질화처리된 저탄소강 레이저 용접부의 기공 감소

안영남* · 김철희*,† · 이원범** · 김정환***

*한국생산기술연구원 용접접합연구그룹

**한국생산기술연구원 열표면기술센터

***한국생산기술연구원 뿌리산업진흥본부

Porosity Reduction in Laser Welding of Nitrided Carbon Steel

Young-Nam Ahn*, Cheolhee Kim*,†, Wonbeom Lee** and Jeonhan Kim***

*Welding & Joining Research Group, Korea Institute of Industrial Technology, Incheon 406-840, Korea

**Heat Treatment & Plating Technology Center, Korea Institute of Industrial Technology, Incheon 406-840, Korea

***Korea Ppuri Industry Center, Korea Institute of Industrial Technology, Incheon 406-840, Korea

†Corresponding author : chkim@kitech.re.kr

(Received November 1, 2013 ; Revised December 12, 2013 ; Accepted December 19, 2013)

Abstract

Gas nitriding is a surface hardening process where nitrogen is introduced into the surface of a ferrous alloy. During fusion welding of nitrided carbon steel, the nitride inside weld metal is dissolved and generates nitrogen gas, which causes porosities - blow holes and pits. In this study, several laser welding processes such as weaving welding, two-pass welding, dual beam welding and laser-arc hybrid welding were investigated to elongate the weld pool to enhance nitrogen gas evacuation. The surface pits were successfully eliminated with elongated weld pool. However blowholes inside the weld metal were effectively reduced but not fully disappeared.

Key Words : Laser welding, Nitrided steel, Porosity, Laser weaving, Dual beam, Laser arc hybrid welding

1. 서 론

자동차의 파워트레인 부품의 경우 표면의 물성을 향상시키기 위해 질화나 침탄과 같은 열처리를 수행하고 있다. 이 중 저탄소강의 질화처리의 경우 495~565도의 비교적 낮은 온도의 질소분위기속에서 표면에 질화물(nitride)을 형성함으로써 부품 표면에서 고경도, 고내마모성, 고내식성을 달성하고 피로수명을 향상시킨다¹⁾.

파워트레인 부품의 경우 고강도 및 고내구성과 함께 높은 치수정밀도를 요구하여 기존에 전자빔 용접이 주로 수행되었으나 최근에는 레이저 용접에 대한 검토가 활발하다²⁻⁵⁾.

그러나 질화처리된 부품에 용접을 실시할 경우 용융 금속내의 질화물이 분해되면서 질소 가스가 생성되고

이로 인해 용접부에 기공이 발생하게 된다. 이를 방지하기 위해 산업현장에서는 방질처리를 하여 용접부 근처에서는 질화처리를 하지 않는 방법을 이용하고 있어 생산성을 떨어뜨리는 원인이 되고 있다. 방질처리없이 질화된 부품에 직접 레이저 용접을 적용하기 위해 Ti을 함유한 용가재를 사용하는 기법⁶⁾이 소개된 바 있는데 이 경우에는 와이어 공급이 필요하며 적용부품의 재설계가 필요하다.

레이저 용접부의 기공을 감소시키기 위하여 기공형성의 가장 큰 원인이 되는 기공의 안정성을 증가시키기 위한 연구가 다수 수행되었다⁷⁻⁹⁾. 또한 형성된 기공의 방출이 용이하도록 용융풀의 형상을 제어하기 위해 듀얼 빔이나 레이저-아크 하이브리드 용접기법의 적용이 검토되었다¹⁰⁻¹¹⁾.

질화처리된 소재의 레이저 용접에서 기공의 발생원인

은 기홀안정성 보다는 질화물의 분해로 인한 가스 발생이므로 본 연구에서는 용융풀의 형상을 제어하기 위하여 레이저 위빙을 이용한 빔모듈레이션, 다층 용접, 레이저-아크 하이브리드용접, 듀얼 빔 레이저 용접을 수행하면서 용접부에 형성되는 기공의 양상을 실험적으로 관찰하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용한 소재는 2.6 mm 두께의 SPFH 590소재로 화학적 성분은 Table 1과 같다. 소재는 용접을 수행하기 전 560도에서 2.5 시간 질화처리하여 Fig. 1(a)와 같이 표면에 14.9 μm 의 두께로 질화층을 형성하였고 표면의 경도는 Fig. 1(b)와 같이 향상되었다.

싱글빔 레이저 용접과 레이저-아크 하이브리드 용접은 디스크레이저를 이용하였으며, 듀얼빔 레이저 용접은 Nd:YAG 레이저를 이용하였다.

싱글빔 레이저 용접 시에는 0.2 mm 직경의 광파이버를 전송하여 초점거리 450 mm의 빔 스캐너 헤드로 모재에 조사하였다. 이 때 1축 테이블을 이용하여 시편을 이송하면서 용접을 수행하였다. 소재의 표면에 초점을 위치시켰으며, 빔의 직경은 0.6 mm이다. Fig. 2(a)와 같이 위빙을 구현할 경우 용접방향과 같은 방향으로 위빙하였다.

듀얼빔 레이저 용접 시에는 0.6 mm 직경의 파이버로 전송한 레이저 빔을 초점거리 205 mm를 가지는 광학계를 이용하여 소재로 조사하였으며 나누어진 두 빔은 각각 50%의 출력을 가진다. 빔의 최소 직경은 0.6 mm이고 두 빔 사이의 거리를 가변하면서 실험을 수행하였다. 두 빔의 배치는 Fig. 2(b)와 같이 용접방향과 같은 방향이다.

레이저-플라즈마 아크 하이브리드 용접에서는 0.2 mm 직경의 광파이버와 220 mm 초점거리 광학계를 이용

Table 1 Chemical compositions of base metal (wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Fe
0.09	0.1	0.39	0.009	0.002	Bal.

Fig. 1 Base material after nitriding

Fig. 2 Experimental setup

하여 레이저 조사하였으며, 이 때 초점에서 빔의 직경은 0.22 mm 이다. 플라즈마 아크는 Fig. 2(c)와 같이 레이저 빔에 후행하도록 배치하였으며 레이저-아크 간 각도는 30도, 레이저-아크간 거리는 2 mm, 아크 길이는 2 mm 이다. 보호가스는 Ar 15 l/min의 유량으로 공급하였다.

3. 실험결과

3.1 위빙용접

레이저 빔 위빙에 따른 기공특성을 평가하기 위하여 레이저 출력 2.6 kW, 용접속도 1.2 m/min, 레이저 위빙속도 15 m/min에서 위빙 폭을 2 mm, 3 mm, 4 mm로 변경하면서 용접을 수행하였다.

Fig. 3의 고속촬영 결과에서와 같이 위빙 폭이 커질수록 용융풀의 길이가 증가하는 현상이 관찰된다. 직선 용접의 경우 내부에서 기화된 버블의 폭발이 발생할 경우 표면의 피트(pit)를 형성하면서 결함이 발생하지만 위빙용접의 경우 용융풀이 길고 유동성이 증가하여 내부의 기공이 외부로 분출되기 때문에 표면 피트가 없어지면서 표면 형상이 개선된다. 이에 따라 Fig. 4의 비드 표면에서 직선용접에 비해 위빙용접에서 표면 피트 발생이 없어지거나 대폭 감소하고 비파괴검사에서 용접부 내부 블로우홀 발생도 상당히 감소하였다. 실험에서 선정한 2~4 mm 위빙폭에서는 표면 피트와 내부 블로

Fig. 3 High speed images for weaving welding with various weaving widths (time interval: 0.2 ms)

우홀 발생에서 큰 차이는 없었다. 그러나 위빙용접의 적용만으로 용접부 내의 블로우홀을 완전히 제거하지는 못 하였다.

3.2 2패스 용접

용접부에 발생한 기공 감소의 방안으로 레이저 용접으로 완전용입이 달성된 용접부에 레이저를 한번 더 조사하고 용접부 품질을 평가하였다. 본 연구에서는 직선용접 후 위빙용접을 두 번째 패스에 적용한 결과와 위빙용접 후 직선용접을 두 번째 패스에 적용한 결과를 비교하였다.

직선용접과 위빙용접에서 용접속도와 레이저 출력은 1.2 m/min과 2 kW로 동일하게 선정하였으며, 위빙시 위빙 속도 15 m/min, 위빙 길이 2 mm를 이용하였고 각 경우에 대해 용접비드 표면과 비파괴검사결과를 Fig. 5와 6에 각각 나타내었다.

직선 1패스 용접을 수행한 Fig. 4(a)와 비교할 때 Fig. 5(a)와 Fig. 6(a)와 같이 직선용접 후 위빙용접, 위빙용접 후 직선용접 2 가지 경우 모두에 대해 비드 표면의 피트는 모두 개선되었다. 내부의 기공은 Fig. 5(b)와 같이 위빙용접 후 직선용접을 한 경우에 비해 Fig. 6(b)와 같이 직선용접 후 위빙용접을 수행한 경우 더 많이 감소되었다. 이는 2번째 패스의 위빙용접에서 더 긴 용융풀이 형성되므로 기공의 방출에 도움이 된 것으로 판단된다.

3.3 듀얼 빔 레이저용접 결과

레이저 출력 2 kW의 Nd:YAG 레이저를 이용하여 레이저빔 간 거리를 0.5 mm와 1.0 mm로 설정하고 레이저 초점을 모재 아래 3 mm에 위치시켜 듀얼빔 레이저 용접을 수행하였다. 이 때 완전용입을 달성하기 위해 레이저 빔간 거리 0.5 mm, 1.0 mm에 대해 용접

Fig. 4 Bead appearances and X-ray images for weaving welding weldments

Fig. 5 Linear welding after weaving welding

Fig. 6 Weaving welding after linear welding

속도를 0.8 m/min, 0.5 m/min으로 각각 설정하였다.

듀얼빔 용접의 경우 레이저위빙용접과 마찬가지로 직선용접에 비해 긴 용융풀의 형성되어 용접부에 발생한

Fig. 7 Bead appearances and X-ray images for dual beam laser welding

Fig. 8 Bead appearance for laser plasma arc hybrid welding with various welding speeds

기공이 외부로 분출되는 데 충분한 시간을 제공한다. 이에 따라 Fig. 7의 비드 표면 및 비파괴 검사결과에서와 같이 직선용접에 비해 비드 표면 품질이 개선되고 블로우홀이 감소됨을 확인할 수 있다. 레이저 빔간 거리 0.5 mm에 비해 1.0 mm인 경우 더 긴 용융풀이 형성되어 블로우홀 감소효과가 더 크게 나타났다.

3.4 레이저-플라즈마 하이브리드 용접 결과

레이저-플라즈마 하이브리드 용접을 위해 레이저 출력은 2 kW, 용접 전류는 60 A로 고정하고 레이저 선행으로 용접을 수행하였다. 용접속도는 2.2 m/min, 2.5 m/min, 3.6 m/min, 3.6 m/min으로 총 4개의 조건에 대해 실험하였다. Fig. 8에서 확인할 수 있는 것과 같이 용접속도가 2.2 m/min으로 느린 경우에는 내부의 기공이 외부로 분출될 충분한 시간이 확보되어

표면의 피트가 제거되었으나 용접속도가 빨라질수록 표면 피트의 발생이 증가한다.

용융풀 내의 기공의 분출은 Fig. 9와 같이 고속촬영 결과에서도 확인할 수 있다. 그러나 Fig. 10과 같이 비파괴검사에서는 여전히 내부의 블로우홀이 잔존함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

질화처리된 SPFH590 저탄소강의 맞대기용접부에

Fig. 9 High speed images for laser-plasma arc hybrid welding (welding speed: 2.2 m/min, time interval: 0.2 ms)

Fig. 10 X-ray images for laser-plasma arc hybrid welding (welding speed: 2.2 m/min)

레이저 직선용접, 위빙용접, 2패스용접, 듀얼빔용접, 레이저-아크 하이브리드 용접을 적용하여 아래와 같은 결론을 도출하였다.

1) 질화처리된 시편의 레이저 직선용접 시 질화물이 분해되어 가스가 발생하고 이로 인해 표면의 피트와 용접부 블로우홀이 발생한다.

2) 레이저 위빙을 적용하여 용융풀의 길이를 길게 형성할 경우 표면 피트가 제거되고 내부 블로우홀 감소가 가능하였다.

3) 완전용입이 가능한 조건을 이용한 2 패스용접을 적용할 경우 표면 피트 제거가 가능하였으며, 직선 혹은 위빙을 이용한 1 패스 용접에 비해 내부 블로우홀 감소율이 크게 나타났다.

4) 용융풀의 길이를 길게 유지할 수 있는 듀얼빔 용접 및 레이저-아크 하이브리드 용접을 적용한 경우에도 표면 품질 확보가 가능하였으나 내부 블로우홀의 완전한 제거는 어려움이 확인되었다.

후 기

듀얼빔 용접에 도움을 주신 이복영박사님 외 RIST 관계자 여러분과 실험소재 수급을 도와주신 최두열 전문연구원 외 포스코 관계자 여러분들께 진심으로 감사드립니다.

Reference

1. ASM International: ASM Handbook, Vol. 4, Heat Treating, 1991
2. C. Kim and Y.-N. Ahn: Laser Weldability of Carbon Steel for Automotive Auto-transmission Parts, Journal of KWJS, **28-3** (2010), 237-242 (in Korean)
3. Y.-N. Ahn and C. Kim: Laser Welding of Automotive Transmission Components, Journal of KWJS, **29-6** (2011), 665-668 (in Korean)
4. J. Yu, T. Jung, S. Kim and S. Rhee: Laser Welding of Cast Iron and Carburized Steel for Differential Gear, Journal of Mechanical Science and Technology, **25-11** (2011), 2887-2893
5. J. Cho, I. Chang, C. Jeong and C. Lim: Study on Laser Welding for Differential Gear & Case for Filler wire, Journal of Korean Society of Laser Processing, **14-4** (2011), 1-8
6. H. Gu, G. Yin and S. Shulkin: Laser Beam Welding of Nitride Steel Components, Physics Procedia, **12** (2011), 40-45
7. A. Matsunawa, J.-D. Kim, N. Seto, M. Mizutani and S. Katayama: Dynamics of Keyhole and Molten Pool in Laser Welding. Journal of Laser Applications,

- 10-6** (1998), 247-254
8. R. Fabbro and K. Chouf: Dynamic Description of the Keyhole in Deep Penetration Laser Welding, *Journal of Laser Application*, **12-4** (2000), 142-146
9. A. Matsunawa: Problems and Solutions in Deep Penetration Laser Welding, *Science and Technology of Welding and Joining*, **6-6** (2001), 351-354
10. A. Punkari, D. C. Weckman and H. W. Kerr: Effects of Magnesium Content on Dual Beam Nd:YAG Laser Welding of Al-Mg Alloys. *Science and Technology of Welding and Joining*, **8-4** (2003), 269-281
11. S. Katayama, Y. Naito, S. Uchiumi and M. Mizutani, Penetration and Porosity Prevention Mechanism in Laser-Arc Hybrid Welding. *Proceedings of the 3rd International WLT Conference on Lasers in Manufacturing (LIM 2005)*, 2005, 193-198