

평삭에 의한 고종횡비 미세 채널 패턴 가공 연구

Micro Channel Pattern Machining with High Aspect Ratio by Planning Process

*#제태진¹, 김재구¹, 박경택¹, 이강원¹

*#T. J. Je(jtj@kimm.re.kr)¹, J.G. Kim¹, K.T. Park¹, K. W. Lee¹

¹ 한국기계연구원 나노기계연구본부

Key words : Large area mold, High aspect ratio, Micro channel pattern, Cutting depth, Machining surface, Cutting force

1. 서론

다이아몬드공구를 이용한 평삭 가공공정은 마이크로 채널 구조물 금형의 가공에 매우 유용한 방법중의 하나이다. 그러나 이러한 평삭 가공에서 고세장비 미세 피치 채널 구조물을 가공하는 것은 매우 어렵다. 그 이유는 세장비가 커지면 공구의 변형과 파손이 문제가 되기 때문이다. 따라서 공구의 변형과 파손이 일어나지 않는 범위 내에서 가공할 수 있는 최소의 채널 폭과 최대의 가공 깊이를 파악하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 미세 절삭 깊이에 따른 절삭력, 가공표면, 절삭칩의 상태 분석을 통하여 공구의 안전성을 파악하고, 이를 기반으로 적정 가공조건을 선정하여 대면적 시제품 금형가공에 적용하고자 하였다.

2. 미세 사각 채널 패턴의 평삭 가공

2.1 미세 사각 채널 패턴의 가공 문제점

Fig. 1에 셰이핑 또는 플레이닝을 이용한 평삭가공의 공정 모식도를 나타내었다. 미세 사각 채널 패턴의 가공에서 가장 문제시 되는 것은 미세한 사각 단면의 공구 제작과 공구가 파손되지 않는 안전한 가공조건 확립이다. 공구는 공구메이커와의 협의에 의해 설계 제작되므로 본 연구에서는 후자인 안전한 공구의 사용조건에 대해서만 논한다. Fig.1에서 보는것과 같이 고종횡비의 미세 채널 패턴가공을 위해서는 L/W의 비가 큰 고종횡비의 공구가 필요하다. 특히 패턴의 미세화와 고종횡비를 위해서는 더욱 미세한 공구의 제작이 필요하다. 이러한 공구로 평삭에서 미세 패턴을 가공하고자 하면 공구와 공작물간의 충격 및 절삭력에 의해 공구가 파손되기 쉽다. 이에 따라 소재에 따른 적절한 절삭깊이와 가공속도를 분석하여 공구가 파손되지 않는 안전한 가공조건 확립이 요구된다. 본 연구에서는 사다리꼴 단면형상의 미세채널을 가공하기 위한 공구를 제작하고 공구의 안전성에 가장 영향이 큰 절삭 깊이에 따른 영향을 위주로 기초적인 가공조건 확립실험을 수행하고 이를 이용하여 사출성형 실험용 대면적 금형의 패턴가공에 적용하고자 하였다.

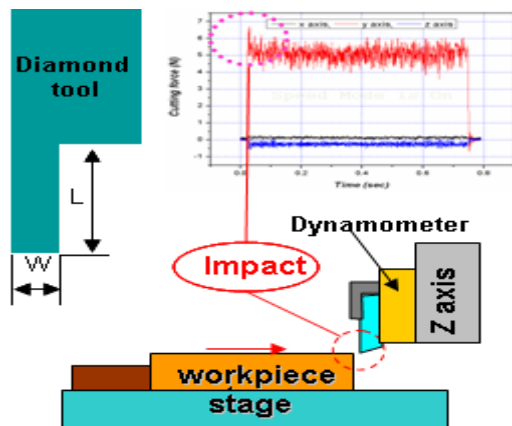
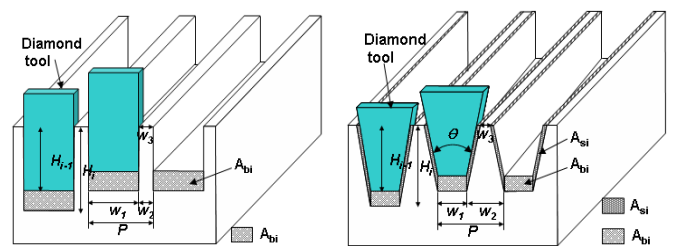


Fig. 1 Schematic of micro channel machining by shaping or planning process

2.2 가공메커니즘과 절삭력

미세 사각 채널 패턴은 단면 형상에 따라 직사각형과 사다리

형상으로 구별되며, 본 연구에서는 Fig. 1(b)와 같은 사다리형상의 패턴을 가공하기 위한 연구를 수행하였다. 직사각형과 사다리형상의 가공은 동일한 방법으로 이루어지지만, 가공 메카니즘에는 다소 차이가 있다. 직사각형 채널은 수직방향으로 절입 시에 절입량 만큼 수직방향에 있는 재료만 절삭되지만, 사다리형상은 절삭 깊이가 증가함에 따라 공구 측면에서도 절삭이 일어난다.



(a) rectangular type (b) trapezoid type

Fig. 2 Examples of micro channel pattern

이에 따라 가공 중에 발생하는 절삭력에도 차이가 있다. 직사각형 채널 패턴의 가공은 Fig.1(a)와 같이 2차원 절삭 공정으로 나타낼 수 있으며 이때 발생하는 절삭력은 식(1)로 표현된다.

$$F_c = KA \quad (1)$$

F_c : 절삭력, K : 비절삭 저항, A : 절삭 단면적

식(1)과 같이 가공 절삭력은 소재 특성 및 절삭 단면적에 따른 비절삭 저항인 상수 K 와 절삭단면적의 곱으로 표현된다. 반복 절입 방식을 이용한 사다리꼴 패턴 가공 시 i 번째 가공깊이에서의 절삭 단면적은 식(2)의 측면 가공단면적(A_{si})과 식(3)의 하부면 가공단면적(A_{bi})으로 구분된다. 결과적으로 셰이핑 가공에서의 주 절삭력은 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$A_{si} = (H_i^2 - H_{i-1}^2) \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (2)$$

$$A_{bi} = W_1(H_i - H_{i-1}) \quad (3)$$

$$\therefore F_c = K(A_{si} + A_{bi}) \quad (4)$$

3. 미세 채널 패턴의 가공 실험 및 결과

3.1 실험 장치 및 가공 방법

본 연구에서는 Fig 1에 나타낸 것과 같은 서브 마이크론의 정밀도를 가지는 초정밀 평삭가공시스템을 구성하고, Z축에 공구동력계를 장착하여 가공시 발생하는 X, Y, Z 3축의 절삭저항을 실시간으로 측정할 수 있도록 하였다. Fig. 3에는 본 연구를 위하여 설계 제작된 공구 형상 및 실험 방법을 나타내었다. 본래 설계된 공구의 폭은 80um, 형상각은 5.5°이며, 측면 여유각 1°, 전면여유각 3°이며, 재질은 단결정 천연 다이아몬드공구이다. 가공방법은 1회 절입 깊이를 5um 씩 증가시켜 가면서 절입 깊이가 증가에 따른 가공표면의 분석 및 가공 절삭력의 분석을 통하여 안전한 공구의 사용조건과 최종의 피니쉬 가공조건을 탐색코자 하였다. Table 1에는 세부적인 실험조건들을 나타내었다.

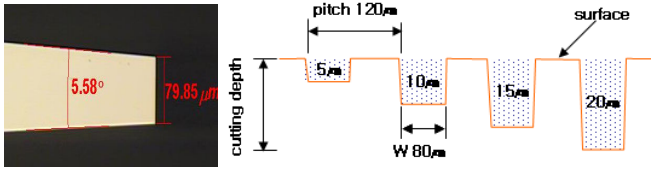


Fig. 3 Ddiamond tool and cutting method

Table 1 Experimental conditions

Item	conditions
tool	w80 μ m, θ 5.5°, single crystal diamond (SCD)
workpiece	15x15, 64 brass
pattern	channel pattern
cutting velocity	1,200 mm/min
cutting depth	5, 10, 15, 20, 25, 30 μ m

3.2 가공표면 분석

Fig. 4는 평면에서 절삭 깊이가 증가에 따른 가공면 입구부의 상태를 현미경과 SEM으로 분석한 것이다. 절삭 깊이가 10 μ m 이하에서는 에지부의 버가 적고 가공표면도 비교적 깨끗한 것을 볼 수 있다. 절입이 증가될수록 에지부에 버가 증가되는 것을 볼 수 있고, 1회 절입 20 μ m 이상에서부터는 그 경향이 두드러지는 것을 볼 수 있다. 사각 패턴 가공에서는 이러한 상면 버의 발생이 두드러지므로 황삭가공 후 최종 정삭가공에서는 버가 적은 가공 조건의 선정이 필요하다.

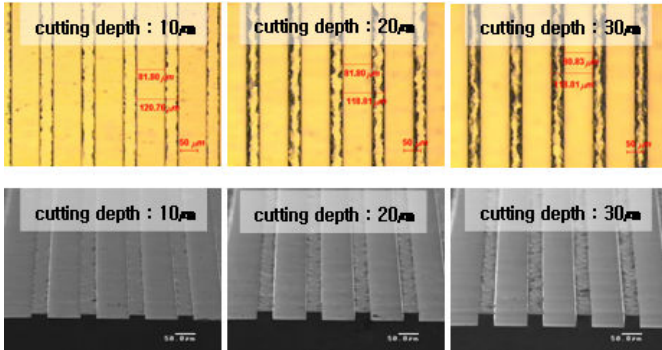


Fig. 4 Comparison of machining surface

3.3 절삭력 분석

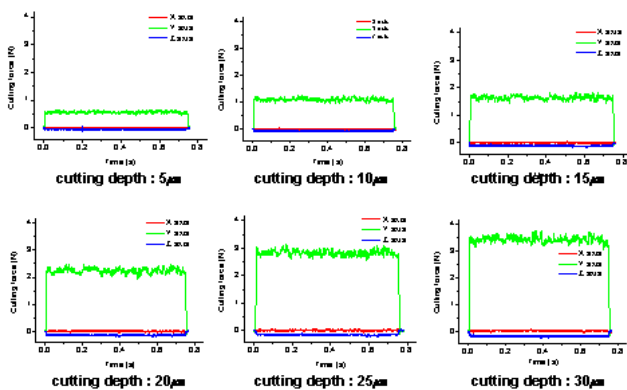


Fig. 5 Comparison of cutting force

Fig. 5는 절삭 깊이에 따른 절삭력을 나타낸 것이다. 절삭 깊이가 증가하면서 전체적인 절삭력이 증가하는 것을 볼 수 있다. 특히 절삭 깊이가 증가하면서 초기 충격치와 동적 절삭력 파형도 증가하는 것을 볼 수 있다. 절삭 깊이가 5, 10, 15, 20, 25,

30 μ m에 대해서 전체적인 절삭력은 약 0.6, 1.2, 1.8, 2.4, 2.9, 3.5N 정도로 거의 일정하게 나타나고 있다. 이 관계는 식(4)에서와 같이 비례관계에 있음을 알 수 있다. 절삭력 그래프에 내재된 동적 절삭력의 경우는 절삭력이 증가하면서 점차 불규칙하게 파형 폭이 증가하는 경향을 보이며, 절삭 깊이가 15 μ m 이상에서부터는 그 현상이 심하다. 이는 과도한 절삭저항에 의해 공구의 떨림이 발생한 것으로서 공구의 강성과 밀접한 관련이 있으며, Fig. 4의 가공면 상태와 유사한 경향을 보인다.

3.4 대면적 금형 가공 실험

Fig. 3의 공구를 가지고 가공표면상태 및 절삭력을 분석한 결과 안전한 공구의 사용을 위하여 황삭에서의 1회 절삭 깊이는 10 μ m/pass으로 결정되었고, 정삭은 5, 3, 1, 0.5 μ m을 차례로 적용하여 가공면의 상태를 향상시키고자 하였다. Fig. 6에는 400x400mm²의 사출성형시험용 대면적 금형의 가공된 모습과 패턴의 배열을 나타내었다. Fig. 7에는 가공된 금형의 표면과 복제된 구조물의 형상을 나타내었다. 가공 패턴은 3종류로서 A패턴은 피치 95, 구조물 높이 36 μ m, B패턴은 피치 95 μ m, 높이 65 μ m, C패턴은 피치 100 μ m, 높이 105 μ m으로 가공되었다. 가공결과 구조물 및 표면상태는 양호하였으나 폭 10 μ m 내외의 구조물 상면의 변형과 버가 발생하는 것을 관찰할 수 있었다.

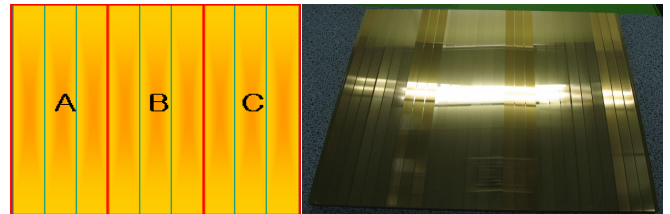


Fig. 6 Machined large area mold with micro rectangular pattern for injection molding(400x400mm²)



(a) pattern A (b) pattern B (c) pattern C
Fig. 7 Machined micro channel structures and surface conditions

4. 결론

평삭에 의한 마이크로 채널 패턴 가공에 대한 연구를 수행하여, 가공 문제점을 분석하고, 사다리형의 사각 채널 패턴의 가공을 위한 가공메카니즘과 절삭력관계를 연구하였다. 제작된 미세 사다리형 공구의 기초가공실험을 통하여 절삭깊이에 따른 가공 특성을 분석하였으며, 이를 토대로 공구의 안전한 사용조건을 확립하고 대면적 금형가공에 적용하여, 그 시제품을 제작하였다.

후기

본 연구는 지식경제부가 지원하고 있는 전략기술개발-생산시스템기술개발사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 대면적 미세형상가공시스템개발 사업의 연구결과의 일부로서, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 제태진, 이강원, 박상천, 박경택, 김재구, 최두선, 황경현, "Machining technology of micro channel structure with high aspect ratio using shaping process", Proceedings of the 3rd ICOMM, pp.11~14, 2008.9.9
2. 이종민, 김수진 외, "미세패턴 가공 시뮬레이션 기술 개발", KSME 생산및설계부문추계학술대회, pp.68~76, 2008.6.5