레이저를 이용한 SM45C 환봉의 표면 열처리 특성

김종도+ ·오진석++ ·강운주+++ ·이창제++++

Characteristics of Surface Transformation Hardening for Rod-shaped SM45C Steel by Laser Heat Source

Jong-Do Kim+, Jin-Seok Oh++, Woon-Ju Kang+++, Chang-Je Lee++++

1. 서 론

레이저 열원(laser heat source) 이용한 표면 경화법은 기존의 고주파유도가열이나 토치가열에 의한 경화법에 비해 짧은 시간동안 고밀도의 에너지를 국부적으로 조사할 수 있기 때문에 가열 및 냉각 불균일로 인한 변형이 상대적으로 매우 적고, 자기 담금질(self quenching) 효과에 의해 자체 냉각되므로 추가적인 냉각 수단이 요구되지 않을 뿐만 아니라 복잡한 형상이나 국소부위 열처리도 가능하다는 장점이 있다.

본 연구에서는 기계구조용으로 널리 사용되고 있는 SM45C 재료를 이용하였으며, 평판시편과 형상인자 및 가공변수가 다른 환봉시편을 주로 실험에 적용하였다. 연구의 목적은 CW Nd:YAG laser를 이용한 선반기반의 레이저 복합가공 메커니즘을 규명하고 지배적인 공정변수를 추출함과 동시에 그러한 변수 설정에 따른 표면 경화 거동을 파악하는데 있다.

2. 실험내용

2.1 실험재료 및 장치

본 연구에 사용된 재료는 크랭크축, 커플링, 풀리 및 동력전달축 등 기계구조용 소재로 널리 사용되는 탄소함량 0.43%의 SM45C 탄소강이다. 실험장치는 크게 4kW급 CW Nd:YAG 레이저와 반복 오차(repetition error) ∓0.06mm의 6축 제어 로봇 및 회전수 제어 범위 2~1,100rpm인 소형선반의 4가지로 구성되며 집광 광학계는 전형적인 가우시안 분포의 원형 빔 광학헤드를 이용하였다. 그 실험장치의 개략도를 **Fig.1**에 나타낸다.

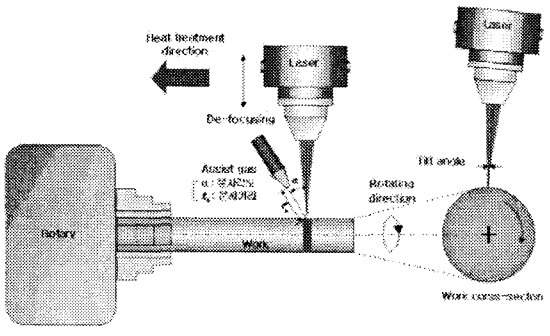


Fig.1 Schematic diagram of experiment setup

실험은 환봉을 특정 회전수로 회전시키면서 그 위를 빔이 일정 속도로 스캔하는 방식으로 수행하였으며, 모든 실험 중에는 질소(N_2) 가스를 이용하여 분당 20리터의 유량으로 빔 진행방향으로부터 처리부 표면을 실드하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

2.2.1 출력변화에 따른 열처리 특성

출력 조건은 모든 레이저 프로세스의 가장 기본이 되는 변수로 재료에 가해지는 입열량을 결정한다. **Fig.2**에 나타낸 것과 같이 출력의 증가에 따라 입열량이 증가하므로 처리깊이가 점차적으로 깊어지는 경향을 나타내었으며, 2.0kW로 비교적 높은 출력에서는 파워밀도의 증가로 인해 표면의 일부가 용융하는 현상이 발생하였다.

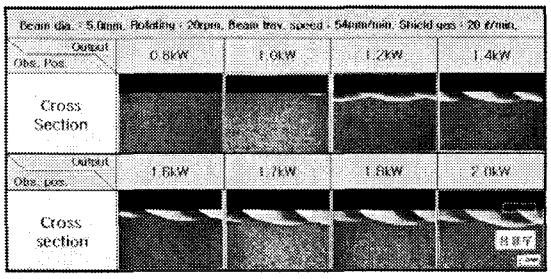


Fig.2 Cross-sections as a variation of laser power

2.2.2 회전수 변화에 따른 열처리 특성

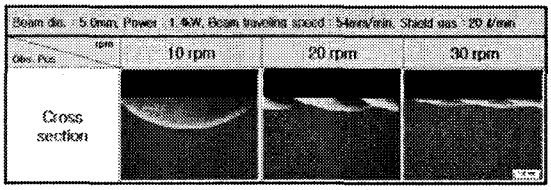
회전수는 빔 이송속도(beam trav. speed)와 열처리 속도 즉, 원주속도(circumferential speed)와 중첩률(overlap rate)을 결정하는데, 중첩률보다는 원주속도에 다소 큰 영향을 미친다. **Fig.3(a)**에 나타낸 것과 같이, 회전수가 증가할수록 단위시간동안 재료에 가해지는 입열량이 적어지므로 처리깊이는 얕아지고 중첩률은 증가하는 경향을 보인 반면, 회전수가 10rpm으로 낮은 경우에는 스폿의 중앙에 해당하는 부분에서 용융이 발생하였고 중첩은 이뤄지지 않았다.

2.2.3. 빔 이송속도 변화에 따른 열처리 특성

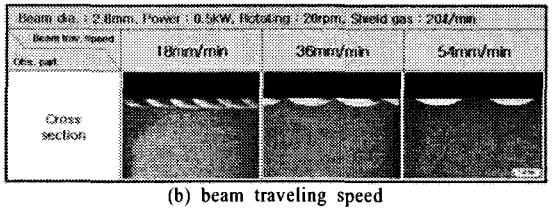
회전수와는 달리, 빔 이송속도는 원주속도에는 거의 변화를

+ 김종도 : 한국해양대학교 기관시스템공학부, E-mail:jdkim@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4253
++ 오진석 : 한국해양대학교 선박전자기계공학부
+++ 강운주, +++ 이창제 : 한국해양대학교 대학원

주지 못하지만 중첩률에 크게 영향을 미친다. Fig.3(b)는 빔 이송속도의 변화에 따른 열처리 단면사진을 나타내고 있다. 빔 이송속도에 따라 원주속도의 변화가 거의 없기 때문에 열처리 깊이에는 그다지 뚜렷한 차이가 없지만 중첩률에 대해서는 현저한 차이가 있었다.



(a) rpm



(b) beam traveling speed

Fig.3 Cross-sections as a variation of rpm(a) and beam traveling speed(b)

2.2.4. 경도분포 특성

전반적으로 중첩이 있는 상태에서 종방향 경도분포는 증감을 반복하는 사이클을 이루고 있으며, 깊이 방향 경도는 깊이가 깊어짐에 따라 감소하여 모재의 경도로 수렴하는 전형적인 양상을 나타내고 있다. 종방향 및 깊이 방향 경도분포를 Fig.4에 나타낸다.

종방향 경도 분포는 가우시안 빔 특성으로 인해 경도는 서서히 증가했다가 감소하는 경향을 보이고 있는데, 중첩 열영향부에서 저하하고 스폿의 가장자리에서 최고값을 나타내는 양상을 보이고 있다. 최고 및 최저 경도값은 각각 대략 730Hv, 350Hv 정도를 나타내고 있는데, 중첩 열영향부에서 경도 저하는 열영향으로 인한 템퍼링 효과 때문인 것으로 판단된다.

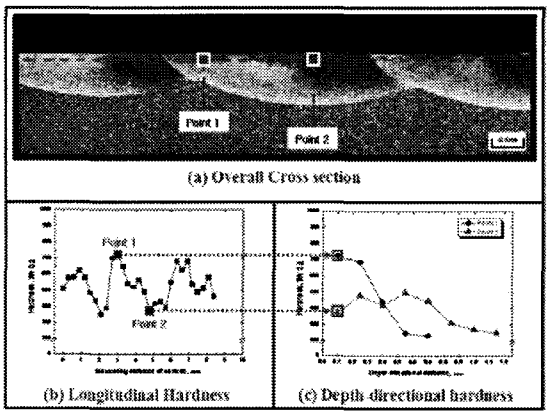


Fig.4 Cross-section macrophotos and longitudinal / depth-directional hardness distributions

3. 결 론

가우시안 빔 모드의 집광 광학계를 이용하여 SM45C 환봉 표면을 변태 경화하는 실험을 수행하였다. 그 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 환봉의 표면 열처리 공정변수는 빔 사이즈, 출력, 회전수 및 빔 이송속도이다. 특히 회전수와 빔 이송속도는 원주속도와 중첩률에 영향을 미친다.

2) 출력의 증가에 따라서 열처리 깊이가 증가하였으며, 출력이 높은 경우 표면이 용융하는 사례가 발생하였다.

3) 회전수는 열처리 속도 즉, 환봉의 경우에 있어서는 원주속도에 관여하므로 회전수가 증가할수록 입열량이 적어져 처리 깊이가 얕아지는 경향을 보였다.

4) 빔 이송속도는 그 변화에 따라 원주속도의 변화가 미미하기 때문에 열처리 깊이에는 그다지 영향을 미치지 못하는 반면, 중첩률을 크게 변화시켰다.

5) 열처리부의 종방향 경도분포는 증감을 반복하는 주기적인 양상을 나타내었고, 템퍼링 효과에 의해 중첩 열영향부에서 경도 저하가 발생하였다.

참고문헌

[1] 丸尾 大, 宮本 勇, 石出 孝, 荒全吉明 "レーザ燒入れの研究", 溶接學會誌 第50卷 第2号, 1981

[2] 柴田公博 : "レーザ燒入の實際", 溶接學會誌 第64卷 第3号, 1995

[3] Zhiyue Xu, Claude B. Reed, Keng H. Leong, Boyd V. Hunter "Pulsed Laser Surface Hardening of Ferrous Alloy", ICALEO, section-F p.252~261, 1999

[4] Yuji Asaka, Hideaki Kobayashi, Shigehiko Arita "Laser Heat Treatment of Piston Ring Groove", Proceedings of LAMP, p.555~560, 1987

[5] M. Seifert, B. Brenner, F. Tietz, E. Beyer "Pioneering Laser Scanning for Hardening of Turbine blades", ICALEO, Section-F p.252~261, 1999