

연성 기반 미세 핀 배열의 가공 및 응용

Fabrication and application of flexible base micro-pin array

*이세원¹, #신홍식², 주종남¹

* S. W. Lee¹, # H. S. Shin(shinhs05@ut.ac.kr)², C. N. Chu¹

¹서울대학교 기계항공공학부, ²한국교통대학교 에너지시스템공학과

Key words : Micro-pin array, flexible base, micro machining

1. 서론

수직 벽 부착 능력은 소형 로봇의 기능성과 이동성을 크게 향상시킬 수 있다. 특히 건설 산업 분야에서는 유지, 보수, 안전 점검 등 여러 상황에 기여할 수 있다. 수직 벽 부착을 위해서 여러 가지 방식이 연구되고 있다. [1-5] 이러한 연구들은 대부분 별도의 장치를 이용하여 수직 벽 부착을 수행하지만, 금속 표면에 가공된 미세 핀 배열을 이용하는 방식[6]은 표면 가공만으로 수직 벽에 부착이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

미세 핀 배열을 이용한 수직 벽 부착 방식은 부착 대상인 표면과 접촉 면적에 영향을 받는다. 따라서 곡면이나 표면 파형(surface waviness)을 가진 면에는 접촉 면적이 작기 때문에 부착 능력을 효과적으로 발휘하기 어렵다.

이러한 문제를 해결하기 위해 미세 핀 배열의 기반을 연성 재료로 만들면, 곡면이나 표면 파형에 맞게 미세 핀 배열이 변형하여 접촉 면적을 크게 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 fig. 1 과 같이 표면 윤곽(surface profile)에 맞게 적응 및 변형하여 접촉 면적을 증가시킬 수 있는 연성 기반의 미세 핀 배열의 생산 방법에 대한 연구를 진행하였다.

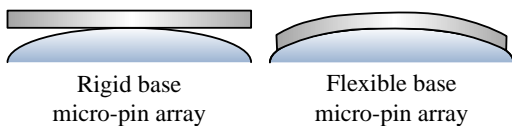


Fig. 1 Contact area of general rigid base micro-pin array and developed flexible base micro-pin array

또한 곡면에서의 부착 능력 측정을 통하여 실제로 접촉 면적의 증가로 부착 능력이 향상되었는지 확인하였다.

2. 연성 기반 미세 핀 배열의 가공

연성 기반 미세 핀 배열의 가공을 위해서 fig. 2 와 같이 레이저 빔 가공과 전해 에칭법을 사용하였다. 우선 스테인리스 스틸에 레이저 빔을 이용하여 미세 핀 배열을 가공한 후, 미세 핀 배열이 있는 면을 열가소성 수지로 코팅하였다. 코팅은 전해 에칭 반응으로부터 미세 핀을 보호하고, 금속 기반이 모두 제거된 후 연성 물질로 기반을 대체할 때까지 미세 핀들의 위치를 고정시키는 역할을 한다. 열가소성 수지 코팅이 끝난 미세 핀 배열을 황산 용액을 이용하여 전해 에칭하였다.

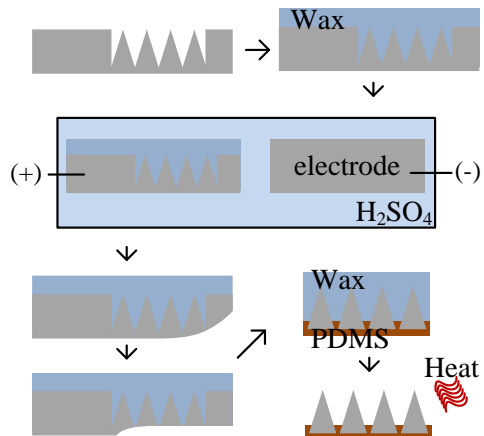


Fig. 2 Manufacturing process of flexible base micro-pin array using laser beam machining and electrochemical etching

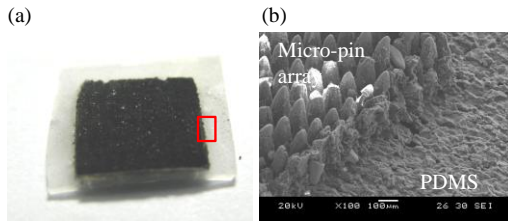


Fig. 3 (a) Developed flexible base micro-pin array, (b) Enlarged image using SEM

미세 핀을 수지를 이용하여 코팅하였기 때문에, 미세 핀 부분은 가공되지 않고, 기판 부분이 먼저 가공된다. 또한 기판이 가공된 후에 각각의 미세 핀은 전극으로부터 분리되어 있으므로 더 이상 가공되지 않고 핀의 형태를 유지할 수 있다. 기판이 모두 제거된 면에 PDMS를 경화시켜 연성 물질을 미세 핀과 부착시키고, 열을 가해 열가소성 수지를 제거하여 연성 기반 미세 핀 배열을 제조할 수 있었다.

3. 연성 기반 미세 핀 배열의 응용

가공한 연성 기반 미세 핀 배열을 이용하여 거친 면에서의 부착 능력을 측정하였다. 비교를 위해 일반 미세 핀 배열과 연성 기반 미세 핀 배열을 각각 평면과 곡면에서 측정하였다. 부착 대상 곡면의 곡률 반경은 35.86 mm 이고, 평면과 곡면 모두 표면 거칠기는 3.94 μm 였다. 각 면에서 발생한 힘은 table. 1 과 같았다. 일반 미세 핀 배열은 곡면에서 힘이 현저히 감소하는 반면, 연성 기반 미세 핀 배열은 힘 감소량이 작은 것을 알 수 있다. 또한 평면에서 연성 기반 미세 핀 배열의 힘이 일반 미세 핀 배열보다 작은 것을 확인할 수 있는데, 이는 발생하는 힘에 의해 연성 기반이 변형되어 나타나는 현상이다.

Table 1 Attachment force comparison

	General micro-pin array	Flexible base micro-pin array
On flat surface	61.39 mN	49.87 mN
On curved surface	12.45 mN	39.71 mN

4. 결론

본 연구에서는 기존의 수직 벽 부착을 위한 미세 핀 배열이 곡면이나 표면 파형을 가진 면에서 접촉 면적이 감소하여, 부착 성능이 감소하는 단점을 보완하기 위해 연성 기반의 미세 핀 배열을 개발하였다. 레이저 빔 가공과 전해 에칭을 통해 제작된 연성 기반 미세 핀 배열은 곡면에서 부착 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

후기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012-0000348).

참고문헌

1. S. Kim, M. Spenko, S. Trujillo, B. Heyneman, D. Santos, M. Cutkosky, "Smooth vertical surface climbing with directional adhesion," IEEE Transactions on Robotics, 24(1), 65-74, 2008
2. Balaguer, C., Gimenez, A., Pastor, J. M., Padron, V. M., Abderrahim, "A climbing autonomous robot for inspection application in 3D complex environment," Robotica, 18, 287-297, 2000
3. M. J. Spenko, G. C. Haynes, J. A. Sanders, M. R. Cutkosky, Alfred A. Rizzi, R. J. Fullzz, Daniel E. Koditschek, "Biologically Inspired Climbing with a Hexapedal Robot," Journal of Field Robotics, 25(4-5), 223-242, 2008
4. La Rosa, G., Messina, M., Muscato, G., Sinatra, "A low-cost lightweight climbing robot for the inspection of vertical surfaces," Mechatronics, 12(1), 71-96, 2002
5. Daltorio, K. A., Gorb, S., Peressadko, A., Horchler, A. D., Ritzmann, R. E., and Quinn, "A Robot that Climbs Walls using Micro-structured Polymer Feet," International Conference on Climbing and Walking Robots, 3, 131-138, 2006
6. 이세원, 신흥식, 김한, 정도관, 주종남, "레이저 가공과 전해 에칭을 이용한 미세 핀 배열의 가공 및 응용," 한국정밀공학회 2011년도 춘계학술대회 논문집(상), 795-796, 2011