

CW Nd:YAG Laser를 이용한 SM45C 환봉의 표면 열처리 특성

The characteristics of Surface Transformation Hardening for Rod-shaped SM45C Carbon Steel by CW Nd:YAG Laser

김 종도*, 강 운주**, 이 창제**, 이 제훈***, 서 정***, 이 문용****

* 한국해양대학교 기관시스템공학부

** 한국해양대학교 대학원

*** 한국기계연구원

**** 성우하이텍(주)

ABSTRACT The study on a surface transformation hardening of a rod-shaped SM45C carbon steel is carried out by using CW Nd:YAG laser. Conventionally, CO₂ laser has been usually used as a laser source for a transformation hardening. however, it is needed to an additional absorbent coating like a colloidal graphite owing to a lower absorbtion rate. On the other hand, no cost and post-removal process of coating is required to Nd:YAG laser, due to a higher absorbtion rate relatively. Moreover, there is a merit which is capable of building up the more flexible processing system resulted from a beam delivery through a optical fiber. In this study, we were going to recognize characteristics of a transformation hardening using a optic head with a gaussian beam distribution.

1. 서 론

금속의 표면 경화법에는 침탄 및 질화법, 고주파 유도가열법, 토치가열법 등 여러 가지가 있다. 특히, 재료를 변태 경화시키는 고주파 유도가열이나 토치가열법은 상대적으로 많은 에너지가 소모되며, 추가적인 냉각수단을 필요로 할 뿐만 아니라 냉각 후에도 재료의 초과변형을 유발하여 후가공이 요구되는 단점이 있다. 이에 반해 레이저를 적용한 표면 경화법은 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 않는다. 이외에도 복잡한 형상이나 국소부위 열처리도 가능하다는 장점이 있다.

기존의 레이저 열처리 연구에서는 시험편으로 주로 평판이 많이 사용되었지만, 본 연구에서는 SM45C 환봉을 레이저로 표면 열처리하여 그 특성을 파악하고자 하였다. 환봉은 평판과 형상 인자 및 열처리 조건이 달라서 변태 경화 특성에 차이가 있을 것으로 판단하였으며, 본 실험을 통

해, 환봉의 레이저 열처리에 있어서 기본적인 변수를 추출하고, 가공 메커니즘 및 재료와의 상호작용을 규명하고자 하였다.

2. 실험 내용

2.1 실험 재료, 장치 및 방법

본 연구에 사용된 재료는 크랭크축, 커플링, 플리 및 동력 전달축 등 기계 구조용 소재로 널리 사용되는 SM45C 탄소강이다.

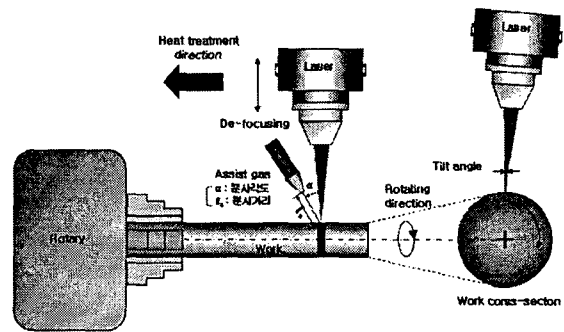


Fig.1 Schematic diagram of experiment setup

실험 장치는 최대 출력 4kW의 CW Nd:YAG 레이저, 반복 오차 ±0.06mm의 6축 제어 로봇과 회전수 제어 범위 2~1,100rpm의 소형 선반으로 구성된다. 집광 광학계는 원형 빔의 가우시안 빔 모드를 이용하였다. 실험 장치의 개략도를 Fig.1에 나타내었다.

실험은 환봉을 특정 회전수로 회전시키면서 그 위치를 빔이 일정 속도로 스캔하는 방식으로 수행하였으며, 모든 실험에는 질소(N₂) 가스를 이용하여 분당 20리터의 유량으로 빔 진행방향으로부터 처리부 표면을 실드하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

본 실험에서 빔 사이즈, 출력, 회전수 및 빔 이송속도를 변수로 하여 그 설정에 따른 특성을 파악하였다.

2.2.1 출력 변화에 따른 열처리 특성

출력 조건은 모든 레이저 프로세스의 가장 기본이 되는 변수로 재료에 가해지는 입열량을 결정한다. Fig.2에는 출력에 따른 열처리 표면 및 단면 사진을 나타낸다.

Spot size : 5.0mm, Shield gas : 20 L/min, Speed : 1.5m/min(Rotating : 20rpm, Beam traveling : 54mm/min)				
Theoretical overlap rate : 46%				
Output	0.8kW	1.0kW	1.2kW	1.4kW
Obs. pos.				
Surface				
Cross section				
Output	1.6kW	1.7kW	1.8kW	2.0kW
Obs. pos.				
Surface				
Cross section				

Fig.2 Surface appearances and cross-section macrophotos as a variation of output

열처리는 출력 1.2~2.0kW의 범위에서 이뤄졌으며, 출력의 증가에 따라 처리깊이가 점차적으로 깊어지는 것을 확인할 수 있다. 단, 출력 2.0kW 이상에서는 출력 증가에 따른 입열량의 증가로 인해 표면이 일부 용융되는 현상이 발생하였다.

2.2.2 회전수 변화에 따른 열처리 특성

회전수는 빔 이송속도와 더불어 원주속도(circumferential speed)와 중첩률(overlap rate)을 좌우하는데, 상대적으로 중첩률보다는 원주속도에 큰 영향을 미친다. Fig.3에 회전수 변화에 따른 열처리 표면 및 단면 사진을 나타낸다.

Spot size : 5.0mm, Power : 1.4kW, Shield gas : 20 L/min, Beam traveling speed : 54mm/min			
Circumferential speed	0.75m/min	1.5m/min	2.25m/min
Theo. overlap rate	-	46%	64%
RPM	10 RPM	20 RPM	30 RPM
Obs. pos.			
Surface			
Cross section			

Fig.3 Surface appearances and cross-section macrophotos as a variation of RPM

회전수가 증가할수록 단위시간동안 재료에 가해지는 입열량이 적어지므로 처리깊이는 얕아지며, 중첩률은 증가하는 경향을 보인다. 반면에 회전수가 10rpm으로 감소하면 중첩은 이뤄지지 않고 스폿의 중앙부에 해당하는 부분에서 용융이 발생한 것을 확인할 수 있다.

2.2.3. 빔 이송속도 변화에 따른 열처리 특성

회전수와는 달리, 빔 이송속도의 경우에는 원주속도에는 거의 변화를 주지 못하는 반면, 중첩률에 크게 영향을 미친다. 빔 이송속도의 차이에 따른 열처리 표면 및 단면 사진을 Fig.4에 나타낸다.

Spot size : 2.8mm, Power : 0.9kW, Shield gas : 20L/min, Rotating speed : 20rpm			
Circumferential speed : 1.5m/min			
Theo. Overlap rate	70%	40%	10%
Beam trav. speed	18mm/min	36mm/min	54mm/min
Obs. pos.			
Surface			
Cross section			

Fig.4 Surface appearances and cross-section macrophotos as a variation of beam traveling speed

빔 이송속도에 따라 원주속도의 변화가 거의 없기 때문에, 입열량의 차이가 적어서 열처리 깊이에는 그다지 뚜렷한 차이가 없는 반면, 중첩률에 대해서는 현저한 차이가 있음을 확인할 수 있다.

또한 그림 상에 표기한 이론 중첩률(Theoretical overlap rate)이 40% 이상 되어야 비로소 약간씩 중첩이 이뤄지고 있는 것을 확인할 수 있는데, 이는 실제 열처리되는 유효 스폿 사이즈가 실험 전, 번 패턴에 의해 예측된 스폿 사이즈보다 작음을 시사한다.

2.2.4. 경도분포 특성

전반적으로 중첩이 있는 상태에서 종방향 경도 분포는 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.5에 나타낸다.

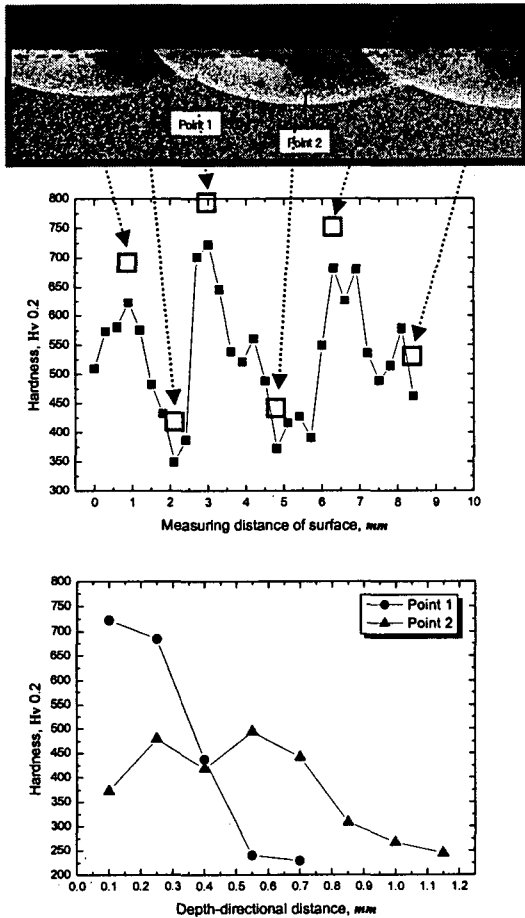


Fig.5 Cross-section macrophotos and longitudinal / depth-directional hardness distributions

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.

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

3) 적절한 변수 선정을 통해 중첩을 최소화하고 표면 용융을 피할 수 있다면, 가우시안 빔으로도 충분한 표면 경화 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. 丸尾 大, 宮本 勇, 石出 孝, 荒全吉明 : 레이저焼入れの研究, 容接學會誌 第50卷(1981) 第2号
2. 柴田公博 : 레이저焼入の實際, 容接學會誌 第64卷(1995) 第3号
3. M. Seifert, B. Brenner, F. Tietz, E. Beyer : Pioneering Laser Scanning for Hardening of Turbine blades, ICALEO(1999), Section-F, p.252~261
4. Zhiyue Xu, Claude B. Reed, Keng H. Leong, Boyd V. Hunter : Pulsed Laser Surface Hardening of Ferrous Alloys, ICALEO(1999), section-F, p.252~261
5. Yuji Asaka, Hideaki Kobayashi, Shigehiko Arita : Laser Heat Treatment of Piston Ring Groove, Proceedings of LAMP(1987), p.555~560