

가우시안 빔을 이용한 SM45C 환봉의 레이저 표면변태경화에 관한 연구

The Study on Laser Surface Transformation Hardening of Rod-Shaped SM45C Carbon Steel by Heat Source with Gaussian Distribution

한국해양대학교 기관시스템공학부 김종도
 한국해양대학교 대학원 강운주, 이창제
 한국기계연구원 이재훈, 서정성
 성우 하이텍(주) 이문용

I. 서론




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 레이저 표면 경화법은 짧은 시간동안 고밀도의 에너지를 국부적으로 조사할 수 있기 때문에 상대적으로 변형이 적고, 자기 담금질(self quenching) 효과에 의해 자체 담금질되므로 추가적인 냉각 수단이 요구되지 않는다. 이외에도 복잡한 형상이나 국소부위 열처리도 가능하다는 장점이 있다.

레이저 열처리 프로세스에서는 주로 고출력 CO₂ 레이저가 많이 사용되었으나 본 연구에서는 CO₂ 레이저보다 재료에 대한 빔 흡수율이 좋은 Nd:YAG 레이저를 채택하였다. Nd:YAG 레이저는 CO₂ 레이저에 비해 흡수코팅이 요구되지 않고, 빔의 광화이버 전송으로 보다 플렉시블한 가공 장치를 구성할 수 있다.

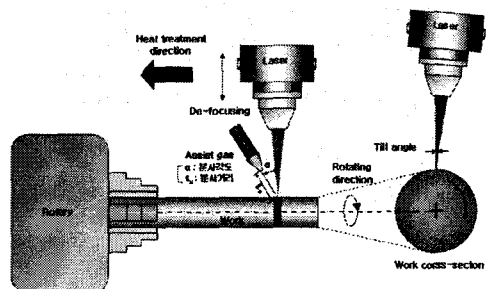
기존의 레이저 열처리 연구에서는 시험편으로 주로 평판이 많이 사용되었지만, 본 연구에서는 SM45C 환봉을 레이저로 표면 열처리하여 그 특성을 파악하고자 하였다. 환봉은 평판과 형상 인자 및 열처리 조건이 달라서 변태 경화 특성에 차이가 있을 것으로 판단하였으며, 본 실험을 통해, 환봉의 레이저 열처리에 있어서 기본적인 변수를 추출하고, 가공 메커니즘 및 재료와의 상호작용을 규명하고자 하였다.

II. 실험 재료, 장치 및 방법

본 연구에서는 크랭크축, 커플링, 폴리 및 동력 전달축 등 기계 구조용 소재로 널리 사용되는 SM45C 탄소강을 이용하였다.

Spec. Item	Picture	Specifications			
		Maker/Model	Reach (mm)	Weight (kg)	Rep. error (mm)
Robot		ABB/IRB6400R	2400	150	± 0.06
		Maker/Model	Type	Output	
Laser		TRUMPF/HL4006D	CW Nd:YAG Laser	4.0 kW	
Latho		Maker (Special order)	Speed range		
		(주) 영뉴텍	2~1100 rpm		

(a) Specifications



(b) Schematic diagram

Fig.1 Specifications and schematic diagram of experiment setup

실험 장치는 최대 출력 4kW의 CW Nd:YAG 레이저, 반복 오차 $\pm 0.06\text{mm}$ 의 6축 제어 로봇과 회전수 제어 범위 2~1,100rpm의 소형 선반으로 구성된다. 집광 광학계는 원형의 가우시안 빔 모드를 이용하였다. 실험 장치사양 및 개략도 Fig.1에 나타내었다.

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

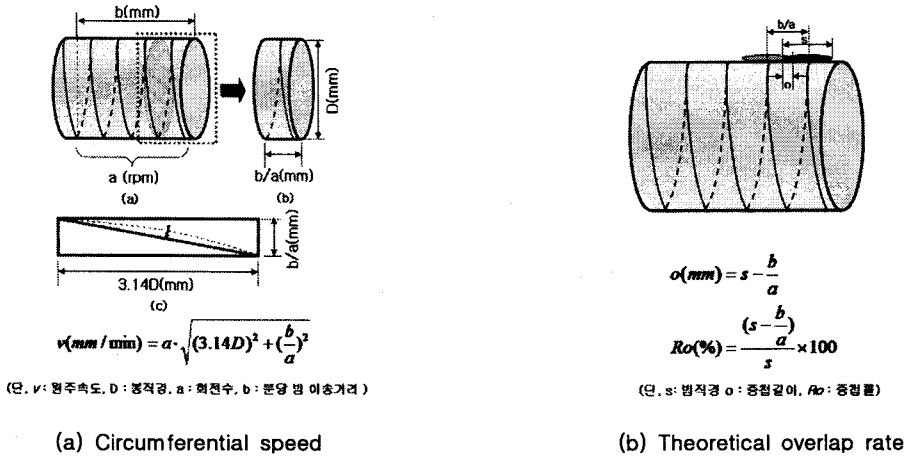


Fig.2 Concepts of circumferential speed and overlap rate

추가적으로, 환봉이 회전하면서 빔이 그 위를 진행하므로 열처리 흔적은 환봉 주위에 나선형으로 남게된다. 그러므로 빔 사이즈, 회전수 및 빔 이송속도와 같은 변수의 설정에 따라 빔의 일부가 겹쳐지게 된다. 또한 단위 시간당 입열량에 관계하는 열처리 속도에 있어서는 회전수와 빔 이송속도가 동시에 관여하므로 본 연구에서는 중첩률과 원주속도(circumferential speed)의 개념을 도입하였다. Fig.2에 원주속도와 중첩률(overlap rate)의 개념에 대해서 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

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

3.1 출력 변화에 따른 열처리 특성

출력 조건은 모든 레이저 프로세스의 가장 기본이 되는 변수로 재료에 가해지는 입열량을 결정한다. Fig.3(a)에 출력에 따른 열처리 표면 및 단면 사진을 나타낸다.

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.

3.2 회전수 변화에 따른 열처리 특성

회전수는 빔 이송속도와 더불어 원주속도와 중첩률(overlap rate)을 좌우하는데, 상대적으로 중첩률보다는 원주속도에 큰 영향을 미친다. Fig.3(b)에 회전수 변화에 따른 열처리 표면 및 단면 사진을 나타내었다.

회전수가 증가할수록 단위시간동안 재료에 가해지는 입열량이 적어지므로 처리깊이는 알아

지며, 중첩률은 증가하는 경향을 보인다. 반면에 회전수가 10rpm으로 감소하면 중첩은 이뤄지지 않고 스폿의 중앙부에 해당하는 부분에서 용융이 발생한 것을 확인할 수 있다.

3.3 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.3(c)에 나타내었다.

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.

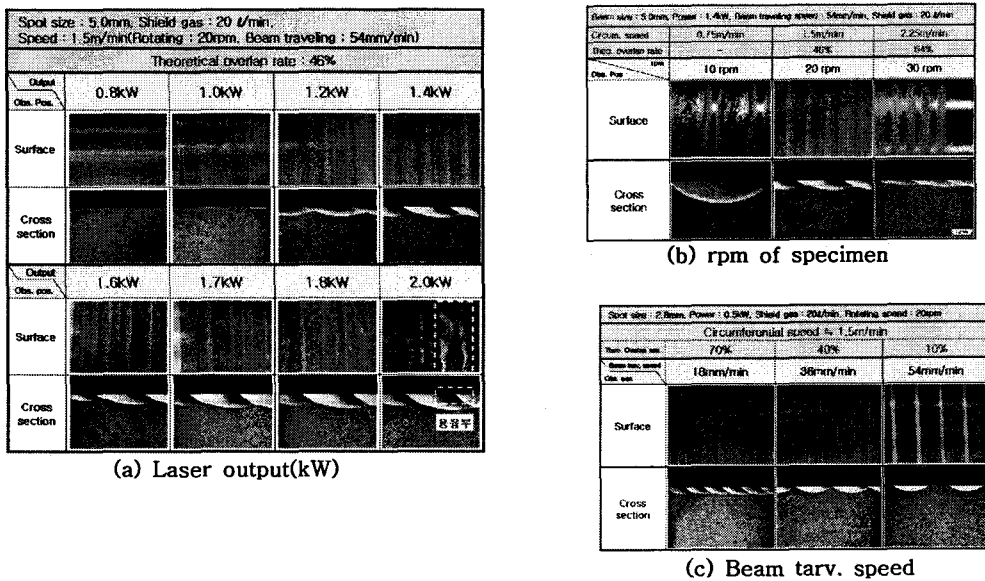


Fig.3 Surface appearances and cross-section macrophotos as a variation of each parameter

3.4 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.

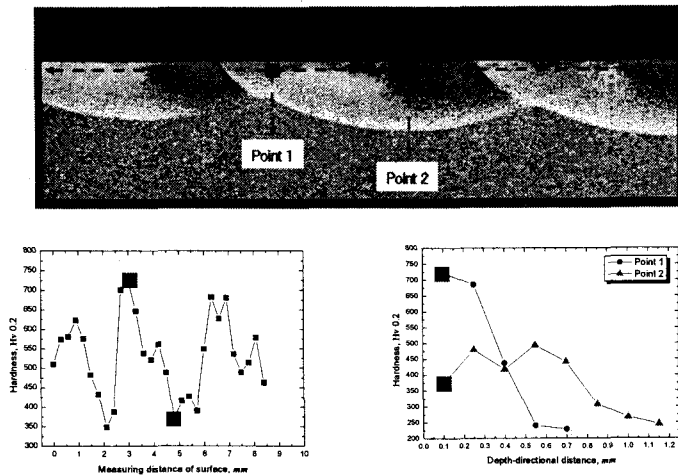


Fig.4 Cross-section macrophotos and longitudinal/depth-directional hardness distributions

IV. 결론

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) 환봉 재료의 열처리 경우에 시편이 회전하는 상태에서 빔이 그 위를 전진하므로 열처리 속도 즉, 원주속도는 회전수와 빔 이송속도 모두를 고려하여 결정되며, 또한 스폿 사이즈 등의 변수 설정에 따라서 스폿의 일부가 겹쳐질 수 있으므로 중첩률의 개념을 도입하였다.
- 3) 열처리부의 중방향 경도분포는 증감을 반복하는 주기적인 양상을 나타내었고, 템퍼링 효과에 의해 중첩 열영향부에서 경도 저하가 발생하였다.
- 4) 적절한 변수 선정을 통해 중첩을 최소화하고 표면 용융을 피할 수 있다면, 가우시안 빔으로도 충분한 표면 경화 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

후기

본 연구는 산업자원부 지원 지역산업기술개발사업인 "레이저 복합가공기용 핵심 광학모듈 개발 : 10024308" 과제의 지원으로 수행되었습니다.

V. 참고문헌

1. 丸尾 大, 宮本 勇, 石出 孝, 荒全吉明 : レーザ焼入れの研究, 容接學會誌 第50卷第2号, (1981)
2. 柴田公博 : レーザ焼入の實際, 容接學會誌 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 Alloys, ICALCO, 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)