

# CO<sub>2</sub> 레이저 빔 조사에 의한 프레스 금형재료의 표면경화 특성

양세영\*, 최성대#, 최명수\*\*, 전재목\*\*\*

## Characteristics of Surface Hardened Press Die Materials by CO<sub>2</sub> Laser Beam Irradiation

Se-Young Yang\*, Seong-Dae Choi<sup>#</sup>, Myeong-Soo Choi\*\*, Jae-Mok Jun\*\*\*

(Received 9 November 2010; received in revised form 19 January 2011; accepted 14 February 2011)

### ABSTRACT

Recently, the technology of surface treatment is being more important which affects the material cost reduction and substitution to the expensive material. The material used for the mechanical processing should have not only high intensity, but also strength toughness, wear resistance and corrosion resistance. In order to increase the durability and have better quality of the parts using such kind of tooling material, various kinds of research of the surface hardening through many kinds of heat resources is being done and practically applied. In this study, the characteristics of hardening surface zone for high strength of the press die material through laser beam irradiation are researched. In this study, it is experimentally observed by the status of the surface morphology, tensile strength, the hardness distribution of the base metal and wear condition by the surface hardness pattern by the laser beam based on the process parameters of CO<sub>2</sub> laser by using SM45C and STD11 used for press tool. Through this research, the characteristics of surface hardened zone for high strength of the thin metal by laser beam irradiation is done.

**Key Words** : Surface hardening(표면경화), Laser surface treatment(레이저 표면처리), Laser beam irradiation (레이저빔 조사), Hardened zone(경화층), Wear condition(마모상태), Press die(프레스 금형)

### 1. 서 론

최근 표면처리 기술들은 값비싼 재료들에 대한 대체, 비용절감 등 산업전반에 점점 더 중요하게 여겨지

고 있다<sup>[1]</sup>. 기계요소부품에 필요한 제품은 높은 강도 뿐만 아니라 강한 인성, 내마모성, 내부식성 등을 가져야 한다. 특히 내마모성이 중요한 역할을 하는 금형 산업은 동일 품질의 부품을 능률적으로 대량생산하기 위한 것으로 자동차 부품, 전기전자 부품, 사무용품 등 거의 모든 산업에 적용되며 부품의 품질 및 생산성에 필수적인 요소이다. 이런 특성을 가지는 금형재료를 사용한 제품의 품질향상과 내구성 증대를 위하여 다양한 열원을 이용한 표면경화 연구는 많은 응용과 연구가 이루어지고 있다. 이와 같이 레이저 표면 개질

\* 금오공과대학교 대학원 생산기계공학과

# 교신저자 : 금오공과대학교 기계공학부

E-mail : sdchoi@kumoh.ac.kr

\*\* 아전기계 대표

\*\*\* 한국폴리텍 VI대학 컴퓨터응용기계과

방법 중 레이저 표면열처리하는 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 각광을 받고 있다. 그리고 장시간 반복 작업을 하는 금형은 표면의 높은 경도 값과 균일한 치수 값을 요구하는 생산을 위해서 레이저 표면열처리가 매우 효과적이다.<sup>[2]</sup> 이렇듯 레이저가 표면 특히, 금속표면의 성질을 변화시키기 위한 많은 일에 사용되어 왔다. 따라서 레이저 빔 조사에 의한 국부적으로 금속표면처리를 하면 금형재료의 강도가 향상되어 구조적으로 안정성이 높아지며 경화된 부분이 많고 적용에 따라 금속표면에 적용되는 힘에 대한 견디는 성질 또한 달라질 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 금형에 사용되어지는 SM45C와 STD11을 사용하여 CO<sub>2</sub> 레이저의 공정변수와 레이저 표면경화 배열에 따른 두 재료의 경화부의 표면조직상태, 인장강도, 모재와 경화부의 경도분포 및 마모특성을 실험적으로 관찰하여 CO<sub>2</sub> 레이저 빔 조사에 의한 프레스 금형재료의 고강도화와 내구성을 위한 표면경화층의 특성을 연구하고자 한다.

## 2. 레이저 표면경화

레이저 표면경화처리 방법은 레이저 빔의 광학부품의 위치에 따라서 매우 큰 에너지 밀도를 주도록 집적 시킬 수 있어서 가공하기 어려운 곳에 국부적으로 큰 에너지를 유지시켜 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 금속 표면층은 정상적인 고상변태를 억제시켜 내부의 기지조직에는 변화가 없이 표면층만을 경화시키게 된다. 또한, 레이저의 고밀도로 인해 모재의 조직 구조가 변형되어 높은 경도를 달성할 수 있

고, 부품의 내부에서 열로 인해 야기되는 열응력, 뒤틀림 및 균열을 방지할 수 있어 부품의 손상을 최소화 할 수 있어 종래의 화염경화법이나 침탄법 등과 같은 표면경화처리 방법보다 생산현장에 유용하게 사용되고 있다.<sup>[3-8]</sup>

## 3. 실험방법

### 3.1 시험편 제작

본 연구에서는 일반적으로 금형에 사용되어지는 재료인 SM45C와 STD11을 이용하였으며, 재료의 화학 조성분은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical compositions of specimens (wt%)

Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
SM45C	0.47	0.24	0.68	0.017	0.008	-	-	-	-
STD11	1.43	0.34	0.36	0.025	0.002	0.86	11.84	11.65	0.22

레이저 표면경화처리 특성의 결과를 비교하기 위하여 Table 2와 같이 시험편을 구분하여 준비하였다. 시험편 1번은 SM45C, 시험편 5번은 STD11의 각 모재이다. 또한, 시험편 2번~4번까지는 SM45C, 6번~8번까지는 STD11의 레이저 빔 조사 배열에 따른 표면경화 시험편이 된다.

Table 2 Conditions of specimens

Specimen	Material	Laser beam irradiation array
1	SM45C	Base metal
2	SM45C	Column
3	SM45C	Row
4	SM45C	Cross
5	STD11	Base metal
6	STD11	Column
7	STD11	Row
8	STD11	Cross

### 3.2 실험 장치

레이저 표면경화에 이용된 CO<sub>2</sub> 레이저(WR6090)의 파장은 10.6 $\mu$ m이고 레이저 단위는 특별한 방열기에 의해 제공되어 물 공급 없이도 보호되며 레이저 파워는 80W이다. Fig. 1처럼 컴퓨터에 의한 고통력 구획분할 서보모터에 의해 X, Y, Z의 위치가 제어된다. Table 2의 레이저 표면경화 시험편의 조건으로 레이저 빔이 Fig. 2와 같이 두께 2mm의 KS 5호 시험편에 따른 인장방향의 수직, 수평 및 교차되게 5mm간격으로 Table 3과 같은 공정조건으로 레이저 빔을 조사하게 하였다.

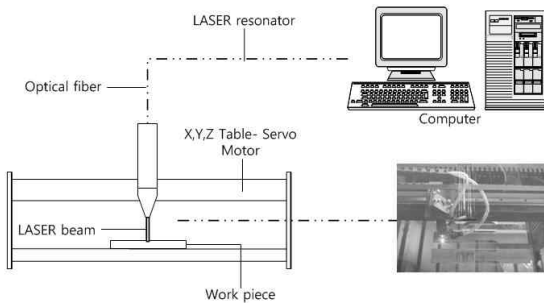


Fig. 1 Experimental set-up

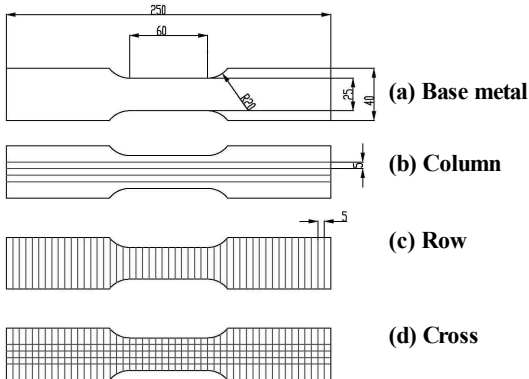


Fig. 2 Laser irradiation array

Table 3 Condition of CO<sub>2</sub> laser

Laser type	Focal length [mm]	Power [%]	Feed rate [mm/sec]
CO <sub>2</sub>	21	80	6

### 3.3 인장시험

인장시험기(SHIMADZU,JP/AG-10TG)를 사용하여 상온에서 크로스 헤드 인장변위속도를 2mm/min로 하여 인장시험을 하였다.

### 3.4 현미경 조직관찰 및 경도시험

현미경 조직관찰과 경도측정을 위하여 레이저 표면경화를 실시한 시험편 중심부에서의 레이저 빔 고에너지 밀도로 인해 오스테나이트 조직이 마르텐사이트 조직으로 변태하면서 발생하는 팽창과 열응력에 의한 용기변화가 가능하기 때문에 시험편을 샌드페이퍼를 사용하여 연마, 마운팅 및 폴리싱한 후 현미경 조직관찰 및 표면의 경도 값을 측정하였다. 표면경도 측정을 위해 본 연구에서는 레이저 표면처리를 한 시험편들의 표면경도 값을 마이크로 경도시험기(SHIMADZU,JP/HMV-2)를 사용하여 980mN의 인가하중으로 경도를 측정하였다. 또한, 부식액(Nital 2%)을 사용하여 시험편을 에칭 하였고 광학현미경으로 조직 및 표면경화층을 관찰하였다.

### 3.5 마모시험

ASTM D 2714에 규정된 Block-on-Ring 마모시험 형태에 따라 제작된 시험기를 사용했으며 마모시험기는 Fig. 3과 같다. 고정블록으로는 Table 2의 시험편들을 사용하여 Fig. 5와 같이 레이저 빔이 조사된 시험편으로부터 35x12x2mm 마모시험편을 채취하였고, 구동시험편으로는 STD11 열처리된 소재의 링을

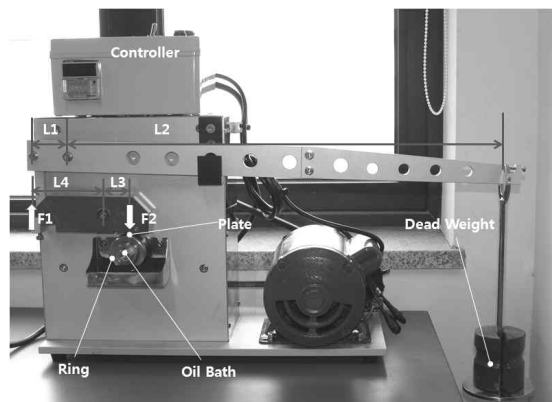


Fig. 3 Wear testing machine

사용하였다. 시험에 적용한 주요 시험조건은 Table 4와 같다.

Fig. 3에서 보여지는 바와 같이 마모시험기의 기본 원리를 나타내며, 상기 모멘트의 평형 관계를 수식으로 표현 하면 식 (1)과 식 (2)와 같다.

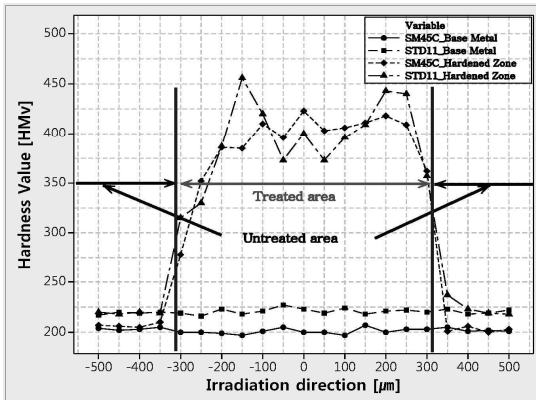


Fig. 7 Hardness distribution

### 4.2 인장시험 특성

Fig. 8은 레이저 표면경화 후의 인장시험 결과를 나타내고 있다. 모재와 비교해 볼 때 레이저 표면경화를 한 후 인장강도는 SM45C 및 STD11은 모재보다 향상됨을 알 수 있었다. 특히, SM45C는 모재의 인장강도는 307.0Mpa로서 시험편 2번의 레이저 빔이 하중에 수직한 방향으로 배열되어 조사된 시험편이 가장 높은 인장강도는 546.3Mpa로서 1.8배 향상되었고, 연신율은 모재보다 26% 정도 감소되었다. STD11 역시 모재의 인장강도는 358.1 Mpa로서 시험편 6번의 레이저 빔이 하중에 수직한 방향으로 배열되어 조사된 시험편이 가장 높은 인장강도는 678.6Mpa로서 1.9배 향상되었다. 연신율은 모재보다 47% 정도 감소되었다. 레이저 빔의 열원으로 인해 인장강도, 연신율의 기계적 특성이 모재보다 향상되었다. 이는 빔의 열원이 표면을 냉각 할 때 표면의 조직이 마르텐사이트로 변태되면서 표면의 강도가 세지고 그에 따른 인성이 적어졌기 때문이라고 판단된다.

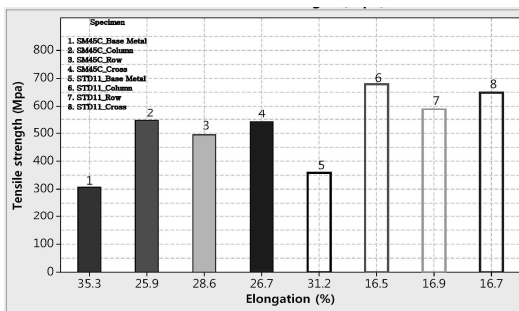


Fig. 8 Result of tensile test

### 4.3 마모 특성

마모시험에 사용된 시험편의 마모량을 측정하기 위하여 Micro Electric Balance(CAS/CUX620H)를 사용하였다. Fig. 9는 모재와 표면경화 처리된 SM45C의 시험편의 마모시험 후 마모량을 나타낸 것으로 초기 표면경화부의 마모량인 마모경과 100sec에서는 모재와 표면경화 처리된 시험편에서 뚜렷한 차이를 보이며 레이저 빔 조사 배열이 교차되어 있는 시험편이 내마모성이 가장우수하며 모재와 마모량을 비교하였을 때 2.4배 우수한 특성을 가짐을 알 수 있었다. 이것은 레이저 빔의 조사된 양에 따라 경화된 부분도 증가한 것으로 사료된다. 특히, 이후 마모경과 시간에 따른 마모량은 선형적으로 증가하고, 그 결과 Fig. 11의 (a), (b)에서와 같은 마찰 후의 마모표면을 확인할 수 있었다. 특히, 모재의 고정시험편에서는 연삭마모와 응착마모의 경향이 혼재한 양상을 관찰할 수 있었다. 응착마모에서 관찰되어 지는 마멸분 이 관찰되었다.

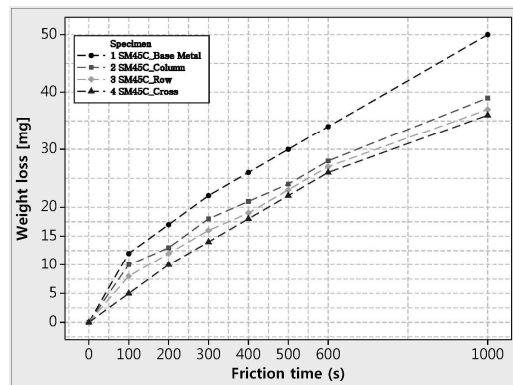


Fig. 9 Wear distribution of SM45C

Fig. 10은 모재와 표면경화 처리된 STD11의 시험편의 마모시험 후 마모량을 나타낸 것으로 초기 표면경화부의 마모량인 마모경과 100sec에서는 모재와 표면경화 처리된 시험편에서 뚜렷한 차이를 보이며 레이저 빔 조사 배열이 교차되어 있는 시험편이 내마모성이 가장우수하며 모재와 마모량을 비교하였을 때 2.5배 우수한 특성을 가짐을 알 수 있었다. Fig. 11의 (c), (d)에서와 같은 마찰 후의 마모표면을 확인할 수 있었다. 모재의 고정시험편에서는 연삭마모와

응착마모의 경향이 혼재한 양상을 관찰할 수 있었다. 응착마모에서 관찰되어 지는 마멸분이 관찰되었다.

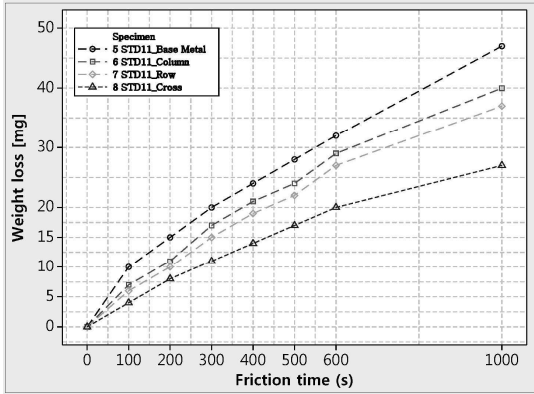
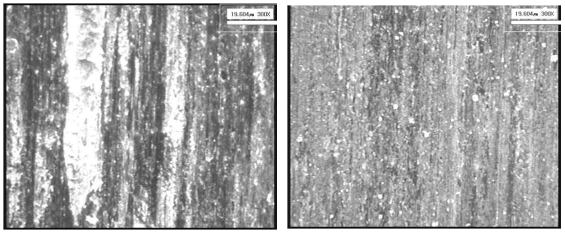
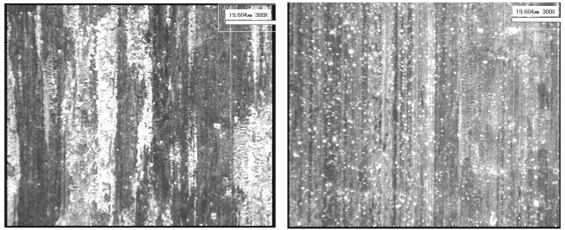


Fig. 10 Wear distribution of STD11



(a) Wear surface-SM45C Base metal (After 100sec) (b) Wear surface-SM45C Specimen 4 (After 100sec)



(c) Wear surface-STD11 Base metal (After 100sec) (d) Wear surface-STD11 Specimen 8 (After 100sec)

Fig. 11 Wear surface of SM45C and STD11

특히, 레이저 빔 조사 배열이 교차되어 있는 시험편이 초기 내마모성이 가장 우수하였다. 초기 마모경과 100sec 후의 마모량은 선형적으로 증가하였다. 또한, SM45C 및 STD11 동일하게 마모 표면의

재료로부터 이탈하여 상대재료에 부착되는 물질 전이층 형태가 나타나는 것으로 보아 응착마모가 발생한 것을 알 수 있다. 이것은 접촉되는 구동시험편과 발생하는 압축 및 인장응력에 의해 고정시험편에서 입자가 떨어져 나감을 알 수 있었다. 거시적으로 경화 처리된 시험편보다 모재에서 형태가 많이 관찰된 것으로 보아 더욱 심하게 소성 변형되었다고 판단된다. Fig. 12에서는 SM45C 및 STD11의 마모량을 비교하여 나타낸 것으로 시험편 1번의 SM45C 모재와, 시험편 5번 STD11의 모재에서는 동일하게 초기 마모량이 현저히 높았다. 표면 경화 처리된 시험편에서는 표면경화부의 초기마모에서 내마모가 우수한 특성을 나타내었다.

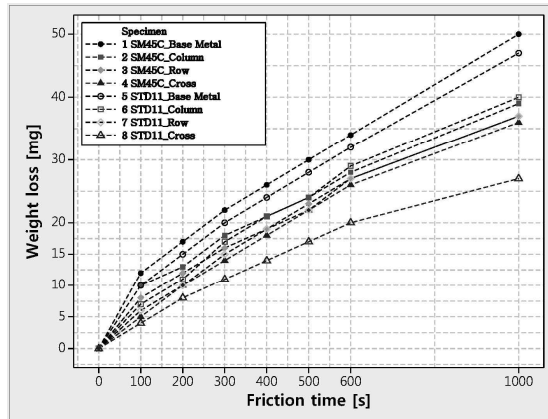


Fig. 12 Wear distribution of SM45C and STD11

## 5. 결론

본 연구에서는 CO<sub>2</sub> 레이저 빔 조사에 의한 금형재료의 고강도화와 내구성을 위한 표면경화층의 특성을 파악하기 위해 금형에 사용되어지는 SM45C와 STD11을 사용하여 CO<sub>2</sub> 레이저의 공정변수에 따라 금형재료의 레이저 표면경화에 따른 두 재료의 경화부의 표면조직상태, 인장강도, 모재와 경화부의 경도 분포 및 마모 특성에 관한 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 표면조직 상태는 경화된 깊이에 따라서 조직상태가 변하였고 재료의 특성에 따라 경화 깊이에 따른 조직상태의 차이가 나타났다.
2. 모재와 비교해 불 때 레이저 표면경화를 한 후 인장강도는 모재보다 향상됨을 알 수 있다. 레이저 빔이 하중에 수직인 방향으로 배열되어 조사된 시험편이 가장 높고 연신율은 감소하였다. SM45C의 가장 높은 인장강도는 546.3Mpa로서 모재보다 1.8배정도 향상되었고 연신율은 모재보다 26% 정도 감소되었다. STD11의 가장 높은 인장강도는 678.6Mpa로서 모재보다 1.9배 향상되었고 연신율은 모재보다 47% 정도 감소되었다.
3. SM45C 및 STD11의 경화부의 경도 값은 모재보다 향상됨을 알 수 있었고, SM45C는 경화부의 경도 값은 423HMv로 모재 경도값 197HMv보다 2배 이상 경도 값이 상승하였다. STD11 표면의 경도 측정 시 경화부의 경도 값 또한 456HMv로 모재 경도 값 216HMv보다 2배 정도 경도 값이 향상되었다.
4. SM45C와 STD11의 경우 동일하게 초기 표면경화부의 마모량인 마모경과 100sec에서는 모재와 표면경화 처리된 시험편에서 SM45C는 2.4배, STD11은 2.5배의 우수한 특성을 가짐을 알 수 있었다. 이후 마모시간에 따른 마모량은 선형적으로 증가하고, 레이저 빔 조사 배열이 교차되어 있는 시험편이 내마모성이 가장우수하며 이것은 레이저 빔의 조사된 양에 따라 경화된 부분도 증가한 것으로 사료된다.
5. CO<sub>2</sub> 레이저 빔 조사에 의한 국부적으로 금속표면 처리를 하면 금속표면 강화로 인한 금형재료의 강도 및 내마모성이 향상됨을 알 수 있다.

## 후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비 지원 과제입니다. 관계자 여러분께 진심으로 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Hu, Y., Yao, Z., and Hu, J., "3-D FEM Simulaton of laser shock processing," Surface & Coatings

- Technology 201, Vol. 201, Issues 3-4, pp. 1426-1435, 2006.
2. Shin, H. J., Yu, Y. T., Shin, H. H., and Ro, K. B., "Characterization of Surface treatment for Mold materials using optical system of laser heat treatment," The Korean Society of Mechanical Engineers Spring Conference 2007, pp. 937-942, 2007.
3. Yang, S. Y., Kim, G. M., and Choi, S. D., "Characteristics of Metal Surface Hardening by Laser Beam Irradiation," The Korean Society of Precision Engineering, Spring Conference 2009, pp. 761-762, 2009.
4. Yang, S. Y., Gong, B. C., Kim, J. K., Choi, S. D and Jung, S. H., "Characteristics of Strengthening of Metal Surface by Laser," The Korean Society of Manufacturing Process Engineers Spring Conference 2009, pp. 71-74, 2009.
5. Yang, S. Y., Choi, S. D., Kim, G. M., Jun, J. M., and Gong, B. C., "Characteristics of strengthening for thin metals by laser beam," Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 19, No.2, pp. 216-223, 2010.
6. Choi, S. D., Cheong, S. H., Kim, G. M., Yang, S. C and Kim, J. G., "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, 2007.
7. Choi, S. D., Cheong, S. H., Yang, S. C and Kim, J. G., "Surface Heat Treatment Characteristics by mean of Diode Laser," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers Spring Conference 2007, pp. 87-93, 2007.
8. Choi, S. D., Cheong, S. H., Kim, G. M., Yang, S. C and Kim, J. G., "A Study on the Improvement of Thin Sheet Structure Characteristics by Laser," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers Autumn Conference 2007, pp. 177-182, 2007.