

용사법과 레이저 용접을 이용한 복합소재 미세필터 연구

송인규¹, 최해운², 김주한³, 윤봉한⁴, 박중언⁴,

1 계명대학교 지능형자동차대학원, 2 계명대학교 기계자동차공학과

3. 서울산업대학교 기계공학과

4. (주)태린

A study on ceramic and metal composite material joining for micro filter using thermal spray and laser welding

In Gyu Song¹, Hae Woon Choi², Joo Han Kim³

1 Graduate School of intelligent Vehicle and Transportation, Keimyung University

2 Department of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University

3 Department of Mechanical Engineering, Seoul National University of Technology

Abstract

Hybrid material(ceramic+metal) processes were developed for micro filter using ceramics coating at metal filter surface by thermal spray method, micro hole drilling at ceramic coated filter surface by femtosecond laser, and fiber laser direct welding of ceramic and metal (SUS304, SM45C) by capillary effect. Thermal spray process was used for ceramic powders and metal filters. The used ceramic powders were $Al_2O_3 + 40TiO_2$ (Metco 131VF) powder of maximum particle size $5\mu m$ and $Al_2O_3 99+$ (Metco 54NS) powder of maximum particle size $45\mu m$. Ceramic coated filters using thermal spray method had a great influence on powder material, particle size and coating thickness but had a fine performance as a micro filter. CW fiber laser was used to drill the top ceramic layer and melt the bottom metal layer for joining applications.

Key Words : Hybrid material(복합 소재), Filter(필터), laser process(레이저 가공) thermal spray(용사) fiber laser(파이버 레이저)

1. 서 론

세라믹 필터는 메탈필터를 비롯한 기존의 여과 시스템과 비교하여 가벼우며, 내열, 내식, 내마모성 등의 기계적 특성이 우수하고, 화학적 및 생물학적 안정성이 높고, 세척에 의한 재생이 용이하며, 반영구적으로 사용이 가능한 장점을 지니고 있으며, 충격에 약하고, 가공성이 좋지 않은 단점도 지니고 있다. 따라서 필터로서 세라믹을 널리 활용하기 위해서는 세라믹 재료가 지닌 기능성을 충분히 살리면서도 취약점을 보완할 수 있는 금속과의 복합화가 필수적이라 할 것이다 [1].

이러한 소재개발은 두 가지 이상의 재료를 화학적 결합을 이용하는 것이 좋으나, 금속과 비금속의 경우 이러한 결합이 용융 등의 접합기로는 쉽지 않으며 이에 대한 대안으로 물리적인 결합을 시도하였다.

물리적결합의 예로 현재 널리 사용되고 있는 세라믹스 코팅기술은 디스플레이 산업에서 ITO(Indium Tin Oxide) 코팅을 위한 Sputtering, PVD(Physical Vapor Deposition)와 같이 수 마이크로미터 이내의 박막을 제조하는 공정이 있다. 기계 부품의 내마모성, 내식성을 위한 용사(Thermal Spray), 주로 메탈계열의 파우더를 코팅하는 Cold Spray, 최근 일본에서 개발되어 빠른 속도로 상용화되는 Aerosol Deposition 공정 등을 들 수가 있다. 또한, 블레이징, 납땜, 레이저클레이딩, Friction stir welding, 레이저 용접 등과 같은 다양한 공정이 있다. [1,2]

이러한 다양한 공정 중 경제성이 우수하고 가공이 쉬운 용사공정 및 레이저가공은 소재의 제약이 비교적 덜 받으며, 최근 상용화되어서 미세 가공용으로 사용되고 있는 레이저의 경우, 서브마이크로 스케일까지 정밀가공이 가능하여서 금속, 유전물질 및 세라믹제품의 가공에까지 널리 이용되고 있다. [3]

레이저 가공기술을 이용하여 금속과 세라믹으로 구성된 복합소재 (판재형태나 원통형태)에 수 μ m~ 수십 μ m 범위의 미세한 홀을 가공하여, 용융

된 금속이 모세관 효과를 통하여 세라믹 소재와

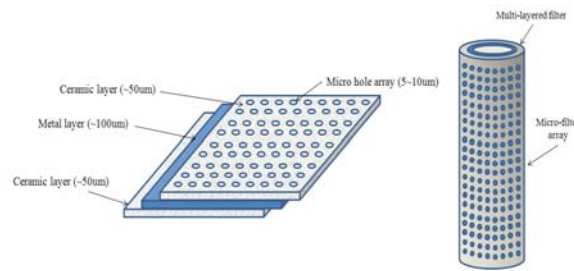


Figure 1 Filter development using laser micro processing technique

접합이 되고, 생산된 필터는 강산성 용액이나 고온의 사용조건에서도 필터의 기능을 발휘하도록 할 수 있을 것으로 기대된다.

이에 본 연구에서는 경제성이 뛰어나고 가공이 쉬운 용사공정을 통해 메탈필터 표면에 세라믹 코팅 층을 형성하는 방법과, 균일한 크기의 홀 가공을 위하여 용사공정 후 코팅된 필터 표면을 펄토초레이저를 이용하여 미세 홀 가공하는 방법, 세라믹 필터와 메탈필터를 파이버레이저를 사용하여 모세관 효과를 응용한 레이저용접 공정 등의 3가지 방법으로 복합소재 미세필터 연구를 진행하였다.

2. 실험재료 및 장치

2.1 실험재료 및 장치

본 실험에서는 메탈필터 표면에 세라믹 용사 코팅을 한다. 실험에 사용된 용사장치는 Metco사의 플라즈마 용사장치(Metco, 9MB)를 사용하였고, 메탈 필터는 GKN Sinter Metals Filters社의 필터 기공 크기 20 μ m, 30 μ m, 50 μ m의 메탈

Spray gun type		Metco 9MB
Gas pressure (bar)	Primary	6.8
	Secondary	3.6
Power	Arc Amps(A)	500
	Arc Volt (V)	60
Carry gas flow(m^3/hr)		1.3
Spraying distance(mm)		75
Spraying rate(g/min)		60

Table 1 Thermal spraying condition

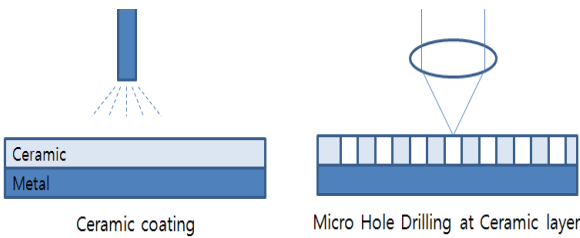


Figure 2 Micro hole drilling process using laser

파우더 소결 필터(SIKA-R 20IS, 30IS)와 태린社의 필터기공 크기 75 μ m의 5겹 소결 메쉬 필터 등 4가지를 사용하였다. 또한 메탈 필터 표면에 용사 코팅된 세라믹은 최대 입경 5 μ m 내외 미세 분말 $Al_2O_3 + 40TiO_2$ (Metco 131VF) 파우더와 최대 입경 45 μ m인 Al_2O_3 99+(Metco 54NS) 파우더를 사용하였다. 또한 레이저를 이용한 연구에는 최대 펄스에너지 1mJ(1W)급의 펨토초레이저와 최대 출력 50W급의 Fiber laser를 사용하였고, SUS304, SM45C, 500 μ m두께의 Al_2O_3 박판을 사용하였다.

3. 실험 방법

3.1 용사공정

메탈 필터의 내열, 내식, 내마모의 기계적 특성을 향상시키고 고부가가치의 복합소재 필터의 개발을 위해 용사방법으로 필터 표면에 세라믹 코팅을 실시하였다. 플라즈마 용사장치의 작업 조건은 Table 1에서 보는 바와 같다.

$Al_2O_3 + 40TiO_2$ (Metco 131VF) 파우더를 이용한 코팅은 두께가 약 100 μ m가 되도록 하였고,

Al_2O_3 99+(Metco 54NS) 파우더를 사용한 코팅은 코팅횟수를 달리해 코팅 층의 두께가 달라지게 하였다.

3.2 레이저 홀 가공

용사 코팅된 복합소재 필터의 표면을 관찰한 결과 코팅 층의 두께가 두껍거나 세라믹 입자가 작은 파우더를 사용하였을 경우 필터 기공이 막혀 필터로서의 기능을 상실 하게 되었다.

그리하여 소재의 제약을 비교적 덜 받으며, 미세가공용으로 많이 사용되고 있는 펨토초레이저

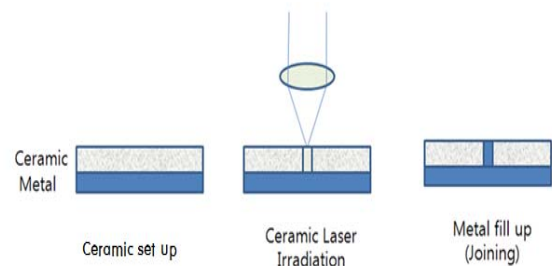


Figure 3 Hybrid material welding based on laser processing technique

를 이용해 미세 홀을 가공하여 필터의 기공 정밀도를 높이는 실험을 진행하였다. 펨토초레이저의 경우 서브마이크로 스케일까지 정밀가공이 가능하여서 금속, 유전물질 및 세라믹제품의 가공에 까지 널리 이용되고 있다

3.3 레이저 용접

레이저 가공기술의 이용하여서 금속과 세라믹으로 구성된 복합소재(판재형태)에 수 μ m~ 수십 μ m 크기의 미세한 홀을 가공하여, 용융된 금속이 모세관 효과로 인해 세라믹 소재와 접합이 되고, 생산된 필터는 강산성액체나 높은 온도의 사용조건에서도 필터의 기능을 발휘할 수 있을 것으로 기대한다.

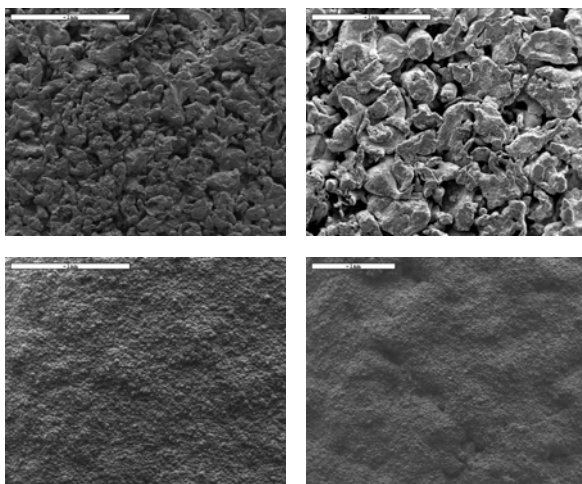
펨토초레이저와 파이버레이저 Ceramic 박판(500 μ m)과 Metal 시편(SUS-304, SM45C)을 모세관 효과를 이용한 접합실험을 실시하였다.

접합실험 전 재료간의 접합 성을 향상시키기 위해 시편의 접합면을 연마하였고 접합지그를 제작해 시편을 물려줌으로서 시편간의 유격을 최소화 하였다.

3.4 필터 성능 검사

개발된 복합소재 미세필터의 성능을 확인하기 위하여 주사형전자현미경(FSEM)을 이용하여 필터 표면의 기공 및 접합 단면의 미세조직을 분석하였다.

또한 용사코팅 후 필터의 필터링등급을 측정하기 위해 ISO4003규격에 따른 버블 포인트 압력(Bubble-Point Pressure) 측정기를 제작해 버블 포인트 압력을 측정 기공크기를 예측하였다. 버블 포인트 압력 측정은 가장 큰 기공의 크기를



20µm metal filter 30µm metal filter

Figure 4 Surface-section SEM images of coated metal filter (Using $Al_2O_3 + 40TiO_2$ powder)

알 수 있는 가장 정확하고 쉬운 방법으로, 검사 방법은 첫째, 테스트 할 필터를 낮은 표면 장력을 지닌 액체(일반적으로 Isopropanol) 속에서 압축된 공기를 필터의 한쪽에 가하고, 첫 기포 발생 시까지 공기압력을 점차적으로 증가시킨다. 이때의 압력을 버블 포인트(Bubble-Point)압력이라고 하며, 표면장력 허용치와 첫 기공이 압력을 만드는 원형의 기공형태를 가정하면 기공을 계산할 수 있다 [4].

4. 실험 결과 및 고찰

$Al_2O_3 + 40TiO_2$ 파우더를 용사로 100µm 두께로 필터 표면 코팅 후 필터 표면을 SEM분석한

결과 그림 4와 같이 기공이 모두 폐쇄되어 있음을 확인할 수 있었다. 용사된 복합소재 미세필터의 필터링 등급을 확인하기 위해 버블 포인트 압력을 측정된 값이 표 2와 같이 정리 되었다. 측정된 압력은 식(1)에 대입하여 필터링등급을 계산할 수 있다 [4].

$$d_x = \frac{4 \cdot \delta \cdot \cos\varphi}{\Delta p_x} \quad (1)$$

여기에서, d_x 는 기공의 직경(m), δ 는 액체의 표면장력(Isopropanol=21.32N/m), $\cos\varphi$ 는 침수각

sample	pass No.	B-P Pressure [pa]	Filter grade [µm]
75µm mesh filter	0pass	1128	76
	1pass	1520	56
	2pass	2158	40
50µm powder filter	0pass	834	50
	1pass	1275	33
	2pass	1569	27

Table 2 Bubble-Point Pressure

($\varphi=0$), Δp_x 는 측정된 압력(pa)을 나타낸다.

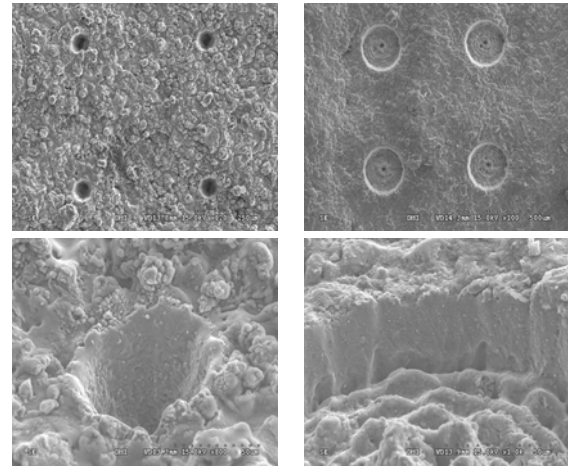
계산된 필터링 등급 값은 표3에 나와 있는 것처럼 기존의 메탈 필터에 비해 1pass 일 때 26~34%, 2 pass 일 때 34~46% 기공 감소의 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 기존의 필터보다 더 미세한 필터링을 할 수 있는 필터가 되었음을 의미한다. 필터의 기공은 미세할수록 고가임을 감안하면 복합소재 미세 필터는 파우더의 입자 크기와 코팅 층의 두께를 잘 조절하면 경제성이 있음을 알 수 있다.

그림 4에서 보인 바와 같이 기공이 막혀 있었던 $Al_2O_3 + 40TiO_2$ 파우더가 코팅 된 필터 표면에 펄토초레이저를 이용하여 미세 구멍 가공하였으며, 가공조건은 표 3에 정리되었다.

용사된 복합소재가 필터로서의 기능을 하기 위해서, 미세한 홀을 가공하는데 홀당 6초가 넘게 걸리므로, 생산성에서 효율이 많이 감소하게 됨을 알 수 있다.

Sample	20 μ m filter	75 μ m filter
Diameter	$\phi=50$	$\phi=150\mu\text{m}$
Repeat No.	5	5
Pulse energy	62.5 μ J	90.8 μ J
Array	20X20	10X10
Processing time	8' 51" (0.885s/hole)	10' 43" (6.43s/hole)

Table 3 Femtosecond laser process parameter



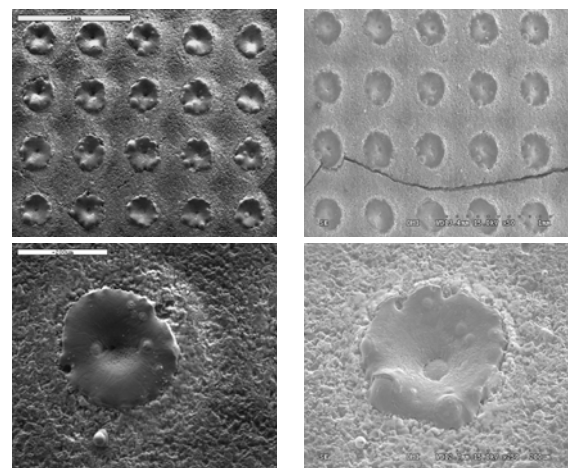
(a) 20 μ m filter

(b) 75 μ m filter

Figure 5 Cross sectional SEM images of micro hole drilling produced (Using Femtosecond laser)

복합소재필터의 접합법의 일환으로 펨토초레이저를 이용하여 금속과 세라믹 접합을 시도하였다. 준비된 금속시편(SUS304, SM45C)과 500 μ m 두께의 세라믹 박판을 펨토초레이저를 사용하여서 접합하였다.

가공에 사용된 레이저는 파장 1070nm, 펄스폭 250fs, 펄스반복률 100kHz, 최대 펄스에너지 60 μ J(6W)의 펨토초레이저 (Light conversion 社)이다. 용접결과 홀 가공 이후 기대했던 금속의 용융으로 인한 모세관효과를 통한 세라믹과



(a) SUS304

(d) SM45C

Figure 6 Surface-section SEM images of laser welded hybrid material

후 기

메탈의 접합은 이루어지지 않았으며, 하부샘플에 가공되는 현상이 발생 되었다. 이는 펄토초레이저의 조사시간이 매우 짧고 순간정점 에너지가 높아서 레이저광이 금속용융보다는 기화를 시킨 것으로 판단이 된다. [5]

동일 실험을 연속 파이버레이저 (IPG photonics)를 이용하여 SUS304, SM45C와 세라믹 박판을 레이저 용접하였다. 사용된 파이버 레이저는 빔품질 ($M^2 > 1.1$)이 아주 우수하여, 세라믹 박판을 관통하고, 금속부분에 조사되어서 용융 후 모세관효과에 의해 접합이 되는 원리를 이용하였다. 본 연구에서 사용된 파이버 레이저 발전기는 파장 1064nm, 최대출력 50W의 연속발전이 가능한 IPG사의 싱글모드 파이버레이저이다. 가공결과 그림 8과와 같은 모세관효과를 보이면서 세라믹과 금속이 접합되었음을 확인 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 기존의 메탈필터의 강인성을 유지하며, 강한 산성용액에 대한 내식성, 고온에서의 내열성까지 확보하기 위해 금속과 세라믹을 혼합한 형태의 복합소재를 사용한 하이브리드 소재를 개발함을 목표로 하였다.

플라즈마 용사를 이용하여 세라믹 코팅한 필터 개발과 메탈과 세라믹을 레이저가공기술을 이용하여서 미세구멍(5um ~ 50um)을 관통하여서 복합재료의 용착성을 좋게 하여서 미세 필터로 사용할 수 있도록 하는 생산기술을 개발함을 목적으로 하였다.

용사방법으로 금속필터에 세라믹을 코팅한 복합소재 필터의 제작은 사용 목적에 대응하여 적절한 세라믹 모제의 선택과 적절한 코팅 층의 두께를 통해 제작할 수 있다. Al_2O_3 99% 세라믹을 사용과 코팅 층의 두께 변화를 주어 필터기공을 작게 할 수 있다는 사실이 확인 되었다.

연속출력 파이버 레이저를 이용하여 세라믹 박판과 금속이 모세관 효과를 나타내며 접합이 가능함을 확인함을 확인하였다.

본 결과물은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 의료선도산업 인재양성사업의 연구결과입니다. 본 실험을 위해서 장비를 지원해준 광주과학기술원 고등광기술연구소와 서울산업대에 감사사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Y. S. Kim, K. W. Nam, H. S. kim, M.S. Oh and K. S. Kim: Mechanical Properties of Metal/Ceramic FGM made by Thermal Spraying Method, Journal of KSPSE, 2-3 (1998) 41-48
2. 박동수, 한병동, 최종진, 윤운하, 류정호: 에어로졸 데포지션(Aerosol deposition)에 의한 나노구조 세라믹스 코팅공정 기술, The Korean Ceramic Society, 세라미스트, 10-2 (2007),7-17
3. Katsuaki Sugauma: Current Status of Joining Ceramics and Metals, The Korean Ceramic Society, 세라미스트, 9-2 (2006), 30-36
4. GKN Sinter Metals(Filter-Elements/Metal Membranes), <http://www.gkn-filters.com>
5. 손익부, 고명진, 김영섭, 노영철: 펄토초 레이저 가공기술, Optical science and Technology, 3-4 (2009), 37-46
6. S. J. Park, S. W. kim, C. K. Cheon, O. S. Jang, Y. H. Kang: Micro Welding with Fiber laser and its application, Journal of KWS, 춘계 학술발표대회 발표논문 (2006), 155-157
7. a. s. Khanna, S. Kumari, S.Kanungo, A. Gasser: Hard coations based on theraml spray and laser cladding, Journal of Refractory Metals & Hard Materials 27 (2009), 485-491
8. J. del Val, R. Comesana, F. Lusquinos, M. Boutinguiza, A. riveriro, F. Quintero, J. Pou: Laser cladding of Co-based superalloy coatings: Comparative study between Nd:YAG

- laser and fiber laser, *Surface & Coating Technology* 204 (2010), 1957-1961
9. Y. Kawahito, T. Terajima, H. Kimura, T. Kuroda, K. Nakata, S. Katayama, A. Inoue: High-power fiber laser welding and its application to metallic glass $Zr_{55}Al_{10}Ni_5Cu_{30}$, *Materials Science and Engineering B* 148 (2008), 150-109
10. R. Polanco, A. De Pablos, P. Miranzo, M. I. Osendi: Metal-ceramic interfaces: joining silicon nitride-stainless steel, *Applied Surface Science* 238 (2004), 506-512
11. S. Y. Bang: Laser Engraving of Sprayed Ceramic Coatongs, *Journal of the Korean Society of Precision Engineering* 14-1 (1997), 142-149
12. H. J. Kim: Cold Sprayed Coatings for Next Generation Automobile Parts, *Journal of KWS* 24-1 (2006), 37-42
13. D. W. Seo, H. K. Kim, J. H. Song, J. . Lim, C. G. Park: A study on Mechanical Characteristics of Interface of Ceramic/Metal Composites, *대한기계학회 춘계학술대회논문집 A* (2000), 121-126
14. Y. Sechi, T. Tsumura, K. Nakata: Dissimilar laser brazing of boron nitride and tungsten carbide, *Materials and Design* 31 (2010), 2071-2077