

레이저 용접용 Fe계 합금 분말 제조에 관한 연구

이종재¹, 손영산^{2*}

¹한국코팅 기술연구부, ²한국폴리텍IV대학 산업설비자동화과

A Study on the Fabrication of Fe Based Alloy Powder for Laser Welding

Jong-Jae Lee¹ and Young-San Son^{2*}

¹Division of Technical Research, Hankook Coating

²Department of Automation Industrial Installation, Korea Polytechnics IV

요약 본 연구에서는 가스아토마이저를 이용하여 Fe계 비정질 합금 분말을 제조하였고, 제조된 비정질 분말의 특성을 평가하였다. Fe계 비정질 합금분말의 형상, 결정구조, 비정질 형성능 분석은 고분해능 주사전자현미경(FESEM), X-선 회절분석기, 시차주사열량측정법(DSC)을 이용하여 각각 분석하였다. 분말은 45~90 μm 크기의 구형으로 생성되었다. 제조된 Fe-계 합금분말을 X-선 회절 분석한 결과 결정피크는 관찰되지 않고 전형적인 비정질 결정구조 피크만 관찰되었다. 합금분말의 DSC 분석결과 벌크비정질합금에서 나타나는 Tg와 Tx가 존재하였으며, Tg = 530 $^{\circ}\text{C}$, Tx = 560 $^{\circ}\text{C}$ 로 관찰되었다. 이러한 결과로부터 본 연구를 통하여 제조된 구형의 벌크비정질합금(BMG) 분말은 레이저 용접에 적용이 가능한 재료임을 알 수 있었다.

Abstract In this study, Fe-base alloy powder was prepared by gas atomizing method. Shape and crystal structure of the powder were investigated by FESEM, X-ray diffraction, and DSC. The powder was produced in a spherical shape, with a size of 45 ~ 90 μm . X-ray diffraction analysis revealed that the powder was fully amorphous, showing typical broad amorphous peak. From DSC analysis, Tg and Tx that are generally found in a bulk amorphous alloy were also observed in the alloy powder. Tg and Tx of the powder were 530 $^{\circ}\text{C}$ and 560 $^{\circ}\text{C}$, respectively. These results suggest us that the bulk amorphous alloy (BMG) powder prepared in this study is applicable to laser welding.

Key Words : Gas Atomization, Fe-base alloy, Bulk Metallic Glass

1. 서론

벌크 비정질 합금(Bulk Metallic Glass)은 결정질 금속에 비하여 우수한 강도 및 내식성을 나타내고 있어 상용 금속재료에 비하여 경도나 강도가 현저하게 높으며 높은 파괴인성을 갖는다.[1] 이는 결정질 합금이 이방성, 입계 편석, 면결함 등을 가지고 있는데 비하여 비정질 합금은 단범위 규칙도를 가지며, 조성이 균일하고 결정학적으로 이방성이 존재하지 않기 때문이다.[2]

최근, 아몰퍼스 합금에 대한 지속적 연구에 의해 1990

년대에 이르러 비정질 형성능(Glass Forming Ability : GFA)이 우수한 아몰퍼스 합금계가 계속적으로 개발되고 있고 적용분야도 확대되고 있다. 비정질 합금은 초고강도, 고내식성, 고내마모성의 특성을 가지며, 자동차, 고속전철, 각종 산업기기 등의 부품이나 육성용접 재료로서 많은 응용이 진행되고 있다. 그러나, 비정질 금속은 성형과정에서의 온도가 결정온도 이상으로 상승하게 되면 결정화가 이루어지기 때문에 벌크화 방안에 대하여 다양한 공정을 이용한 연구가 진행되고 있다.[3]

벌크비정질 특성은 주로 Zr, Ni, Ti계 합금에서 나타나

*Corresponding Author : Young-San Son

Tel: +82-41-630-3565 email: ysson571@naver.com

접수일 12년 07월 23일

수정일 12년 08월 08일

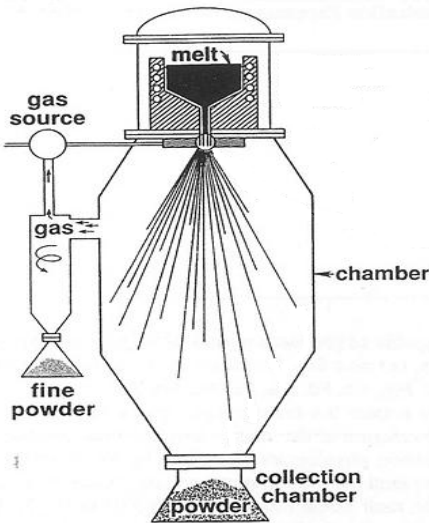
게재확정일 12년 08월 09일

고 있다. 하지만 상기 금속은 희귀금속으로 매우 고가이므로 경제성이 떨어지는 단점을 갖고 있다. 하지만 Fe계에서도 벌크비정질 합금이 생성된다고 보고되어 있다.[4] 본 연구에서는 레이저 용접에 사용이 가능한 Fe계 벌크비정질 합금분말을 제조하고, 합금분말의 미세조직, 결정구조, 상변화를 분석하여 벌크비정질 특성을 갖는지 평가하였다.

2. 실험방법

2.1 분말제조

Fe계 비정질 합금 분말을 제조하기 위하여 Table 1에 나타난 화학 조성을 사용하였다. 합금분말 제조장치로는 대기분위기 가스아토마이저를 이용하였고, Fig. 1에 그 개략도를 나타내었다. Fe계 합금용 조성물을 용융 도가니 내부에 장입시키고, 용융 도가니 내부의 온도를 전기 유도로를 이용하여 약 1500 °C 이상으로 높여 용탕을 형성하였다. 용탕이 결정화되는 것을 억제하고 비정질 합금을 형성시키기 위하여 Ar 가스를 분무가스로 사용하였으며, 분말의 미세화와 구형화를 위하여 분무압력을 25 kgf/cm²의 고압으로 한 후 분사하여 분말을 제조하였다. 또한, Fig. 2의 가스분무 노즐 모식도에 나타난 바와 같이 실험에 사용한 합금의 높은 점성도를 고려하여 크기가 비교적 큰 직경(D) 4mm의 orifice를 사용하였다.

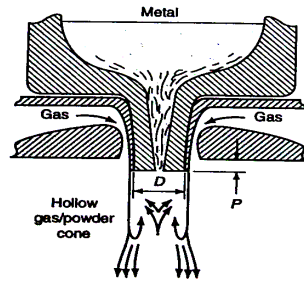


[그림 1] 가스분무장치의 모식도.
[Fig. 1] Schematic Diagram of Gas Atomizer[5]

[표 1] 원재료의 화학조성.

[Table 1] Chemical compositions of Feedstock powder.

Elements	Fe	Cr	Mo	Mn	Si	B	C
Contents [wt%]	63.5	26	2	1.5	2	3	2



[그림 2] 가스분무장치 노즐의 모식도.
[Fig. 2] Schematic shape of nozzle in the gas atomizer.[5]

2.2 분말분석

가스분무법에 의해 제조된 분말의 형태 및 크기는 고분해능 주사전자현미경 (Field-Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM)을 이용하여 측정하였다.

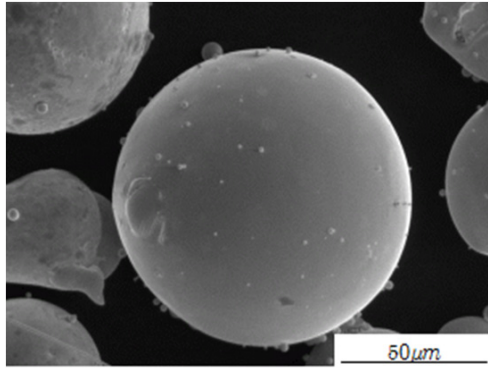
일반적으로 벌크비정질금속은 비정질이므로 원자배열이 불규칙하게 구성되어 있다. 이러한 특성을 분석하기 위하여 X-선회절기를 이용하여 결정구조를 분석하였다. X-선 회절분석은 $2\theta = 20 \sim 80^\circ$, 분석속도 1°/min로 수행하였다.

벌크비정질 합금은 전형적으로 유리전이온도(T_g)와 결정화온도(T_x)를 갖고 있으므로 시차열분석기(DSC, 10 °C/min)를 이용하여 100 ~ 730 °C의 범위에서 유리전이온도와 결정화온도를 측정하였다. 비정질 재료의 결정화 온도는 열분석 실험의 승온 속도에 따라 영향을 받기 때문에 99.999%의 Ar 가스 분위기에서 약 0.7 K/s의 일정한 속도를 유지하면서 실험을 반복하여 실시하였다. 실험의 객관성을 유지하기 위하여 결정화 온도는 발열이 시작되는 온도를 기준으로 측정하였다.

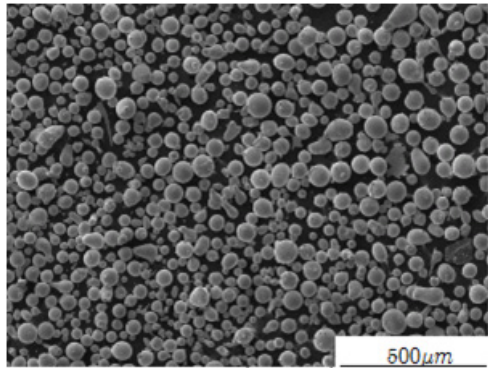
3. 실험결과 및 고찰

레이저용접용 합금분말의 경우 약 20 ~ 70 μm 크기가 가장 많이 사용된다. 왜냐하면 분말크기가 1μm 미만일 경우 유동성이 매우 낮고 응집현상이 일어나 분말이송에 큰 문제점이 있고, 100μm 이상 크기의 분말은 표면에너지가 적어 일정한 특성을 갖는 제품을 얻기가 어렵기 때문

이다. 따라서 레이저용접용 합금분말 제조에서는 크기 제어가 중요한 요소 중 하나이다.



(a) X1000



(b) X100

[그림 3] Fe계 합금분말의 SEM 이미지.
[Fig. 3] SEM images of Fe base alloy powder.

본 연구에서 사용한 가스아토마이징 방법은 분말의 크기 제어가 가능한 공정으로써 레이저 용접용 분말 제조에 매우 적합한 공정이라고 할 수 있다. 가스아토마이저로 제조된 분말의 크기는 다음 식에 의해 결정된다.[5]

$$d_m = KP^{-m} \quad (1)$$

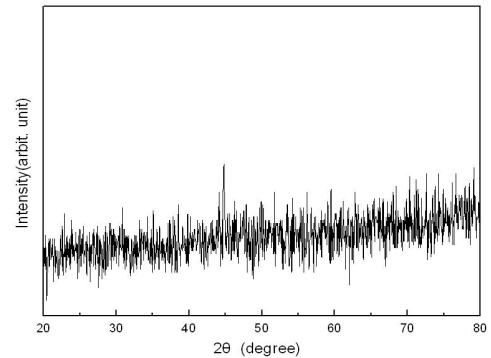
여기서, K와 m은 분말재료의 고유 상수이다. 분말의 크기는 압력이 증가함에 따라 비례적으로 감소한다. 따라서 아토마이저에 의해 제조된 분말의 크기는 분사압력으로 제어할 수 있다.

Fig. 3은 가스아토마이저(Gas atomizer)를 이용하여 제조한 Fe계 합금 분말의 형상을 나타낸다. 제조된 분말은 구형의 입자 형태를 나타내었는데, 이와 같은 구형의 입자는 유동성이 매우 좋기 때문에 레이저 용접용으로 적합하다. 또한 분사압력을 25 kgf/cm²로 하였을 때 70μm

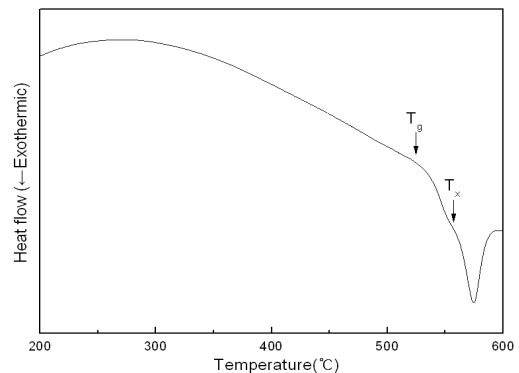
이하의 분말이 얻어져 레이저용접용으로 적합함을 알 수 있었다.

Fe계 합금에서 B, Si, C가 2~4% 정도 함유되면 공정점(Eutectic point)이 감소되어 벌크비정질이 형성된다고 보고된 바 있다.[6] 또한 원자크기가 큰 금속을 첨가하게 되면 비정질형성능(Glass Forming Ability)이 증가하고, 특히 크롬이 10%이상 첨가하면 내산화성이 우수하므로 GFA가 크다고 보고되어 있다.[7] 본 연구에서는 Fe계 벌크비정질금속을 제조하기 위하여 표 1에 제시된 조성을 사용하였으며, 이때 인장능력을 향상시키는 Mn과 윤활 특성이 우수한 Mo를 첨가하여 레이저 용접성을 향상시키고자 하였다. 또한 3원계 합금에 대한 GFA를 평가한 경우는 있으나, 본 연구에서 사용한 것과 같은 7원계 합금의 경우 GFA를 예측하기가 어렵기 때문에 실험을 통하여 이를 입증하고자 하였다.

벌크비정질금속은 결정구조가 비정질이며, 유리전이 온도(Tg)와 결정화온도(Tx)가 존재한다. 따라서 본 연구에서 제조된 금속분말의 비정질 형성 유무를 분석하기 위하여 X-선 회절분석과 시차열분석을 하였다.



[그림 4] 합금분말의 X선 회절 분석
[Fig. 4] X-ray diffraction patterns of powders.



[그림 5] 합금분말의 DSC 분석 결과
[Fig. 5] Differential Scanning Calorimeter graph of powders

Fig. 5는 DSC(Differential Scanning Calorimeter)에 의한 열분석 결과이다. 비정질 상태인 경우에는 낮은 열량을 나타내었으나, 결정화가 진행되는 특정 온도에서는 열량이 급격히 증가하였다. 이러한 시차열분석한 결과를 이용하여 유리전이온도(Tg)와 결정화온도(Tx) 그리고 과냉각액체구간($\Delta T_x = T_x - T_g$)의 크기를 측정된 결과, 제조된 Fe계 비정질합금의 유리전이온도와 결정화온도, 과냉각액체구간의 크기는 각각 530, 560, 30 $^{\circ}$ C로 나타났다. 즉 530 $^{\circ}$ C 이하의 온도에서는 비정질 상태를 유지하다가 530 ~ 560 $^{\circ}$ C에서 유리와 같이 초소성구간이 나타나고 560 $^{\circ}$ C 이상에서 결정화가 시작되는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 가스아토마이저를 이용하여 Fe계 벌크 비정질 금속 분말을 제조하였고, 합금분말의 특성을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 분사압력이 25 kgf/cm²일 때 가스아토마이저로 제조된 Fe계 합금분말은 크기 70 μ m 이하의 완전한 구형의 형상을 나타내었고, 비교적 일정한 크기 분포를 나타내었다.
2. 제조된 Fe계 합금분말에 대한 X-선 회절 분석 결과, 결정피크가 관찰되지 않고 전체적으로 완만한 피크만 관찰되어, 합금분말이 모두 비정질임을 알 수 있었다.
3. DSC에 의한 열분석 결과, Fe계 비정질 합금 분말은 유리전이온도가 530 $^{\circ}$ C, 결정화 온도가 560 $^{\circ}$ C에서 나타나, 전형적인 벌크비정질합금의 특성을 갖고 있었다.

따라서 본 연구에서 가스아토마이저를 이용하여 제조한 Fe_{66.5}Cr₂₆Mo₂Mn_{1.5}Si₂C₂B₃ 합금분말은 레이저용접용으로 사용가능한 벌크비정질금속 분말임을 알 수 있었다.

Reference

[1] A. Inoue, A. Takeuchi, Mater. Sci. Eng. A, 375-377, pp. 16-30, 2004.
 [2] A. Inou, Acta Mater, 48, p.279, 2000.
 [3] A. Lindsay Greer, Nature, 366, p.303, 1993.
 [4] T. Masumoto : Jap. Bull of Jap. Inst. Met. 30 (5), p.375, 1991.

[5] Alan Lawley. "ATOMIZATION", The Production of Metal Powders, pp. 23-55, 1992.
 [6] R. D. Conner, A. J. Rosakis, W. L. Johnson, K. M. Owen, Scripta Mater, 37, p1373, 1997
 [7] A. Inoue, K. Hashimoto et al., "Amorphous and Nanocrystalline Materials", Journal of Solid State Electrochemistry,ocol 6(4), pp.2im-2i9, 2002.

이종재(Jong-Jae Lee)

[정회원]



- 2004년 8월 : 선문대학교 선문한대학원 재료금속공학과(금속공학 석사)
- 2011년 2월 : 선문대학교 선문대학원 재료금속공학과 (금속공학 박사)
- 2011년 4월 ~ 현재 : 한국코팅기술연구부 선임연구원

<관심분야>
용접, 금속, 표면처리

손영산(Young-San Son)

[정회원]



- 1980년 12월 ~ 현재 : 한국폴리텍IV대학 산업설비자동화과 교수

<관심분야>
용접, 기계