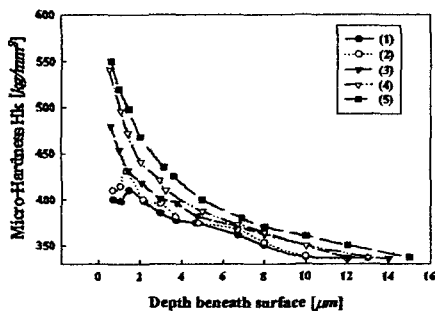


Figure. 7: Effect of amplitude on surface hardness

Figure.8은 feed, speed의 영향에 있어 3m/min 까지 고려할 필요가 없는 것을 보여준다. 단 측정 값은 3번 측정하여 평균값을 구한 것이다. 표면경도의 측정은 Akashi사의 Hv-1000을 사용하였다.

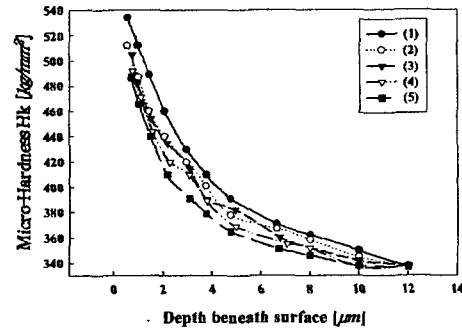
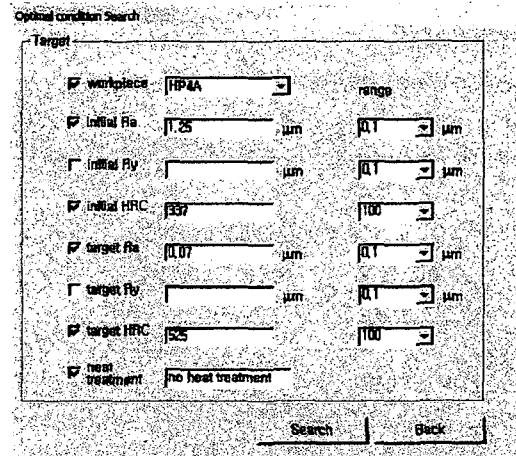


Figure. 8: Effect of feed speed on surface hardness

3.4 데이터 베이스 프로그램

데이터 베이스는 다양한 조건하에서 의 실험 결과를 입력하므로써 구축되었다. 초음파 마이크로 버니싱 공정에서 최적 조건 값을 추천하기 위해 이 데이터 베이스 및 분석된 공식을 윈도우즈 프로그램화하였다. Figure.9는 입력과 출력 GUI를 보여주고 있다. 이 입력 인자는 Table.3에서 주어지고 이 프로그램에서, 추천된 출력인자가 Table.4에서 보여준다.



Search Result

Exp. No.	Fst	Amp.	Feed	Path interval
24-5	41.37	20	3	0.03

Figure. 9: Input and output GUI of program

프로그램이 추천한 인자들을 사용하여 시험편은 가공되었고 표면거칠기 및 표면경도가 측정되었다. 그 결과는 Table.5에서 보였다. 계산되어진 표면거칠기 및 표면경도 결과값은 실험값과 잘 일치되었다.

Table 3: Input and target data

인자	데이터
Path interval (mm)	0.005~0.12
팁 소재	Si ₃ N ₄
팁 반지름 (mm)	0.35
가공대상물 소재	HP4A
가공대상물 형상 (mm)	R29.15
초기 표면거칠기 (μm)	Ra 1.25
초기 표면경도 (kg/mm ²)	Hk 337
목표	데이터
목표 표면거칠기 (μm)	Ra 0.08
목표 표면경도 (kg/mm ²)	Hk 525

Table 4: Output data for optimal condition

인자	데이터
Path interval (mm)	0.03
진폭 (μm)	20
Static load (kPa)	41.37
Feed speed (m/min)	3

Table 5: Test result by the calculated processing condition

인자	데이터
표면거칠기 (μm)	0.085
표면경도 (kg/mm ²)	Hk521

3.5 마모실험

초음파 마이크로 버니싱 가공후 물성개선 효과 중의 하나가 내구성의 증가이고 마모실험을 통하여 이를 증명하였다.

3.5.1 마모실험 조건

이들의 시험 편은 pint tribometer를 사용하여 마모실험을 하였다. 시험편의 상태 및 실험조건은 각각 Table6, Table7에 보였다.

Table 6: Test sample

마모실험을 위한 주인자			
Number	1	2	3
가공방법	Initial	Lapping	UMB
표면거칠기 (μm)	1.25	0.052	0.085
표면경도 (kg/mm ²)	337	337	521

Table 7: Wear test condition

마모 실험 결과			
하중		Ball size	Test time
1.5N	3N	10mm	30min

3.5.2 결과

Table8에는 마모 시험용에 사용되는 하중을 1.5N, 3N로 하여 하중에 따른 마모량을 비교할 수 있도록 하였다. 결과에서 보여주는 상대적인 마모량은 초기상태, 랩핑된 표면 이어서 초음파

마이크로 버니싱가공된 표면의 순으로 적은 것을 보인다.

Table 8: Wear amount

표면상태	하중 (1.5N)	(3N)
Initial	34	39
Lapping	22	26
UMB	2	6

Figure.10, Figure.11 및 Figure.12는 마모시험이 10분 경과할 때까지 초음파 마이크로 버니싱가공된 표면이 마찰계수가 제일 낮은 것을 보여준다.

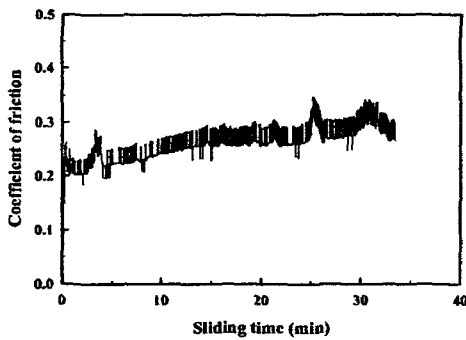


Figure. 10: Initial surface

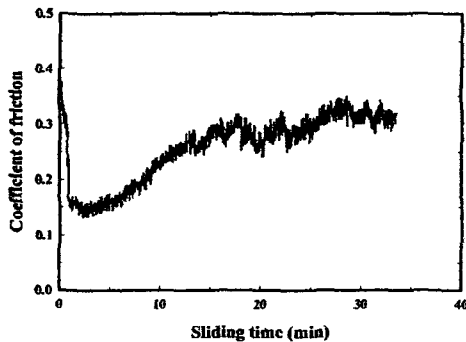


Figure. 11: Lapping

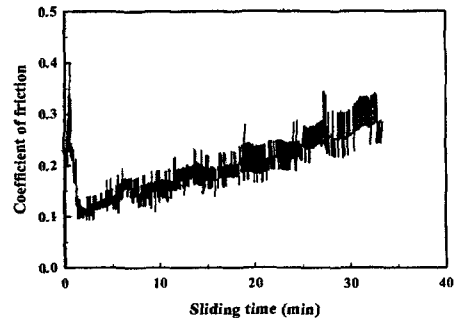


Figure. 12: Ultrasonic micro burnishing

3.6 산업용 금형에의 적용

Figure.13은 초음파 마이크로 버니싱된 샘플 금형이다. 이 초음파 마이크로 버니싱가공후 표면부위의 치수차이가 최대 $5\mu\text{m}$ 정도였다. 초음파 마이크로 버니싱가공후 표면의 치수정밀도가 개선되었다고 기대된다. 이 샘플은 소재가 Table4에 보여준 가공인자와 같은 소재를 사용하였기 때문에 이 금형에서도 같은 조건을 적용되었다. Table5에서 보여준 것처럼 얻어진 표면경도 및 표면거칠기의 값은 거의 차이가 없었다.



Figure. 13: An industrial mould after UMB treatment

4. 결론

- 1) 혼, 부스티, 팀 및 부착장치로 구성된 초음파 마이크로 버니싱 장치는 개발되어 수직형 마시닝센터에 장착되었다. NC데이터는 밀링용으로 사용되어 있는 CAD/CAM시스템과 같은 것을 실제 적용하였다.

- 2) 데이터베이스 프로그램은 최적인자를 작업자에 알려주기 위해 개발되어 있다. 입력인자는 소재, 초기 표면거칠기, 초기 표면경도, 목표 표면거칠기 및 표면경도이고 출력인자들은 정적압력, 진폭, path interval, feed다.
- 3) 실험용 시험편과 실제 산업용으로 사용되고 있는 2가지의 금형 샘플을 추천된 최적 조건 하에서 적용 가공하여 목표한 결과를 얻었다.
- 4) 초음파 마이크로 버니싱 시스템은 표면거칠기를 초기값 Ra1.25에서 가공후 값 Ra0.085로 표면경도를 초기값 Hk337에서 가공후 값 Hk521로 개선시켰다. 마모시험에서는 초음파 마이크로 버니싱 가공으로 금형의 내구성은 향상되었다.

참고문헌

- (1) Ohmori, H, Takahashi, I, Nakamura, T, 1991, Mirror Surface Grinding by Metal bonded Super-abrasive Wheel with Electrolytic in-process Dressing, Progress in Precision Engineering, IPES6/UME2:152-165
- (2) Lee, D.C., Jeong, H.D., Ahn J.H., Miyoshi, T, 1997, Development of Expert System for optimal Condition of Automatic Die Polishing", KSPE, 14/10:58-67
- (3) Watanabe, K, 2000, Dies & Molds Manufactured by High Speed Die Sinking without Polishing, JSAT, 44/6:258-263
- (4) Suzuki, M., Ichiyasu, S., Kirii, K., Sunahara, S., 1992, Development of Die finishing robotics system controlled by CAD/CAM System, JSPE, 58/8:1309-1214
- (5) Pyoun, Y.S., Han, C.H., Azuma, N, 2001, A development of an automated super surface finishing system for the 3D sculptured surface of mold and dies using ultrasonic micro burnishing technology, Proceeding of the 32nd ISR,
- (6) Pyoun, Y.S., 2001, A micro burnishing apparatus using ultrasonic vibration, Patent, 0316003 in Korea, PCT/KR00/00947 in International
- (7) Choi, B.K, 1983, Calculation of Economic CL-data for sculptured surface a machining, KIIE, 9/2:26-35
- (8) Takemasu, T, Ozaki, T, Matsunaga, R, 1997, Surface finish of aluminium pipe by ironing with ultrasonic vibration, JSPE, 74/1:1007-1012