

연속파형 Nd:YAG 레이저를 이용한 SM45C 중탄소강의 레이저표면경화 특성

유영태[#], 신호준^{*}, 안동규^{**}

Characteristics of Laser Surface Hardening for SM45C Medium Carbon Steel using Continuous Wave Nd:YAG Laser

Young Tae Yoo[#], Ho Jun Shin^{*} and Dong Gu Ahn^{**}

ABSTRACT

Laser surface hardening technologies have been used to improve characteristics of wear and to enhance the fatigue resistance for automotive parts. The objective of this research work is to investigate the influence of the process parameters, such as power of laser and defocused spot position, on the characteristics of laser heat treatment for the case of SM45C medium carbon steel. CW Nd:YAG laser is selected as the heat source. The optical lens with the elliptical profile is designed to obtain a wide heat treatment area with a uniform hardness. From the results of the experiments, it has been shown that the maximum hardness is approximately 780 Hv when the power and the travel speed of laser are 1,095 W and 0.6 m/min, respectively. In addition, the hardening width using the elliptical lens was three time larger than that using the defocusing of laser beam.

Key Words : Laser Surface Hardening(레이저표면경화), Medium Carbon Steel(중탄소강), Heat Treatment Optical System(열처리광학계), Micro Hardness Profile(경도분포), Input Capacity(입열량)

1. 서론

레이저빔을 이용한 표면경화기술은 레이저 출력이 커지고 안정화되어감에 따라 그 응용범위가 확대되고 있다. 종래의 화염 경화법이나 침탄법 등과 같은 방법보다 처리시간이 빠르고 독특한 조직을 얻을 수 있기 때문이다. 뿐만 아니라 레이저빔을 이용하는 표면열처리는 내부열 때문에 발생하는 응력, 변형, 균열 등을 최소화 할 수 있는 장점이

있다. 레이저빔을 이용할 경우 부품이 복잡하거나 국소적인 부분도 열처리가 가능하고, 정지질량이 없는 열원을 사용하기 때문에 부품을 오염시키지 않고 가공할 수 있는 특징을 가지고 있다.¹ 산업현장에서 금형표면, 기어, 크랭크축, 내연기관의 실린더내부 등의 표면을 경화시키는 효과적이고 효율적인 열처리는 생산성에 중요한 요인이 된다. 이와 같은 이유로 품질 향상과 내구성 증대를 위하여 다양한 열원을 이용한 표면경화 연구가 활발히 진행

* 접수일: 2005년 5월 28일; 개재승인일: 2005년 9월 9일

교신저자: 조선대학교 기계공학과

E-mail ytyou@chosun.ac.kr Tel. (062) 230-7016

* 조선대학교 대학원

** 조선대학교 기계공학과

되고 있다. 그 중에서 현장에 자주 이용하고 있는 고주파 열처리는 유도전류를 열원을 사용하는 방법으로 유도전류가 부품의 표면하에서 상당한 거리까지 침투하면서 발생하는 열을 이용한다. 유도코일이 동시에 코일을 잘 조절하여야 하고, 부품 표면과 거리에 따라 열처리특성이 불균일하게 분포한다. 그리고 작업자의 숙련도에 따라 열처리 특징이 다르게 나타난다. 이와 같은 단점을 보완하기 위한 한 가지 방법으로 레이저를 이용하여 표면을 경화시키는 연구의 필요성이 증가하고 있다.

금형 재료로서 성능을 충분히 발휘하기 위해서는 표면의 적절한 경도 및 내마모성이 요구되고, 내부에는 인성이 있어야 한다. 이런 특성을 가지는 금형재료를 만들기 위해 레이저를 이용하면 국부적인 표면경화가 가능하다.

고밀도 에너지 열원으로서 재료 표면을 급속히 가열하는 레이저표면경화는 내부로 열이 전도되면서 급속하게 냉각되는 자기 냉각 효과를 이용한다.

특히 레이저 빔의 에너지 밀도가 충분히 높으면 열이 재료내부로 전도되어 손실되는 것보다 더 빠른 속도로 표면에 축적되기 때문에 표면층의 온도가 순식간에 상승한다. 동시에 매우 짧은 시간 내에 표면의 얇은 층은 오스테나이트화 온도에 도달하는 반면 부품의 중심부는 온도가 상승하지 않고 자연 냉각된 상태에 있게 된다. 이는 기존의 고주파열처리에 비해서 급열도가 높아 내부로의 열 확산이 억제되기 때문에 표면경화시 구조물이나 부품의 변형을 최소한으로 억제시킨다. 그리고 급속하게 가열된 뒤 빠르게 냉각되기 때문에 다른 표면경화법보다 부품의 변형이 적으면서 높은 경도값을 가질 수 있는 특징이 있다. 이와 같은 장점 때문에 부품의 뒤틀림을 극소화해야 하는 부품, 정확한 모양을 유지하면서 부분적인 경화가 요구되는 부품, 경화될 구역으로 열을 제한하도록 하는 것이 힘들어 과도한 뒤틀림을 주는 경우, 경화구역이 전체에 비하여 작고 열처리 열원을 접근시키기 어려운 부품 등의 열처리에 매우 적합하다.

그 예로 레이저를 이용하면 탄소강과 AISI 1045 강의 마모성과 피로수명이 증가²되고, SAE1015를 레이저로 표면경화했을 때 표면경화처리를 하지 않았을 때보다 피로강도 및 인장강도가 높게 나타났다.³ Janez는 주철 500-7재질을 CO₂레이저를 이용하여 레이저표면 용융시 발생하는 잔류응력과 변형량을 실시간으로 측정하는 기술을 연구⁴하였다. 그러

나 대부분의 연구가 CO₂레이저를 이용하고 있으며, 열처리 광학계를 구성하지 않고 디포커싱에 의한 레이저 열처리를 하고 있다.

디포커싱된 레이저빔을 이용할 경우에는 레이저빔의 중심부에서 반지름 방향으로 레이저빔의 강도가 급격하게 떨어진다. 이 때문에 중심부에는 국부적으로 용융이 발생하여 경도값을 하락시키기도 하고 경화폭의 횡단면 방향으로 경도값이 균일하지 못한 분포를 갖는다. 따라서 레이저빔을 이용해서 표면경화처리할 경우 레이저빔의 강도가 균일하게 재료표면에 전달되는 열처리전용 광학계를 구성하여 열처리하고 있다.

디포커싱에 의하지 않고 열처리 광학계를 구성하여 CO₂레이저빔을 전달할 경우 빔폭을 크게 함과 동시에 균일한 빔강도를 만들기 위해 빔 스캐너방식, 인테그레이션방식, 폴리곤 미러방식을 이용하고 있다. 그러나 Nd:YAG 레이저빔은 CO₂레이저빔과 다르게 용융 석영계통의 렌즈를 투과하고 광섬유를 이용해서 레이저빔을 전달할 수 있기 때문에, CO₂레이저빔을 이용하는 경우보다 많은 장점이 있다.

본 연구에서는 SM45C를 디포커싱으로 열처리한 다음 열처리광학계를 제작하여 경화깊이, 경화폭, 경도값을 비교하고자 한다. 경화폭과 경화깊이가 균일하게 열처리되도록 구성한 열처리 광학계의 특성을 분석하여 제작한 열처리 전용렌즈특성을 규명하였다. 레이저빔으로 열처리할 때 공정변수로는 레이저빔의 출력, 레이저빔 이송속도, 보호가스 유량, 초접거리, 재료의 성분, 레이저빔 흡수율 및 반사율, 레이저 파장 등 많은 변수가 있다. 그러나 본 연구에서는 Nd:YAG 레이저를 사용하고 시편은 SM45C를 사용하기 때문에 이 두 변수는 고정되어 있어 레이저빔의 출력, 빔 이송속도, 레이저빔의 초접거리 및 보호가스 분사유량의 변화에 대한 경화깊이, 경화폭, 표면경도값, 미세조직의 변화를 분석하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 연구에 이용한 Nd:YAG레이저의 파장은 1.06 μm이고, 최대출력은 2.8kW이다. 평균유효출력은 2kW인 연속파(continuous wave : CW)이고, 레이저

빔은 직경이 $600\mu\text{m}$ 인 광섬유를 통해서 전달한다. 빔발산각은 25mrad 이고, 광케이블에 연결되어 가공하는 공작대는 LASMA 1054이며, 작업대는 지면으로부터 진동을 방지하기 위해 화강암 정반으로 되어있다. 레이저 가공헤드는 젠트리 타입 Rotary축 가공장치로서 LASMA 1054 내부에 장착되어 있으며, x, y, z축의 이송거리는 $1000\times 500\times 400\text{mm}$ 이다. x축, y축에 대한 위치정밀도는 $5\mu\text{m}$, z축에 대한 위치정밀도는 $1\mu\text{m}$, 반복정밀도는 $8\mu\text{m}$ 이다.

본 실험을 위해 제작한 레이저열처리용 가공헤드의 렌즈초점거리는 195mm 이고, Size는 $1.6''\times 1.6''$ 이다. 시편을 표면경화 시킬 때 표면과 대기중의 오염물질사이의 상호작용을 방지하기 위해서 Ar가스를 45° 각도, 압력을 $1 \sim 3\text{bar}$ 정도로 분사시킨다. 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도 및 레이저열처리 광학계의 개략도는 각각 Fig. 1(a), (b)와 같다.

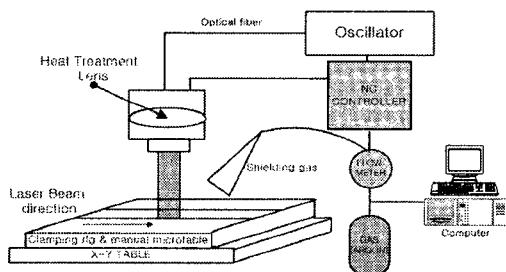


Fig. 1(a) Schematic of the laser Heat treatment

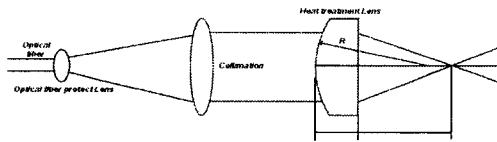


Fig. 1(b) Schematic diagram of laser heat treatment optical system

2.2 실험방법

본 연구에 사용된 시편은 일반공작기계나 금형에서 많이 사용되는 SM45C를 사용하였다. 시편의 화학 조성은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical compositions of specimen (w/o)

carbon steel	C	Si	Mn	P	S
SM45C	0.42~ 0.48	0.15~ 0.35	0.60~ 0.90	≤ 0.30	≤ 0.035

실험에 사용한 시편의 크기는 시편 자체에서 자기 담금질(self-quenching)을 시켜야 하기 때문에 어느 정도의 임계질량과 두께를 가지고 있어야 한다. 먼저 시편의 크기를 $100\times 50\times 3\text{mm}$ 로 고정하여 열처리실험 하였다. 레이저로 표면경화 시키기 전에 시편의 표면을 연마기를 이용하여 Sand Paper로 연마하고 아세톤으로 세척한 후 레이저 빔을 조사시켰다.

CO_2 레이저로 표면경화 시킬 경우 파장이 $10.6\mu\text{m}$ 이기 때문에 반사되는 레이저빔의 양이 많아 일반적으로 표면을 코팅하여 빔흡수율을 높인다. 그러나 레이저로 열처리하는 과정에서 코팅의 증발, 용융등으로 광학계에 문제를 발생시킬 수 있다. 이와 같은 이유로 본 연구에서는 파장이 $1.06\mu\text{m}$ 인 Nd:YAG 레이저를 사용하면 CO_2 레이저보다 금속표면에서 침투깊이가 크기 때문에 코팅 하지 않았다. 디포커싱으로 레이저 표면경화처리한 결과와 비교하기 위해 열처리용 광학계를 구성하였다. 열처리를 위해 구성한 광학계는 Lambda Research Optics Inc.에 의뢰하여 제작한 것으로 반원통형이다. 렌즈의 재질은 UV grade F.S.이고, 초점거리는 195mm 이며, $W\times L$ ($40\times 40\text{mm}$), $t_c(5.9\text{mm})$, $R(101.7\text{mm})$ 렌즈를 통과한 빔의 모양은 타원형이다. 레이저표면경화 목적으로 구성한 광학계의 입열량을 분석하기 위해 초점거리의 변화에 따른 시편표면에서의 초점면적의 변화를 실험하였다. 레이저빔을 이용해서 시편표면을 경화시킬 때 입열량에 따른 재료의 특성변화를 관찰하기 위해서 다음 식을 사용하여 입열량을 산출하였다.

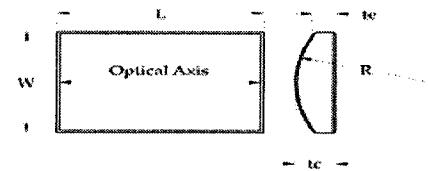


Fig. 2 Configuration of heat treatment lens

$$E = \frac{P}{\delta(a/b) \cdot V} (\text{J/cm}^2) \quad (1)$$

여기서 P 는 레이저출력, δ 는 침투깊이, a 는 초점면의 단축, b 는 초점면의 장축, V 는 레이저빔의 이동속도이다.

식(1)은 레이저빔의 이송속도 변화에 따른 깊이 방향의 열침투깊이와 레이저 열처리렌즈 특성 때문

에 발생하는 단축과 장축의 열침투깊이 특성으로 입열량을 나타낸 식이다.

경화깊이 변화에 따른 경도측정을 위해 열영향을 주지 않는 저속절 단기를 이용하여 시편의 단면을 절단해서 연마한 후 비커스 경도분포를 관찰하였다. 시편을 폴리싱한 후 Nital(5%)시약으로 부식 처리한 다음 광학현미경을 이용하여 경화깊이와 미세조직을 측정하였고, 경도시험은 마이크로 비이커스 경도시험기를 사용하여 0.5kg의 하중을 적용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 열처리광학계의 에너지 밀도 특성

본 실험에 이용한 렌즈는 초점 위치에서 가우시안 빔 분포를 갖는 렌즈가 아니다. 그래서 실험에 사용하고 있는 레이저 발진기의 출력과 본 실험을 위해 구성한 렌즈를 통과한 후 출력은 크기가 다를 것으로 판단하여, 열처리를 위해 구성한 렌즈를 통과한 후의 출력값을 파워미터로 측정한 출력값을 비교하였다. Fig. 3는 이를 표시한 것이다.

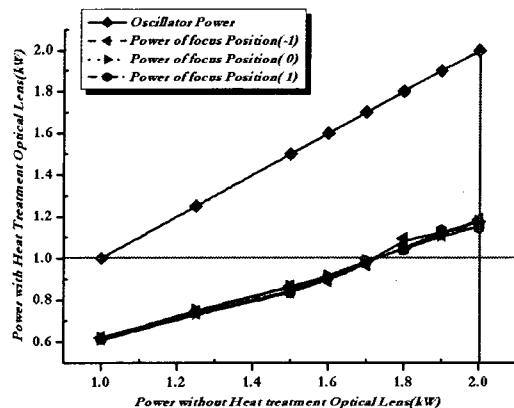


Fig. 3 The power loss values of Heat treatment lens according to focal positions

Fig. 3에서 위쪽에 있는 실험치는 초점위치에서 레이저 출력밀도이고, 아래에 있는 실험치는 초점위치를 포함하여 시편표면에서의 거리변화에 따른 열처리렌즈를 통과한 후의 출력밀도이다.

여기서 출력밀도값은 출력을 초점위치별 타원형 형태의 면적으로 나눈 값으로 정의 하였다.

Fig. 4는 출력변화에 따른 초점위치별 시편표면에 흡수되는 초점면의 변화를 분석하기 위해 각 위

치에서 레이저빔을 180ms동안 조사한 결과이다. 출력의 변화에 따라 초점거리가 변하면서 변화하는 타원형 초점면의 단축을 a, 장축을 b로 하면 단축 a의 변화보다 장축b의 변화율이 훨씬 크게 나타나고 있다. Fig. 5는 출력밀도별 초점위치에 따른 용융면적의 변화를 나타낸 것이다. 초점위치가 0을 중심으로 초점거리가 바뀌면 용융면적이 작아지고, 초점면적이 가장 큰 초점 거리는 $z=-2 \sim +2$ 사이였다.

Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5로부터 열처리를 위한 렌즈를 레이저빔이 통과했을 경우 가우시안형태의 빔강도 분포를 하고 있지 않다는 것을 확인하였다. 열처리용 렌즈를 통과한 단위면적당 레이저빔의 출력강도는 레이저 발진기에서의 출력값의 55.4 ~ 62.1 %정도였다. 이런 현상은 초점면이 작은 한점에 모이지 않고 타원형 형태로 되기 때문이다.

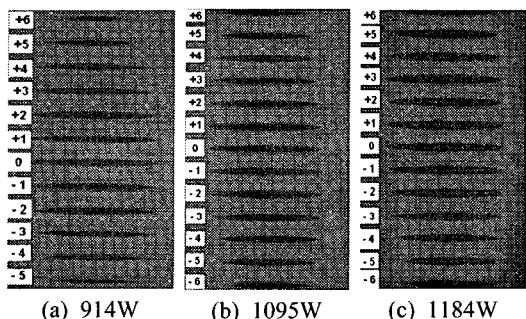


Fig. 4 The surface bead configuration of focus positions

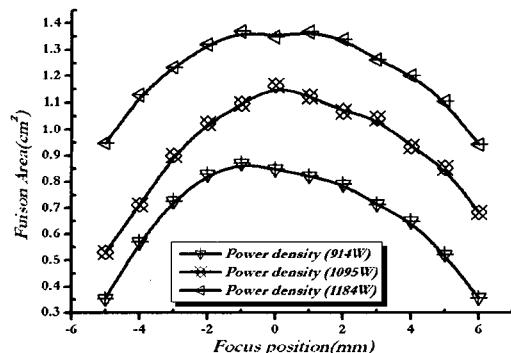


Fig. 5 A variety of Fusion area according to power density

3.2 시편에 미치는 입열량과 경도특성

레이저로 표면경화할 때 보호가스의 영향을 분

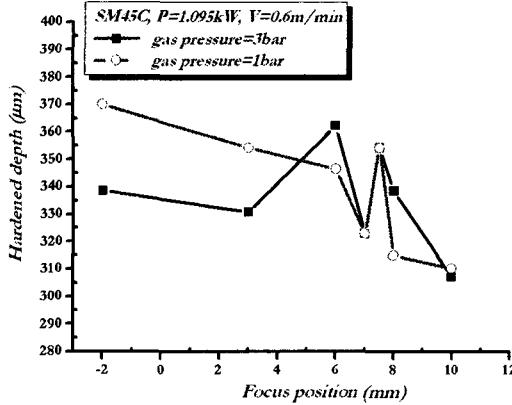


Fig. 6 The hardened depth according to focus positions

석하기 위해 공급하는 유량변화에 대한 경도깊이를 비교 실험하였다. 보호가스를 공급하는 노즐의 직경은 3mm이고, 유량이 $4l/min$ 인 보호가스를 공급하는 노즐은 시편에 조사하는 레이저빔 중심을 기준으로 양쪽에서 45° 로 공급하고 있다. 시편에 공급되는 유량은 다음 식으로 계산된다.

$$Q = AV = CA \sqrt{\left(\frac{P}{\rho}\right)} \quad (2)$$

위 식에서 A는 노즐의 단면적, C는 노즐속도계수, P는 압력, ρ 는 보호가스의 밀도, V는 보호가스의 평균속도이다.

열처리렌즈를 통과한 레이저출력이 $1.095kW$ 이고, 레이저빔 이송속도를 $0.6m/min$ 로 했을 때 초점거리별 보호가스의 유량변화에 따라 경도깊이를 Fig. 6에 나타냈다.

보호가스는 Ar을 사용하였으며, 레이저의 열처리특성은 금가열 금냉각에 의한 자체냉각효과를 이용하고 있다. 그림에 나타낸 것처럼 공급압력이 3bar(절대압력)로 보호가스의 유량이 많을 경우 레이저빔에 의한 금가열 열량을 감소시켜 열침투깊이가 작게 나타나고 있다. 공급압력이 3bar일 경우 시편표면으로부터 초점거리가 더욱 더 멀어지면 보호가스의 영향이 줄어들어 침투깊이가 일시적으로 증가하고 있다. 그러나 레이저빔의 초점거리가 멀어지면 입열량이 작아져 경도깊이가 다시 감소하였다.

Fig. 6의 실험결과에 의하면 보호가스 공급압력이 3bar일 때보다 1bar일 때 열침투에 의한 경도깊이가 초점거리가 4mm이하에서는 크게 나타났다.

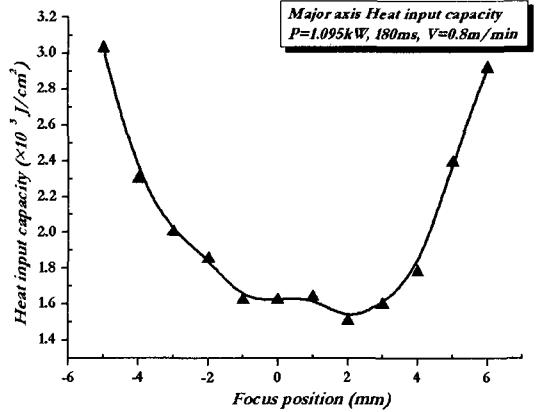


Fig. 7(a) Heat input capacity according to focus positions

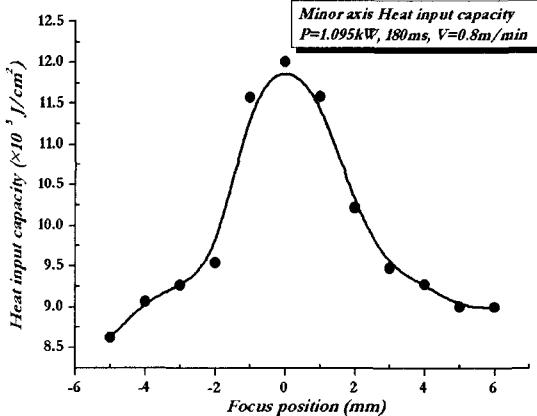


Fig. 7(b) Heat input capacity according to focus positions

이 실험으로부터 레이저빔으로 열처리할 경우에는 대기중에 있는 산소로부터 산화되지 않을 정도로 대기압보다 약간 높은 압력으로 보호가스를 공급하는 것이 레이저표면경화에 효율적이라고 판단된다.

레이저빔의 조사시간을 180ms로 하여 초점거리를 변화시켜 레이저빔이 시편에 흡수된 초점면적의 변화를 분석하기 위해 타원형 형태로 나타나는 초점면적의 중심선을 절단하여 장축과 단축의 입열량변화를 각 초점거리별로 Fig. 7에 나타냈다.

Fig. 7에서 (a)는 타원형 형태를 하고 있는 초점면적이 장축 변화를 기준으로 계산한 것이고, (b)는 단축의 변화를 중심으로 계산하였다. (a)의 결과는

초점거리 195mm($z=0$)부근에서 타원형 형태의 장축이 가장 크기 때문에 입열량이 작게 나타났다. 그러나 타원형 형태의 초점면의 단축을 기준으로 했을 때는 $z=0$ 에서 입열량이 가장 크게 나타났다.

초점면의 모양이 단축의 경우 디포커싱으로 초점거리를 조정하여 $z=0$ 부근을 벗어나면 초점면 폭이 급격하게 증가하여 입열량이 빠르게 감소한다. 그러나 초점면의 장축변화는 초점거리가 $z=0$ 에서 일정한 거리까지 변화하여도 입열량의 변화가 거의 없이 일정하게 나타나고 있다. 이와 같은 현상은 본 실험에서 사용하는 열처리용 렌즈에 레이저빔이 입사할 때 렌즈의 불록한 부분으로 레이저빔이 크게 굴절되어 집중되는 부분이 슬릿 형태로 되기 때문이다. 이와 같은 이유로 열침투깊이가 일정하게 되는 부분이 Fig. 8과 같이 나타난다. 열처리용렌즈 없이 디포커싱했을 때 초점 중심부분에서 일부 용융되는 현상이 있지만, 본 실험에 사용한 렌즈의 경우 열침투깊이는 일정하고 경화폭이 넓은 열처리광학특성을 나타내고 있다.

본 실험에 사용한 열처리용 렌즈의 초점거리는 195mm인데, 이 초점위치를 $z=0$ 으로 하였을 때 단축의 초점폭은 $600\mu\text{m}$ 이고, 열침투깊이는 $300\mu\text{m}$ 였다. 초점거리를 변화시키면서 레이저빔을 시편표면에 조사하였을 때 초점위치에서 열에 조직이 변화된 시편폭은 좁지만 열침투깊이는 깊어진다. 그리고 초점위치를 벗어나면 열영향을 받은 시편표면적은 증가하지만 열침투깊이는 급격하게 감소한다.

그러나 본 실험에서 사용한 열처리용 렌즈의 특

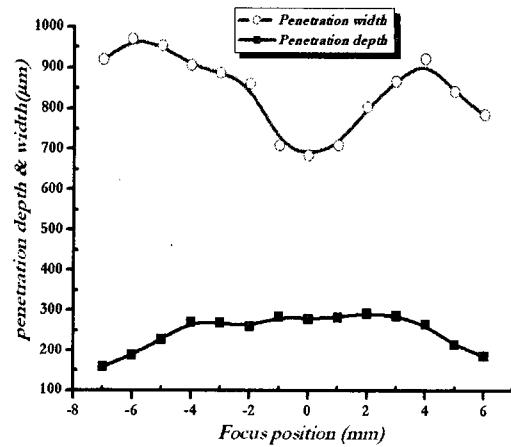


Fig. 8 The realization of penetration depth and width according to focus positions

성은 초점위치에서 초점거리가 상대적으로 크게 벗어나도 열침투깊이가 $300\mu\text{m}$ 정도로 일정하게 나타나고 있다. 디포커싱하는 방법으로 열처리하였을 경우 초점면의 중심부에서 시편표면 일부가 용융될 수도 있기 때문에 초점거리를 주의 깊게 조절해야 하지만 본 실험에서 사용한 열처리용 렌즈는 이와 같은 문제가 심각하지 않음을 의미한다.

이상과 같은 실험을 기초로 하여 경도를 측정한 결과를 Fig. 9에 나타냈다. 이때 레이저빔의 출력은 1.095kW 이고 레이저빔의 이송속도는 $0.6\text{m}/\text{min}$ 초점거리 $z=-2$ 과 $+2$ 를 비교하였다. 초점중심부에서 시편표면으로부터 약 $100\mu\text{m}$ 정도 떨어진 위치에서

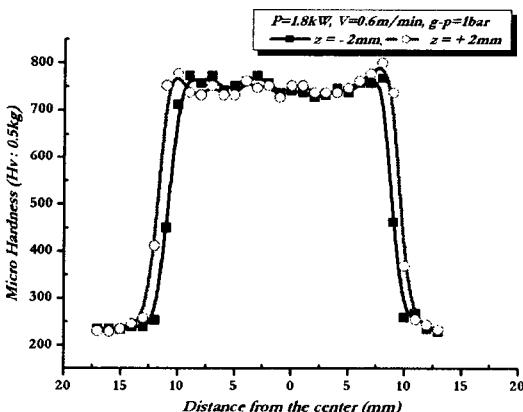


Fig. 9(a) Micro hardness profile of laser hardened zone for focus positions

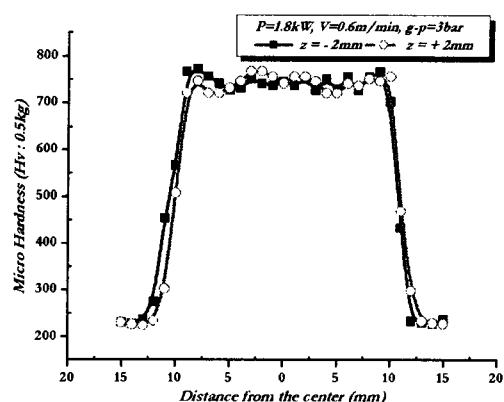


Fig. 9(b) Micro hardness profile of laser hardened zone for focus positions

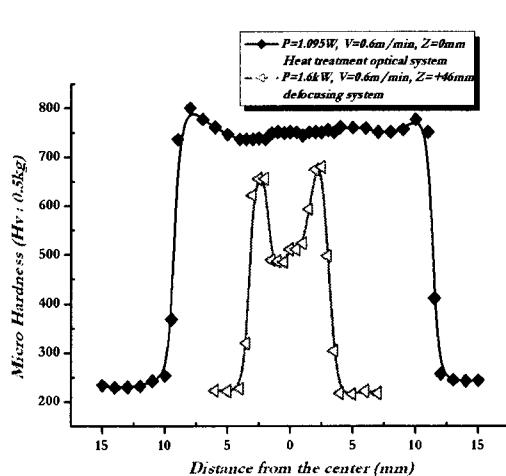


Fig. 10 Micro hardness profile of laser hardened zone for focus positions

경도를 측정하였다. Fig. 9에서 경도는 780HV으로 모재에 비하여 약3배 정도 경도가 증가하였다. 이때 경화폭은 $22314\mu\text{m}$ 였다. 본 실험에서 사용한 렌즈를 사용 했을 경우 그림에 나타낸 것처럼 초점거리를 변화시켜도 경도값과 경화폭은 크게 변화하지 않으나 보호가스 유량을 증가시키면 경도만 약간 감소하였으나 그 차이는 아주 미세하다.

Fig. 10은 디포커싱으로 열처리했을 때와 본 실험에 제작하여 사용한 렌즈로 열처리했을 때의 경화폭과 경도의 분포를 비교한 것이다. 디포커싱으로 열처리 했을 때에는 레이저빔의 중심부에서 일부 용융현상이 발생하여 경도가 떨어지고 중심부로부터 약 2mm정도에서 경도가 가장 크게 나타났다. 본 실험을 위해 제작한 렌즈를 사용해서 열처리했을 때 디포커싱으로 열처리했을 때보다 경도는 최소 약 100HV, 최대 약 300HV정도 증가하였다. 디포커싱했을 때 보다 경도값이 크게 나타나는 이유는 표면에서 용융이 발생하지 않아 탈탄 등 원소가 기화되어 증발하지 않았기 때문이다. 디포커싱했을 때 경화폭이 $2251\mu\text{m}$ 인 것과 비교하면 경화폭이 $22314\mu\text{m}$ 로 약3배정도 크다.

3.3 미세조직의 변화

Fig. 11은 레이저 열처리한 조직사진이다. 열처리에 의한 경화깊이는 등온열구배(isothermalgradient) 위치를 육안으로 확인하고 표면으로부터 깊이방향으로 마이크로 비커스경도계로 경도를 측정하여 이

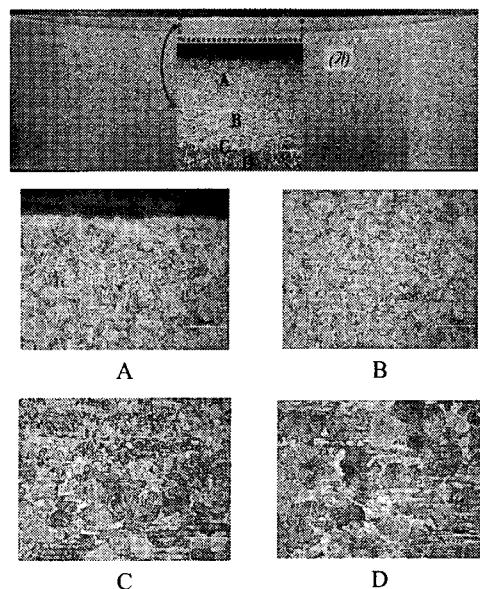


Fig. 11 Cross-section after laser heat treatment ($\times 50$)

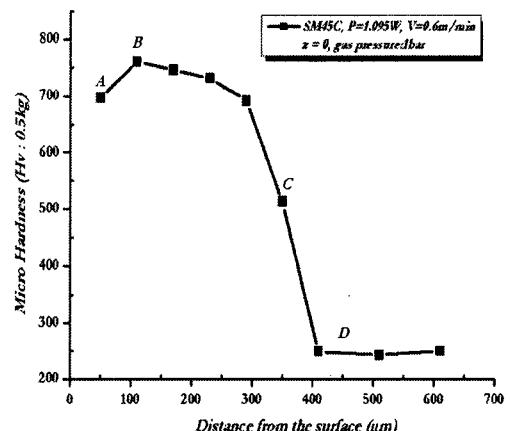


Fig. 12 Micro hardness profile of laser hardened zone

를 Fig. 12에 나타냈다.

Fig. 11과 Fig. 12는 레이저빔의 출력 1095W, 레이저빔의 이송속도 $0.6\text{m}/\text{min}$, 초점위치를 $z=0\text{mm}$ 로 실험했을 때의 결과이다.

Fig. 11의 조직사진에서 육안으로 관찰된 경화깊이를 마이크로 비커스 경도계로 경도값을 측정한 결과 Fig. 12에 나타낸 것처럼 최대 경화깊이는 300

μm 정도였다. 이 때 경도깊이별 조직사진을 Fig. 11에 확대하여 나타냈다. Fig. 11에서 표면경화폭이 커서 금속현미경으로 전체를 관찰할 수 없기 때문에 (가)와 같이 일부 확대한 부분을 A, B, C, D와 같이 구분하여 조직 사진을 나타냈다. Fig. 11의 A와 B는 레이저빔이 시편표면에 조사되었을 때 매우 빠른 속도로 오스테나이트화 온도로 상승한 후 금냉각하여 미세한 침상조직의 마르텐사이트 조직으로 변태된 결과를 보여주고 있다.

A부분은 레이저빔이 시편 표면에 조사될 때 급속하게 온도가 상승하여 오스테나이트되어 균질상태로 된 후 금냉으로 마르텐사이트로 될 때 체적이 표면에서 팽창하면서 조직이 조대화되면서 표면으로부터 $50\mu\text{m}$ 깊이 부근은 경도가 700Hv 로 최대경도값보다 약 50Hv 정도 작았다. 이와 같은 결과를 Fig. 12에 도시하였다. C는 모재와 열처리된 부분과의 경계부위로 경도가 354Hv 인 위치이다. D부분은 모재의 조직사진으로 열처리된 부분보다 조직이 대체적으로 균일하지만 조직의 크기는 크고 조밀하지 못하며, 이 때 경도가 250Hv 정도였다.

4. 결론

CW Nd:YAG 레이저를 이용하여 SM45C의 표면경화처리하는 경우 주요 공정 인자인 레이저 출력과 빔 이동속도, 디포커싱된 초점위치가 표면경화 특성에 미치는 영향을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 레이저 광학계를 통과해서 나오는 출력효율은 약 55.4-62.1%정도였다.
- 레이저빔으로 열처리할 경우에는 대기중에 있는 산소로부터 산화되지 않을 정도로 대기압보다 높은 1bar~1.5bar의 압력으로 보호가스를 공급하는 것이 레이저열처리에 효율적인 것으로 판단된다.
- 레이저빔 출력이 1095W이고, 빔 이송속도가 $0.6\text{m}/\text{min}$ 인 경우 경화폭은 약 $22314\mu\text{m}$ 이고, 평균경도값은 약 780Hv 로 분포되었다.
- 열처리광학계를 제작하여 실험한 결과 레이저 열처리를 디포커싱 방법과 비교해 보면 경화폭은 약 3배, 경도값은 약 1.2배 높은 값을 나타내었으며, 디포커싱으로 실험을 했을 때는 표면용융이 일어나 시편 중심부의 경도가 떨어지는 현상이 있었지만, 본 실험에서는 시편표면에 용융되

는 현상은 거의 없었다.

후기

위 논문은 조선대학교 2005년 교내학술연구비 지원으로 연구하였습니다.

참고문헌

- Cheng, F. T. and Man, H. C., "Laser transformation hardening of AISI 440C martensitic stainless steel for higher cavitation erosion resistance," Surface and Coatings Technology, Vol. 173, pp. 96 -104, 2003.
- Katsamas, A. I. and Haidemenopoulos, G. N., "Laser beam carburizing of low-alloy steels," Surface and Coatings Technology, Vol. 139, pp. 183-191, 2001.
- Antonov, V., Iordanova, I. and Gurkovsky, S., "Investigation of surface oxidation of low carbon sheet steel during its treatment with Nd:glass pulsed laser," Surface and Coatings Technology, Vol. 160, pp. 44-53, 2002.
- Janez, G. and Roman S., "Influence of laser surface melt-hardening conditions on residual stresses in thin plates," Surface and Coating Technology, Vol. 100-101, pp. 455-4580, 1998.
- Yoo, Y. T. and Shin, H. J., "Surface Heat treatment of Die material by means of CW Nd:YAG Laser," KSMTE, Vol. 13, pp. 67-74, 2004.
- Selvan, J. S. and Subramanian, K., "Effect of laser surface hardening on En18steel," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 91, pp. 29-36, 1999.
- Yoo, Y. T., Oh, Y. S., Ro, K. B. and Lim, K., "Comparison of Welding Characteristics of Austenitic 304 Stainless Steel and SM45C Using a Continuous Wave Nd:YAG Laser," KSMTE, Vol. 12, pp. 58-67, 2003.