

레이저 열처리 광학계를 이용한 금형소재의 표면 열처리 특성

신호준[†]·유영태*·신병헌**·노경보***

Characterization of Surface treatment for Mold materials using optical system of laser heat treatment

Ho-Jun Shin, Young-Tae Yoo, Hyung-Heon Shin, and Kyoung-Bo Ro

Key Words: Laser surface treatment(레이저 표면열처리), Infrared Pyrometer(적외선온도측정), Elliptical Lens(타원형 렌즈)

Abstract

Laser surface treatment technologies have been used to improve characteristics of wear and to enhance the fatigue resistance for mold parts. The optical lens with the elliptical profile is designed to obtain a wide surface hardening area with a uniform hardness. 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 surface treatment for the case of SKD61 steel and SCM4 steel. From the results of the experiments, it has been shown that the maximum average hardness is approximately 700~780 Hv when the power, focal position and the travel of laser are 1,095 W, 0mm and 0.3 m/min, respectively. In samples treated with lower scanning speeds, some small carbide particles appear in the interdendritic regions. This region contains fine martensite and carbide in proportions which depend on the local thermal cycle.

1. 서 론

최근 첨단산업 동향은 기계부품의 가공속도의 고속화, 고성능화, 고강도화를 향상이 필수적으로 요구된다. 기계가공에 필요한 제품은 높은 강도 뿐만 아니라 강한 인성, 내마모성, 내부식성 등을 가져야 한다. 특히 내마모성이 중요한 역할을 하는 금형산업은 동일 품질의 부품을 능률적으로 대량생산하기 위한 것으로 자동차부품, 전기전자 부품, 사무용품 등 거의 모든 산업에 적용되며 부품의 품질 및 생산성에 필수적인 요소이다.

그러나 종래의 금형 재료만으로는 그 특성을 충분히 만족시킬 수 없어, 표면경도를 증가시켜 사용하고 있다.^{1,2,3}

표면경도를 향상시키기 위해 다양한 열처리 방법이 있지만 선진국에서는 레이저 열처리를 이용하여 표면개질을 하는 경우가 일반적이다.^{4,5,6} 이와 같이 레이저 표면개질 방법 중 레이저 표면열처리는 표면 경도 값은 매우 높은 반면에 재료내부는 본래의 기계적 성질을 가지고 있어서 오랜 시간 충격이나 하중이 가해져도 쉽게 파괴되지 않는다. 이는 치밀하고 균일한 조직의 경화층이 재료 표면에 형성되어 기계적 특성들이 향상되기 때문이다. 더욱이 짧은 시간에 표면열처리가 진행되어 생산성이 높고 작은 부품이나 부품의 일부분만을 집중적으로 열처리가 가능하여 첨단산업분야에서 레이저를 이용한 표면열처리가 각광

† 회원, 조선대 대학원 정밀기계공학과
E-mail : sbn66@hanmail.net
TEL : (062)230-7942 FAX : (062)227-6329
* 조선대 메카트로닉스공학과
** 조선대 정밀기계공학과
*** 주영하이텍(주)

을 받고 있다. 그리고 장시간 반복 작업을 하는 금형은 표면의 높은 경도 값과 균일한 치수 값을 요구하는 생산을 위해서 레이저 표면열처리가 매우 효과적이다.^{7,8}

본 연구에서는 사출금형재료로 사용되는 SKD61과 SCM4의 레이저 표면열처리 특성에 대해 고찰하고자 한다. 일반적인 기계적 특성은 열간금형공구강인 SKD61의 경우 열 충격 및 열 피로에 강하며, 내마모성과 내열성에 강점이 있어 가공용 공구나 각종 다이스 다이블로 제조하여 정밀금형에 쓰인다. 그러나 치수 변화량이 크고, 열처리할 때 재료 자체가 뒤틀리는 특성을 지니고 있다. 또한 치수 변화 폭도 크기 때문에 황삭가공을 하고, 열처리 한 후 방진작업을 하는 것이 보편적이다. 열처리한 후 치수 차는 0.1mm ~ 0.5mm 정도 차이가 발생하는 단점을 가지고 있다. 두 번째로 구조용 합금강인 SCM4는 기계적으로 뛰어난 성질과 표면의 큰 경도 값을 요구하는 기어, 너트, 크랭크축과 같은 부품에 널리 사용되고 있다.

본 연구에서는 레이저 열처리 광학계를 제작하여 대면적 표면열처리와 내마모성 증가에 대한 연구를 하고자 한다. 표면을 열처리시키기 위해 SKD61과 SCM4의 표면에 레이저빔을 동일조건으로 조사한 후 경도크기, 경화깊이, 경도분포, 레이저 열처리속도에 따른 표면온도 등을 실험적으로 연구하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 연구에 사용되어진 Nd:YAG레이저는 파장이 1.06 μ m이고, 최대출력은 2.8kW이다. 레이저 빔 발산각은 25mrad, 600 μ m인 광섬유를 통해서 전달된다. 광케이블에 연결되어 가공하는 공작대는 LASMA 1054이다. 시편을 열처리 시킬 때 표면과 대기중의 오염물질사이의 상호작용을 방지하기 위해서 아르곤(Ar)가스를 보호가스로 사용하

였다. 조사각도는 45°, 가스압력은 1.5bar로 분사시켰다. Fig. 1은 실험장치의 개략도이다.

표면 열처리를 위해 제작한 광학계는 Fig. 2에서와 같이 열처리용 렌즈는 반원통형으로 제작하여 실험하였다. 렌즈의 재질은 UV grade F.S.이고, 초점거리(f)는 195mm이며, 렌즈 크기(W×L)는 40×40mm이다.

레이저빔이 시편표면에 조사되어 빔이 진행될 때 적외선 온도계를 이용하여 실시간으로 표면온도를 측정하였다. 레이저 표면경화 실험할 때 스패터(spatter)가 발생하여 온도계(pyrometer) 손상을 가져올 수 있기 때문에 광학헤드를 이용하여 필터를 체결시켜 실험하였다.

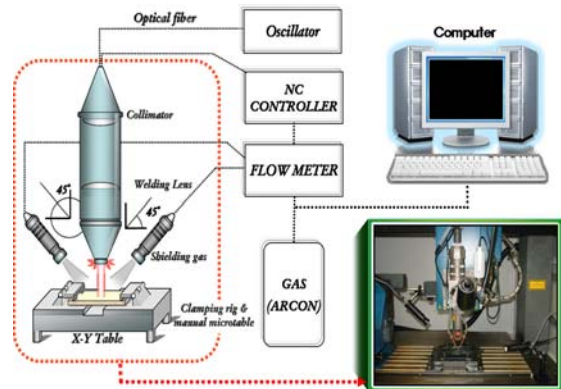


Fig. 1 Experimental set-up

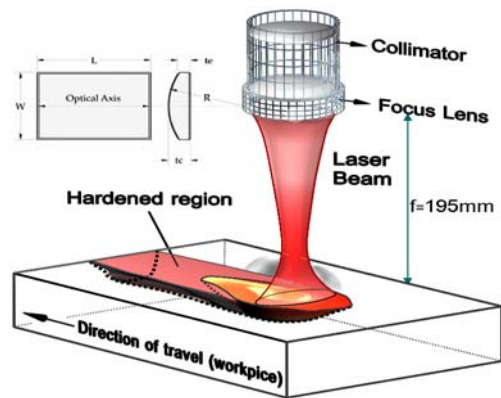


Fig. 2 Schematic diagram of Heat treatment

Table 1 Chemical composition of specimen(wt.-%)

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Ni	Fe
SKD61	0.41	1.12	0.41	0.02	0.01	5.2	1.23	1.10	0.70~1.3	Bal.
SCM4	0.83	0.15~0.3	0.6~0.85	0.03	0.03	0.09-1.2	0.15~0.35	-	-	

2.2 실험방법

본 연구에 사용된 시편의 화학 조성은 Table 1과 같다.

실험에 사용한 시편의 크기는 시편 자체에서 자기 담금질(self-quenching)을 시켜야 하기 때문에 어느 정도의 임계질량과 두께를 가지고 있어야 한다. 그러므로 시편의 크기를 100×50×10mm로 고정하여 열처리실험 하였다.

Table 2 Parameter of Laser surface heat treatment

Laser power	1095W
Travel speed(V_{ts})	0.3, 0.5, 0.8m/min
Focal position(z)	+3mm~+3mm
Shielding gas	Ar : 1.5bar : 3l/min

기계적·금속학적 특성을 고찰하기 위해 경화깊이 변화에 따른 경도측정 하였다. 열영향을 주지 않는 저속절 단기를 이용하여 시편의 단면을 절단해서 시편을 폴리싱한 후 피크린시약으로 부식 처리한 다음 광학현미경[Nikon: ECLIPSE L150]을 이용하여 경화깊이와 경도값을 측정하였다. 경도시험은 마이크로 비이커스 경도시험기[Simadzu : HMV-2series]를 사용하여 0.5kg의 하중을 적용시켜 경화층 특성을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 표면경도 특성

본 실험에서 제작하여 사용한 열처리 광학계로 열처리한 결과와 디포커싱으로 열처리하여 표면경화한 경화폭과 경도분포를 비교하기 위해 공정변수를 Table 2와 같이 실험한 후 표면경도분포를 관찰하였다.

Fig. 3(a)는 SCM4를 레이저 표면열처리 한 후 경도분포를 나타내었다. Fig. 3(a)에 나타낸 것처럼 열처리 광학계를 이용할 경우 표면 열처리폭은 22.8mm로 디포커싱으로 표면 열처리한 열처리폭 5.4mm보다 4배 이상 넓은 경화 폭을 얻었다. 표면경화구간 내의 평균 경도 값은 모두 660Hv로 나타났다. 이는 같은 공정조건인 레이저 출력 $P=1095W$, 빔 이송속도 $V_{ts}=0.3m/min$ 의 공정조건에서 열처리광학계를 이용하여 표면경화를 하면 경화 층의 경도 값 저하 없이 4배 이상

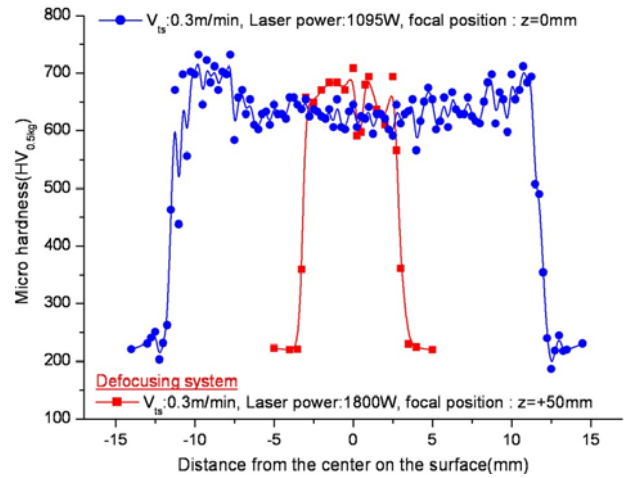


Fig. 3 Compared with hardening distribution of the laser heat treatment optical system and Defocusing method(SCM4)

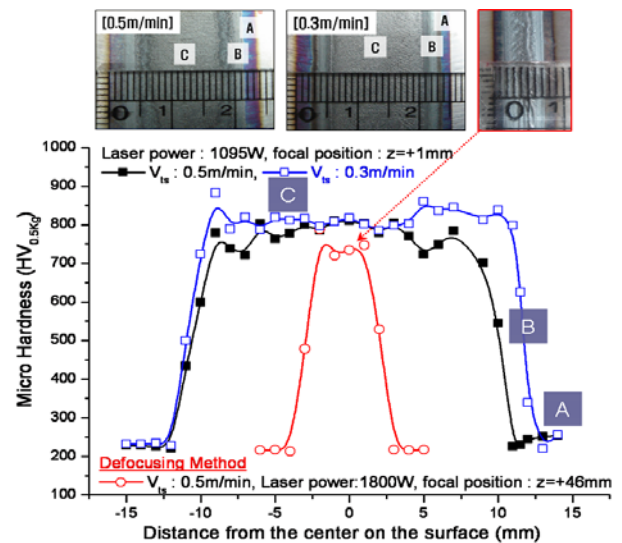


Fig. 4 Compared with hardening distribution of the laser heat treatment optical system and Defocusing method(SKD61)

넓은 경화 폭을 가진 표면경화가 가능함을 의미한다.

선행연구에서는 대부분 디포커싱방법을 이용하여 레이저 표면경화에 관한 연구가 진행되었다. 그리고 대면적 부분을 표면경화처리 할 때 다중중첩(Multi-pass)을 통해 연구하였다. 이런 방법은 레이저빔이 중첩되는 부분 즉, 오버랩(overlap)의 영향으로 뜨임(Tempering)현상이 발생하여 경도분포가 불균일하게 된다. 본 실험에서 이런 단점을 극복할 수 있는 장점을 가지고 있다.

Fig. 4의 경우 SKD61의 표면경도분포를 도시화

하여 나타내었다. 이때 각각의 레이저 공정변수에 따라 실험한 후 표면경도층의 경도값을 측정하였다. 표면경도 측정시 한 시편에 3번, 측정간격은 5mm로 동일한 조건으로 측정하였다. 그리고 Fig. 3과 동일한 방법인 디포커싱방법을 사용하였을 때 표면경도 분포와 표면비드 형상을 비교하였다. Fig. 4에서 열처리표면을 3부분으로 나누어 분석했다. 그림에서 A부분은 모재, B부분은 천이부, C는 경화부이다.

레이저열처리속도가 0.3m/min일 때 경화부(C)의 평균경도값 약800Hv로 모재(A)경도값 200Hv보다 약4배정도 경도값이 상승하였다. 레이저열처리속도가 0.3m/min일 때 경도분포 값이 균일하게 나타난 것은 0.5m/min일 때보다 입열량이 충분히 커서 표면의 오스테나이트화가 균일하게 형성된 후 급냉각 되었기 때문이라 사료된다. 디포커싱방법으로 표면열처리 했을 때에는 열처리폭이 열처리 광학계로 표면열처리 했을 때보다 약 2.5배정도 증가하였다. 또한 평균경도값은 689Hv로 레이저 표면 경화처리 했을 때보다 경도차가 111Hv정도로 낮게 분포하였다. 이 결과 디포커싱방법으로 표면경화 보다 본 연구에서 개발한 열처리 광학계가 디포커싱에 의한 표면경화방법보다 경도값, 경화폭 및 경도분포가 우수하게 나타났다.

3.2 레이저 열처리 표면온도분포

레이저 표면처리시 시편 표면근방의 온도는 일반적으로 1100℃이상으로 상당히 높은 온도를 형성하고 있다. 이러한 온도는 레이저빔이 재료 표면만 국부적으로 조사되어 조직이 오스테나이트 온도로 상승한 후, 곧바로 급냉 되므로 레이저빔에 의한 오스테나이트화 온도가 높더라도 그 시간이 매우 짧으므로 입자성장이 극소화된다. 그리고 각각 레이저 공정변수에 따라 이런 현상은 현저히 차이가 나타난다. 그래서 본 연구에서 레이저빔 시편에 조사될 때 적외선 온도계를 이용하여 입열량과 표면온도의 상관관계를 고찰하였다. 그 결과를 Fig. 5에 나타냈다. 실험 공정변수는 Table 2과 동일하며 레이저빔 이동거리(L)는 70mm로 고정시켜 표면온도 측정하였다. 이때 적외선온도계의 측정각도는 60. 이고, 응답속도는 0.01sec이다. 레이저빔 중심선으로부터 1/e위치인 지점에서 측정하였다.

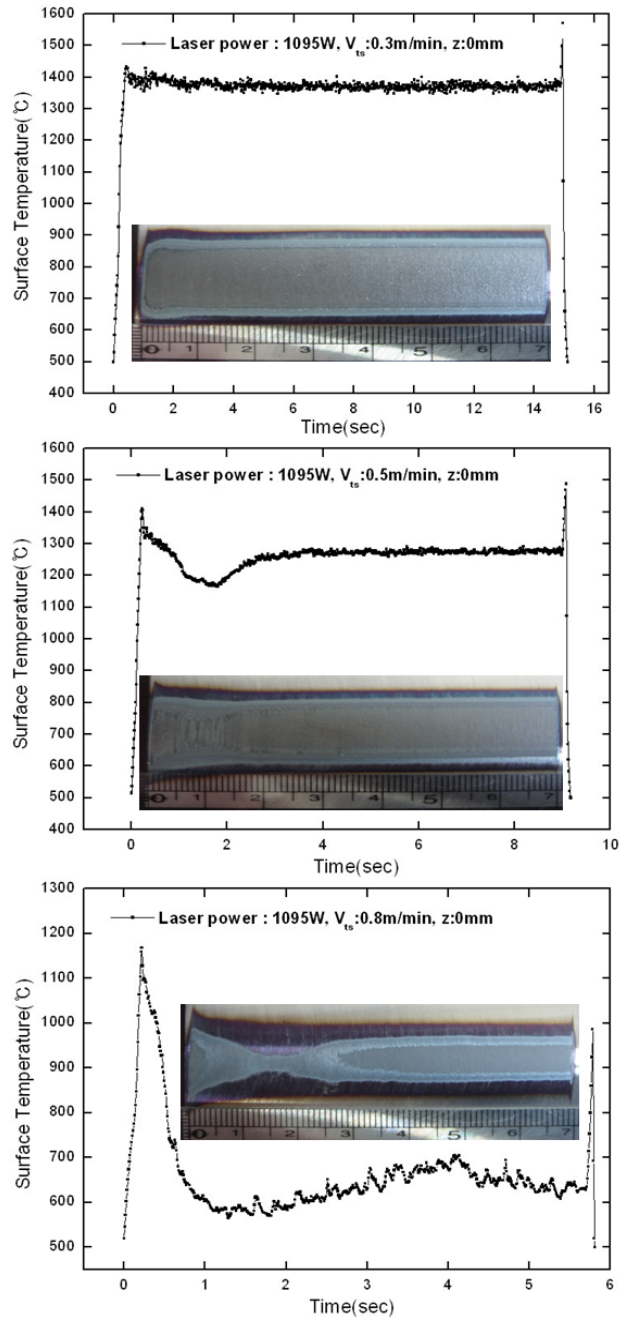


Fig. 5 As the result of surface temperature monitoring by laser beam irradiation(SKD61)

Fig. 5에서 x축은 표면온도 측정 시간이며, y축은 표면온도 값이다. 그 결과로 레이저빔 이송속도가 빠를수록 내부로 열을 전도시키는 시간이 부족하여 표면온도가 낮게 분포하였다.

레이저빔 이송속도가 0.8m/min일 때는 레이저빔과 재료와의 상호작용시간이 0.12sec 이지만 입열량이 충분하지 않아 A₃변태점이상으로 상승하지 못하였다. 이때 평균표면 온도가 650℃이다.

이것은 레이저빔의 가열(조사)속도가 너무 빨라 온도가 오스테나이트화 온도로 충분히 높지 않으면 확산에 의한 탄소 재분포가 일어나기 어렵다. 탄화물의 용해가 충분하지 않으면 불균질하고 결정립성장이 억제된 오스테나이트 조직이 되어 냉각시 불균질한 미세조직이 되기 때문에 경도값이 높지 않다.

이와 반대로 레이저빔 이송속도가 0.3m/min일 때는 평균 온도 값이 약1400℃ 정도로 레이저 빔 이송속도가 2.6배정도 감소하면 표면온도는 2.15 배 증가하였다. 그리고 레이저빔과 시편과의 상호작용시간이 0.32sec로 A₃이상의 오스테나이트화 온도로 상승하기에 충분한 시간이 된다.

Fig. 5에서 레이저빔 이송속도가 0.8m/min일 때 초기에 온도가 높은 것은 레이저빔이 표면에서 효과적으로 흡수되도록 piercing시간이 주어지기 때문에 빔 이송지연으로 인하여 나타나는 현상이다.

이런 현상은 레이저빔의 물리적 특성으로 적외선영역의 레이저빔은 금속표면에서 대부분 반사된다. 표면이 변화되어 반사율이 저하되면 반사율이 급속히 줄어든다. 초기에 표면의 반사율을 감소시키기 위해 레이저빔을 집중하는 것을 piercing이라 한다. piercing 시간은 1sec이며, piercing시간이 지나면 레이저빔이 이송되고, 입열량이 내부로 급격하게 전달되면서 일시적 과도현상으로 온도가 하강한 현상이 레이저빔 이송속도가 0.5m/min와 0.8m/min일 때 나타났다. 이와 반대로 레이저빔 이송속도가 0.3m/min으로 입열량이 증가하면 piercing에 의한 과도현상이 나타나지 않아 균일한 열처리 표면으로 되었다. 이런 결과로 비추어보면 Piercing 시간에 대한 입열량 값이 일정할 경우 일시적인 과도현상이 발생하지 않고 균일한 표면경화 비드와 경도분포를 얻을 수 있다.

Fig. 6은 SCM4의 레이저 표면열처리 온도분포를 나타낸 것이다. 레이저빔의 이송속도가 0.8m/min로 하여 조사하면 SKD61과 비슷하게 레이저빔이 piercing 후 빔의 이송속도가 빨라 내부로 열이 전달되는 양 때문에 순간적으로 온도가 약 960℃까지 하강한 뒤 레이저표면 경화 온도인 1150℃로 되었다. 레이저빔의 이송속도를 0.5m/min로 할 경우 초기 약 2초 동안 1150℃인 구간이 있는데, 이 현상은 여러 번 반복해서 실험한

결과 같은 현상이 나타났다.

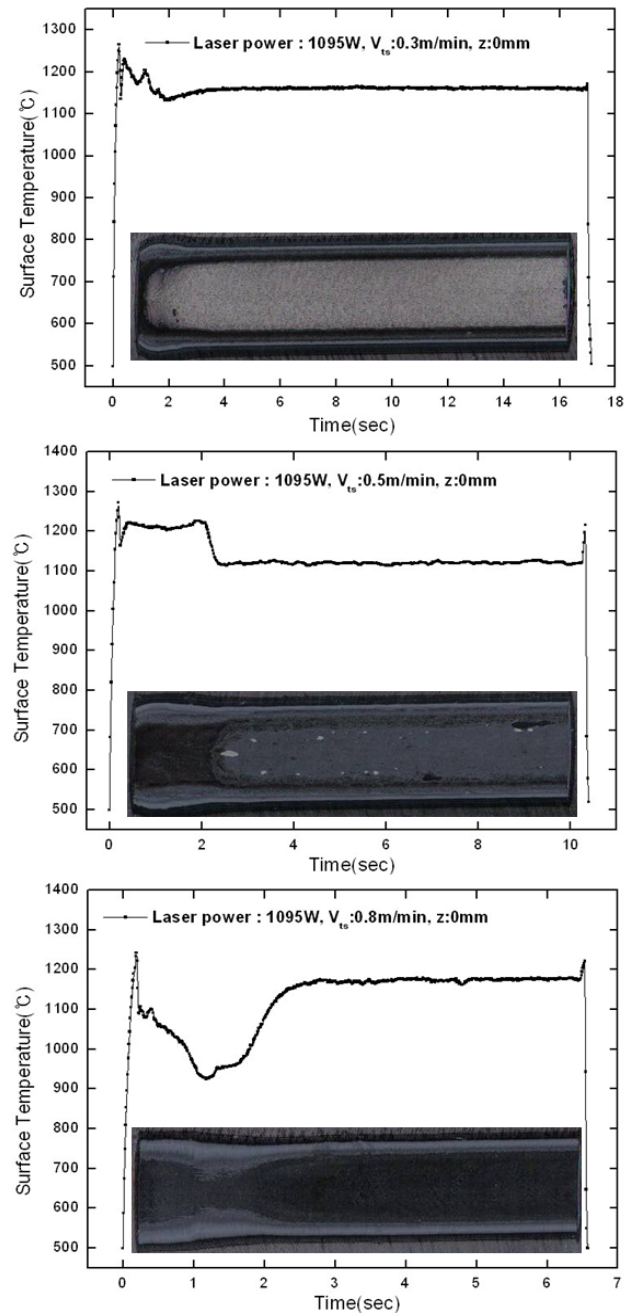


Fig. 6 As the result of surface temperature monitoring by laser beam irradiation(SCM4)

레이저빔 이송속도를 0.3m/min로 했을 경우 초기 레이저빔의 흡수율을 증가시키기 위해 piercing하는 기간 동안 온도가 급상승한 후 레이저 빔이 이동하면서 시편내부로 열이 전달되어 일정한 온도를 나타내고 있다. 레이저빔의 이송속도가 빠른 경우 레이저빔 초기 조사할 때 시편내부로의 열전달에 의한 냉각현상을 나타낸 레

이저빔 이송속도가 느려 높은 입열량 때문에 초기 높은 온도가 나타나는 현상은 설명이 되지만, 레이저빔 이송속도가 0.5m/min일 때 나타나는 온도분포 현상은 더욱 연구해야 할 과제이다.

4. 결 론

CW Nd:YAG 레이저를 이용하여 금형강의 종류인 SKD61과 SCM4를 대면적 열처리 광학계를 이용하여 열처리했을 경우 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. SKD61과 SCM4에 레이저 열처리하였을 때 각각의 기계적 특성은 다르지만 모재와 비교했을 때 균일한 표면열처리 층을 형성시켰다. 이때 최적공정변수는 레이저 출력 1095W, 빔이송속도 0.3m/min, 초점위치가 0mm인 조건이었다.

2. 각각의 시편에 최적의 공정변수에서 경도 값은 모재에 비해 약3.5배 상승하였고, 디포커싱 했을 때보다 열처리폭이 4배 향상되었다.

3. 레이저 표면열처리시 공정변수제어를 위해 실시간모니터링을 했을 때 표면온도는 중요한 변수로 작용하는 것을 알 수 있다.

후기

본 연구는 “산업자원부 지역혁신 특성화 사업: 광주지역 금형 산업 육성 사업”의 일환으로 진행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Dikova, T., Horiuchi, R., Yamaguchi, S. and Seto, S., 2006, "Influence of Overlapping Passes on Microstructure of Hot-Work Tool Steels Treated by Continuous CO2 Laser," Proceeding of the 4th International Congress on Laser Advanced Materials Processing,
- (2) Yue, T. M., Yan, L. J. and Chan, C. P., 2006, "Stress corrosion cracking behavior of Nd:YAG laser-treated aluminum alloy 7075," Applied Surface Science, Vol. 252, No. 14, pp. 5026-5034.
- (3) Wang, Q. B., Chao, M. J., Yang, K., Yuan, B. and Liang, E. J., 2005, "Laser Surface Hardening for 38CrMoAl steel," Heat Treatment of

Metals(China), Vol. 30, No. 2, pp. 81-83.

- (4) Tian, Y. S., Chen, C. Z., Wang, D. Y. and Lei, T. Q., 2005, "Research Progress of Laser Surface Treatment on Titanium Alloys," Heat Treatment of Metals(China), Vol. 30, No. 8, pp. 29-34.
- (5) Yoo, Y. T., Shin, H. J. and Ahn, D. G., 2005, "Characteristics of laser surface hardening for SM45C medium carbon steel using continuous wave Nd:YAG laser," KSPE, Vol. 22, No. 11, pp. 51-58.
- (6) Vilar, R., Colaco, R. and Almeida, A., 1995, "Laser surface treatment of tool steels," Optical and Quantum Electronics, Vol. 27, No. 12, pp. 1273-1289.
- (7) John, E. H., Michelle, G. K. and Angela, L. M., 2006, "Property and microstructure evaluation as a function of processing parameters : Large HY-80 steel casting for a US Navy submarine," Engineering Failure Analysis, Vol. 13, pp. 1397-1409.
- (8) Kulla, M. and Pert다, A., 2004, "Microstructure and properties of borocarbured 15CrNi6 steel after laser surface modification," Applied Surface Science, Vol. 236, pp. 98-105.