

초음속 저온분사법에 의한 알루미늄 분말 적층에서 얇은 모재에 발생하는 변형에 대한 연구

이재철* (서울대학교 기계항공공학부 대학원), 천두만 (서울대학교 기계항공공학부 대학원),
김성근 (서울대학교 기계항공공학부 대학원), 안성훈 (서울대학교 기계항공공학부)

Effect of cold-spray deposition on deformation of aluminum alloy substrate

Jae-Chul Lee, Doo-Man Chun, Sung-Geun Kim, and Sung-Hoon Ahn
(School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University)

ABSTRACT

Cold gas dynamic spray or cold-spray is a deposition process, which causes deformation of a thin substrate. The deformation is usually convex to the deposited side. In this research, the main cause of the deformation was investigated using 6061-T6 aluminum alloy. The effects of anisotropic coefficient of thermal expansion (CTE) of the deposited layer by cold-spray and residual stress were studied by experiments and finite element analysis. The Hole Drilling method was applied to measure residual stress in the cold-spray layer and substrate. The data obtained by the experiments were used for the analysis of substrate deformation. From the result of the analysis, it was concluded that compressive residual stress was the main reason of substrate deformation while CTE had little effect.

Key Words : Cold-spray (저온분사), Deposition (적층), Coefficient of thermal expansion (열팽창계수), Hole drilling method (구멍 뚫기 방법), Residual stress (잔류 응력)

1. 서론

저온분사법 (cold gas dynamic spray)은 용사 코팅법의 단점을 극복하기 위해 러시아에서 처음 개발된 방법으로, 일반적으로 cold-spray 또는 kinetic spray 라고 불린다. 저온 분사법 공정에서, 초음속에 의해 가속된 입자는 기관이나 입자들의 녹는점보다 항상 낮은 온도에서 코팅이 되기 때문에 입자의 물성을 그대로 유지하고 기관의 물성도 변형되지 않고 코팅할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점으로 인해 기존의 용사법이 가지고 있는 기관의 산화나 기관의 응력, 저융점 기관에는 코팅할 수 없는 문제점을 해결 할 수 있다.¹⁻³

본 연구에서는 저온분사법을 이용하여 금형의 채널 제작 및 보수를 수행하였다. 이 과정에서 모재의 두께가 얇을 경우 변형이 일어나는 문제점을 발견하였다.

Fig. 1 은 저온분사법을 이용하여 알루미늄 입자를 두께가 3mm 인 Al 60601-T6 판재에 적층시킨 시편 사진과 이 시편을 3 차원 형상측정기로 측정한 저온 분사 적층 전후 시편들의 변형량을 나타낸 그래프이다.

본 연구에서는 모재의 두께가 얇은 경우 발생하는 변형에 대해서 실험 및 수치적 해석을 통해 인을 분석하였다.

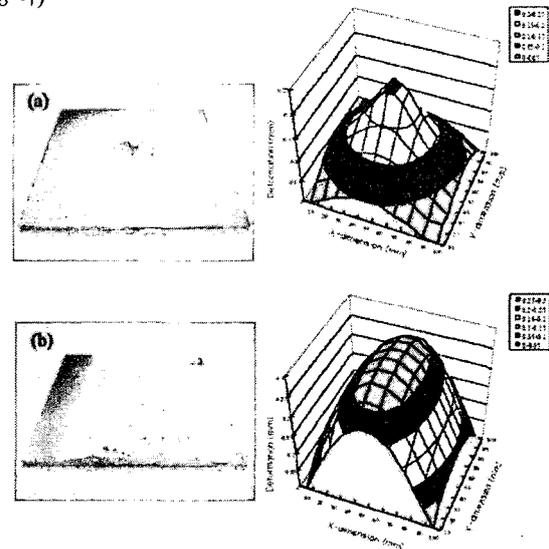


Fig. 1 Cold spray deposition specimen and measured deformation of aluminum plate caused by cold spray deposition: (a) a locally deposited specimen and (b) an areally deposited specimen

2. 실험 및 결과

저온 분사 적층 기술은 박막 코팅 기술에서 발전하였기에 적층에 의해 생기는 응력도 코팅 박막

에 생기는 응력에서 발전된 것으로 볼 수 있다. 따라서 박막에 생기는 잔류응력에 대한 연구를 기초로 저온분사적층법에 의해 생기는 잔류응력을 조사해 본 결과, 열팽창계수 차이로 인하여 발생하는 응력, 박막과 기판 사이의 격자 불일치에 의하여 발생하는 응력, Fig. 2 와 같이 입자 충돌에 의한 모재 표면의 밀도 증가로 발생하는 응력 등이 모재의 변형을 야기시키는 주요 잔류응력으로 추정된다.⁴

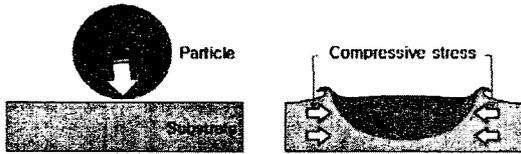


Fig. 2 Splat shape and compressive stress by cold-spray deposition of single particle

실험시편들은 격자상수가 같은 알루미늄 재료를 사용하였기 때문에 모재와 적층부 간의 격자 불일치에 의한 응력은 발생하지 않는다. 따라서 모재와 적층부의 열팽창계수 차이와 입자에 의한 모재 표면의 밀도 증가를 주요인자로 추정하여, 이를 밝히기 위해 모재와 적층부의 열팽창계수를 Fig. 3 (a)와 같이 측정하였고, 구멍뚫기방법을 이용하여 모재에 발생한 잔류응력을 Fig. 3 (b)와 같이 측정하였다.

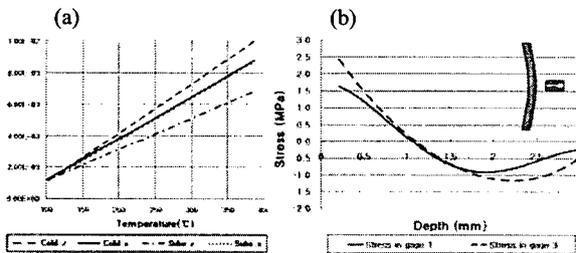


Fig. 3 (a) Result of CTE measurement and (b) Calculated residual stress by Hole drilling method

3. 수치적 해석

실험에 의해 구한 열팽창계수와 잔류 응력을 적용하여 판재의 변형을 유한요소로 해석하였고, 그 결과는 Fig. 4 와 같다. Fig. 4 의 (a)는 전체 잔류응력에 대한 변형으로 측정 지점에서 약 428 μm 의 변형을 보였고, (b)는 열팽창계수에 의한 변형으로 약 24 μm 의 변형을 보였다. 전체 변형량에서 열팽창계수의 변형량을 제외한 것은 Fig. 4 의 (c)와 같다.

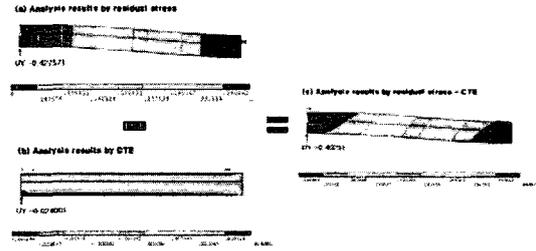


Fig.4 Numerical analysis result on deformation by CTE and residual stress

수치적 계산 결과는 실제 실험 시편에서 측정 한 변형량보다 약 128 μm 정도 큰 수치인데, 이는 운동에너지와 충돌에 의한 물성변화와 같은 기타 다른 요인들이 고려되지 않았기 때문에 실제의 변형과 차이를 보이는 것으로 생각된다.

4. 결론

초음속 저온분사 적층시 모재에 발생하는 변형의 주요 원인은 입자가 운동에너지에 의해 모재의 표면을 파고들어가면서 판재 표면의 팽창 및 밀도 증가를 야기시켜 발생하는 압축잔류응력으로 판단된다.

후 기

이 논문은 서울대학교 공학연구소와 ERC(Micro Thermal System Research Center)에 의해 지원되었으며, 초음속 저온 분사 장비를 지원한 세렉트론 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. Kang, H. J., Ahn, S. H., Lee, J. S., and Lee, J. H., "Surface Modification of Aluminum by Nitrogen Ion Implantation," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 7, No. 1, pp. 57-61, 2006.
2. Novoselova, T., Fox, P., Morgan, R., and O'Neill, W., "Experimental Study of Titanium/Aluminum Deposits Produced by Cold Gas Dynamic Spray," Surface and Coatings Technology, Vol. 200, pp. 2775-2783, 2006.
3. Lee, H. Y., You, Y. H., Lee, Y. C., Hong, Y. P., and Ko, K. H., "Cold Spray of SiC and Al₂O₃ with Soft Metal Incorporation," Thermal Spray Technology, Vol. 13, pp. 184 - 190, 2004.
4. Lee, H. Y., "Measurement of Residual Stress of Thin Films," Information center for materials Vol. 10 No. 1, pp. 3~11, 2005.