

◆특집◆ 대면적 미세형상의 초정밀 가공시스템

대면적 미세형상 초정밀 금형가공 기술

최두선*, 제태진**, 유영은**

Manufacturing Technology of Mold with Micro Pattern on Large Surface

Doo Sun Choi*, Tae Jin Je** and Yeong Eun Yoo**

Key Words : Mold(금형), Micro pattn(미세패턴), Diamond tool(다이아몬드공구), Machining Condition(가공조건)

1. 서론

첨단 핵심 산업분야에서의 기술개발력 확보와 관련 신제품의 조기 실용화를 통한 경쟁력 확보는 대량 생산 기술 기반이 없이는 불가능하며 IT 산업과 같은 첨단 핵심 산업에서 제품은 고성능 및 고기능화를 통한 고부가가치화를 위해 대면적화, 구조의 미세화 및 고정밀화의 경향을 보이고 있다. 이와 더불어 많은 광응용 제품이 좋은 광학적인 특성을 필요로 하거나 이용하고 있어 유리나 플라스틱 소재 적용에 대한 요구가 커지고 있다. 이 중 특히 플라스틱 소재의 경우 대량 생산에 매우 적합하고 경량화에 유리하여 플라스틱 소재를 적용한 제품이나 공정이 크게 증가하고 있으며, 이는 첨단 플라스틱 소재의 지속적인 개발과 병행하여 향후 그 적용 범위의 확대가 가속화 될 것으로 판단된다. 이러한 플라스틱 소재를 적용한 제품의 생산의 대표적인 공정인 사출 성형 및 성형을 위한 금형 제작은 기존의 제품 생산에서도 대표적인 공정 중의 하나이나, 정밀 금형 및 사출 성형 기술은 많은

부분은 기술선진국에 의존하고 있는 실정이다. 더 나아가서 수십 마이크로급의 미세 패턴이 표면에 다량으로 형성되어 있는 대면적 제품을 성형하기 위한 금형 기술이나 성형 기술은 세계적으로도 그 기술의 정립도가 매우 낮아 첨단 고기능 제품의 설계 및 생산에 큰 제약 요인이 되고 있어, 이에 대한 핵심 기술의 확보가 매우 시급한 실정이다.

이와 같은 대면적 미세 정밀 금형가공 및 성형 기술은 차세대 고기능 LCD 도광판, 초경량 디스플레이, 플렉시블 디스플레이 등의 신제품 개발이 진행되고 있는 첨단 IT 산업에서의 수요가 클 것으로 예상되며, 이외에도 향후 BT 나 NT 분야에서의 수요가 증대될 것으로 판단된다. 특히 LCD 디스플레이 세계시장에서 확고하게 세계 1 위를 유지하고 국제적인 경쟁력을 갖는 IT 산업에서의 차별화되고 확고한 경쟁력을 갖추기 위해서는 대면적 미세형상 금형가공 및 성형의 핵심 기술을 개발하여 첨단 신제품의 조기 실용화 및 정밀도 향상과 생산성 증대를 통한 품질 및 가격 경쟁력을 확보하는 것이 반드시 필요하다.

대면적 초미세 금형을 제작하기 위한 방법은 기존의 포토리소그래피와 에칭공정을 기반으로 한 MEMS 기술과 X-선을 이용한 LIGA 프로세스등 고에너지 빔과 광원을 이용한 제조방법과 PDMS 를 이용한 금형 복제기술등 다양한 제조공정이 연구되어 지고 있다. 이러한 제조방법은 별도의 초정밀 마스크를 만들고 노광,

* 한국기계연구원 나노공정장비센터

Tel. 042-868-7124 Fax. 042-868-7149

Email choids@kimm.re.kr

마이크로 및 나노 패턴제품을 중심으로 나노급 초정밀 금형가공 및 성형분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

** 한국기계연구원 나노공정장비센터

에칭 및 전주공정을 거치는 등 매우 복잡한 공정으로 만들어 지며 또한 고가의 설비와 복잡한 공정으로 인해 대면적에 실용적인 마이크로 패턴의 금형을 제조하는데 많은 문제점이 있다. 최근에 개발된 초정밀 미세기계가공기술은 이러한 마이크로 형상 금형의 가공에 매우 효율적인 방법으로 뛰어난 표면품질 및 사프한 엿지 가공등 기존의 에너지 빔 가공법에 비해 월등한 장점을 가지고 있다. 또한 간단한 제조설비와 공정 및 가공시간의 단축으로 제조비용이 크게 절감되는 이점을 가지고 있다.

2. 대면적 미세형상 가공방법 및 시스템

한국기계연구원이 개발한 초정밀 미세 기계가공시스템의 모습과 실험장치의 개략도를 Fig. 1 에 나타내었다. 시스템의 주요 구성은 X-Y-Z 등 3 축으로 X-Y 축은 Air bearing 구동으로 최대 250mmX250mm 의 가공면적과 최고 2nm 오더의 정밀도를 가지며, Z 축은 리니어 모터로 최고 40nm 의 정밀도를 가지고 있다. 시스템 제어는 PC 기반의 Turbo PMAC board 를 사용하고 있으며 공작물 밑에는 0.002N 의 미세 절삭력을 측정할 수 있는 공구동력계(Kistler, MiniDyn 9256A2)를 설치하였다. 초정밀 미세 기계가공 시스템에서는 Fig. 2 에서와 같이 선삭가공인 세이핑공정과 에어스핀에 회전공구를 장착한 엔드밀링공정, 플라이커팅공정 그리고 터닝공정을 복합적으로 수행 할 수 있도록 설계 제작 하였으며 가공에 사용된 단결정 천연 다이아몬드 공구를 보여주고 있다.

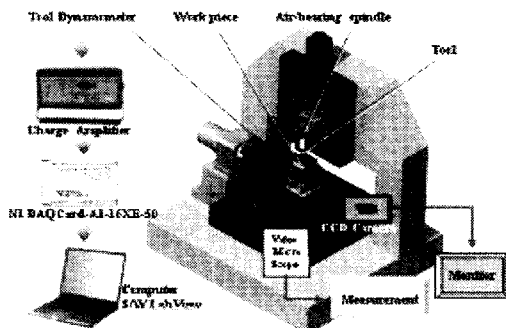


Fig. 1 Schematic of Micro machining system

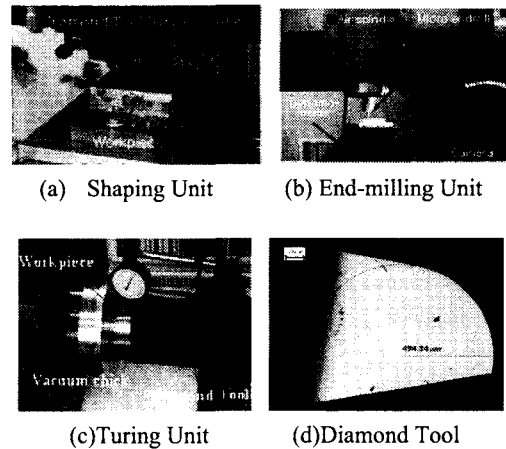


Fig. 2 Micro Machining Processes & Tools

대면적 미세금형 가공방법으로 선삭가공인 세이핑공정은 단결정 천연 다이아몬드공구를 Z 축의 고정장치에 고정시키고 상하 마이크로 및 나노급으로 절입 깊이를 제어하여 원하는 그루브 가공 깊이를 설정하며, Y 축에서는 이송 속도를 제어하고, X 축에서는 Pitch 를 제어하는 가공으로 이러한 과정을 반복하여 V, U-type 미세 그루버 금형을 가공할 수 있다. Fig. 3 에 세이핑 공정으로 소면적인 50mmX50mm 의 황동과 무전해 니켈소재에 단결정 천연 다이아몬드 공구를 사용하여 그루버 형태의 V, U-type 미세패턴을 가공하였다. 가공실험을 통하여 공구와 공구인선, 절삭칩 형태 및 절삭력등의 가공문제를 분석하여 고품위의 미세패턴 금형가공기술을 확보 하였다. 이러한 가공된 초정밀 미세 그루버 금형은 소형 모바일폰의 고휘도 BLU 모듈과 3 차원 입체 디스플레이를 구현하기 위한 렌티큘러 렌즈를 대량으로 제작하기 위한 사출성형 몰드코어로 사용되고 있다.

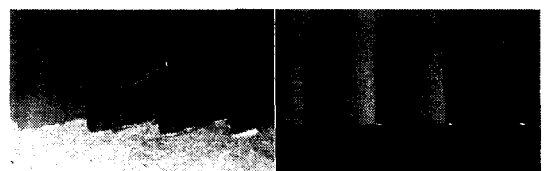


Fig. 3 Machining results V, U-type groove pattern mold

또한 Fig. 4 에는 회전공구를 이용한 미세패턴 가공한 결과를 보여 주고 있다. Z 축에 장착된 에어스핀들에 외날 반구 다이아몬드 공구를 장착하여 엔드밀링 공정으로 직경 180 μm 다이아몬드 공구를 이용하여 50mmX50mm 크기의 PMMA 소재 위에 회전속도 60,000rpm, 절입깊이 25 μm 로 마이크로 렌즈 어레이 패턴을 제작하였다.

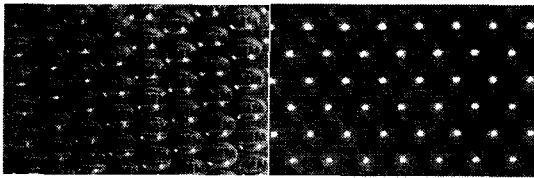


Fig. 4 Micro Lens Array Pattern using on PMMA

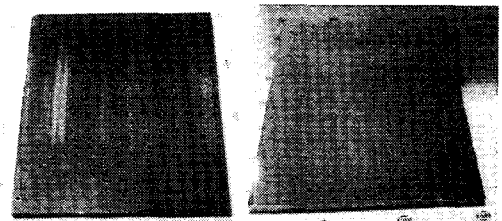
3. 대면적 미세패턴 금형가공 실험

본 연구에서는 대면적 미세 패턴 가공에서의 문제점 분석을 위한 기초 연구로서 세이핑 가공 방식으로 R 공구를 이용한 평면 가공 실험을 수행하고 절삭유 공급 상태에 따른 영향, 장시간 가공에서 가공시간대별 가공표면의 품질 변화를 관찰하였다. 실험에 사용된 소재는 174X144 cm^2 단면적의 황동소재이며, 공구는 반경 R2.0 mm 천연 다이아몬드 공구를 사용하였으며, 가공 조건으로는 1 행정당 절입 5 $\mu\text{m}/\text{pass}$, 피치 40 μm , 절삭속도 1,200 mm/min 를 적용하였다.

가공결과 절삭유 미량 공급시 평탄 금형 전체에 많은 스크래치가 발생하였으며 가장 자리에는 불규칙한 가공 흔적을 발견할 수 있었다. 이러한 불규칙한 가공 흔적은 미세 가공 시스템의 기계적 불안정과 가공환경 주위의 노이즈 영향 및 절삭유 부족에 의한 구성인선에 의해 발생된다.

Fig.5 에는 같은 조건, 절삭유 다량 공급시의 가공 시간대별 평탄 금형 사진을 나타내었다. 절삭유를 충분히 공급한 상태에서 가공된 평탄 금형은 표면 결함이 양쪽 가장자리에서만 발생, 전체적으로 양호한 가공 표면이 형성되었다. 가장자리에서의 가공결함은 평탄금형 중앙부에 폭 76mm 정도 무결점 가공이 형성되는 것과 비교하면 가공시 Z 축 시스템의 불안정과 가공 시간대 별로 달라지는 주위 환경의 노이즈 영향에

의해 발생되는 것을 알 수 있다. 따라서 대면적 평탄화 가공시에는 절삭유를 충분히 공급하여 구성인선의 발생을 억제하고 시스템의 안정화 및 주위 환경에서 발생할 수 있는 노이즈를 최대한 억제하여야 세이핑 가공으로 대면적 미세 패턴 금형 가공을 적용 할 수 있음을 보여 준다.



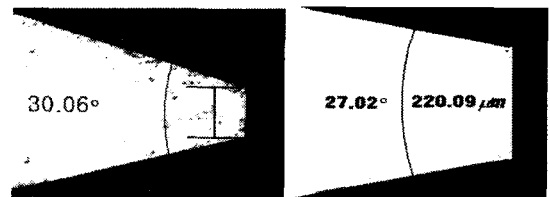
(a) Small amount oil

(b) Abundant oil

Fig.5 Machining result dependent on time with cutting oil

대면적 평탄화 가공실험에서 만들어진 평탄 금형 표면에 플랫공구를 이용한 대면적 마이크로 채널 가공실험을 수행 하였다. 본 실험에서는 공구각도 30°, 폭 27 μm 및 공구 각도 27°, 폭 220 μm 의 2 가지 공구를 이용하여 실험하였다. 절삭조건은 공구각도 30°, 폭 27 μm 다이아몬드 공구로는 무전해 니켈소재와 황동소재에 절삭깊이 2 μm , 피치 30 μm 의 마이크로 채널을 가공하였다. 또, 공구각도 27°, 폭 220 μm 다이아몬드 공구로는 황동소재에 1 행정당 절입 5 $\mu\text{m}/\text{pass}$, 1 $\mu\text{m}/\text{pass}$, 피치 350 μm 의 마이크로 채널을 174X144 cm^2 의 대면적에 가공하였다.

Fig.6 에 각각 공구각도 30°, 27° 및 폭 27 μm , 220 μm 의 단결정 천연 다이아몬드공구의 끝단 모습을 나타내고 있고 있다.



(a) W27 μm , T A 30°

(b) W220 μm , T A 27°

Fig. 6 Diamond tool

마이크로 채널 금형은 먼저 황동과 니켈 소재로 15x 15 cm²의 소면적에 대한 예비가공실험을 수행하여 절삭조건을 확립하고, 황동소재를 이용하여 대면적 마이크로채널 금형을 가공하는 순서로 진행하였다. 실험결과 Fig. 7 는 황동 및 니켈소재를 이용한 소면적 마이크로채널 금형을 제작한 표면을 광학현미경으로 촬영한 것이다. 두가지 소재로 제작된 마이크로채널 금형 모두에서 마이크로 채널 형상과 채널 깊이 및 폭 등에서 양호한 가공표면을 형성 하였다.

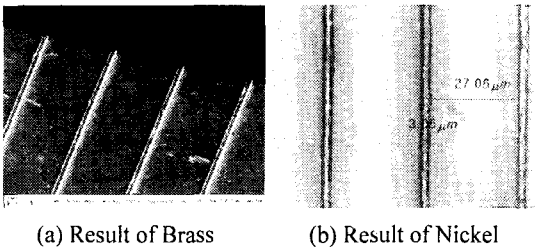


Fig.7 Machining result of 27° diamond tool

Fig. 8 은 황동 소재를 이용한 174×144 cm²의 대면적 마이크로 채널 금형을 제작한 표면을 광학현미경으로 촬영한 것이다. (a)는 행정당 5 μm/pass 가공조건에서 황동소재에 마이크로 채널을 가공한 결과로서 채널표면에 표면결함과 에지부의 버가 발생하였다. 이를 보정하기 위하여 (b)는 1 행정당 1 μm/pass 가공조건으로 보정가공한 결과로서, 마이크로채널 표면에 가공결함과 버가 거의 없는 양호한 가공표면이 형성되었다. 이 결과는 마이크로 채널 가공에서 1 행정당 절삭 깊이가 적을수록 에지부의 버가 줄어들고 가공표면 결함이 줄어든다는 것을 보여 준다. 따라서 마이크로 채널 가공에서 행정당의 절삭 깊이는 가공품질에 매우 중요한 인자로서 양호한 가공 품질을 얻기 위해서는 가능한 최종 절삭 깊이를 적게함이 요구된다. 본 실험에서는 1 μm/pass 이하의 가공조건이어야 함을 알 수 있었다.

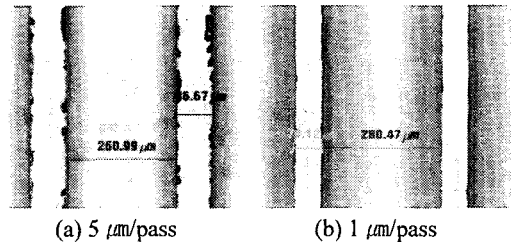


Fig.8 Machining result of 30° diamond tool

4. 결론

본 연구에서는 대면적 미세패턴 가공의 필요성 및 기술동향에 대해서 간단히 언급하고, 한국기계연구원에서 수행한 미세 패턴의 몇가지 가공방법에 대하여 예시하였다. 대면적 미세 패턴가공에서의 문제점 분석을 위한 기초연구로서 세이핑 가공방식으로 R 공구를 이용한 평면가공실험을 수행하고 절삭유 공급 상태에 따른 영향, 장시간 가공에서 가공시간대별 가공표면의 품질변화를 관찰하였다. 그 결과 고품위 표면가공을 위해서는 절삭유의 안정적이고 풍부한 공급이 요구되었다. 또한 장시간 가공시에 노이즈 또는 기계상태의 변화 등이 수반되어 균질의 표면을 얻기가 매우 어려운 것으로 나타나 이에 대한 대책이 필요한 것으로 나타났다. 미세 플랫폼 단면공구를 이용하여 마이크로 채널 가공실험을 수행하였다. 그 결과 절삭 깊이의 미세화가 가공표면의 품질향상과 에지부의 버억제에 효과적인 것으로 나타났다.

또한 대면적 미세절삭가공기술은 마이크로 부품의 대량생산을 위한 미세금형 가공기술 중에서 가장 효율적인 공정기술 인정받고 있으나 첨단 산업용 대면적 마이크로 형상 부품을 제작하기 위해서 다양한 가공공정을 수행할 수 있는 초정밀 미세 복합 가공시스템기술, 고성능의 미세가공용 공구기술, 극미세 패턴 어레이 형성 및 고충형비 구조물 가공기술, 대면적 패턴 균질화 및 고속가공기술, 3 차원 자유형상 및 복합형상의 가공기술등 지속적인 연구개발이 이루어 져야 한다.

참고문헌

1. Je, T.J., Choi, D.S., "Develop. of a Micro Machin. Tech. for Fab. of Micro parts," Key Eng. Mat., 2003.
2. Taniguchi, N., "Nanotechnology-Integrated processing System for Ultra-precision and Ultra-fine Products," Oxford Univ. Press, 1996.