

Diode laser를 이용한 STS420J2의 표면경화 특성에 관한 연구

이태양¹, 임병철¹, 박상흠^{2*}

¹공주대학교 기계공학과, ²공주대학교 기계자동차공학부

A study on the hard surfacing Characteristics of STS420J2 by using Diode laser

Tae-Yang Lee¹, Byung-Chul Lim¹, Sang-Heup Park^{2*}

¹Division of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju University

²Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

요약 본 연구에서는 실생활에 많이 이용되며 주로 주방용 식기 및 식칼, 소형칼, 주방 가위 등으로 널리 사용되는 STS420J2를 실험소재로 사용하였다. 마르텐사이트계 스테인리스강은 Cr13%이상 함유하고 있어 약 1,050℃를 정점으로 하여 그 이상의 고온에서는 저하하는 단점을 가지고 있다. 실험에 사용되는 시험편 표면에 표면경화를 수행하기 위하여 #200 ~ #1500의 순서대로 미세연마 후 거친연마 가공을 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 표면경화법에 비해 다이오드 레이저를 이용하였을 때의 표면경화 열처리 신뢰성과 우수함 그리고 최적의 공정조건을 도출하였다. 열처리 후 경화부는 Plate martensite로 경화 되었으며, 경도값은 Hv606.2로 열처리 후 약 3배 이상 표면경도가 향상되었다.

Abstract In this study, mainly for kitchen knives and small swords, cutlery, etc. STS420J2 used 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 STS420J2 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 수행 되어 왔으며, 점차 생산 실용화하고 있는 단계이다. 레이저기술의 적용분야 중에서 금속코팅, 고가의 부품수리,

시제품등 심지어 소량생산과 같은 재료공정을 위해 그 다양한 잠재성 때문에 최근 몇 년 동안 상당한 관심을 받고 있다[1]. 또한 기계부품이나 자동차 부품 등에 이르기 까지 부품의 내구성과 수명 연장을 위해 활발한 연구에 집중되고 있다. 기존의 경화처리 방법으로는 침탄, 질화, 화염 열처리 또는 고주파열처리 등이 적용되어 왔다. 하

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

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

Received June 13, 2014

Revised July 17, 2014

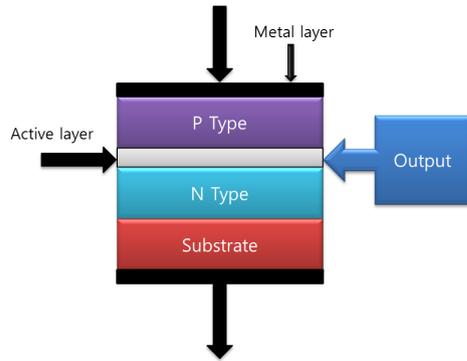
Accepted September 11, 2014

지만 이러한 표면처리 방법은 가공형상의 제한 또는 표면처리부의 변형 등과 같은 단점들을 수반하였다. 따라서 이런 단점들을 해결하면서 기계적 성질을 향상시킬 수 있는 레이저 표면처리 기술이 많은 관심을 받고 있으며 꾸준히 연구가 진행되고 있다[2]. 레이저는 빔의 고밀도로 인해 모재의 조직 구조가 변형되어 높은 경도를 달성할 수 있고, 또한 부품의 내부에서 열로 인해 야기되는 열응력, 뒤틀림 및 균열을 방지할 수 있어 부품의 손상을 최소화할 수 있어 종래의 화염경화법이나 침탄법등과 같은 표면 경화처리 방법보다 생산 현장에 유용하게 사용되고 있다[3]. 레이저를 이용하여 열처리 시 시간단축 및 자동화로 인해 효율이 증가되고 국부적 가열도 가능하다. 실험에 사용되는 고출력 Diode laser는 특유의 빔 안정성과 사각형의 빔 프로파일로 인해 상대적으로 넓은 영역의 표면을 균일하게 가열할 수 있고, 타 레이저에 비해 고효율이며, 운영비용도 적게 들기 때문에 레이저 표면처리에 가장 적합한 열원이라 할 수 있겠다. 하지만 아직까지 Diode laser는 열처리 적용에 대한 연구가 많이 이루어지지 않았으며, 실용화 되거나 실제 제품에 적용되고 있는 경우는 매우 드물다[4-7]. 따라서 본 연구에서는 Diode laser를 이용하여 칼날, 노즐, 벨브, 자, 가위, 일반용 칼등의 재료인 STS420J2의 표면경화에 따른 기계적 특성을 비교하여 Diode laser가 표면경화로서의 건정성을 평가하고, 최적의 표면경화 공정을 도출하였다.

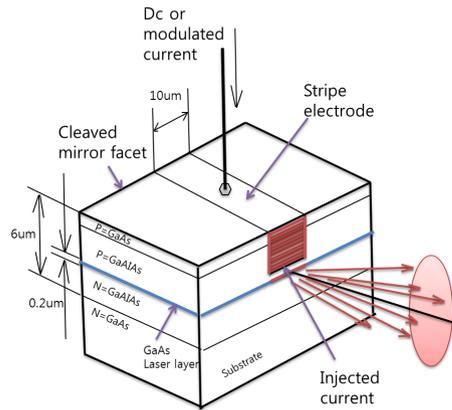
2. Diode laser

2.1 발진 메커니즘

Diode laser는 일종의 반도체 레이저로 가스 등의 화합물을 이용한 P-N접합 다이오드이다. 타 레이저에 비해 소형이며 에너지 효율면에서 50%에 달한 만큼 매우 높은 경제성을 띠고 있어 자동차 부품생산라인과 같이 높은 장비의 내구성과 신뢰성을 요구하는 양산라인에 적합한 장점이 있다. 가스 등의 화합물 반도체를 이용한 p-n 접합 다이오드에 전류로 직접 여기 시켜 레이저 발진을 얻는 것으로 기체 레이저나 다른 고체 레이저 등과는 구조에서나 특성에서 다른 점이 많다. 레이저 발진의 기본 조건으로는 공진 미러와 활성 매질 그리고 여기원이 필요하다. 이러한 3가지 조건이 반도체 레이저의 경우 여기원은 순방향 바이어스이며, 공진은 서로 마주보고



[Fig. 1] Schematic illustration of single diode laser



[Fig. 2] Beam divergence of single diode laser

있는 반도체 재료의 접합면 양단의 Gas 반도체와 바깥쪽의 공기 사이와의 굴절률 차가 생겨 벽개면 그 자체가 반사경으로 사용되면서 접합면 사이에서 이뤄진다. Fig. 1과 Fig. 2는 각각 간단한 싱글 다이오드 레이저의 구조와 빔 확산에 대한 개략도를 나타낸 것이다.

3. 실험방법

3.1 시험편의 제작

본 연구에서는 내식성 보다 고강도를 요구하는 고강도 샤프트(Shaft) 및 금형 그리고 내마모성이 우수하여 탄성이 요구되는 용도에 사용된다. 주로 기계구조물 및 공구, 다목적용 소형 칼, 주방용 칼, 주방기기 등에 일반적으로 사용되는 STS420J2의 소재 표면에 Diode laser를 이용하여 국소부위에 표면경화 열처리를 수행하였다. 실험소재의 화학 조성표 및 기계적특성을 각각 Table 1

과 Table 2에 나타내었다. 시험편은 Diode laser를 이용한 표면 경화를 하기 위하여 시험편 표면에 #200 ~ #1500의 순서대로 거친연마 후 미세연마 순서로 연마가 공을 실시하였으며, Diode laser 표면열처리 후 자기냉각 효과를 고려하여 100×50×10mm의 판재로 시험편을 제작하였다.

3.2 표면 열처리

표면처리 한 STS420J2의 열처리에 따른 기계적 특성을 연구하기 위해 Diode laser를 이용한 열처리를 실시하였다. 실험은 독일 Laserline(社)에서 제작한 최대 출력 2500W의 Diode laser(Model : LDF 2.500-150)를 이용하여 표면열처리를 수행하였다. 정확하고 일정한 속도 및 이송속도를 선정하기 위해 HYUNDAI사에서 제작한 로봇컨트롤러(Model : HA020W)를 사용하였으며, 레이저 출력은 기본적인 공정변수로 재료에 가해지는 입열량을 결정하게 된다. 입열량의 차이에 따라 표면경화 된 깊이와 폭이 좌우된다. 따라서, 본 연구에서는 Diode laser의 출력과 이송속도에 따른 표면경화 특성을 연구하였다. STS420J2의 Diode laser 출력은 각각 1000W, 1500W, 2000W, 2500W로 하여 출력에 따른 이송속도는 각각 10, 20, 30, 40, 50, 60mm/s로 Table 3과 같이 나타내었으며, Beam diameter는 10mm를 유지 하였고, 이때 보호가스는 Ar가스 100%를 이용하였으며, 분당 10 ℓ/min를 사용하였다. 본 실험을 하기 전 동일 소재를 이용하여 예비실험을 하였으며 레이저출력을 변환시키며 양호한 출력범위를 찾았다. 최적의 열처리 조건을 선정하기 위하여 공정 변수에 따른 입열량을 분석하였다.

3.3 미세경도 시험

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

[Table 1] Chemical composition of the STS420J2

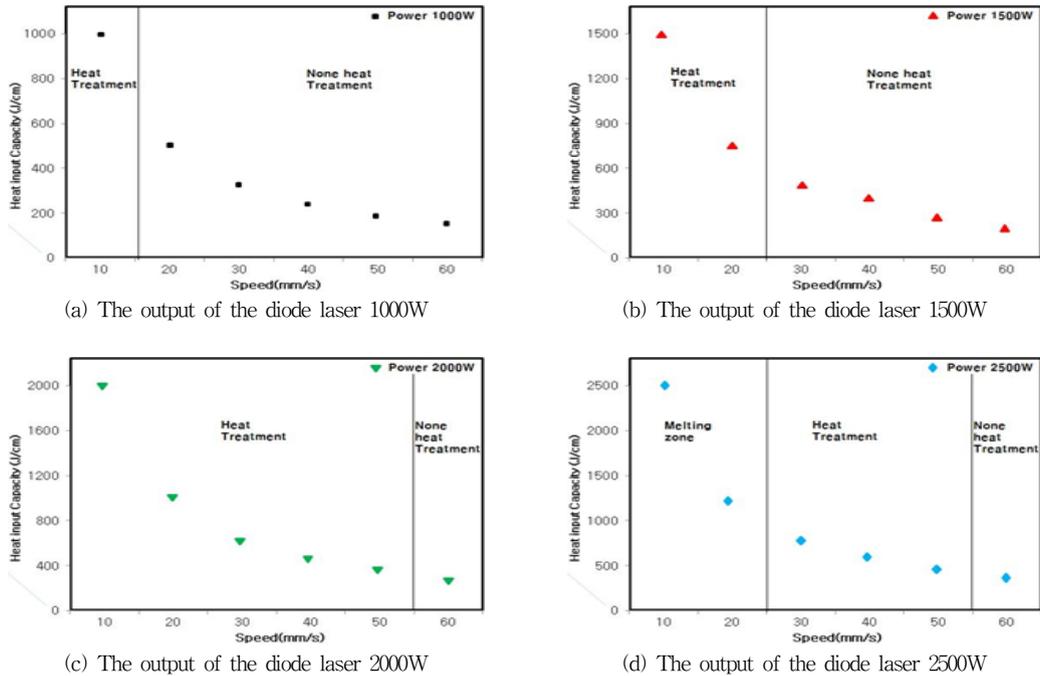
Material	C	Si	Mn	P	S	Cr
STS 420J2	0.26 ~ 0.40	1.00<	1.00<	0.04<	0.03<	12.00 ~ 14.00

[Table 2] Mechanical Characteristics of STS420J2

Material	Yield point (N/mm ²)	Tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation(%)	Hardness(Hv)
STS 420J2	≥530	≥71	≥18	≤232

[Table 3] Hard surfacing conditions of STS420J2

Power(W)	Heat treatment speed (mm/sec)	Beam diameter (mm)	shielding gas (ℓ/min)
1000	10	10	Ar
	20		
	30		
	40		
	50		
	60		
1500	10		
	22		
	30		
	40		
	50		
	60		
2000	10		
	20		
	30		
	40		
	50		
	60		
2500	10		
	20		
	30		
	40		
	50		
	60		



[Fig. 3] Heat input capacity of STS420J2

3.4 미세조직 시험

실험소재는 주조용 수지를 이용하는 냉간 마운팅을 실시한 뒤, 순서대로 #200, #400, #600, #800, 1000, #1200, #1500 입도를 사용하여 거친 연마 후 미세 연마를 실시하였다. 거시경연마로는 1 μ m 알루미나를 이용해 수행하였고, 화학부식을 실시하였다. 화학부식액은 염산(HCl) 15 ml, Glycerol 10ml, 질산(HNO₃) 5ml를 20분간 혼합 뒤 사용하였다. 그 후 광학 현미경(Optical Microscope, Olimpus, GX41)과 Tescan사의 고분해능 주사현미경(Model : MIRA LMH)을 사용하여 미세조직을 관찰하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 입열량 분석 결과

Fig. 3은 Diode laser를 이용하여 실험소재인 STS420J2를 열처리 시 출력에 따른 입열량을 나타낸 것이다. Diode laser의 출력과 이송속도에 따라 재료의 경화능을 분석하였다. 실험소재를 열처리 후 분석한 결과 Heat treatment, None heat treatment, Melting으로 나타났다. 실험소재는 출력 1000W, 1500W, 2000W, 2500W에

서 이송속도가 10mm/s일 때 입열량은 각각 1000J/cm, 1500J/cm, 2000J/cm, 2500J/cm이며 출력 1000W일 때 이송속도 20mm/s 이상에서는 열처리 효과가 나타나지 않았다. 출력이 1500W에서 이송속도 30mm/s 이상에서는 열처리 효과가 나타나지 않았고, 출력 2000W, 2500W에선 이송속도 60mm/s에서 열처리 효과가 일어나지 않았다. 출력 2500W에서 이송속도가 20mm/s이하에선 소재의 표면이 용융이 되는 현상이 발생하였다. 이는 STS420J2의 용융점 이상의 온도가 입열되어 재료의 표면이 용융되었고 이 조건에서는 Diode laser를 이용한 표면경화 조건에 맞지 않는다고 판단된다.

4.2 미세경도 시험 결과

Diode laser 열처리 후 표면경화부의 평가는 한국산업 규격 KS D 0027에 따라 퀘칭(Quenching), 템퍼링 한 경화층의 표면에서 Hv500을 유효 경화층의 한계경도로 정의하고 있다. 따라서 본 연구에서는 Hv500 이상을 나타내는 조건을 표면경화로 정의하였다. Fig. 4는 이송속도에 따른 STS420J2의 표면경화층의 경도시험을 수행한 결과이다. 이송속도 10mm/s에서 출력량 1000W, 1500W, 2000W일 때 경도는 각각 Hv580.8, Hv600 Hv661.5로 나

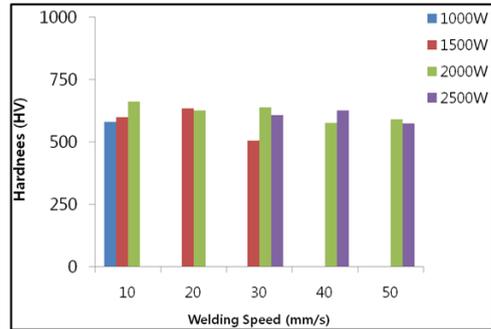
타났다. 이송속도 20mm/s에서 1500W, 2000W일 때 경도는 각각 Hv634.9, Hv626.4로 나타났다. 이송속도 30mm/s에서 출력량 1500W, 2000W, 2500W일 때 경도는 각각 Hv504.7, Hv639.2, Hv607.9로 나타났다. 이송속도 40mm/s에서 출력량 2000W, 2500W일 때 경도는 각각 Hv575.2, Hv626.4로 나타났으며 이송속도 50mm에서 출력량 2000W, 2500W일 때 경도는 각각 Hv590.2, Hv573.3로 나타났다. 본 연구에서 사용중인 STS420J2의 표면경도는 약 Hv200±10정도의 경도 값이 나왔으며, Diode laser를 이용하여 표면열처리 하였을 때 평균 경도값은 약 Hv606.2로 약 3배 이상 표면경도가 향상되었다.

4.3 조직시험 결과

Fig. 5은 STS420J2의 Base metal zone으로 전형적인 조직인 Martensite로 구성되어 있다. Fig. 6은 Heat treatment zone으로 표면경화부의 조직 사진을 광학현미경으로 촬영한 부분을 나타내었다. Diode laser로 경화된 부분은 Plate Martensite로 되어 있는 것을 확인 할 수 있으며 조직이 모재 부분과 다르게 경화 되어 있는 것을 확인 할 수 있다.

4.4 전자 주사현미경시험 결과

Fig. 7은 고분해능 주사전자현미경을 이용해 표면 열처리된 부분의 폭과 깊이를 측정된 결과로, 이송속도가 낮고 출력이 높을수록 표면경화의 폭이 깊고 넓음을 알 수 있었다. Fig. 7(a)는 이송속도 10mm/s, 출력량 1000W의 표면경화 폭과 깊이를 나타내었으며 각각 0.730mm, 0.033mm로 나타났다. Fig. 7(b)에서는 이송속도 10mm/s, 출력 2000W의 표면경화폭과 깊이는 각각 2.649mm, 0.585mm로 가장 넓고 깊은 표면경화층이 생성되었다. Fig. 7(c)는 이송속도 30mm/s, 출력 2500W의 표면경화 폭과 깊이는 각각 1.902mm, 0.233mm로 나타났다. 이는 레이저의 이송속도보다 레이저의 출력에 표면경화층의 깊이에 영향이 있다고 판단된다. Fig. 7(d) 2500W, 10mm/s의 조건에서 Melting 현상을 보여주고 있다. 표면경화층과 Melting이 같이 존재하는 것을 볼 수 있다. 출력량 2500W에서 이송속도 10mm/s, 20mm/s는 모재가 Melting된 것을 확인하였고 이 조건에서는 STS420J2의 용융점 이상의 레이저 출력 및 이송속도의 공정으로 표면경화의 조건으로 적당하지 않다고 판단된다.



[Fig. 4] Hardness vicers graph of STS420J2



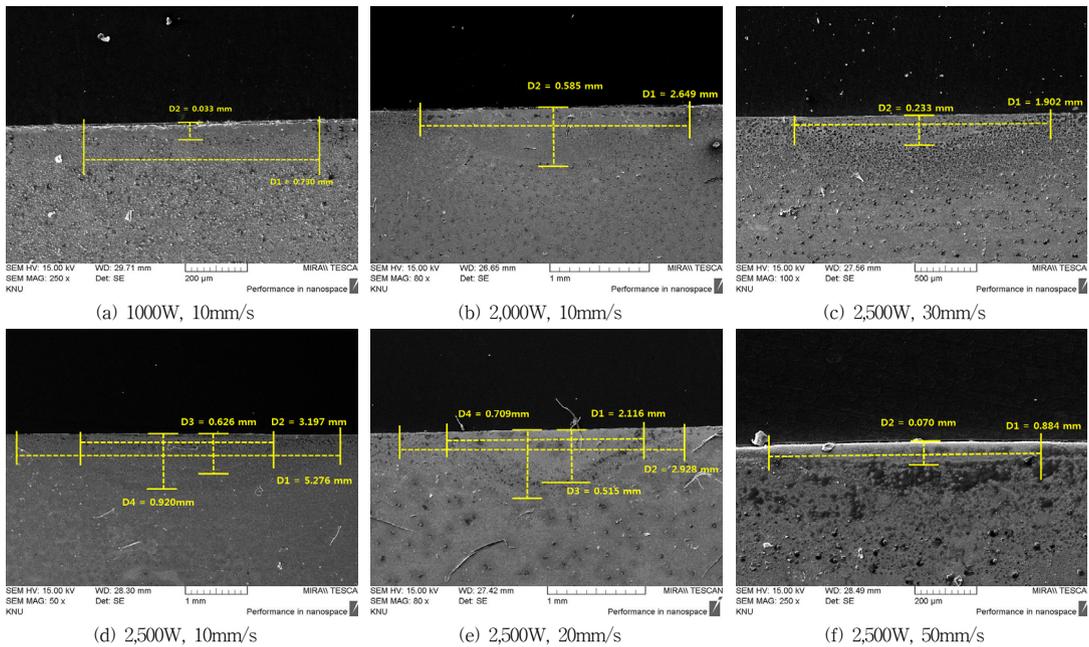
[Fig. 5] Base metal zone of STS420J2



[Fig. 6] Heat treatment of STS420J2

5. 결론

본 연구에서는 Diode laser를 이용하여 STS420J2의 모재에 표면경화를 수행하였고, Diode laser의 출력과 이송속도를 공정변수를 설정하여 국소부위의 범위와 최적의 표면경화의 조건을 선정 하였으며, Diode laser가 표면경화로 타당하다는 것을 입증 하였다.



[Fig. 7] The results of Field-Emission Scanning Electron Microscope

- 1) Diode laser를 이용한 표면경화 후 공정변수에 따라 Heat treatment, None heat treatment, Melting으로 나타났다. 출력 1000W일 때 이송속도 20mm/s 이상에서는 Heat treatment가 나타났고, 출력이 1500W에서 이송속도 30mm/s 이상에서도 None heat treatment가 나타났으며, 출력 2000W, 2500W에서 이송속도 60mm/s 이상에서 비열처리부가 나타났다. 출력 2500W에서 이송속도가 20mm/s 이하에서는 Melting이 발생하였다.
- 2) 표면경화부는 한국산업규격 KS D 0027에 따라 Hv500 이상을 표면경화로 정의 하였다. STS420J2의 표면경도는 약 Hv200±10 정도의 경도값이 나왔으며, Diode laser를 이용하여 표면열처리 하였을 때 평균 경도값은 약 Hv606.2로 약 3배 이상 표면경도가 향상되었다.
- 3) Diode laser로 열처리한 부분은 Plate martensite로 되어 있는 것을 확인할 수 있으며 조직이 모재 부분과 다르게 Plate martensite로 경화되어 있는 것을 알 수 있다.
- 4) 고분해능 주사전자현미경을 이용하여 표면경화된 STS420J2의 폭과 깊이를 측정 한 결과, 이송속도 20mm/s, 출력 1500W의 표면경화층의 폭과 깊이는

각각 0.593mm, 0.031mm로 가장 낮은 값이 나타났으며, 10mm/s, 2000W의 표면경화 폭과 깊이는 각각 2.649mm, 0.585mm로 가장 넓고 깊은 표면경화층이 생성되었다. 그리고 레이저의 이송속도보다 레이저의 출력에 표면경화층의 깊이에 영향이 있다고 판단되었으며, 출력 2500W에서 이송속도 10mm/s와 20mm/s는 모재가 용융된 것을 확인하였고, 이는 표면열처리 조건에 적합하지 않다고 판단된다.

References

- [1] Ehsan Toyserkani, Amir Khajepour, Stephen Corbin : Laser Cladding, CRC PRESS LLC.(2005). p. 1
- [2] A.Pereira, P.Delaporte, M.Sntis, A.Cros, W. Marine, A.Basillais, A.L.Thomann, C.Leborgne, N.Semmar, P.Andreazza, T.Sauvage, 2004 "Laser treatment of a steel surface in ambient air", Thin Solid Films 453-454, pp.16-21
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tsf.2003.11.072>
- [3] Kim. T. H., "Surface Modification and Processing of Metals by Laser Beam," Bull of the Korea Inst. of Met &

Mater, Vol. 5, No. 4, pp361~373, 1992

- [4] A.I. Katasamas, G.N. Haidemenopoulos, 2001, "Laser-beam carburizing of low-alloy steels", Surface and Coatings Technology 139, pp.183~191
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972\(00\)01061-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972(00)01061-6)
- [5] E. Kennedy, G. Byrne, D.N. Collins, 2004, "A review of the use of high power diode lasers in surface hardening", Journal of Materials Processing Technology 155-156, pp.1855~1860
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.276>
- [6] Lin Li, 2000, "The advances and characteristics of high-power diode laser materials processing", Optics and Lasers in Engineering 34, pp.231~253
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0143-8166\(00\)00066-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0143-8166(00)00066-X)
- [7] Kim, T.H., 1992, "Surface Modification and Processing of Metals by Laser Beam.", Bull of the Korea Inst. of Met & Mater, Vol 5, No, 4, pp.361~373

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

이 태 양(Tae-Yang Lee)

[준회원]



- 2014년 2월 : 공주대학교 기계시스템공학과 (공학사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과

<관심분야>

용접자동화, 레이저용접

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