

다이오드 레이저를 이용한 SM45C의 표면경화 특성에 관한 연구

임병철¹, 이홍섭¹, 박상흡^{2*}

¹공주대학교 기계공학과, ²공주대학교 기계자동차공학부

A study on the hard surfacing Characteristics of SM45C by using Diode laser

Byung-Chul Lim¹, Hong-Sub Lee¹, Sang-Heup Park^{2*}

¹Division of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju University

²Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

요약 본 연구에서는 산업현장에서 각종 기어나, 축, 체인, 롤러, 금형, 자동차장판 등으로 널리 쓰여 지는 기계구조용 탄소강인 SM45C를 실험소재로 사용하였다. 실험에 사용되는 시험편 표면에 표면경화를 수행하기 위하여 #200 ~ #1500의 순서대로 미세연마 후 거친연마의 연마가공을 실시하였으며, 다이오드 레이저의 표면경화 열처리 후에 자기냉각효과를 고려하여 100x50x10의 판재로 시험편을 제작하여 실험하였다. 소재 표면에 다이오드 레이저를 이용하여 국소부위에 표면경화 열처리를 수행하였다. 이때 다이오드 레이저의 출력과 이송속도를 공정조건으로 하여, 미세경도시험, 미세조직시험, 전자 주사 현미경(SEM), 입열량을 분석하였다. 분석 후에는 실험소재의 기계적 특성을 비교하여, 타 표면 경화법에 비해 다이오드 레이저를 이용하였을 때의 표면경화 열처리 신뢰성과 우수함 그리고 최적의 공정조건을 도출하였다. 열처리 후 경화부는 판상 마르텐사이트로 경화 되었으며, 경도값은 Hv729.5로 열처리 후 약 2.3배 이상 표면경도가 향상되었는 것을 확인하였다.

Abstract In this study, a variety of industrial gears, shafts, chains, rollers, mold, etc. are widely used in automotive steel carbon steel for machine structural SM45C typical material used for the experiments. In order to cure the surface of the test piece after the rough grinding and fine grinding was performed in order polishing. Perform the surface hardening of SM45C local area by using a diode laser. The output of the laser diode and the feed rate to the process variable. Micro-hardness testing, microstructure testing, scanning electron microscope testing(SEM), the heat input to the analysis. After analyzing the experiment to compare the mechanical properties of the material. When using a diode laser to assess the soundness of the surface hardening. Accordingly, the process for deriving the optimum demonstrate the feasibility.

Key Words : Diode Laser, Transformation Hardening, Surface Heat Treatment, Mechanical Characteristic

1. 서론

레이저를 이용하는 금속표면의 성능개선을 위한 가공 방법은 지난 수년간 항공 및 원자력 산업현장에서 수행되어 왔으며, 점차 생산 실용화 하고 있는 단계이다. 레이

저 기술의 적용분야 중에서 금속코팅, 고가의 부품수리, 시제품 등 심지어 소량생산과 같은 재료공정을 위해 그 다양한 잠재성 때 레이저 가공 기술은 고밀도의 열원을 이용한 가공법으로 표면처리시 입열량이 적어 열영향부가 작고 열변형이 적다는 장점을 가지고 있다.[1-3] 기존

*Corresponding Author : Sang-Heup Park(Kongju Univ.)

Tel: +82-41-521-9283 email: weldpark@kongju.ac.kr

Received November 4, 2014

Revised January 9, 2015

Accepted March 12, 2015

Published March 31, 2015

의 경화처리법으로는 질화, 침탄, 화염, 고주파열처리법 등이 사용되고제한 등의 단점이 주로 발생한다. 따라서 특히 레이저를 이용하여 열처리를 하게 되면 시간단축 및 자동화로 인한 효율이 증가되고 국부적 가열이 가능하여 원하는 곳에 열처리를 할 수 있다. 일반적인 생산현장에서 널리 사용되는 레이저에는 CO₂ 레이저와 ND:YAG 레이저 및 Excimer 레이저와 같은 고 출력 레이저가 사용된다. 그러나 이들 레이저는 Gaussian Beam을 Defocusing 하여 열처리를 하기 때문에 높은 에너지 밀도에도 불구하고 경화 깊이가 깊지 않다.[4] 한편 특유의 빔 안정성과 사각형의 빔 프로파일로 인해 상대적으로 넓은 영역의 표면을 균일하게 가열할 수 있는 다이오드 레이저는 다른 레이저에 비하여 고효율이며, 디자인이 콤팩트(compact)하고 운영비용이 적게 들기 때문에 레이저 표면처리에 가장 적합한 열원이라고 할 수 있겠다. 하지만 아직까지 다이오드 레이저의 열처리 적용에 대한 연구가 많이 이루어지지 않았으며, 실용화되거나 실제 제품에 적용되고 있는 경우는 매우 드물다.[5-7] 본 연구에서는 다이오드 레이저를 이용하여 산업현장에서 널리 사용되는 대표적인 기계구조용 탄소강인 SM45C의 표면경화에 따른 기계적 특성을 비교하여 다이오드 레이저가 사용됨으로써의 표면경화의 건정성을 평가함과 동시에 최적의 표면경화 공정을 도출하였다.

2. 실험방법

2.1 시험편의 제작

본 연구에서는 산업현장에서 각종 기어나, 축, 체인, 롤러, 금형, 자동차장판 등으로 널리 쓰여지는 기계구조용 탄소강인 SM45C의 화학 조성표 및 기계적 특성을 각각 [Table 1]과 [Table 2]에 나타내었으며, 소재 표면에 다이오드 레이저를 이용하여 국소부위에 표면경화 열처리를 수행하였다. 시험편은 표면 경화를 실시하기 전에 시험편 표면에 #200 ~ #1500의 순서대로 거친연마 후 미세연마 순서로 연마가공을 실시하였으며 100×50×10mm의 판재로 시험편을 제작하였다. 이는 표면열처리 후 자기 냉각 효과를 고려하기 위함이다.

[Table 1] Chemical composition of the SM45C

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
SM45C	0.43	0.3	0.75	0.018	0.007	0.05	0.1	0.16

[Table 2] Mechanical Characteristics of SM45C

Material	Yield point (N/mm ²)	Tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (Hv)
SM45C	≥35	≥58	≥20	250

2.2 표면 열처리

[Table 3] Hard surfacing conditions of SM45C

Power(W)	Heat treatment speed (mm/sec)	Beam diameter (mm)	shielding gas (ℓ/min)
750	10	10	Ar
	20		
	30		
	40		
	50		
1000	60		
	10		
	20		
	30		
	40		
1250	50		
	60		
	10		
	20		
	30		
1500	40		
	50		
	60		
	10		
	20		

표면처리 한 SM45C의 열처리에 따른 기계적 특성을 연구하기 위해 다이오드 레이저를 이용한 열처리를 실시하였다. 실험은 독일 Laserline(社)에서 제작한 최대 출력 2500W의 다이오드 레이저(Model : LDF 2.500-150)를 이용하여 표면열처리를 실시하였다. 또한 HYUNDAI사에서 제작한 로봇컨트롤러(Model : HA020W)을 사용하여 정확하고 일정한 속도 및 이송속도를 선정하였다. 레이저 출력은 기본적인 공정변수로 재료에 가해지는 입열량을 결정하게 된다. 입열량의 차이에 따라 표면경화 된 깊이와 폭이 좌우된다. 따라서, 본 연구에서는 다이오드 레이저의 출력과 이송속도에 따른 표면경화 특성을 연구하였다. SM45C의 다이오드 레이저 출력은 [Table 3]에 나타낸바와 같이 각각 750, 1000, 1250, 1500W로 출력에 따른 이송속도는 각각 10, 20, 30, 40, 50, 60mm/sec로 레이저 빔과 시험편의 거리 즉 Beam diameter는 10mm를 유

지 하였다. 보호가스는 Ar가스 100%를 분당 10 l/min를 사용하였다. 본 실험을 하기 전 동일 소재로 예비실험을 통해 양호한 레이저출력범위를 찾았다. 최적의 열처리 조건을 선정하기 위하여 공정 변수에 따른 입열량을 분석하였다.

2.3 미세경도 시험

와이어컷팅기를 이용하여 시험편을 절단하였고, 열에 민감한 특성을 고려하여 수용성 냉각수를 사용하였다. 절단된 시험편은 냉간마운팅을 하여 표면과 단면으로 미세 경도 시험을 수행하였다. 또한 열처리 온도에 따라 발생하는 기계적 성질을 조사하기 위해 열처리부의 미세경도시험을 실시하였다. 실험장비는 Mitudoyo의 제품인 1Kg급 경도 시험기(Model : HK-54)를 사용하였으며, 압입하중은 300g이고 압입시간은 10초로 시험을 하였다.

2.4 미세조직 시험

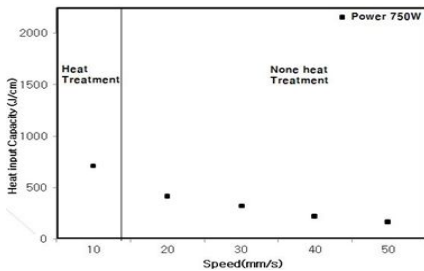
실험소재는 주조용 수지를 이용하는 냉간 마운팅을 실시하고, 순서대로 #200, #400, #600, #800, 1000, #1200, #1500 입도를 사용하여 거친 연마 후 미세 연마를 실시하였다. 거시경연마로는 1μm 알루미늄을 이용해 수행하였

다. 염산(HCl) 15ml, Glycerol 10ml, 질산(HNO3) 5ml를 20분간 혼합하여 화학부식액을 만들어 사용하여 실험을 실시하였다. 다음으로 광학 현미경(Optical Microscope, Olympus, GX41)과 Tescan사의 고분해능 주사현미경(Model : MIRA LMH)을 사용하여 미세조직을 관찰하였다.

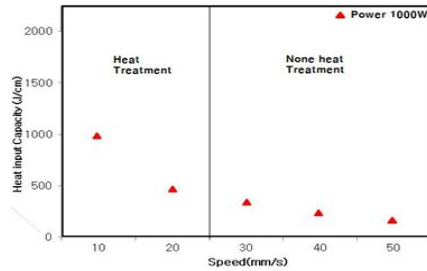
3. 결과 및 고찰

3.1 입열량 분석 결과

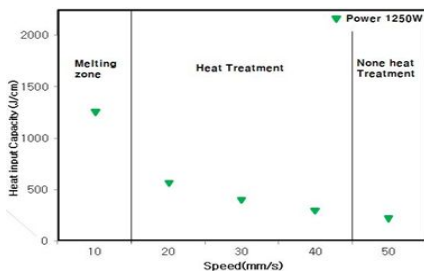
다이오드 레이저를 이용하여 실험소재를 열처리 시 출력에 따른 입열량을 [Fig. 1]에 나타내었다. 다이오드 레이저의 출력과 이송속도에 따라 재료의 경화능을 분석한 결과, Heat treatment, None heat treatment, Melting 으로 구분하여 나타났으며, 실험소재는 출력 750W, 1000W, 1250W, 1500W에서 이송속도 10mm/sec 일 때 입열량은 각각 750J/cm, 1000J/cm, 1250J/cm, 1500J/cm 으로 나타났다. 출력 750W, 1000W에서 각각 20mm/sec 이상, 40mm/sec이상의 이송속도에서 표면경화가 미비하였다. 또한, 출력 1250W, 1500W에서 각각 10mm/sec,



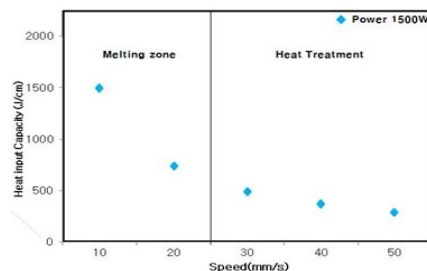
(a) The output of the diode laser 750W



(b) The output of the diode laser 1000W



(c) The output of the diode laser 1250W



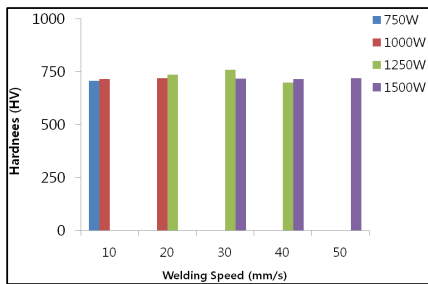
(d) The output of the diode laser 1500W

[Fig. 1] Heat input capacity of SM45C

20mm/sec 일 때 시험편 표면이 용융되었고 이는 실험소재의 용융점 이상의 온도가 입열 되어 다이오드 레이저를 이용한 표면경화의 조건에는 맞지 않는다고 판단된다. 다이오드 레이저를 이용한 표면경화의 조건으로는 1000W, 10mm/sec에서 가장 높은 입열량의 결과를 나타냈다.

3.2 미세경도 시험 결과

한국산업규격 KS D 0027에 따라 퀸칭(Quenching), 템퍼링 한 경화층의 표면에서 Hv500을 유효 경화층의 한계경도로 정의 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 Hv500 이상을 나타내는 조건을 표면경화로 정의 하였다. [Fig. 2]는 이송속도에 따른 SM45C의 표면경화층의 경도시험을 수행한 결과이다. 이송속도 10mm/sec에서 출력량 750W, 1000W의 경도값은 각각 Hv707.0, Hv714.7로 나타났다. 이송속도 20mm/s에서 출력량 1000W, 1250W의 경도값은 각각 Hv719.8, Hv735.6으로 나타났다. 이송속도 30mm/sec에서 출력량 1250W, 1500W의 경도값은 각각 Hv760.3, Hv717.2로 나타났다. 이송속도 40mm/sec에서 출력량 1250W, 1500W의 경도값은 각각 Hv699.5, Hv719.8 나타났다. 본 연구에서 사용되는 SM45C의 표면경도는 약 Hv220±10정도의 경도값이 나왔으며, 다이오드 레이저를 이용하여 표면열처리를 하였을 때 평균 경도값은 Hv729.5로 약 2.3배 이상 표면경도가 향상되었다.



[Fig. 2] Hardness vicers graph of SM45C

3.3 조직시험 결과

[Fig. 3]은 SM45C의 모재부분으로 기지조직(Matrix)의 전형적인 조직인 펄라이트(Pearlite)와 페라이트(Ferrite)의 혼합 조직으로 구성되어 나타났다. [Fig. 4]는 다이오드 레이저 빔 조사에 의한 SM45C 시험편의 표면경화층의 미세조직이다. 경계부로 내려갈수록 마르텐사이트의 양이 적어지다가 펄라이트와 페라이트 조직 즉 모재와 비슷한 조직이 형성되는 것을 관찰하였다. 레이

저 빔의 조사 시 기지조직은 가열된 후 빠르게 자기냉각 과정을 거친다. 보통은 0.01~1.0초로 매우 빠르게 급냉되므로 입자성장이 극소화 되어 특정한 조직으로 형성이 되고, 이는 재료의 강도, 내마모성, 내충격성을 높여 기계적 성질이 향상된다.



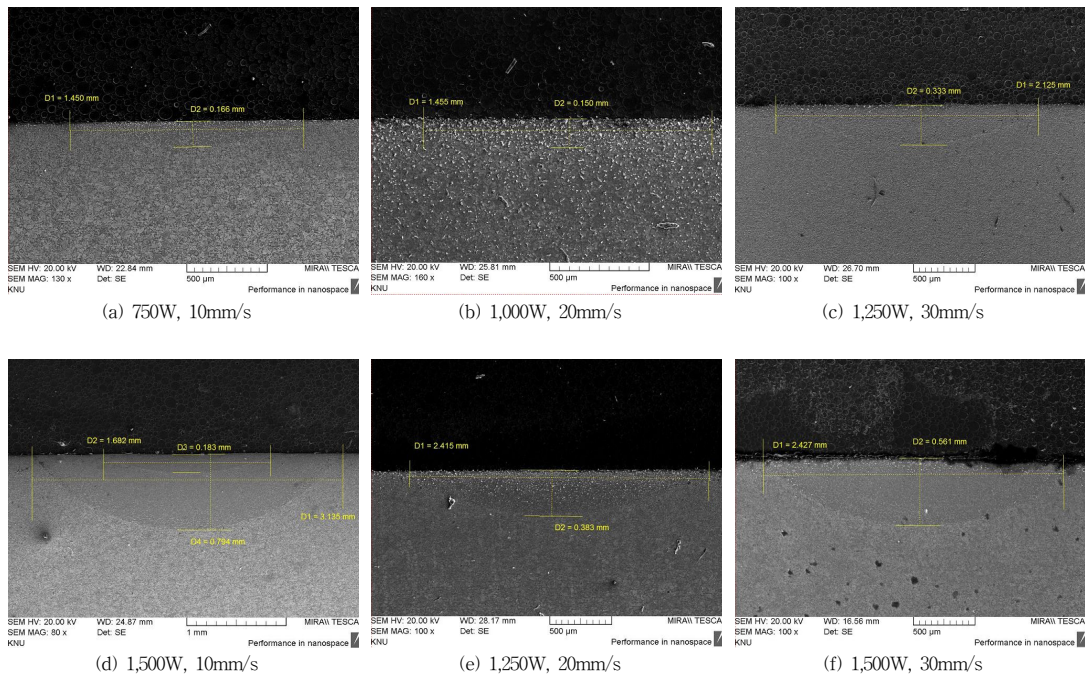
[Fig. 3] Base metal zone of SM45C



[Fig. 4] Heat treatment of SM45C

3.4 전자 주사현미경시험 결과

[Fig. 5]는 고 분해능 주사현미경을 이용하여 표면경화 된 SM45C의 폭과 깊이를 측정된 결과이다. 출력이 높고, 레이저 빔의 이송속도가 늦을 수록 표면경화의 폭과 깊이는 넓고, 깊어지는 현상이 나타났다. [Fig. 8 (a)]의 750W, 10mm/sec에서 표면경화 폭과 깊이는 각각 약 1.4mm, 0.16mm인 반면에 (f)의 1500W, 30mm/sec에서는 표면경화의 폭과 깊이는 각각 약 2.4mm, 0.5mm로 나타났다. 하지만 입열량은 750W, 10mm/sec의 조건이 높은 결과를 나타냈다. 이는 레이저의 이송속도보다 레이저의 출력에 표면경화층의 폭과 깊이에 영향이 있다고 판단된다. (d)는 1500W, 10mm/sec의 조건에서 Melting 현상을 보여주고 있다. 표면경화층이 Melting과 표면경화로 중첩되어 나타났다. 이 조건에서는 SM45C의 용융점 이상의 출력 및 이송속도의 공정으로 표면경화의 조건으로는 적당하지 않다고 판단된다.



[Fig. 5] The results of Field-Emission Scanning Electron Microscope

4. 결론

본 연구에서는 SM45C의 모재에 다이오드 레이저를 이용하여 표면경화를 수행하였고, 다이오드 레이저의 출력과 이송속도를 공정 변수로 설정하여 국소부위의 범위와 최적의 표면경화의 조건을 선정 하였다. 또 한 다이오드 레이저를 이용한 표면경화 열처리의 신뢰성과 최적의 공정조건을 도출하였다.

- [1] 입열량에 따른 분석결과, 1000J/cm 이상에서 Melting 이 발생했으며, 300J/cm 이하에서는 None heat treatment되는 것을 확인하였다. 그러나 입열량만으로는 Melting, Heat treatment, None heat treatment를 정의하기 힘들다고 판단된다.
- [2] 표면경화부는 한국산업규격 KS D 0027에 따라 Hv500 이상을 표면경화로 정의 하였다. 본 연구에 사용된 SM45C의 표면경도는 약 Hv220±10의 표면경도값이 나타났으며, 미세경도 시험결과 실험 소재를 표면열처리 하였을 때의 표면경도값은 Hv729.5로 약 2.3배 이상 표면경도가 향상되었다.

- [3] SM45C의 모재부분으로 기지조직(Matrix)의 전형적인 조직인 펄라이트(Pearlite)와 페라이트(Ferrite)의 혼합조직으로 구성 되었으며, 미세조직 시험결과 SM45C의 표면경화 된 미세조직은 마르텐사이트로 경화되어있는 것을 확인 했으며, 표면경화의 경계부로 내려갈수록 펄라이트와 페라이트 조직이 나타남을 알 수 있었다.
- [4] 전자 주사현미경을 이용하여 표면경화 된 SM45C의 폭과 깊이를 측정한 결과 출력이 높고 레이저 빔의 이송속도가 늦을수록 표면경화의 폭과 깊이는 넓고 깊어지는 현상을 알 수 있었고, 이송속도 보다는 출력이 표면경화층 폭과 깊이에 영향이 있다고 판단된다.

References

- [1] P.J. Oakley : Laser Heat Treatment and Surfacing Techniques, The Welding Institute Research Bulletin. pp. 1~11, 1981
- [2] S. Kimura, N. Sano, and S. Sugiyama : Laser Heat Treatment with Beam Focussing Optical Systems.

Toshiba Co.

- [3] M. Takemoto, Masanobu Shinya : Coating of Aluminide Intermetallic Compounds by Laser Fusion Reaction. Proc. of Lamp' 92, pp. 773~778
- [4] Hirogaki, T., Nakagawa, H., Hayamizu, M., Kita, Y., "In-situ heat treatment system for die steels using YAG laser with a machining center. "Precision Engineering, Vol. 25, pp. 212~217, 2001
DOI:[http://dx.doi.org/10.1016/S0141-6359\(01\)00072-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0141-6359(01)00072-1)
- [5] A.I. Katsamas, G.N.Haidemenopoulos, "Laser-beam carburizing of low-alloy steels", Surface and Coatings Technology 139, pp183~191, 2011
DOI:[http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972\(00\)01061-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972(00)01061-6)
- [6] E. Kennedy, G. Byrne, D.N. Collins, "A review of the use of high power diode lasers in surface hardening", Journal of Materials Processing Technology 155-156, pp1855~1860, 2004
DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.276>
- [7] Lin Li, "The advances and characteristics of high-power diode laser materials processing", Optics and Lasers in Engineering 34, pp231~253, 2000
DOI:[http://dx.doi.org/10.1016/S0143-8166\(00\)00066-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0143-8166(00)00066-X)

임 병 철(Byung-Chul Lim)

[준회원]



- 2010년 2월 : 공주대학교 기계시스템공학과 (공학사)
- 2012년 8월 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과 (박사과정)

<관심분야>

육성용접, 레이저용접

이 흥 섭(Hong-Sub Lee)

[정회원]



- 1992년 2월 : 서강대학교 화학공학과 (공학사)
- 2014년 2월 : 공주대학교 테크노전략대학원 기계자동차공학과 (공학석사)
- 2014년 8월 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과 (박사과정)

<관심분야>

FCAW, GMAW

박 상 흡(Sang-Huep Park)

[정회원]



- 1984년 2월 : 단국대학교 기계공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 단국대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 홍익대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

용접시공 및 용접 자동화, 비파괴 검사