

레이저 빔 조사에 의한 금속표면 경화특성

Characteristics of Metal Surface Hardening by Laser Beam Irradiation

**최성대¹, 김기만², 양세영³

*^{S. D. Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)¹, G. M. Kim², S.Y.YANG³}

¹ 금오공과대학교 기계공학부, ² 금오공과대학교 기계공학부, ³ 금오공과대학교 대학원 생산기계공학과

Key words : Surface Hardening, Laser beam irradiation

1. 서론

레이저를 이용한 표면처리의 가장 공통적인 방법은 가공물체의 표면경도를 높이기 위한 열처리였다. 레이저 빔으로 집속된 레이저 열원을 정해진 축 방향으로 레이저 빔과 금속표면을 서로 움직이면서 레이저 빔이 표면에 조사되면 부품 내부로의 열전도에 의해 표면의 국부적인 층만을 가열시키게 되고 레이저 빔이 계속하여 부품의 다른 부분을 이동 조사하게 되면 재료 표면층의 열은 기지조직에 의해 급속도로 냉각하게 된다. 이러한 냉각 과정을 자기냉각(self-quenching)이라하며, 자기냉각에 의하여 금속표면층은 정상적인 고상변태를 억제시켜 내부의 기지조직에는 변화가 없이 표면층만을 경화시키게 된다. 또한, 레이저의 고밀도로 인해 모재의 조직 구조가 변형되어 높은 경도를 달성할 수 있고, 부품의 내부에서 열로 인해 야기되는 열응력, 뒤틀림 및 균열을 방지할 수 있어 부품의 손상을 최소화 할 수 있어 종래의 화염경화법이나 침탄법등과 같은 표면 경화처리 방법보다 생산현장에 유용하게 사용되고 있다. 이렇듯 레이저가 표면, 특히 금속표면의 성질을 변화시키기 위한 많은 일에 사용되어 왔다.[1-4] 일반적으로 박판구조물은 소형화, 경량화를 위해 그 사용이 증가하고 있는 추세이다. 그러나 가벼우면서 고강도화를 위해서는 박판구조물에 지지대를 설치하거나 홈 또는 물결모양을 하여 높은 관성모멘트를 갖도록 하거나 강판의 고강도화가 필요하다. 그러나 강판이 고강도화가 될수록 프레스 성형성이 저하되어 복잡형상 및 정밀성형이 필요한 부품에 적용하기에는 한계가 있다.[5] 따라서, 레이저 빔 조사에 의한 국부적으로 금속 표면처리를 하면 박판구조물의 강도가 향상되어 구조적으로 안정성이 높아지며 박판에서 경화된 부분이 많고 적음에 따라 박판에 적용되는 힘에 대한 견디는 성질 또한 달라질 것으로 예상된다. 본 연구에서는 레이저 빔 조사에 의한 경도변화와 폭, 깊이에 따른 기계적 성질에 따라 경화면적/총면적의 비에 의해 미치는 등가응력분포와 변위 특성을 파악하고, 실험과 유한요소해석을 통한 박판구조물에서의 레이저 빔 조사에 의한 금속 표면 경화특성으로 인한 박판의 고강도화를 위한 구조특성을 제시하려고 한다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 시편은 일반 공작기계나 금형에 사용되어지는 SM45C를 사용하여 Co² 레이저 빔을 조사하여 실험한 결과로서 표면경화 층의 경도 값을 측정하였다. 시편의 화학 조성분은 Table 1과 같다. 시편 중심부에서의 레이저 빔 고에너지 밀도로 인한 용기변화가 가능하기 때문에 시편을 마운팅 및 폴리싱한 후 표면의 경도 값을 측정하였다. Fig. 1에서 나타난 것과 같이 (a)는 경화부, (b)는 열 영향부, (c) 모재부로 표면을 3부분으로 나누어 분석을 하였다.

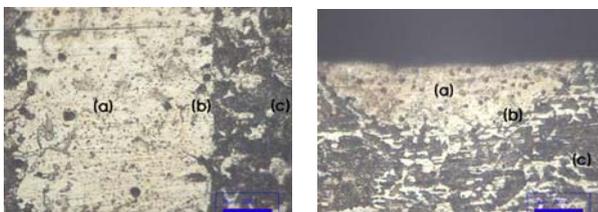


Fig. 1 SM45C heat treated zone

Table 1 Chemical compositions of specimen(%)

	C	Si	Mn	P	S
SM45C	0.42~0.48	0.15~0.35	0.6~0.9	≤0.03	≤0.035

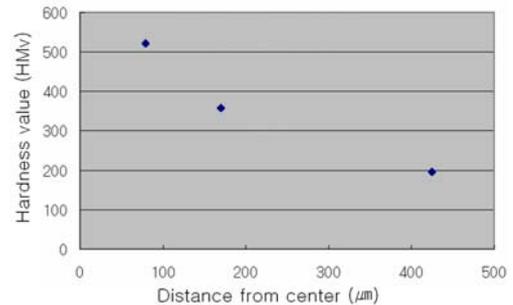


Fig. 2 Hardness distribution of SM45C

표면경도측정시 Fig. 2와 같이 경화부의 경도 값은 530Hv로 모재 경도값 182Hv보다 3배정도 경도 값이 상승하였다.

3. 해석 모델

상용 유한요소 프로그램을 사용하여 인장실험을 하는 것과 유사하게 원형노치를 가진 박판의 구조 해석을 하였다. 박판의 사이즈는 Table 2와 같이 100mm×50mm로 하였고 두께는 2mm로 정하였다. 탄성계수는 205Gpa, 포와송비는 0.29이다. 유한요소 모델은 해석의 효율성을 향상시키기 위하여 Fig. 3과 같이 1/2대칭 경계조건과 평판 이상화를 위해 Solid에서 Shell로 변경하였다.[6] 물질은 탄성으로 가정하였다. 하중적용은 수직방향(Z)으로 1KN의 Load를 인가하였다. 레이저로 경화된 부분과 모재와의 경계면의 온도분포는 무시하였고, 경화영역은 Co² 레이저 빔 조사에 의한 경도변화와 폭, 깊이에 따른 형태와 Fig. 4와 같이Column, Row, Cross형태로 배열하여 경계조건을 주는 유한요소 모델을 구성하여 배열형태에 따라 등가응력 및 변위에 미치는 영향을 확인하였다.

Table 2 Condition of analysis data for laser surface hardening

Material	Thin plate size	Elastic Modulus	Poisson ratio
SM45C	100×50×2mm	205Gpa	0.29

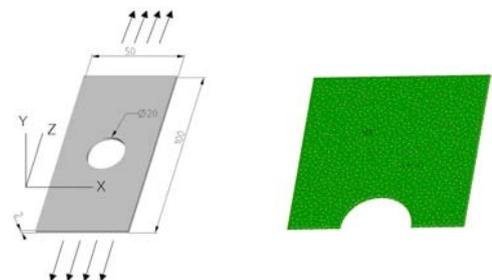


Fig. 3 A schematic of the thin plate model and FEM model



Fig. 4 A schematic of the thin plate model for hardening array (Column, Row & Cross)

3. 결과 및 고찰

유한요소해석으로부터 취득한 데이터는 상용 통계 프로그램인 Minitab을 이용하여 데이터를 분석하였다.[7] Fig. 5~6은 레이저 빔을 박판에 Column, Row, Cross 방향으로 조사 한 후 인장 하중을 가해 늘어나는 경화면적/총면적의 비에 의해 나타나는 등가응력을 나타낸 것이다. 모재의 등가응력은 29.663 Mpa이고 경화면적/총면적의 비가 커질수록 모재의 등가응력보다 점진적으로 감소하였다. 특히, Cross, Column, Row의 순서로 점진적으로 감소하는 경향을 보이며, 이는 레이저 빔의 조사된 양에 따라 경화된 부분도 증가하게 되어 박판에 적용되는 강도가 향상되었기 때문이라고 판단된다. Fig. 7~8은 레이저 빔을 박판에 Column, Row, Cross 방향으로 조사 한 후 인장 하중을 가해 늘어나는 경화면적/총면적의 비에 의해 나타나는 변위를 나타낸 것이다. 모재의 변위는 0.00264mm이고, 경화면적/총면적의 비가 커질수록 변위는 모재보다 점진적으로 감소하는 경향을 보인다. 특히, Cross, Column, Row의 순서로 감소가 되었다. 이는 또한 레이저 빔의 조사된 양에 따라 경화된 부분도 증가하게 되어 박판에 적용되는 강도가 향상되었기 때문이라고 판단된다. Cross 방향으로 조사된 박판이 외력에 대한 저항력이 가장 강하였다. Fig. 9는 Column, Row, Cross 방향으로 조사 한 경화면적/총면적의 비에 따른 등가응력과 변위를 3차원 와이어 프레임 플롯으로 비교 하여 나타내었다.

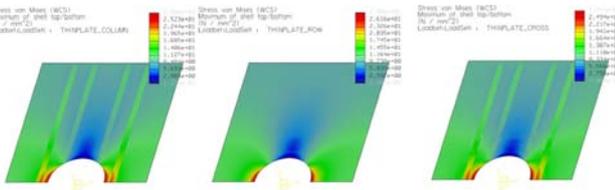


Fig. 5 A schematic of the von Mises for thin plates (Column, Row, Cross)

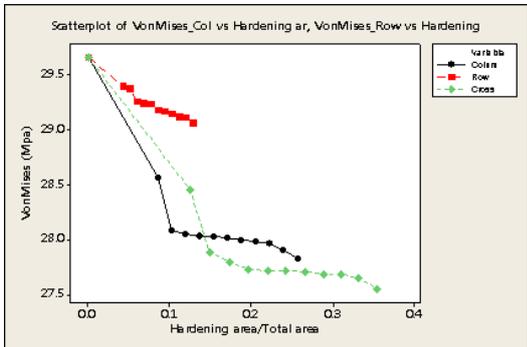


Fig. 6 von Mises of hardening area/total area by Column, Row, Cross

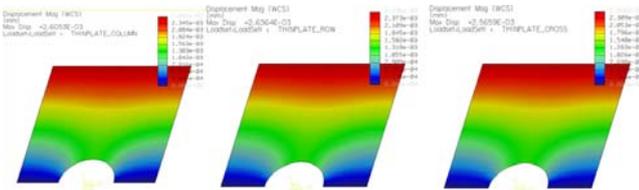


Fig. 7 A schematic of displacement for thin plates (Column, Row, Cross)

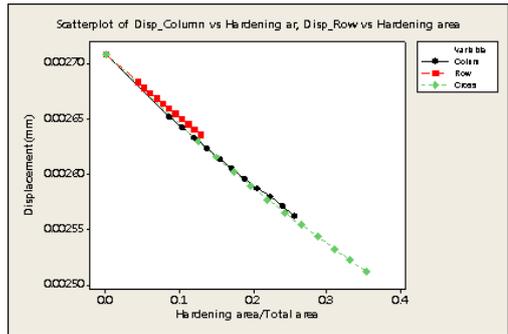


Fig. 8 Displacement of hardening area/total area by Column, Row Cross

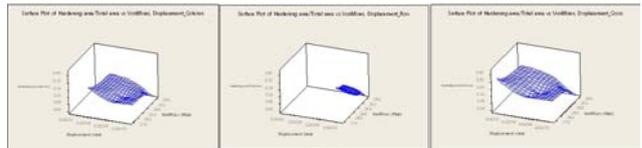


Fig. 9 Comparison of hardening area/total area for von Mises vs Displacement (Column, Row, Cross)

4. 결론

본 연구에서는 실험을 통한 Co₂ 레이저 빔 조사에 의한 경도변화와 폭, 깊이에 따른 기계적 성질에 따라 경화면적/총면적의 비에 의해 미치는 등가응력분포와 변위 특성을 파악하기 위해 실험과 유한요소해석을 통한 비교를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 경화부의 경도 값은 530Hv로 모재 경도값 182Hv보다 3배정도 경도 값이 상승하였다.
- (2) 경화면적/총면적의 비가 커질수록 표면의 강도가 향상되어 박판이 외력에 대한 저항력이 강하였으며 레이저 빔의 조사된 양에 따라 경화된 부분도 증가하게 되어 박판에 적용되는 강도가 향상되었기 때문이라고 판단된다. 조사 방향으로는 교차 (Cross)방향이 외력에 대한 저항력이 가장 강하게 나타남을 알았다.
- (3) 박판 구조물의 소형화, 경량화를 위해 요구되는 가벼우면서 고강도화를 위한 박판구조물이 지지대를 설치하거나 홈 또는 물결모양을 하여 높은 관성모멘트를 갖도록 하는 비드패턴이나 강판의 고강도화를 위해 프레스 성형성과 복잡형상 및 정밀성형이 없어도 박판구조물에서의 레이저 빔 조사에 의한 금속표면 경화로 인한 박판의 고강도화가 효율적이라고 판단된다.

참고문헌

1. S.Lampman "Introduction to Surface Hardening of Steels," ASM HANDBOOK Vol.4, 259-267, 1994.
2. D.I.Pantelis, E.Bouyiouri, N.Kouloumbi, P.Vassilou, A.Koutsomichalis. "Wear and corrosion resistance of laser surface hardened structural steel." Surface and Coating Technology 298 (2002) 125-134. 2002
3. J.F.Ready "Industrial Applications of Laser" 2nd Edition Chapter15 1997
4. S.D.Choi, S.H.Cheong, G.M.Kim, S.C.Yang, J.G.Kim. "Characteristics of Metal Surface Heat Treatment by Diode Laser" Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.6 No.3, 16-23, 2007
5. J.S.Suh, J.H.Lee, J.O.Kim, S.J.Oh, W.S.Cho, D.H.Lee, C.S.Shin "Strengthening of Steel Sheets for Automobile by Co₂ Laser Beam Irradiation" Journal of KSLP Vol.4, No.2, 21-28, 2001
6. PTC "Structural and Thermal Simulation with Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 4_1-6_30 2004
7. 이레테크 미니탭사업팀, 새Minitab실무완성, 이레테크, 2005