

레이저 빔에 의한 박판금속의 강화특성

양세영*, 최성대⁺, 김기만⁺⁺, 전재목⁺⁺⁺, 공병채⁺⁺⁺⁺

(논문접수일 2009. 11. 3, 심사완료일 2010. 1. 8)

Characteristics of Strengthening for Thin Metals by Laser Beam

Se-Young Yang*, Seong-Dae Choi⁺, Gi-Man Kim⁺⁺, Jea-Mok Jun⁺⁺⁺, Byeong-Chae Gong⁺⁺⁺⁺

Abstract

The general way to process the surface by means of the laser was heat treatment for strengthening the surface hardness. They have used the laser for changing the property of the surface, especially for metal. Generally, it is recent increasing tendency to use the thin plate panel for making things smaller and lightweight. However, thin plate should be strengthened or let the thin plate panel have moment of inertia by means of engraving the groove or wave on them for lightweight and strengthening. Therefore it is expected that the thin plate panel can be harder and more stable through processing the metal surface by laser beam irradiation and the hardness of thin plate possibly can be also changed how many parts of them are harden. Through this research, it can be grasped how the hardness and mechanical characteristic changes according to width and depth of groove by laser affect the max stress by the ratio of A_H/A_T (hardening area/total area) and characteristic of displacement and structural characteristic for making the thin plate harder by the strengthening metal surface of thin plate by laser through the experiment and analysis of FEA can be presented.

Key Words : Surface hardness(표면경도), Thin plate panel(박판구조물), Laser beam irradiation(레이저빔 조사), Groove(홈), Metal surface(금속표면), A_H/A_T (경화면적/총면적)

1. 서론

레이저 표면 경화처리방법은 레이저 빔의 광학부품의 위치

에 따라서 매우 큰 에너지 밀도를 주도록 집적 시킬 수 있어서 가공하기 어려운 곳에 국부적으로 큰 에너지를 유지 시켜 국부적인 층만을 가열시키게 되고 레이저 빔이 계속하여 부품의

* 금오공과대학교 대학원 생산기계공학과
+ 교신저자, 금오공과대학교 기계공학부 (sdchoi@kumoh.ac.kr)
주소: 730-701 경상북도 구미시 양호동 1
++ 금오공과대학교 기계공학부
+++ 한국폴리텍 VI대학 컴퓨터응용기계과
++++ 한국폴리텍 IV대학 컴퓨터응용금형과

다른 부분을 이동 조사하게 되면 재료 표면층의 열은 기지조직에 의해 급속도로 냉각하게 된다. 이러한 냉각 과정을 자기냉각(self-quenching)이라하며, 자기냉각에 의하여 금속 표면층은 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 최소화할 수 있어 종래의 화염경화법이나 침탄법등과 같은 표면경화처리 방법보다 생산현장에 유용하게 사용되고 있다.

이렇듯 레이저가 표면 특히, 금속표면의 성질을 변화시키기 위한 많은 일에 사용되어 왔다.⁽¹⁻⁵⁾ 일반적으로 박판구조물은 소형화, 경량화를 위해 그 사용이 증가하고 있는 추세이다. 그러나 가벼우면서 고강도화를 위해서는 박판구조물에 지지대를 설치하거나 Fig. 1과 같이 홈 또는 물결모양을 하는 비드보강으로 추가적인 보강재가 필요하지 않아 상대적으로 가벼운 구조물을 얻을 수 있도록 높은 관성모멘트를 갖도록 하거나 강판의 고강도화 필요하다. 그러나 비드의 최적형상을 얻기 위해서는 시작품들을 만들고 이를 시험하여 얻은 경험을 바탕으로 금형제작의 추가비용이 발생하고 단순 모델에 대해서는 Fig. 1과 같이 비드 패턴 핀램과 같이 과거의 시험적인 데이터를 통해서 얻어진 비드 형상을 참고하여 적용 가능하지만 실제제품에 적용할 최적의 비드형상을 찾아내기에는 어려움이 많다.⁽⁷⁾

또한, 강판이 고강도화가 될수록 프레스 성형성이 저하되어 복잡형상 및 정밀성형이 필요한 부품에 적용하기에는 한계가 있다.⁽⁶⁾ 따라서 레이저 빔 조사에 의한 국부적으로 금속표면처리를 하면 박판구조물의 강도가 향상되어 구조적으로 안정성이 높아지며 박판에서 경화된 부분이 많고 적용에 따라 박판에 적용되는 힘에 대한 견디는 성질 또한 달라질

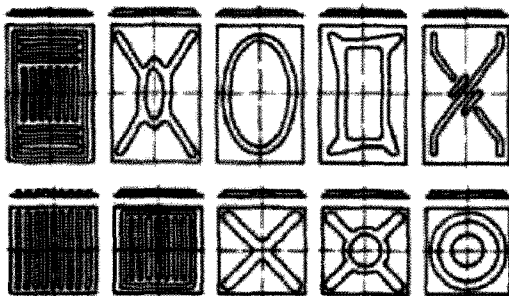


Fig. 1 Bead type of bead pattern manual

것으로 예상된다. 본 연구에서는 SM45C와 Ti-6Al-4V의 표면에 레이저 빔 조사에 의한 경도변화와 폭, 깊이에 따른 기계적 성질에 따라 경화면적/총면적의 비에 의해 미치는 최대응력분포와 변위 특성을 유한요소해석을 통하여 파악하고, 실험을 통해 두 재료의 경화부의 표면조직상태, 모재와 경화부의 경도분포 차이를 실험적으로 관찰하여 레이저 빔 조사에 의한 박판의 고강도화를 위한 표면경화층의 특성을 연구하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 실험장치

본 연구에 이용된 CO₂ 레이저(WR6090)의 파장은 10.6 μ m 이고 레이저 단위는 특별한 방열기에 의해 제공되어 물 공급 없이도 보호되며 레이저 파워는 80W이다. Fig. 2처럼 컴퓨터에 의한 고동력 구획분할 서보모터에 의해 X, Y, Z의 위치가 제어되어 레이저 빔이 워크피스에 조사가 된다.

2.2 실험방법

본 연구에 사용된 시편은 일반 공작기계나 금형에 사용되는 SM45C와 사용중량비 강도가 높고 내식성이 매우 좋아 우주항공산업 및 화학플랜트 분야에 널리 사용되고 있는 Ti-6Al-4V를 사용하였다. 실험에 사용한 시편은 레이저

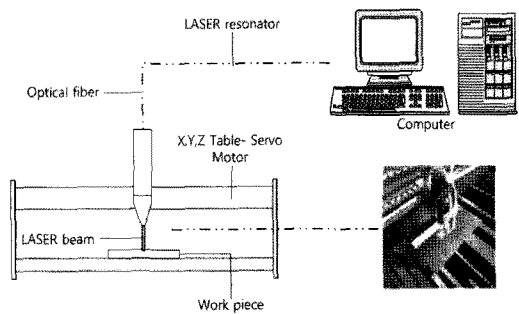


Fig. 2 Experimental set-up

Table 1 Parameters of laser surface hardening

	Focal length [mm]	Power [%]	Feed rate [mm/sec]
SM45C	21	50	6
Ti-6Al-4V	22	50	8

빔의 고밀도로 시편내부로 전달되는 열응력과 뒤튤림의 영향을 줄이기 위하여 100x50x2mm로 고정하여 CO₂ 레이저 빔을 Table 1과 같이 시편에 따른 조건으로 조사하여 실험

Table 2 Condition of micro-vickers hardness testing machine for surface hardness measurement

Material	Load
SM45C	HV 1
Ti-6Al-4V	HV 0.5

Table 3 Chemical compositions of SM45C (%)

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

Table 4 Chemical compositions of Ti-6Al-4V (%)

	Al	Fe	O	Ti	V
Ti-6Al-4V	6.0	≤ 0.25	≤ 0.2	90.0	4.0

한 결과로서 표면경화층의 경도 값을 마이크로 경도 시험기 (SIMADZU,JP/HMV-2)를 사용하여 Table 2와 같은 인가 하중으로 표면경도를 측정하였다. 시편의 화학 조성분은 Table 3과 Table 4와 같다. 시편 중심부에서의 레이저 빔 고에너지 밀도로 인해 오스테나이트 조직이 마르텐사이트 조직으로 변태하면서 발생하는 팽창과 열응력에 의한 용기 변화가 가능하기 때문에 시편을 마운팅 및 폴리싱한 후 표면

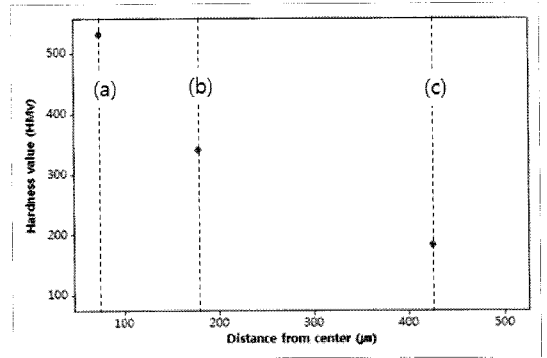
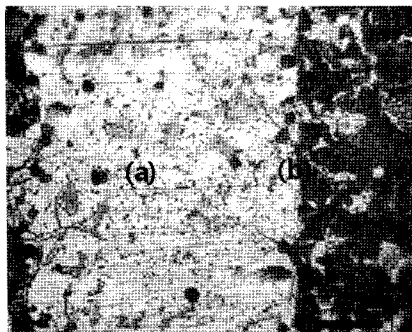
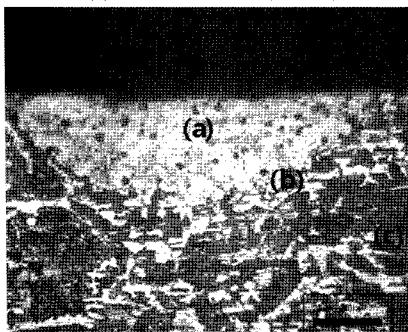


Fig. 4 Hardness distribution of SM45C [HV 1]

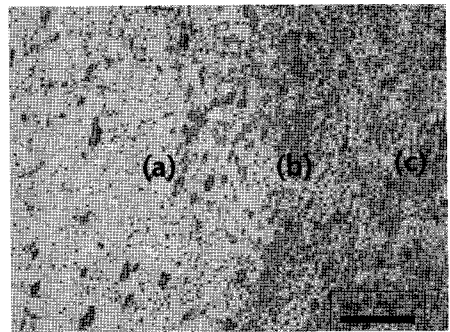


(a) Surface view (2400x)

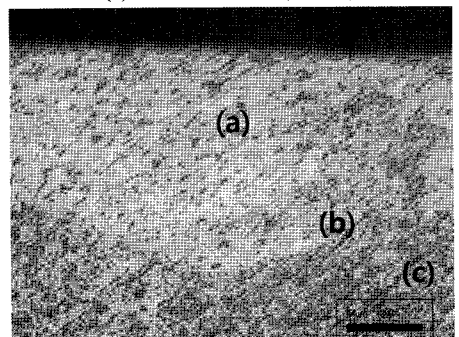


(b) Side view (2400x)

Fig. 3 SM45C heat affected zone



(a) Surface view (1200x)



(b) Side view (1200x)

Fig. 5 Ti-6Al-4V heat affected zone

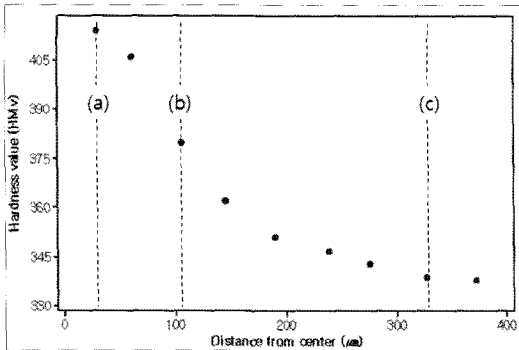


Fig. 6 Hardness distribution of Ti-6Al-4V [HV 0.5]

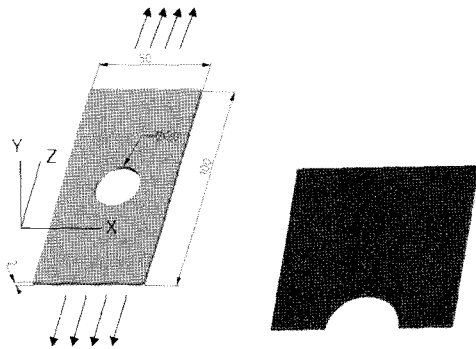


Fig. 7 A schematic of the thin plate model and FEM model

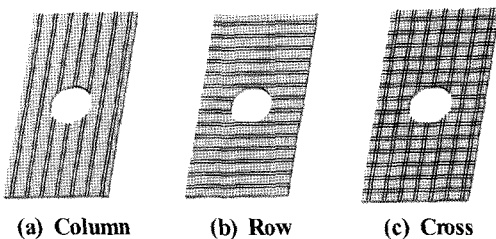


Fig. 8 A schematic of the thin plate model for hardening array

의 경도 값을 측정하였다.

Fig. 3과 Fig. 5에서 나타난 것과 같이 (a)는 경화부, (b)는 열 영향부, (c) 모재부로 표면을 3부분으로 나누어 분석을 하였다. 표면경도 측정시 SM45C는 Fig. 4와 같이 경화부의 경도 값은 530HMv로 모재 경도값 182HMv보다 3배정도 경도 값이 상승하였다. 일반적으로 경화가 힘든 저탄소강이

라도 냉각속도가 빠르므로 오스테나이트에 고용되어있던 탄소가 시멘타이트로 형성되지 못하고 페라이트로 고용되어 조직은 마르텐사이트와 페라이트의 혼합조직을 주게 되어 경화부의 표면경도가 향상되었다고 사료된다. 또한, Ti-6Al-4V 표면의 경도 측정 시 Fig. 6과 같이 경화부의 경도 값은 414 HMv로 모재 경도 값 338HMv보다 22%정도 경도 값이 향상되었다.

3. 해석모델

상용 유한요소 프로그램인 Pro/MECHANICA (PTC corp.)를 사용하여 Fig. 7과 같이 인장실험을 하는 것과 유사하게 원형노치를 가진 박판구조물의 해석을 하였다. Table 5는 해석모델에 적용된 박판구조물과 물성치를 나타낸 것이다. 유한요소 모델은 해석의 효율성을 향상시키기 위하여 Fig. 7과 같이 1/2대칭 경계조건과 평판 이상화를 위해 솔리드에서 셸로 변경하였다.⁽⁸⁾ 물질은 탄성으로 가정하였다. 하중적용은 수직방향(Z)으로 1kN의 로드를 인가하였다.

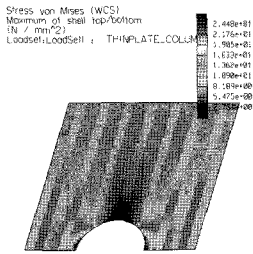
레이저로 경화된 부분과 모재와의 경계면의 온도분포는 무시하였고, 경화영역은 CO₂ 레이저 빔 조사에 의한 경도변화와 폭, 깊이에 따른 형태와 Fig. 8과 같이 종, 횡, 교차 형태로 배열하여 경계조건을 주는 유한요소 모델을 구성하여 배열 형태에 따라 최대응력 및 변위에 미치는 영향을 확인하였다.

4. 결과 및 고찰

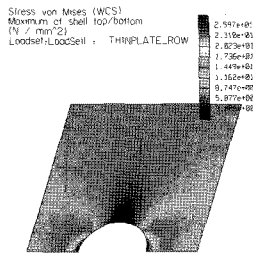
유한요소해석으로부터 취득한 데이터는 상용 통계 프로그램인 Minitab®을 이용하여 데이터를 분석하였다.

Fig. 9~10은 레이저 빔을 SM45C 박판에 종, 횡, 교차방향으로 조사 한 후 인장 하중을 가해 늘어나는 경화면적/총면적의 비에 의해 나타나는 최대응력을 나타낸 것이다. 모재의 최대응력은 29.663 Mpa이고 경화면적/총면적의 비가 커질수록 모재의 최대응력보다 점진적으로 감소하였다. 특히, 종, 교차, 횡방향의 순서로 점진적으로 감소하는 경향을 보이며, 이는 레이저 빔의 조사된 양에 따라 경화된 부분도 증가하게 되어 박판에 적용되는 강도가 향상되었기 때문이라고 판단된다. Fig. 11~12는 레이저 빔을 SM45C 박판에 종, 횡, 교차방향으로 조사 한 후 인장 하중을 가해 늘어나는 경화면적/총면적의 비에 의해 나타나는 변위를 나타낸 것이다.

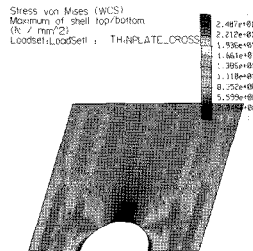
모재의 변위는 0.00264mm이고, 경화면적/총면적의 비가 커질수록 변위는 모재보다 점진적으로 감소하는 경향을 보



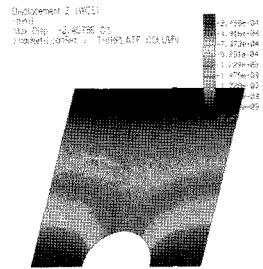
(a) Column



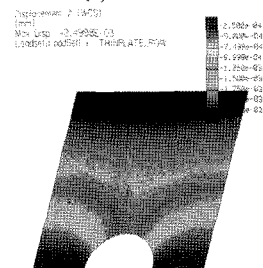
(b) Row



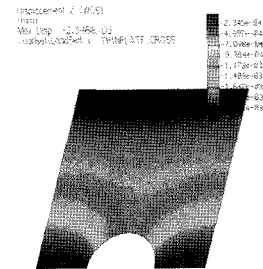
(c) Cross



(a) Column



(b) Row



(c) Cross

Fig. 9 The results of the max stress for hardening array of SM45C ($A_H/A_T = 0.35$)

Fig. 11 The results of the displacement for hardening array of SM45C ($A_H/A_T = 0.35$)

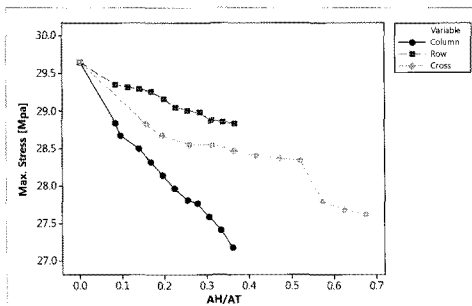


Fig. 10 Comparison of the max. stress by A_H/A_T of SM45C

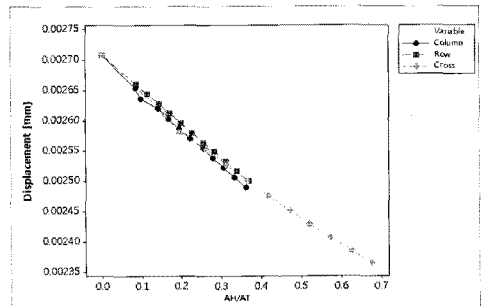
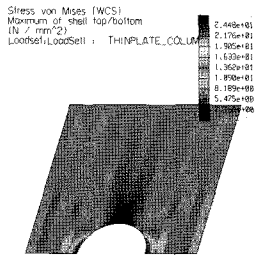
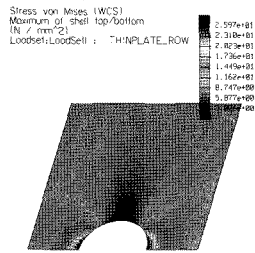


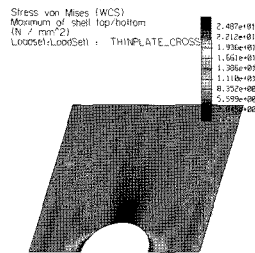
Fig. 12 Comparison of the displacement by A_H/A_T of SM45C



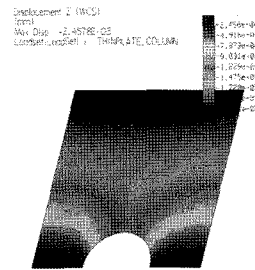
(a) Column



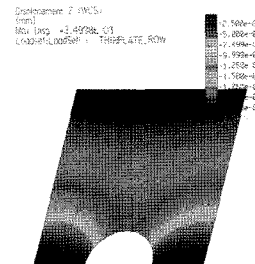
(b) Row



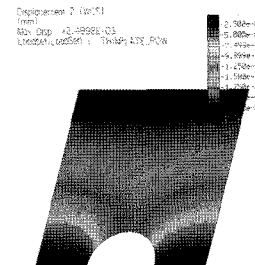
(c) Cross



(a) Column



(b) Row



(c) Cross

Fig. 13 The results of the max stress for hardening array of Ti-6Al-4V ($A_H/A_T = 0.35$)

Fig. 15 The results of the displacement for hardening array of Ti-6Al-4V ($A_H/A_T = 0.35$)

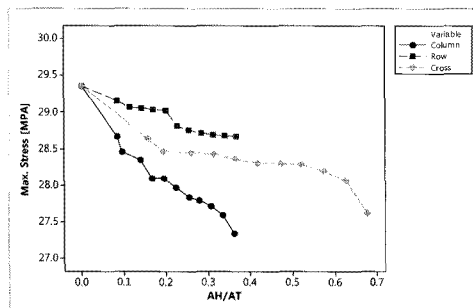


Fig. 14 Comparison of the max. stress by A_H/A_T of Ti-6Al-4V

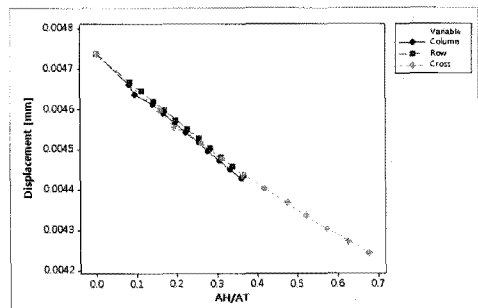
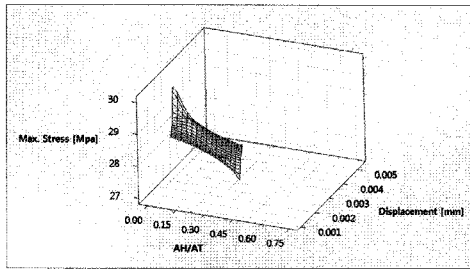
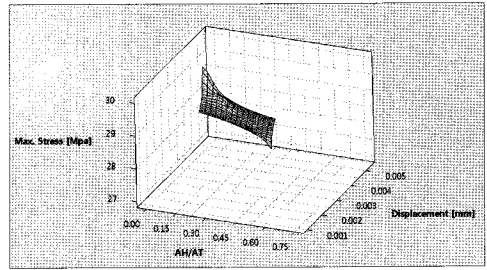


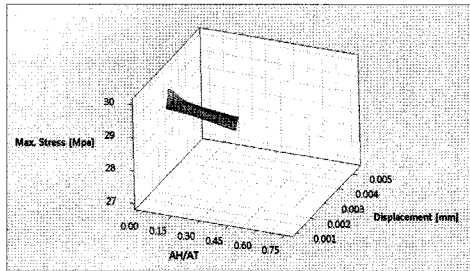
Fig. 16 Comparison of the displacement by A_H/A_T of Ti-6Al-4V



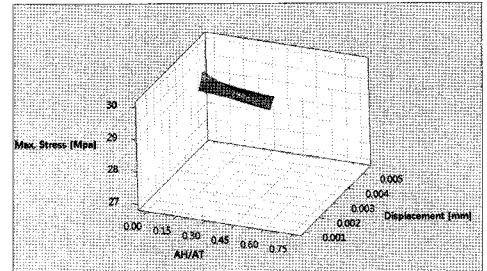
(a) Column



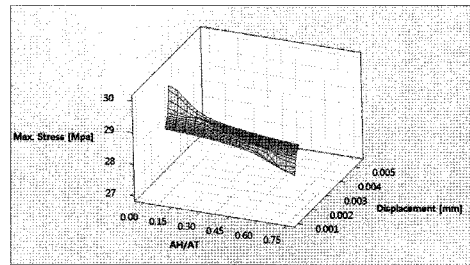
(a) Column



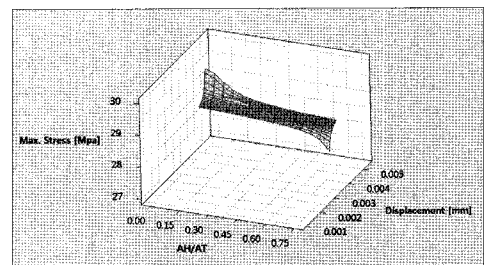
(b) Row



(b) Row



(c) Cross



(c) Cross

Fig. 17 Comparison of the max. stress & displacement by A_H/A_T of SM45C

Fig. 18 Comparison of the max. stress & displacement by A_H/A_T of Ti-6Al-4V

인다. 특히, 종, 교차, 횡방향의 순서로 감소가 되었다. 종방향으로 조사된 박판이 외력에 대한 저항력이 가장 강하였다. Fig. 13~14는 레이저 빔을 Ti-6Al-4V 박판에 종, 횡, 교차 방향으로 조사 한 후 인장 하중을 가해 늘어나는 경화면적/총면적의 비에 의해 나타나는 최대응력을 나타낸 것이다. 모재의 최대응력은 29.359 Mpa이고 경화면적/총면적의 비가 커질수록 모재의 최대응력보다 점진적으로 감소하였다. 특히, 종, 교차, 횡방향의 순서로 점진적으로 감소하는 경향을 볼 수 있다. Fig. 15~16은 레이저 빔을 박판에 종, 횡, 교차 방향으로 조사 한 후 인장 하중을 가해 늘어나는 경화면적/총면적의 비에 의해 나타나는 변위를 나타낸 것이다. 모재의 변위는 0.0047mm이고, 경화면적/총면적의 비가 커질수록

변위는 모재보다 점진적으로 감소하는 경향을 볼 수 있다. 특히, 종, 교차, 횡방향의 순서로 감소가 되었다. 최대응력과 변위의 감소는 레이저 빔의 조사된 양에 따라 경화된 부분도 증가하게 되어 박판에 적용되는 강도가 향상되었기 때문이라고 사료된다. 종방향으로 조사된 박판이 외력에 대한 저항력이 가장 강하였다. Fig. 17~18은 SM45C와 Ti-6Al-4V의 배열형태에 따라 조사 한 경화면적/총면적의 비에 따른 최대응력과 변위를 3차원 와이어 프레임 플롯으로 비교하여 나타내었다. 또한, 레이저 빔을 조사 시 A_H/A_T 비에 따른 변위와 최대 응력 변수들 간의 상관관계 및 회귀분석을 통해 변수들 간의 통계적 추론이 가능한 회귀방정식을 얻을 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 실험을 통한 CO₂ 레이저 빔 조사에 의한 경도변화와 폭, 깊이에 따른 기계적 성질에 따라 경화면적/총면적의 비에 의해 미치는 최대응력분포와 변위 특성을 파악하기 위해 실험과 유한요소해석을 통한 비교를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) SM45C와 Ti-6Al-4V를 별도의 냉각매체 없이 일반 대기 상태에서 CO₂ 레이저 빔 조사하여 표면경화 처리 후 마이크로 경도 시험기로 표면경화부를 측정하였다. SM45C의 경화부의 경도 값은 530HMv로 모재 경도 값 182HMv보다 3배정도 경도 값이 향상되었고 Ti-6Al-4V의 경화부의 경도 값은 414HMv로 모재 경도 값 338HMv보다 22% 정도 향상되었다.
- (2) 표면조직 상태는 경화된 깊이에 따라서 조직상태가 변하였고 재료의 특성에 따라 경화 깊이에 따른 조직상태의 차이가 나타났다.
- (3) 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 사료된다. 조사 방향으로는 하중에 수직인 종방향이 외력에 대한 저항력이 가장 강하게 나타남을 알았다.
- (4) 박판구조물의 소형화, 경량화를 위해 요구되는 가벼우면서 고강도화를 위해 높은 관성모멘트를 갖도록 하는 비드보강이나 강판의 고강도화를 위해 프레스 성형성과 복잡형상 및 정밀성형이 없어도 박판구조물에서의 레이저에 의한 금속표면 강화로 인한 박판금속의 고강도화가 효과적이라고 사료된다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교에서 지원한 과제입니다. 관계

자 여러분께 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Ready, J. F., 1997, *Industrial Applications of Laser*, Second edition, Academic Press, San Diego, Chapter 15.
- (2) Choi, S. D., Cheong, S. H., Kim, G. M., Yang, S. C., and Kim, J. G., 2007, "Characteristics of Metal Surface Heat Treatment by Diode Laser," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 6, No. 3, pp. 16-23.
- (3) Pantelis, D. I., Bouyiouri, D., Kouloumbi, N., Vassilou, P., and Koutsomichalis, A., 2002, "Wear and corrosion resistance of laser surface hardened structural steel," *Surface and Coating Technology* 298, Vol. 161, Issues 2-3, pp. 125-134.
- (4) Na, G. D., Yoo, Y. T., Shin, B. H., and Shin, H. J., 2007, "A Study on the surface Hardening of SCM4 Steel Using a Continuous Wave Nd:YAG Laser," *Transaction of KSMTE*, Vol. 16, No. 5, pp. 24-32.
- (5) Yoo, Y. T., Shin, H. J., and Jang, W. T., 2004, "Surface Heat treatment of Die material by means of CW Nd:YAG Laser," *Transaction of KSMTE*, Vol. 13, No. 5, pp. 67-74.
- (6) Suh, J. H., Lee, J. H., Kim, J. O., Oh, S. J., Cho, W. S., Lee, D. H., and Shin, C. S., 2001, "Strengthening of Steel Sheets for Automobile by CO₂ Laser Beam Irradiation," *Journal of KSLP*, Vol. 4, No. 2, pp. 21-28.
- (7) Moon, S. Y. and Lauber, Boris., 2005, *Optimization of bead*, CAD & Graphics, Seoul, pp. 130-134.
- (8) PTC Global Services, 2004, *Structural and Thermal Simulation with Pro/ENGINEER Wildfire 2.0*, PTC, Massachusetts, Chapter 4.