

실시간 출력 제어를 통한 구상흑연 주철의 레이저 표면경화 특성

김종도^{*,☒}, 송무근^{**}

^{*}한국해양대학교 해사대학 기관공학부, ^{**}한국해양대학교 대학원

Characteristics of Surface Hardening by Laser Power Control in Real Time of Spheroidal Graphite Cast Iron

Jongdo Kim^{*,☒}, Mookun Song^{**}

^{*}Division of Marine Engineering, Korea Maritime and Ocean Univ.

^{**}Graduate School of Korea Maritime and Ocean Univ.

Abstract

This study is related to the surface hardening treatment to spheroidal graphite cast iron for die by using high power diode laser. Laser device used in this experiment is capable of real-time laser power control. This is because the infrared temperature sensor (two color pyrometer) attached to the optical system measures the surface temperature of specimen and adjusts the laser power in real time. The surface treatment was carried out with the change of heat treatment temperature at the beam travel speed 3 mm/sec. Hardened width and depth was measured and hardened zone was analyzed by micro vickers hardness test in order to research the optimum condition of heat treatment. The changes in microstructure of the hardened zone also was examined. As a result of hardness measurement and observations on microstructure of hardened zone, hardness increased over three times as compared with base metal because the martensite was formed on the matrix structure.

Keywords: Surface hardening treatment(표면경화처리), Spheroidal graphite cast iron(구상흑연주철), Real time laser power control(실시간 레이저 출력 제어), Hardened width and depth(경화폭 및 깊이)

1. 서론

주철은 일반적으로 기계가공이 쉽고 넓은 영역의 강도 및 경도를 갖는 우수한 합금으로써, 내마모성, 내부식성, 내열성이 뛰어나다. 또한 다른 합금과 비교하여 상대적으로 저렴한 가격과 다양한 기계적 성질로 인하여 피스톤, 밸브, 공작기계 몸통 등 매우 광범위하게 사용되고 있다. 특히 구상흑연주철은 기지조직에 구상의 흑연이 정출되어 있는 주철을 말한다. 보통의 주철은 편상흑연 조직이므로 응력을 받았을 때 흑연을 따라 균열이 발생하기 쉽고 취성이 있으며, 강도가 작은 결점이 있다. 하지만 구상흑연주철은 흑연이 구상으로 존재하기 때문에 흑연에서의 균열 생성이 어려워 강도가 우수할 뿐만 아니라 연성도 갖게

되므로 주철의 이용에 제한요소로 작용하는 저강도와 취성을 동시에 극복한 우수한 재료이다.

본 연구에서는 금형재료로 사용되고 있는 구상흑연주철에 대하여 고출력 다이오드 레이저를 이용한 표면경화처리를 실시하였다. 레이저를 이용한 표면경화처리는 고밀도 에너지 열원에 의해 레이저 조사 부위만 급속 가열된 후 재료의 열전도에 의해 급격한 온도구배가 형성되어 재료 표면이 급랭되는 자기냉각(self-quenching) 방식으로 표면경화를 유도한다. 이 방법은 복잡한 형상을 가져 국부적인 경화를 요하는 금형의 기계적 특성을 향상시키기에 적합하기 때문에 금형의 강화 기구로써 주목을 받고 있다.

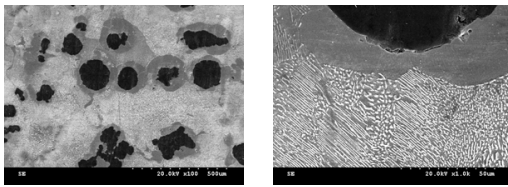
2. 실험 재료 및 방법

2.1 실험재료

투고일 : 2015년 6월 15일 심사완료일 : 2015년 6월 24일
계재승인일 : 2015년 6월 26일
교신저자 : 김종도 ☒ jdkim@hhu.ac.kr

본 실험에 사용된 시험편 재료는 프레스 금형 재료인 구상흑연주철 FCD550으로, 구상화된 흑연 주위로 페라이트 조직이 감싸고 있고, 그 주변은 펄라이트로 구성되어 있다. Fig. 1은 모재 조직의 SEM 사진을 저배율과 고배율로 나타내는 것으로, 둥글고 까만 부분이 구상화된 흑연이며 그 주위를 감싸는 것이 페라이트 조직이다. 그리고 흰색 부분은 기지조직으로 펄라이트 조직이 분포되어 있다. 시험편의 화학적 조성을 Table 1에 나타낸다.

시험편의 크기는 120mm^t × 90mm^t × 25mm^t 이며, 표면을 연삭처리한 후 실험 전에 메탄올로 표면을 탈지하여 표면의 이물질을 제거하였다.



(a) Low magnification (b) High magnification

Fig. 1 SEM images of microstructure of the base material.

Table 1 Chemical composition of FCD550 specimen

Element(wt%) Material	C	Si	Mn	P	S	Alloy element
FCD550	3.0 -3.8	1.8 -2.6	0.10 -0.50	-0.04	-0.02	Mg min 0.3, Cu min 0.02

2.2 실험방법

FCD550 소재의 표면경화 처리에 사용된 레이저는 최대출력 4.0kW의 다이오드 레이저이다. 900-1,030nm의 파장대를 가진 레이저빔을 열처리용 광학계를 이용하여 40mm × 7mm 크기의 빔사이즈로 조절하여 Fig. 2와 같이 시험편 표면에 조사하였다. 그림에서와 같이 표면에 레이저가 조사되면 재료 내부로 열이 전달되어 급속냉각되기 때문에 부가되는 냉각장치가 따로 구성되어있지 않다.

열처리용 광학계는 6축 외팔보로봇에 고정하여 표면경화를 진행하였으며, 광학계 부근에는 적외선 온도센서(two color pyrometer)가 부착되어 340-1,300°C의 측정범위로 시험편의 표면온도를 측정한다. 이 온도센서는 열처리가 진행되는 동안 조사된 레이저빔의 정중앙을 실시간으로 측정하고 그 온도를 모니터링하여 레이저 출력을 자

동으로 조절하는 기능을 한다.

열처리시 시험편의 표면 산화를 방지하기 위하여 열처리 진행방향의 후면 20mm 지점에서 아르곤 가스를 20l/min으로 분사하였다.

본 연구에서는 FCD550 소재에 대하여 표면 열처리 온도를 변화시키면서 열처리를 실시하고 온도별 경화특성을 파악하였다.

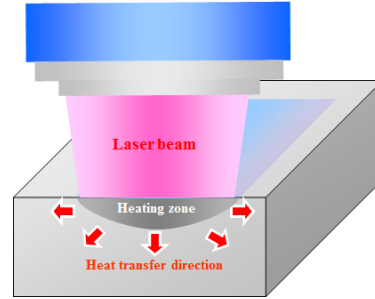


Fig. 2 Laser surface hardening method and heat transfer direction.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 열처리 온도별 실시간 레이저 출력 변화

레이저 이송속도를 3mm/sec로 고정하고 열처리 온도 950-1,150°C 사이에서 50°C 간격으로 온도를 변화시키면서 열처리를 실시하였다. 이때 각 열처리 온도별 측정된 레이저 출력 변화를 Fig. 3에 나타낸다. 그래프를 살펴보면 표면 온도를 설정 온도까지 빠르게 올리기 위하여 레이저 조사 후 약 3-5초까지 레이저 출력이 급속하게 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그 후 레이저 출력은 설정 온도를 유지하기 위하여 계속적으로 변화하지만 그 차이가 크지 않다는 것을 확인할 수 있다. 또한 열처리가 진행되는 동안 시험편 내의 열축적에 의한 레이저 출력의 감소는 나타나지 않았다.

열처리가 진행되면서 레이저 출력이 어느 정도 안정적이라고 생각되는 10-30초 사이의 평균 레이저 출력을 측정된 결과, 열처리의 영향이 미미한 950°C에서 3.1kW, 1,000°C에서 3.26kW, 1,050°C에서 3.42kW를 나타내었다. 그리고 적정 열처리 온도로 사료되는 1,100°C에서는 3.46kW를 기록하였다. 열처리 온도 1,150°C에서는 시험편 표면에 약간의 용융이 발생하였으며, 이때의 레이저 평균 출력은 3.63kW였다. 열처리 설정 온도가 950°C와 1,150°C 일때의 레이저 출력을 비교해보면, 약

0.5kW밖에 차이가 나지 않는 것을 확인할 수 있다. 하지만 이러한 약간의 출력 변화에도 경화특성에 큰 차이가 발생하여 경화폭은 약 21mm, 경화깊이는 약 0.63mm의 차이를 나타내었다.

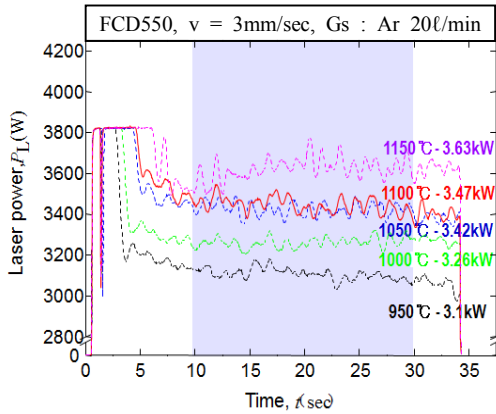


Fig. 3 Variation of laser power in real time with temperature.

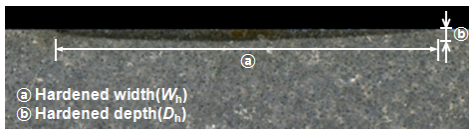
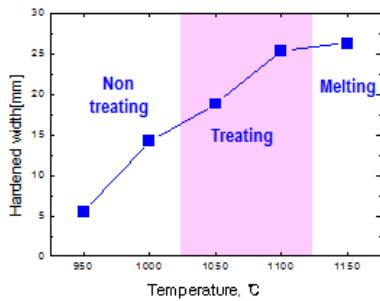
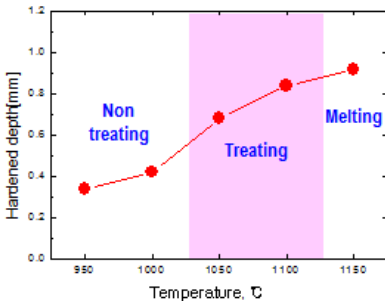


Fig. 4 Cross section of hardened specimen.



(a) Hardened width



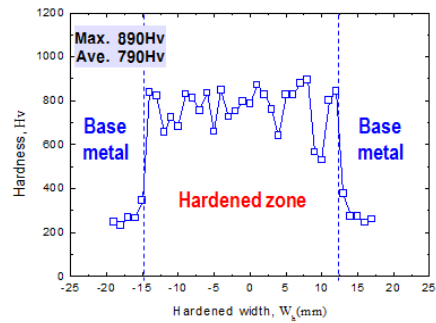
(b) Hardened depth

Fig. 5 Variation of hardened width and depth according to heat-treatment temperature.

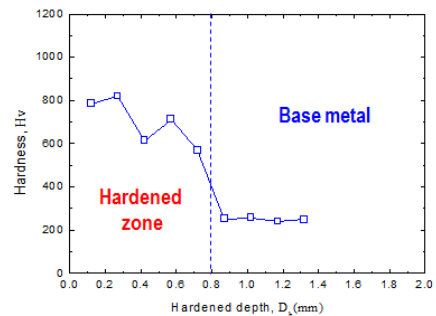
Fig. 4는 적정 열처리 온도인 1,100°C에서의 열처리된 시험편 단면 사진을 나타낸 것이며, Fig. 5는 열처리 온도에 따른 경화 폭 및 깊이의 변화이다. 열처리 온도가 증가함에 따라서 경화 폭 및 깊이가 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었지만, 1,150°C 이상에서는 표면의 용융이 발생하였다. 적정 열처리 조건인 1,100°C에서의 경화폭은 25mm, 경화깊이는 0.82mm를 나타내었다.

3.2 경화부 경도 분포 및 미세조직 특성

일반적으로 주철은 흑연이 포함되어있기 때문에 넓은 영역의 평균경도를 측정할 수 있는 브리넬 경도로 경도측정을 하지만, 본 연구에서는 세밀한 경도를 측정하기 위하여 마이크로 비커스 경도기를 사용하였다. 적정 열처리 조건인 열처리 온도 1,100°C, 이송속도 3mm/sec에서의 경도를 측정하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 나타낸다. 경도는 폭방향과 깊이방향으로 측정하였다.



(a) Width direction



(b) Depth direction

Fig. 6 Hardness distribution for surface hardened specimen at optimum condition.

FCD550 소재의 모재 경도는 대략 240-280Hv이다. 경화부의 폭방향 최대 경도는 890Hv, 평균 경도는 790Hv로 모재 경도에 비하여 약 3배 정

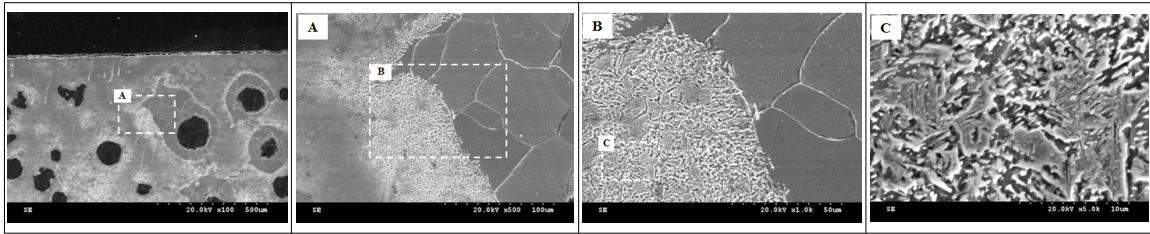


Fig. 7 Hardness distribution for surface hardened specimen at optimum condition.

도 상승한 값을 나타내었다.

경도 분포상에 측정값의 변동이 심한 이유는 주철내의 흑연은 매우 연한 조직이기 때문에 경도 측정시 흑연의 영향으로 인하여 측정값이 큰 차이를 보였으며, 흑연의 영향을 피하기 위하여 세심한 주의가 필요하였다. 경도 분포로 확인한 폭 방향으로의 경화는 약 27mm였으며, 깊이방향으로는 약 0.8mm까지 진행되었다.

레이저 표면처리 된 경화부의 조직적인 차이를 분석하기 위하여 전자현미경을 이용한 미세조직 관찰을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 7에 나타낸다. Fig. 7은 전체적인 경화부의 SEM 이미지와 확대 사진을 나타낸 것으로, 구상화된 흑연 주위로 페라이트가 감싸고 있고 기지조직으로 펄라이트가 분포되어 있던 모재조직이 침상의 마르텐사이트 기지조직으로 변태한 것을 확인할 수 있다. 또한 경화부의 흑연 주위는 페라이트가 여전히 존재하고 있는데, 이는 열처리 전의 흑연 주위의 페라이트 영역이 광범위하고, 빠른 열사이클에 기인한 레이저 공정의 특성상 흑연에서 분해된 탄소가 주변으로 확산할 시간이 충분하지 않기 때문으로 생각된다.

경화부의 미세조직 관찰을 통하여 펄라이트 기반의 기지조직이 마르텐사이트로 상변태하여 모재에 비해 약 3배 정도의 경도값이 상승하였다는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

금형재 구상흑연주철의 레이저 표면경화처리 시 일정한 온도를 유지하기 위하여 실시간 레이저 출력을 제어하면서 열처리를 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 적외선 온도센서가 부착된 열처리용 광학계를

이용하여 시험편을 레이저 표면경화처리 하였으며, 열처리가 진행되는 동안 설정 온도를 유지하기 위해 레이저 출력이 실시간으로 제어되었다.

- 2) 적정 열처리 온도는 이송속도 3mm/sec에서 1,100°C였으며, 이때 측정된 평균 레이저 출력은 3.46kW였다. 경화부의 폭은 약 25mm, 깊이는 약 0.82mm를 나타내었다.
- 3) 적정 열처리 조건에서 측정된 경화부의 경도 값은 최대 890Hv, 평균 790Hv로 모재에 비하여 약 3배 정도 상승한 값을 나타내었다.
- 4) 경화부의 미세조직을 관찰한 결과, 펄라이트 기지의 모재 조직은 열처리로 인하여 마르텐사이트 기지 조직으로 변태하였으며 구상화된 흑연 주위의 페라이트는 레이저 공정의 빠른 열사이클로 인하여 여전히 존재하는 것을 확인하였다.

References

- 1) D. Holmgren, A. Dioszegi, I.L. Svensson "Effects of Nodularity on Thermal Conductivity of Cast Iron", International Journal of Cast metals Research, Vol. 20, No. 1, 2007.
- 2) M. Gagne The Sorelmetal Book of Ductile Iron, Rio Tinto Iron & Titanium Inc., 2004.
- 3) 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, pp. 1855-1860, 2004.
- 4) Lin Li "The Advances and Characteristics of High Power Diode Laser Materials Processing", Optics and Laser in Engineering 34, pp. 231-253, 2000.