

DFSS 기법을 이용한 Ni 극박소재의 초정밀 레이저 용접 기술 개발 A Study for Fine Spot Pulse Nd:YAG Laser Weldability of Ni Foil using DFSS Methodology

이목영, 권영각, 박서정, 윤병현
* (재) 포항산업과학연구원 용접센터

1. 서 론

레이저는 높은 에너지 밀도의 빔을 이용하여 대부분의 소재를 키홀 용접하는 것이 가능하므로 최근 자동차 등에 널리 사용되고 있다. 특히 상대적으로 파장이 짧아 용접효율이 우수한 Nd:YAG 레이저는 빔의 광섬유전송이 가능하다는 장점과 더불어 3차원의 복잡한 형상의 용접에 적용이 급증하고 있다.

한편, 빔을 단속적으로 방출하는 펄스 Nd:YAG 레이저는 연속파 형태의 레이저에 비하여 열변형 혹은 열영향이 적고, 첨두 출력이 높아 소재의 제약이 거의 없으며, 투자비 및 유지비가 적기 때문에 국내에서도 최근 산업현장에 활발히 적용되고 있다. 특히 NT, BT 등 소위 6T 산업의 접합기술을 위한 유일한 대안으로 부각되고 있다. 그러나 초소형 혹은 극박소재의 용접은 이음부 관리, 이송기구 제어, 용접부 품질평가 등이 어렵다.

본 논문에서는 최근 전 산업분야에 폭넓게 적용되고 있는 6시그마 기법중 DFSS 방법론을 이용하여 극박소재의 정밀용접기술을 개발하고자 하였다.

2. DFSS 방법론

6시그마란 제품의 결함 발생률을 3.4ppm 즉, 1백만개당 3.4회 이하로 관리하는 전사적 경영 혁신 활동이다. 6시그마는 기존의 품질관리 뿐만 아니라 마케팅, 엔지니어링, 서비스 등 경영활동 전반을 대상으로 하고 있다.

시그마 기법은 Motorola의 정부용 전자기기 사업부에서 근무하던 Mikel J. Harry에 의해

1987년 창안되었다. Harry는 어떻게 하면 품질을 획기적으로 향상시킬 수 있을 것인가를 고민하던 중 통계 지식을 활용하자는 착안을 하게 되었다. 이 통계적 기법과 제품 품질에 대한 위기감에서 1970년대 말부터 사내에 공유 되어온 밥 갈빈 회장이 시작한 품질개선 운동과 결합하여 탄생한 것이 바로 6시그마 운동이다.

Harry는 1990년 사내에 설치된 Motorola 대학 내에 "6시그마 인스티튜트"를 열고 연구를 거듭하여 6시그마 컨셉에 의한 높은 수준의 엔지니어링 기법을 개발해 나갔고, 관련 기술을 체계화하여 수준 높게 발전시켰다. 그 결과 6시그마는 Motorola 이외의 기업에도 적용 가능한 경영기법으로 확립되었으며 제품품질 또한 획기적으로 좋아졌다. 이후 TI, ABB, GE, IBM, SONY, Nokia 등 적용기업이 급격히 증가하였다. 특히 GE의 잭웰치 회장은 6시그마를 강력히 추진하여 괄목할 만한 경영성과를 이루었으며, 이 기법을 발전 및 체계화시켜 명실상부한 6시그마의 메카로 자리매김하였다.

국내에서는 LG, 삼성 등 전자, 석유화학 분야의 제조업에서 시작하여, 비제조업 분야에서도 도입이 활발히 추진되고 있다. 최근에는 포스코에서 전사적으로 도입하여 6시그마의 대표적인 성공 사례로 꼽히고 있다.

DFSS는 Design for Six Sigma의 머릿글자로 연구 개발 부문을 위한 6시그마 방법론이다. 기존의 DMAIC(Define, Measure, Analyze, Improve, Control) 방법론이 산포감소를 통한 공정개선에 중점을 둔데 비해, DFSS는 Define, Measure, Explore, Develop, Improve (DMEDI)의 단계로 수행되는 새로운 제품의 설계를 위한 6시그마 방

법론이다.

3. 실험방법

본 연구에 사용된 대상 소재는 두께 25 μ m의 Ni foil이었으며, 이음부 형상은 겹치기 이음이었다. 그림 1에 용접시편의 형상을 나타내었다.

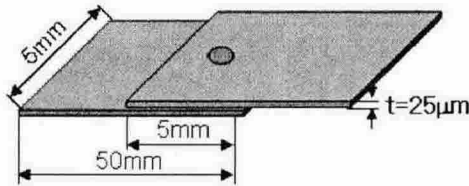


Figure 1 Design for weld sample

2장의 Ni foil을 겹친 상태에서 펄스 레이저 점용접을 실시하였다. 사용된 레이저는 (주)한빛레이저에서 제작된 램프 펌핑방식의 평균출력 100W pulse Nd:YAG 레이저이었다. 본 레이저는 정밀용접에 적합하도록 발진기에서 출사되는 레이저를 빔확대 광학계를 사용하여 빔직경을 확대한 후, 집속광학계로 시편 표면에 집속하였다. 또한 용접위치를 정밀하게 관리하기 위하여 고배율 광학렌즈 및 CCD를 이용하여 동축으로 관찰하였으며, 마이크로 스테이지를 이용하여 용접위치를 제어하였다. 그림 2에 실험에 사용된 용접시스템의 개략도를 나타내었다.

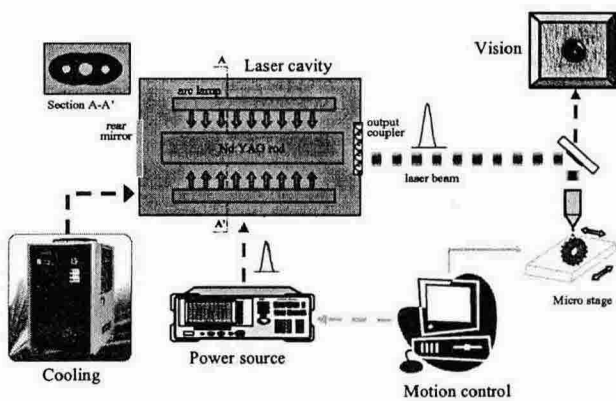


Figure 2 Schematic view of welding system

용접부 강도를 측정하기 위하여 최대용량 2kgf의 로드 셀이 장착된 집합강도 시험 장치를 이용하여 인장시험을 실시하였다. 용접부의 직경은 현미경을 사용하여 시편 표면의 변색을 보고 판

정하였으며, 인장시험 후 파면과 비교하였다.

4. 실험결과 및 고찰

6T 산업을 위한 정밀용접기술에 대한 시장분석 및 고객을 세분화하고, 설문조사를 실시하였다. 고객 요구사항에 대한 요구품질을 전개하여 핵심고객요구사항(Critical Customer Requirement, CCR)을 도출하였다. 고객요구사항으로부터 품질특성을 전개하고, 이들 상호관계로부터 핵심품질특성(Critical to Quality, CTQ)을 도출하였다. 표 1에 CTQ 도출을 위한 QFD 작성예를 나타내었으며, 용입깊이, 하부비드폭, 인장강도 등이 CTQ로 선정되었다.

Table 1 QFD for CTQ

고객요구사항	기술요구사항	기술요구사항		기술요구사항		기술요구사항		기술요구사항		기술요구사항		기술요구사항		기술요구사항	
		중요도	기술수행	중요도	기술수행	중요도	기술수행	중요도	기술수행	중요도	기술수행	중요도	기술수행	중요도	기술수행
용접부 강도가 높다.	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 용입깊이 높다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 하부비드폭 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 용융부 넓다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
용접부 변형이 작다.	용접부 용입깊이 높다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 하부비드폭 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 용융부 넓다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
용접부 변형이 작다.	용접부 용입깊이 높다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 하부비드폭 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 용융부 넓다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
용접부 용입깊이 높다.	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 용융부 넓다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 하부비드폭 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
용접부 용융부 넓다.	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 용입깊이 높다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 하부비드폭 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
용접부 하부비드폭 작다.	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 용입깊이 높다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 용융부 넓다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
용접부 용입깊이 높다.	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 용융부 넓다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 하부비드폭 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
용접부 용융부 넓다.	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 용입깊이 높다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 하부비드폭 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
용접부 변형이 작다.	용접부 용입깊이 높다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 용융부 넓다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 하부비드폭 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
용접부 하부비드폭 작다.	용접부 용입깊이 높다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 용융부 넓다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 용입깊이 높다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
용접부 용융부 넓다.	용접부 용입깊이 높다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 하부비드폭 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 용입깊이 높다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
용접부 변형이 작다.	용접부 용입깊이 높다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 용융부 넓다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 하부비드폭 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△
	용접부 변형이 작다.	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△

한편, 미세용접을 위한 최적 펄스레이저 용접 시스템을 설계하기 위하여 펄스레이저용접에 대한 기능분석을 실시하였다. 품질특성과 기능적 요구사항의 상호관계로부터 펄스 Nd:YAG 레이저를 이용한 미세용접을 위한 핵심기능적 요구사항을 선정하였다. 핵심기능적 요구사항으로는 레이저빔집속특성, 용접부 기계적특성, 이동장치제어기술 등이 선정되었으며, 이들로부터 최적설계 concept을 선정하였다.

상세설계를 개발하기 위하여 상세설계요소와 설계종류의 matrix로부터 상세설계원칙 및 산출물을 파악하였다. 상기의 단계로부터 미세용접을 위한 펄스 Nd:YAG 레이저 최적 시스템 구성 및 실험 계획을 완성하였다.

설계안의 성능평가를 위하여 실험계획법에 의거 파일럿 테스트를 실시하였다. 실험인자는 충전전압, 유지시간 및 초점위치 등 3가지이었으며,

총 실험회수는 20회 이었다. 그림 3에 파일럿 테스트 결과 강도에 대한 공정능력을 나타내었다. 단축 하부규격을 모재강도의 80%로 정의 했을 때 장기 시그마 수준은 3.33 시그마이었다.

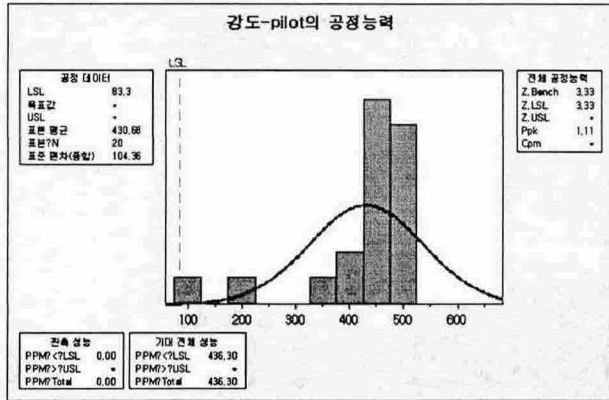


Figure 4 Pilot test result

본 과제의 Define 단계에서 설정한 목표는 신뢰수준 90%로 모재 대비 80%의 용접부 강도를 확보하는 것으로 시그마 수준은 단기로 3.4 시그마이었다. 본 연구에서 상세설계안에 따라 시스템을 구성하고 파일럿 테스트를 행한 결과 단기 시그마 수준은 4.83 시그마로 목표를 달성하였다.

5. 결 론

펄스 Nd:YAG 레이저를 이용한 미세 용접기술을 개발하기 위하여 연구/개발 분야의 6시그마 방법론인 DFSS를 적용하였다. 본 방법론은 대상 기술의 시장/기술 분석, 고객요구사항조사 및 최적설계안 도출 등을 통하여 목표를 명확히 하고 실패요인을 제거하여 과제의 성공확율을 크게 높였다. 향후 신기술 개발을 위한 방법론으로 유용할 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. 김창대 역: 식스시그마 성공의 조건, 한국경제신문
2. IBM BCS, 6 sigma overview
3. M.Schmidt and G. Eeßr; The future of lasers in electronics, ICALEO '2003 Proceedings, LMF section A
4. A.Olowinsky, T.Kramer, N.Dumont and

H.Hanebuth: New applications of laser beam micro welding, Applications of Lasers and Electro-Optics, Proceedings, 20th International Congress, ICALEO 2001, Jacksonville, FL, Section E - Laser Micro Welding; 15-18 Oct. 2001. 10pp pp. 2001

5. Klages K, Ruettimann C, Olowinsky A; Laser beam micro welding of dissimilar metals, Applications of Lasers and Electro-Optics. Proceedings, 22nd International Congress, ICALEO 2003, Jacksonville, FL, 13-16 Oct.2003