국부 마모 부품을 위한 레이저 표면경화 열처리에 관한 연구

이 목영*, 김형준*, 김기철*, 김 재웅**
* 포항산업과학연구원 용접센타
** 영남대학교 기계공학부

A study of Laser Surface Hardening for guide roller

Mok-Young Lee*, Hyung-Joon Kim, Ki-Chol Kim, Jae-Woong Kim**
* Welding Research Center, RIST, Pohang, Korea, 790-330
** School of mechanical engineering, Yeungnam Univ. Kyongsan, Korea, 712-749

1. 서 론

레이저를 이용한 재료의 가공은 고밀도로 집속된 레이저빔을 이용하여 소재를 가공하는 방법이다. 레이저 가공은 고밀도로 집속된 레이저빔을 이용하여 소재를 국부적으로 가열시키므로 아크 혹은 고주파 열원 등의 타 열원에 비하여 열변형이 적을 뿐만아니라 생산성이 높다. 또한, 레이저빔은 대기중에서 비 접촉으로 소재에 조사되므로 소재의 형상에 자유로우며, 자동화에도 유리하다.

표면경화 열처리는 소재를 상변태온도 이상으로 가열시킨후, 급격히 냉각시켜 마르텐사이트 등과 같은 경화조직을 형성시키는 것이다. 표면경화열처리에 사용되는 열원으로는 화염, 아크, 고주파, 가열로 등이 있으며, 냉각은 수냉 혹은 유냉이 널리 사용된다.

레이저 표면경화 열처리는 레이저빔을 이용하여 소재를 가열시킨 후, 모재에 의한 자가냉각(self quenching)으로 소재를 경화시키는 방법이다. 이러한 열처리 방법은 소재의 일부 혹은 표면의 일부를 경화시키는데 유리하며, 특히 복잡한 형상의 부품에서 국부영역을 열처리하는 것이 가능하다. 그러나 레이저 빔의 집속직경이 작기 때문에 넓은 면적을 열처리하기 위해서는 레이저빔의 scanning 혹은 특별한 형태의 광학계를 필요로 한다.

신선기 가이드롤러는 빌렛을 압연하여 선재를 생산하는 공정에서 1000도 이상 고온의 선재를 지지 혹은 롤러로 안내하는 기능을 하는 부품이다. 따라서 가이드 롤러로 사용되는 소재는 고온에 견뎌야 할 뿐만아니라 고속으로 이동하는 선재에 대한 내마모 특성을 지녀야 하므로 초경이 주로 사용되고 있다. 그러나 초경은 소재 자체의 가격이 높고 가공이 어려우므로 제조원가가 높은 단점이 있다.

본 연구에서는 CO_2 레이저를 이용한 표면경화열처리에 의하여 성능이 우수하고 및 제조 cost가 낮은 신선기 가이드롤러 제조 기술을 개발하였다.

2. 실험방법

실험에 사용된 소지강판은 두께 10mm의 기계구조용탄소강이었다. 표 1에 각각의 소재에 대한 화학성분의 범위를 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of substrates

	C	Si	Mn	P	S
SM 45C	0.42-0.48	0.15-0.35	0.60-0.90	<0.030	<0.035

레이저를 이용한 표면경화 열처리를 위하여 두께 10mm의 시편에 대하여 레이저 조사시험을 행하였다. 사용된 레이저는 Trumpf사의 최대 출력 3,000W의 CO_2 레이저 및 Nd-YAG 레이저이었으며, 발진기의 상세사양을 표 2에 나타내었다. 시험에 사용된 분위기 가스는 Ar 이었으며, 공정변수는 레이저출력 및 이송속도를 변화시켰다. 표 3에 레이저 표면경화 열처리 시험에 사용된 시험조건을 나타내었다.

Table 2 Specifications of Laser for surface hardening

	CO_2 laser	Nd-YAG laser
- Model	TLF 3000 turbo	HL2000L
- Wavelength	10.6μm	1.064μm
- Maximum output power	3000 Watts	2000 Watts
- Continuously variable output	150~3000 Watts	200~2000 Watts
- Output stability	± 2%	± 2%
- Power distribution	TEM_{00}	Multi
- Beam divergence	Less than 1.0mrad	Less than 1.0mrad
- Beam diameter	15mm Dia.	25mm Dia.

Table 3 Experimental conditions

- Focusing optics :	Cylindrical mirror, lens
- Focal length :	7 inch
- Laser power :	2,000 ~ 3,000 Watts
- Welding speed :	360-1,000 mm/min
- Shielding gas :	Ar 12 l/min
- Focal position :	0~6 mm

레이저 열처리부의 형상을 관찰하기 위하여 열처리부의 단면조직시험을 행하였다. 조직시험은 열처리부를 채취하여 연마 한 후, Nital액으로 부식시켜 광학현미경으로 관찰하였다. 단면조직시험을 통하여 입열조건에 따른 열처리부의 폭, 깊이 등을 비교하였다.

레이저 열처리부의 경도를 측정하기 위하여 열처리부 단면에 대하여 경도 측정을 행하였다. 경도측정은 비커스 경도계를 사용하였으며, 하중은 500g이었다.

3. 실험결과 및 고찰

레이저 표면경화 열처리는 상온의 시편 표면에 레이저를 조사하여 소재를 국부적으로 가열한 후, 소재 내부로의 열전달에 의한 냉각(self-quenching)을 이용하여 소재를 경화시키는 공정이다. 일반적으로 전도열전달 속도는 복사 혹은 대류에 비하여 빠르므로 레이저 표면경화 열처리와 같은 self-quenching을 이용한 열처리른 수냉 혹은 유냉에 비하여 냉각속도가 빠르므로 효율이 높다. 그러나 레이저를 이용한 표면경화 열처리에서는 상온의 시편상에 레이저를 조사하므로 레이저-열의 에너지 변환효율이 낮다. 그림 1은 0.45% 가량의 탄소가 첨가된 SM45C 강재의 경화특성을 파장 10.6μm의 CO_2 레이저

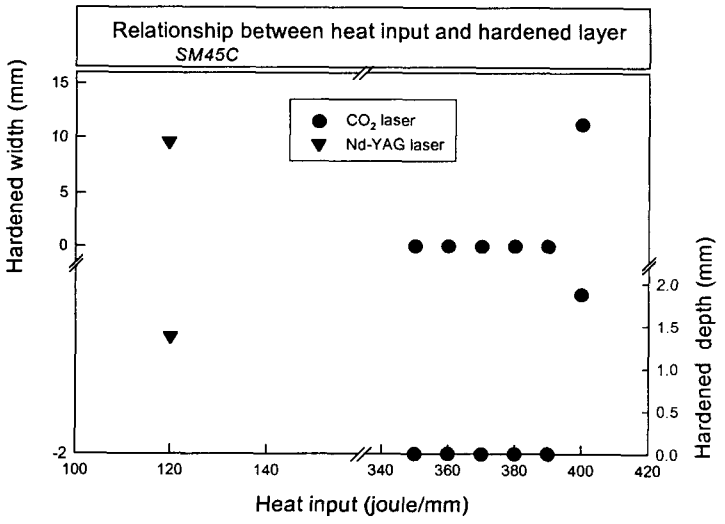

Figure 1 Relationship between heat input and hardened layer on SM45C

및 파장 1.064μm의 Nd-YAG 레이저에 대하여 비교하여 나타낸 것이다. Nd-YAG 레이저의 경우 120 joule/mm 가량의 적은 입열에 의해서도 경화층이 형성되었다. 그러나 파장이 긴 CO2 레이저의 경우은 400 joule/mm 이상의 입열이 주어져야 경화층이 형성되었다. 따라서 특별한 표면 처리를 행하지 않은 경우의 열처리에는 파장이 짧은 레이저를 사용하는 것이 유리하였다.

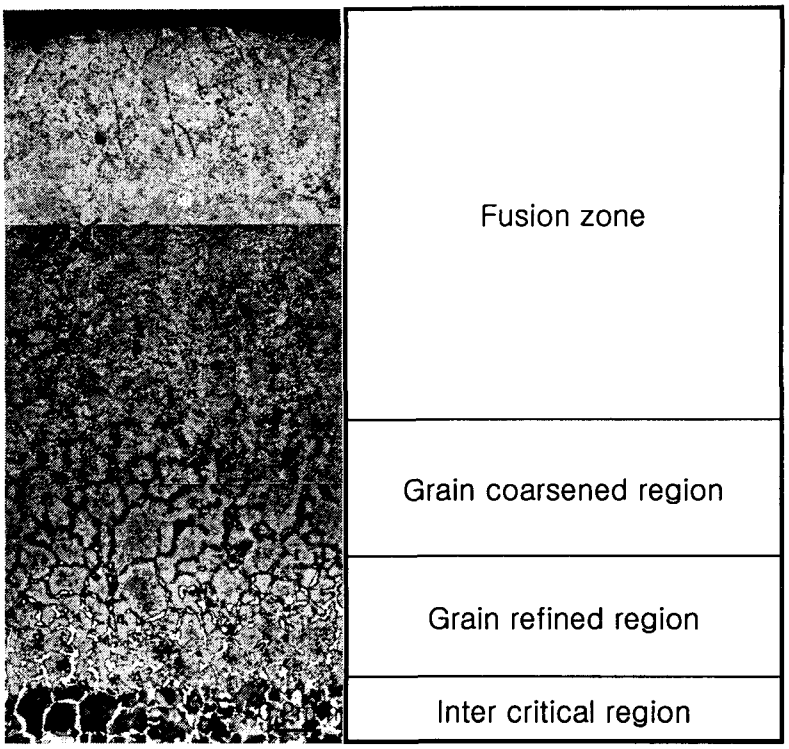

Figure 2 Microstructure of hardened layer on SM45C

그림 2는 SM45C 강재 레이저 표면경화층의 미세조직 변화를 나타낸 것이다. 사진의 하부(inter critical region)는 국부적인 영역에서 A_3 변태온도 이상으로 가열된 후, 냉각되어 조직변화가 생긴 부분과 본래의 모재조직이 혼재하였다. 입자미세화영역(grain refined region)은 A_3 변태온도 직상으로 가열된 후, 냉각된 부분으로 합금원소의 확산에 필요한 시간이 충분하지 못하여 입자미세화가 이루어진다. 입자조대화영역(grain coarsened region)은 A_3 변태온도이상으로 가열된 후, 냉각된 부분으로 합금원소의 이동이 가능하지만 가열온도/유지시간이 불충분하여 초기의 결정립이 유지된다. 그 이상의 영역은 A_3 변태온도이상으로 충분히 가열되어 초기의 상온조직은 찾아보기 어려우며 일부 에서는 주조조직이 관찰되기도 한다. 조직상으로는 이 영역에서의 경도가 가장 높을 것으로 보였다.

그림 3은 레이저 형태에 따른 경화층의 경도를 나타낸 것이다. 비교적 다량의 탄소가 첨가된 SM45C의 모재 경도는 220Hv 가량이었다. 열영향부의 경도는 CO2 레이저 및 Nd-YAG 레이저에 대하여 각각 550Hv 및 537Hv 가량이었으며, 오차범위내에서 CO2 레이저를 이용하여 표면경화시킨 경우가 높게 나타났다. 한편 경화층의 경도는 CO2 레이저 및 Nd-YAG 레이저에 대하여 각각 689Hv 및 716Hv 가량이었다. 이러한 차이는 측정오차범위보다 다소 높기는 하지만 레이저 종류에 따른 차이라고 보기는 어려우며 측정시의 조직차이에 기인하는 것으

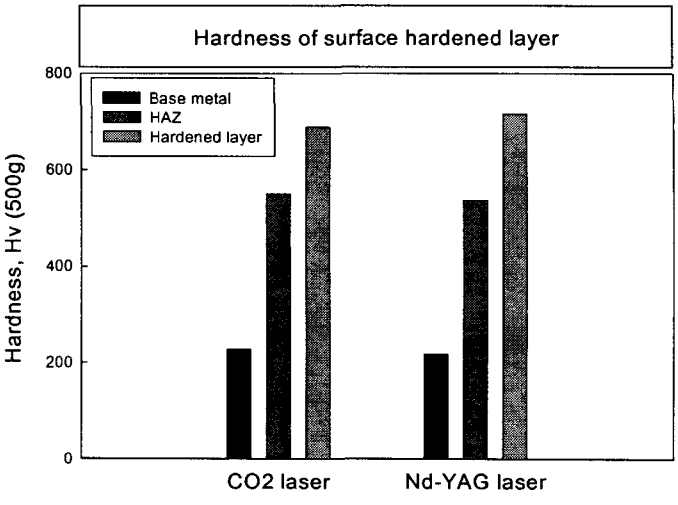

Figure 3 Hardness of surface hardened layer on SM45C

Table 4 CO_2 레이저 표면경화 열처리 소재의 경도

강종	모재	열영향부	경화층
CO2	228	550	689
Nd-YAG	217	537	716

로 판단된다.

4. 결 론

두께 10mm 일반기계구조용강재를 사용하여 레이저 종류에 따른 표면경화 열처리특성에 관하여 알아보았다. 경화층의 형성은 레이저의 종류에 크게 영향을 받았는데, 표면경화 열처리를 위해서는 파장이 짧은 Nd-YAG 레이저를 사용하는 것이 유리하였다. 경화층의 최고경도는 700Hv 가량으로 높게 나타났으며, 레이저 표면경화 열처리는 상온에서 사용되는 부품의 내마모성 향상 특히 국부 마모를 겪는 부품에 효과적일 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. Orazio Svelto: Principles of Lasers, 2nd edition, Plenum press (1982)

2. 박근웅: CO2 레이저 분산빔에 의한 표면경화가 강 및 주철의 기계적특성에 미치는 영향, 동아대학교 (1998)

3. 한유희: 고출력 레이저 열처리 장치 및 공정기술 개발, 과학기술처, BSM002-043M (1995)

4. 대한용접학회 용접편람편찬위원회: 용접 · 접합편람, 대한용접학회

5. ASM Handbook: Metallography and microstructures, Vol.9

6. 김재웅: 레이저 표면경화처리에서 빔의 형태에 따른 경화층 크기에 관한 연구, 한국정밀공학회, 93 춘계학술대회 논문집 (1993) 13-17

7. Hiromichi Kawasumi: Metal surface hardening CO2 Laser, Technocrat, June (1978) 185-194

8. G.H.Harth, W.C.Leslie, V.G.Gregson and B.A.Sanders: Laser heat treating of steels, Journal of Metals, April (1976) 172-178