

레이저클래딩 공정 모니터링 시스템 개발 (I) - 최적공정변수 추출

오기석*, 윤길상(인하대 대학원 기계공학과), 조명우(인하대 기계공학과),
김문기(한국기술교육대)

Development of A Laser Cladding Process Monitoring System (I) Extraction of optimal process variables

Ki-Seok Oh*, Gil-Sang Yoon(Graduate School, Inha Univ), Myeong-Woo, Cho(Inha Univ)
and Moon-Ki Kim(KUT)

ABSTRACT

Laser cladding is the deposition of material on the surface of a part or workpiece. Cladding of metals produces a 100% dense metallurgically-bonded coating with minimal dilution for enhanced corrosion, abrasion and wear resistance. Despite of minimal heat input and reduced processing time, cladding quality is affected by various process condition such as laser power and feed rate. Therefore, it is necessary to develop the monitoring and control methods of laser cladding process for the best cladding quality. In this paper, laser cladding monitoring system using CCD camera for measuring cladding pool shape, and photo-diode sensor for detecting optical signal emitted from the cladding front is introduced. The variables extracted using this system can be applied to control the laser cladding system to achieve the best cladding results..

Key Words · Laser cladding (레이저클래딩), laser power (레이저 출력), feed rate (이송량), monitoring (모니터링), CCD Camera (CCD 카메라), photo-diode (포토 다이오드)

1. 서론

레이저클래딩은 금속 표면에 국부적으로 각종 재료를 합금화 또는 육성시켜 부품의 내식성, 내마모성, 내산화성을 향상시켜 제품의 기능 및 수명을 향상시킬 수 있는 비교적 새로운 금속의 표면개질 방법으로 기존의 방법들에 비하여 여러 가지 장점이 있어 특별한 내마모성, 내식성이 요구되는 자동차 엔진부품이나 원자력 발전설비 등의 제조에 활용하려는 연구가 다수 이루어지고 있다

레이저클래딩의 장점으로는 표면층에 국한하여 용융과 응고가 일어나므로 이종재료의 접합이 가능하고, 공정이 빠른 속도로 진행되므로 응고된 조직이 미세하고, 주입되는 총 열량이 작으므로 모재의 조직에 영향을 주지 않는다. 따라서 대상 공작물의 열영향부가 작고 모재와 금속 표면의 결합력이 우수

하다는 특성을 가지고 있다. 반면에 급격한 응고속도로 인하여 클래딩 부위에 잔류응력이 높아지고 이는 흔히 균열의 발생으로 이어지며, 또한 공정조건에 따라서는 클래딩에 기공이 존재하여 재질 열화의 원인이 된다.

이러한 문제점 극복과 더불어 클래딩 품질을 향상하기 위해서는 최적의 공정조건의 모니터링 및 제어 방법의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 레이저클래딩 공정 모니터링을 위하여 CCD 카메라를 이용한 클래딩 면 형상 모니터링과 Photo-Diode 센서를 이용하여 클래딩 공정 중에 발생하는 광신호를 모니터링하는 시스템을 개발하였다. 개발된 모니터링 시스템을 이용하여 클래딩 품질을 평가하고 이를 바탕으로 클래딩 품질과 관련된 최적공정변수를 추출하여 클래딩 공정제어에 적용 가능할 것으로 기대된다.

2. 컴퓨터 비전을 이용한 공정 모니터링

2.1 슬릿광을 이용한 클래드 면 형상 검출

레이저클래딩에 있어서 레이저 빔의 출력과 이송 속도는 클래딩 품질을 좌우한다. 이를 개선하기 위하여 클래딩 되어진 부분의 3차원 형상을 비전카메라를 이용하여 측정함으로써 불완전한 클래드 형상이 발생한 부분을 탐지하여 그 부분에 대한 추가 공정을 진행하게 하는 프로세스를 개발하여야 한다.

비전 카메라를 이용한 3차원 형상 측정을 위해서 He-Ne 레이저를 광원으로 한 슬릿광 형상 측정법을 이용하여 측정하였다. 슬릿광을 이용한 클래드 면 형상 검출 시스템은 Fig. 1과 같이 클래딩 부위에 조사된 슬릿광을 CCD 카메라를 통해 PC에 장착된 영상처리보드로 받아들이며 영상처리 프로그램을 이용하여 클래드 면의 단면형상의 3차원 정보를 추출한다.

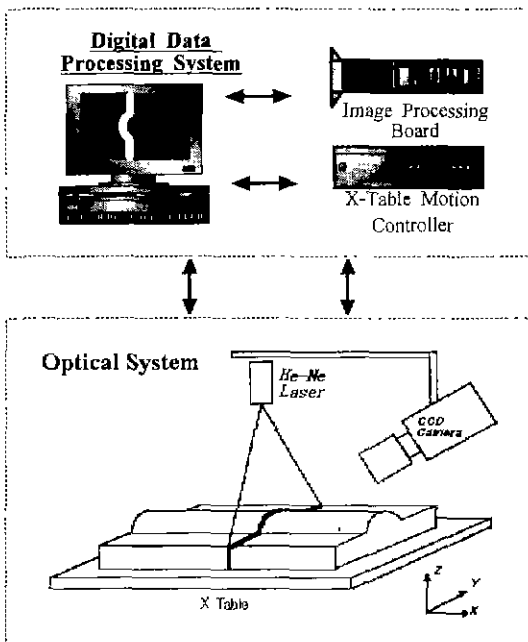


Fig. 1. Configuration of measuring process

2.2 3차원 형상 검출을 위한 영상처리⁽⁴⁾

슬릿광을 이용하여 클래드 면 형상을 측정하기 위해서는 레이저 슬릿광이 물체에 닿는 측정점 즉, 획득된 화면에서 레이저 슬릿광이 닿는 밝은 부분을 구별해야 한다. 이를 위해 다음과 같은 화상처리 기법을 이용한다.

2.2.1 Threshold (이진화)

여러 화상처리 기법을 사용하기 위해서는 획득된 화면에서 특정한 영역을 구별하여 알아내야 할 필요가 있다. 화면 2진화 기법은 널리 사용되는 화상처리 기법의 하나로 획득된 화면에서 화소(pixel)의 밝기를 미리 정한 임계값과 비교하여 원하는 영역만을 얻어내는 것이다.

$f(x, y)$ 는 화소좌표 (x, y) 에서의 화면밝기 함수, 이진화 경계치를 T 라 하면, 2진화함수 $g(x, y)$ 는 식 (1)과 같다.

$$g(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{if } f(x, y) > T \\ 0 & \text{if } f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (1)$$

2.2.2 Trimming(잡음제거)

2진화에 의해 얻어진 2진 영상을 처리하기 전에 미리 영상의 잡음을 제거하는 일은 중요하다.

[확장(expansion) → 축소(contraction)]라고 불리는 처리를 이용하면, 결과 영상은 확장되어 커졌다가 수축되어 결과적으로 별로 변화가 없지만, 까맣게 고립된 잡음이 확장될 때에 제거가 된다. 반대로 수축 → 확장으로 작용을 하면 하얗게 고립된 잡음이 수축할 때에 제거가 된다. 따라서, 원하는 영상의 형태는 그대로 보존하면서, 원하는 영상 이외의 불연속 잡음 등을 제거하게 된다.

2.2.3 Thinning(세선화)

슬릿광 형성에 사용된 레이저 빛은 가우시안(gaussian) 분포를 갖고 있으므로 일반적으로 화면에서 밝게 빛나는 부분은 어느 정도의 두께를 갖게 된다. 측정점 획득을 위해 두꺼운 선을 최 외각으로부터 한 겹씩 벗겨나가서 마지막에 남는 선 성분을 추출하는 세선화기술을 이용한다. 즉 영상의 본질적인 구조를 보존한 채, 선도형을 추출하는 조작이다.

세선화 과정은 Table 1에 나타난 mask를 이용한 mask 연산을 슬릿광의 두께가 한 픽셀이 될 때까지 반복수행한다..

Table 1. Neighbors of pixel P_1 in 3×3 windows region

P_9	P_2	P_3
P_8	P_1	P_4
P_7	P_6	P_5

본 연구에서는 신속한 영상처리를 위하여 수평방향으로만 세선화하는 방법을 적용하였다. 슬릿광의 특성상 수직방향으로의 세선화는 의미가 없으므로, 수평방향의 두께의 중간 값의 화면좌표를 측정점으로 정한다. 이 경우 실제 측정점과 중간 값으로 잡은 점과는 측정점과 슬릿광의 각도에 따라서 다소 차이가 발생할 수 있으나 그 차이가 크지 않으므로 그 오차는 고려하지 않았다.

2.3. 클래드면 특징 형상 추출을 위한 분할법

비전시스템에 의해 얻어진 클래드 면의 3차원 프로파일은 클래딩 품질평가를 위해 특징형상을 추출해야한다. 본 연구에서는 특징형상 추출을 위해 단면프로파일로부터, 다각형 선분을 얻기 위해 절점을 추출하는 방식의 분할법을 택하였다.⁽²⁾

본 분할법은 양쪽 끝점에서부터 절점을 찾아내는 방법이다. 먼저 첫 번째 절점 A와 절점 B를 선분으로 연결한다. 다음에는 선분 AB에서 가장 멀리 떨어진 에지점을 찾아 그 법선거리가 경계값 이상이면, 그 에지점을 절점리스트에 포함시킨다. 이러한 과정을 반복해서 모든 선분들에서 새로운 절점까지의 거리가 경계치 이하가 되면 알고리즘을 종료한다 이 알고리즘에 대한 예시는 Fig. 2와 같다.

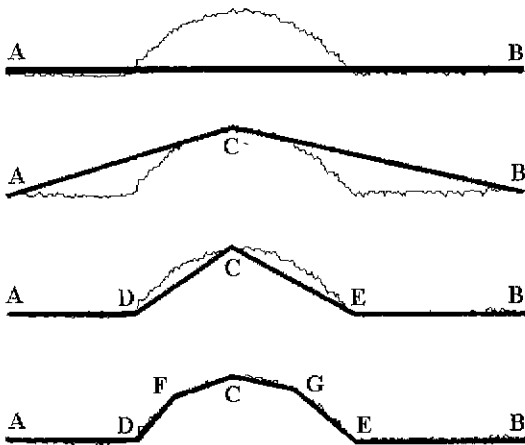


Fig. 2 Segment splitting method for a stripe

3. Photo-Diode를 이용한 모니터링^{(5),(6)}

포토 다이오드는 빛을 받으면 아주 약한 전류가 흐르는데 이를 광전류라고 한다 이 광전류의 양은 포토 다이오드가 반응할 수 있도록 결정된 빛의 파장대의 광강도와 비례하게 된다. 따라서, 이 신호를 잡음(noise)없이 센서의 전류신호를 전압으로 변환,

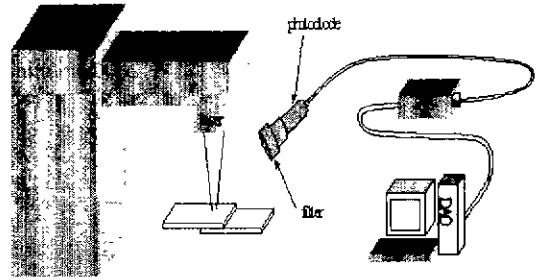


Fig. 3 Schematic diagram for laser cladding monitoring system using photo-diode sensor

증폭하기 위한 앰프를 포토 다이오드에 적절한 회로를 구성하였다. 이러한 포토 다이오드를 이용한 모니터링 시스템의 개략도는 Fig. 3과 같다.

4. 실험 및 결과 고찰

비전과 photo-diode를 통한 광신호 획득을 위한 측정시스템은 1.5 kW 출력의 Nd-YAG 레이저를 이용하여 알루미늄 모재에 청동와이어를 이용하여 이송속도를 1,000 mm/min부터 2,000 mm/min까지 500mm/min씩 증가시키면서 실험하였다. 실험 전체 시스템 구성은 Fig. 4와 같다.

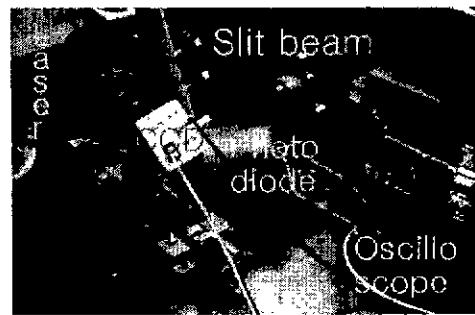


Fig. 4 Entire measuring structure

슬릿광을 이용한 비전시스템에 의한 측정에서 클래딩에서 발생하는 빛을 차단하면서, 원하는 영상을 얻기 위하여 필터를 사용하였다. 필터를 통해 획득된 이미지와 영상처리 결과 이미지는 Fig. 5와 같다.



Fig. 5 Measured image and thinning processed image

포토다이오드에 의한 신호획득은 오실로스코프로 획득하였으며, FFT변환 신호처리는 PC를 이용하였다 Fig. 6과 Fig. 7에서의 결과 2000mm/min의 결과까지는 같은 경향을 나타내는 반면, 2500mm/min부터는 다른 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

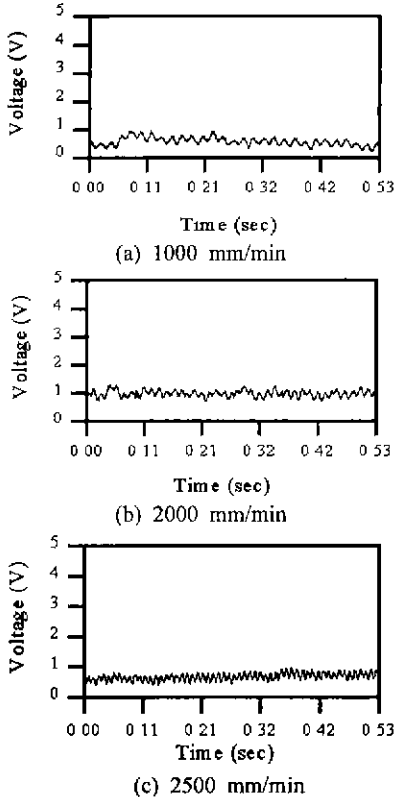


Fig. 6 Signal from the photo-diode sensor

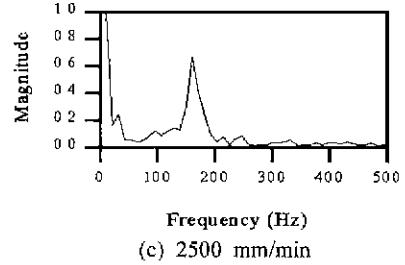
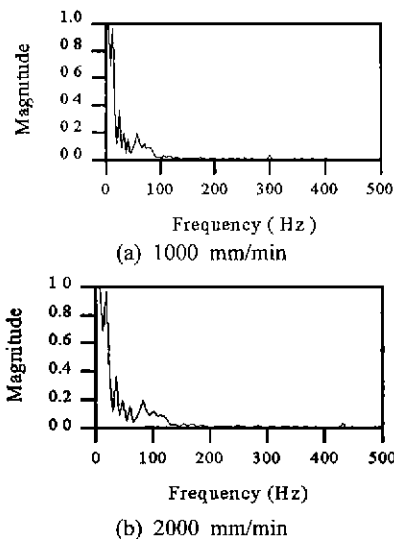


Fig. 7 FFT signal from the photo-diode sensor

4. 결론

레이저클래딩에서 공정변수 추출을 위해 비전카메라와 photo-diode센서를 이용한 모니터링 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 비전카메라를 이용하여 클래딩 공정 중에 클레드 면의 품질을 평가할 수 있으며, 그에 따른 후공정을 위한 제어변수로 적용가능하다.
2. photo-diode를 이용하여 이송속도에 따른 광신호를 분석한 결과, 2500mm/min부터는 신호가 경향을 벗어난다.

참고문헌

1. 박정수, 윤충섭, 이동주, "레이저 용접에서 On-line process monitoring 방법과 플라즈마와 음파의 관계", 한국정밀공학회 '97년도 춘계학술대회 논문집, pp.230-235, 1997
2. 이정익, "레이저 비전 센서를 이용한 용접선 추적 및 용접품질 검사에 관한 연구", 한양대학교 박사학위논문, 1999
3. 장옥진, 김봉채, 김재도, "레이저 절단에서 광소자를 이용한 가공공정 모니터링", 한국정밀공학회지, 제13권 제12호, pp.30-38, 1996
4. R.Kovacevic and Y.M. Zhang, "Real-Time Image Processing for Monitoring of Free Weld Pool Surface", Journal of Manufacturing Science and Engineering. Vo.119, No.5, pp.161-169, 1997
5. 정원영, "레이저 용접에서 광센서를 이용한 온라인 용접공정 모니터링", 한양대학교 석사학위논문, 1997
6. 박현성, 이세현, 정경훈, 박인수, "고출력 CO₂ 레이저 용접시 포토다이오드를 이용한 플라즈마와 스패터 모니터링", 한국레이저가공학회지, 제2권 제1호, pp.30-37, 1999