

고출력 다이오드 레이저를 이용한 프레스 드로우금형의 열처리 특성

황현태* · 소상우* · 김종도**† · 김영국*** · 김병훈****

(재)울산테크노파크, **한국해양대학교, ***피엔테크 ****현대자동차

Heat Treatment Characteristics of a Press Draw Mold by Using High Power Diode Laser

Hyun-Tae Hwang*, Sang-Woo So*, Jung-Do Kim**†, Young-Kuk Kim***, Byeong-Hun Kim****

*Ulsan Technopark, 342-1 Maegok-Dong, buk-gu, Ulsan 683-420, Korea

**Division of System Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

***PNTech Co., Ltd., 342-1 Maegok-Dong, buk-gu, Ulsan 683-420, Korea

****Hyundai Motor Company, 700 Yang Chung-Dong, buk-gu, Ulsan 683-791, Korea

Abstract Recently, Laser surface treatment technologies have been used to improve wear characteristics and fatigue resistance of metal molding. When the laser beam is irradiated on the surface and laser speed is appropriate, the laser focal position is rapidly heated and the thermal energy of surface penetrates the material after irradiation, finally imbuing it with a new mechanical characteristic by the process of self-quenching. This research estimates the material characteristic after efficient and functional surface treatment using HPDL, which is more efficient than the existing CW Nd:YAG laser heat source. To estimate this, microstructural changes and hardness characteristics of three parts (the surface treatment part, heat affect zone, and parental material) are observed with the change of laser beam speed and surface temperature. Moreover, the depth of the hardened area is observed with the change of the laser beam speed and temperature. From the results of the experiments, it has been shown that the maximum hardness is approximately 788Hv when the heat treatment temperature and the travel speed are 1150° and 2 mm/sec, respectively.

(Received September 30, 2009; Revised October 5, 2009; Accepted October 8, 2009)

Key words: High power diode laser(HPDL), Laser surface treatment, Press draw mold

1. 서 론

최근 환경공해가 사회적으로 중요한 문제로 부각되면서 세계적으로 차체 경량화를 통한 연비 절감에 많은 노력을 기울이고 있다. 차체 경량화 기술로는 차체부품에 열처리를 하는 핫 포밍 기술과 980 MPa급 이상의 고장력강을 적용함으로써 강성을 증대시킴과 동시에 두께 감소에 의한 경량화가 추진되고 있다.

이중 고장력강 소재를 이용하여 차체부품으로 생산하기 위해서는 프레스금형산업의 성장이 동반되어야 한다. 고장력강 소재를 사용하게 되면 프레스금형을 이용하여 자동차 차체를 제작하게 되는데 이때 소재가 고장도일수록 금형의 내구성 및 내마모성을 요구하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근 독일, 일본 등 금형생산 기술 선진국에서 레이저 열원

을 이용한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

기존의 프레스금형의 표면처리 방법으로는 고주파 경화법이나 화염경화법이 적용되어져 왔고, 수작업에 의한 화염경화열처리법은 작업자의 경험 및 숙련도에 따라 품질이 크게 좌우되는 문제가 있으며, 고주파경화법의 경우 입열량 제어가 어려워 최소 열처리 변형량이 요구되는 표면경화처리에는 적합하지 못하다.

이러한 새로운 금형특성 강화를 위해 경화하려는 부위만 레이저 빔을 집중시켜 순간적인 가열과 냉각에 의한 자기냉각(self quenching)과정을 거쳐 레이저 조사부에 마르텐사이트를 형성하게 하는 기술이 활발하게 연구되고 있다. 국내에서는 일부 CW CO₂ 및 Nd:YAG 레이저를 이용한 표면처리 기술이 보고되고 있다[1-7]. 그러나, 이들 열원의 경우 파장 및 빔모드의 제한으로 인하여 금속의 일부 가공분야의

†E-mail : jdkim@hhu.ac.kr

Table 1. Chemical compositions of specimens (wt%)

Material	Element	C	Si	Mn	P	S	etc.
HCI350		2.8 ~ 3.30	1.6 ~ 2.25	0.7 ~ 1.05	max 0.012	max 0.12	Mo, Cr
FCD550		3.0 ~ 3.80	1.8 ~ 2.60	0.1 ~ 0.50	max 0.04	max 0.02	Mg, Cu

적용에 국한되어 사용되고 있으며, 금형 표면처리 분야에는 아직 실용화 단계까지 도달하지 못하고 있다.

최근 고출력다이오드레이저(HPDL)를 이용하여 탄소강, 냉간공구강 및 전단주물금형에 대한 모서리부 표면처리에 대한 연구결과가 발표되었다[8-11].

본 연구에서 수행되어진 대형프레스용 드로우금형 재료로 사용되는 주물재료에 대한 연구사례는 전무하다. 따라서 본 연구에서는 실용화 가능성이 가장 높은 HPDL를 이용하여 저변형의 금형품질 확보 및 수명향상을 통한 실용화를 위한 선행연구를 하고자 한다.

2. 사용재료 및 실험방법

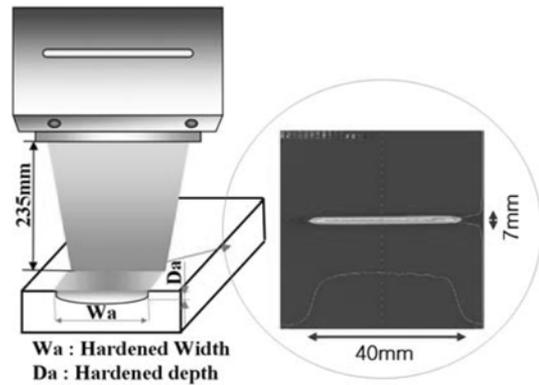
2.1 사용재료

본 연구에서 사용된 재료는 프레스를 이용한 대형 주물금형에 있어 드로우 공정에 사용되는 재료로 프레스 공정은 드로우 공정, 트림공정, 플랜지 공정 그리고 피어싱 공정으로 크게 이루어진다. 여기에서 드로우 공정은 프레스를 이용하여 생산하는 공정 중 가장 중요한 공정으로 제품의 형상을 결정하는 공정이기도 하다.

본 연구에서 사용된 시편의 크기는 레이저 표면처리 후 열전달을 고려하여 90 × 45 × 25 mm로 제작하였다. Table 1에 본 실험에 사용된 재료의 화학적 조성을 나타낸다.

2.2 실험방법

본 연구에서 사용한 레이저는 4kW급 고출력 다이오드 레이저로 레이저빔은 직경 400 μm의 파이버(fiber)로 전송된다. 빔 사이즈는 금형재료의 용도를 고려하여 40 × 7 mm의 열처리 광학렌즈를 사용하였고, Fig. 1은 금형재료에 대한 레이저표면처리용 집광 광학계의 배치상황을 보고주고 있다. 레이저빔의

**Fig. 1.** Setup of optics in laser heat treatment.**Table 2.** Parameters in laser surface treatment

Beam size	40 × 7 mm
Temp. (°C)	1050, 1100, 1150, 1200
Travel speed (mm/sec)	2, 3, 5, 7, 10

전송은 파이버를 통해 6축 로봇에 부착된 광학렌즈로 전송되고, 대형금형의 레이저표면처리 적용을 위해 linear축을 설치하여 넓은 범위로 빔의 전송이 가능하도록 하였다. 시편의 온도측정을 위하여 열처리 헤드부분에 적외선 온도센서가 부착되어 있으며, 온도제어는 고온계를 통해 측정된 온도를 통하여 레이저출력이 자동조절되게 구성되어 있다.

본 연구에서의 시험 조건은 Table 2와 같이 모재의 가열온도와 조사속도의 공정변수를 다르게 하여 실험하였다.

표면처리 후 경도 측정은 마이크로 비커스 경도 시험기를 사용하여 100 g의 인가하중으로 측정하였다. 그리고 열처리 전, 후의 변형량 측정은 접촉식 3차원 측정기를 이용하여 측정 하였다. 또한 경화된 표면 부분은 에칭 후 광학 현미경을 사용하여 표면 조직 상태를 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 표면 경화 특성

국내 프레스 주물금형의 경우 열처리 후 표면경도 520 Hv 이상을 요구하고 있다[12]. 또한 실험조건 중 레이저빔의 조사속도 7 mm/sec 이상의 조건에서는 경화표면의 경도는 모재와 같았다. 이는 빠른 조사속도로 오스테나이트 변태가 일어날 정도의 입열량이 충분치 않아 경화층이 형성되지 못하였기 때문이다.

레이저 열처리 공정변수에 따른 경도변화를 Fig. 2, 3에 나타내었다.

레이저빔의 조사속도를 2 mm/sec로 일정하게 유지하면서 온도변화에 따른 경화 폭 및 깊이를 관찰하였다. 관찰결과 HCl350 소재의 경우 가열온도 1,150°C에서 경화 폭과 깊이에서 가장 좋은 결과를 얻었다. 그리고 FCD550 소재의 경우 가열온도

1,200°C에서 경화 폭은 가장 넓었으나 경화 깊이는 가열온도 1,150°C에서 가장 깊었다.

가열온도 1,150°C를 일정하게 유지하면서 레이저빔의 조사속도에 따른 열처리 폭 및 깊이를 관찰한 결과 HCl350 소재의 경우 조사속도 2, 3 mm/sec에서 FCD550 소재의 경우 조사속도 2, 3, 5 mm/sec에서 요구 경도 값을 얻었다. 경화 깊이는 두 소재 모두 조사속도 2, 3 mm/sec에서 0.6 mm 이상의 경화 깊이를 얻었다.

열처리한 표면경도는 최대 경도 값 864 Hv로 관찰되었다. 이는 모재의 경도 값 약 270 Hv에 비해 3배 정도 상승한 값이다. 또한 Fig. 2(b), (d)와 Fig. 3(b), (d)에서 보듯이 레이저빔의 조사속도가 낮을수록 가열온도가 증가할수록 시편의 깊이방향으로의 입열량도 증가하여 오스테나이트로 변태되는 부분도 증가되며, 그 후 자기냉각효과로 인하여 마르텐사

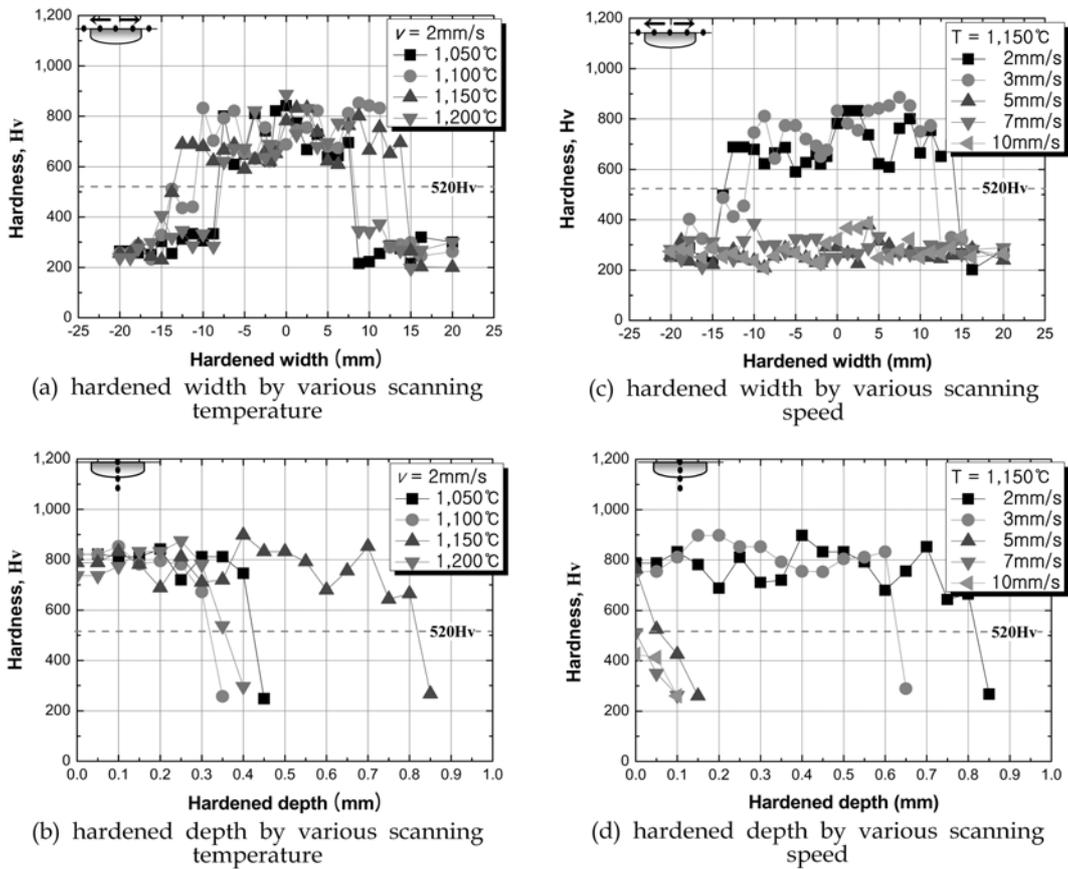


Fig. 2. Hardness profile of laser hardened zone on HCl350.

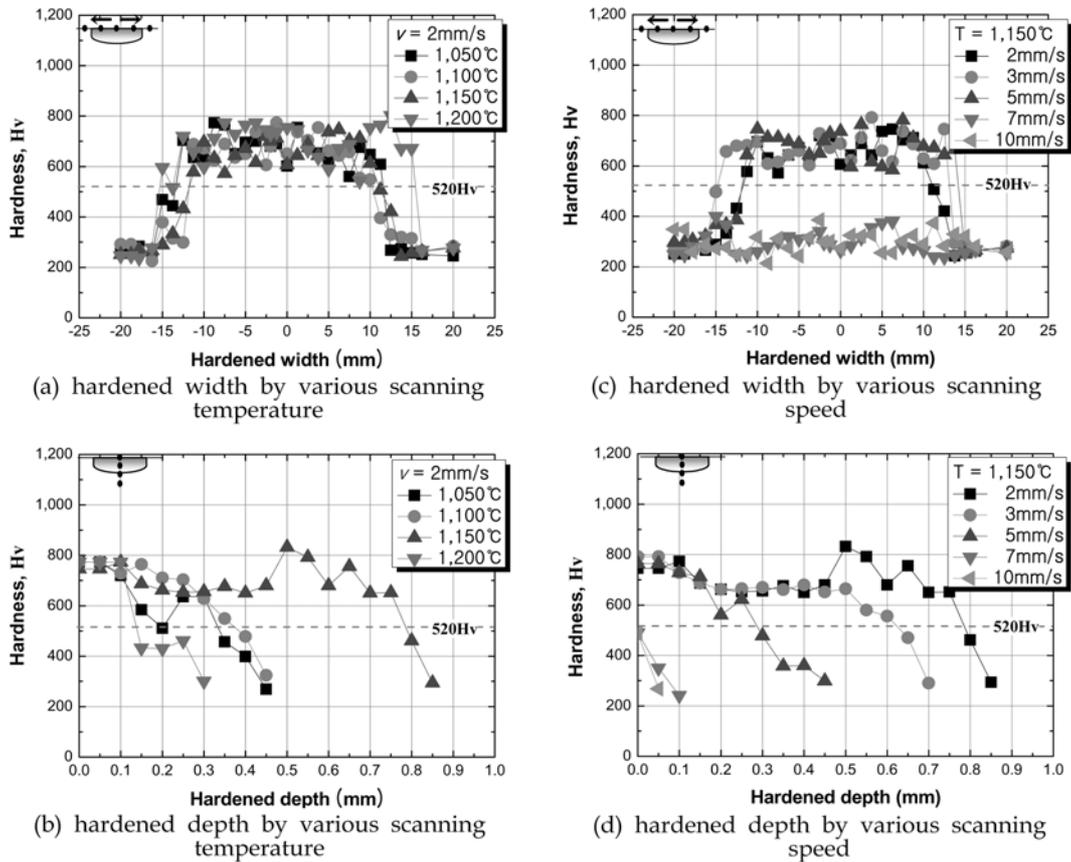


Fig. 3. Hardness profile of laser hardened zone on FCD550.

이트를 형성하는 부분이 넓어 졌음을 알 수 있다.

Fig. 2(b), Fig. 3(b)의 경우 표면경도 520 Hv 이상일 때 1,150°C에서 경화 깊이가 0.75 mm 이상으로 관찰되고 있으나, 1,100°C 이하에서의 경화 깊이는 0.4 mm 이하로 확인되었다. 이는 경화 깊이가 가열온도 50°C의 온도제어도 재료내부의 상변태를 제어하는데 매우 민감하게 작용함을 확인하였다. 가열온도 1,200°C에서는 입열량이 증가하였는데도 불구하고 경화 깊이가 0.4 mm 이하로 관찰된 원인은 입열량 과다로 자기냉각 속도가 늦어져 경화깊이가 감소하였다.

Fig. 2(d), Fig. 3(d)의 경우 가열온도 1,150°C로 일정하게 유지하면서 조사속도를 변화한 후 경화 깊이를 관찰한 것으로 조사속도가 낮을수록 경화 깊이는 깊은 것으로 관찰 되었다.

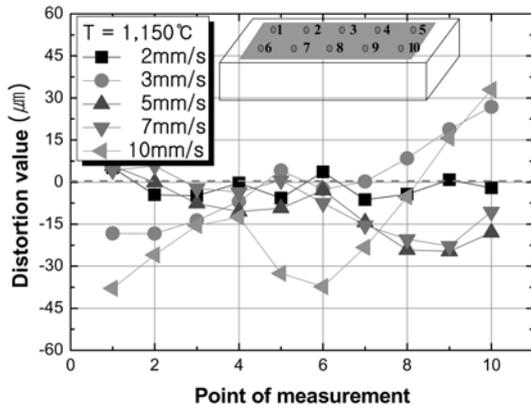
레이저 열처리 시 경화 폭과 경화 깊이는 소재의

특성에 따라 가열온도와 조사속도에 민감하며, 이는 시편의 입열량에 영향을 미치는 변수이기도 하다. 따라서 소재에 따라 가열온도 및 조사속도를 제어하는 것이 중요함을 확인하였다.

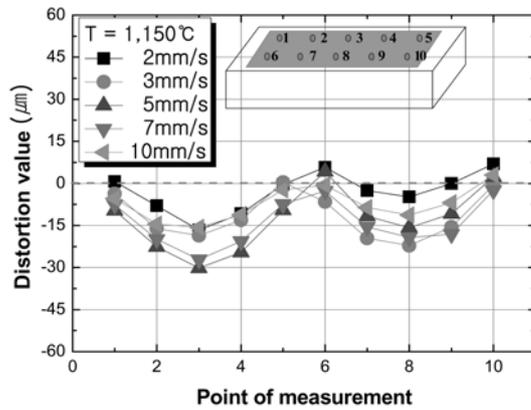
3.2 표면경화 전, 후의 시편 변형

본 연구에서 사용된 재료는 프레스 주물금형의 드로우 공정에 사용되는 소재이다. 드로우 공정은 제품 형상을 결정하는 공정으로 열처리 전, 후의 치수변화에 대하여 민감하다. 그러므로 가열온도에서 가장 만족스러운 온도 1,150°C에서 조사속도에 따른 열처리 전, 후의 3차원 측정을 통하여 변형을 관찰 하였다.

Fig. 4(a)에 나타낸 HCl350 소재의 경우 조사속도 3, 10 mm/sec에서 -값에서 +값으로 이동하고 있다. 이는 열처리 후 소재의 변형 형태가 비틀림변형으로 나타나는 것을 의미한다.



(a) Distortion value of HCl350



(b) Distortion value of FCD550

Fig. 4. Distortion value after surface treatment.

Fig. 4(b)에 나타낸 FCD550 소재의 경우 변형의 형태가 조사속도에 따라 일정하게 변화하고 있어 열처리 전, 후의 변형이 비틀림 형태는 나타나지 않았다.

열처리 전, 후의 최저 변형의 열처리 조건으로는 가열온도 1,150°C에서 조사속도 2 mm/sec 일 때 변형량이 가장 낮은 것으로 관찰 되었다. 이때 열처리 전, 후의 최고 변형량은 HCl350의 경우 6.3 μm, FCD550의 경우 16.6 μm으로 관찰 되었다.

3.3 미세조직 특성

가열온도 및 조사속도가 각각 1,150°C 및 2 mm/sec의 공정변수에서 표면경화열처리시 미세조직 특성을 관찰 하였다. Fig. 5는 미세조직을 나타낸 것으로 경화부, 열영향부 그리고 모재부로 나누어 관찰한 것이다.

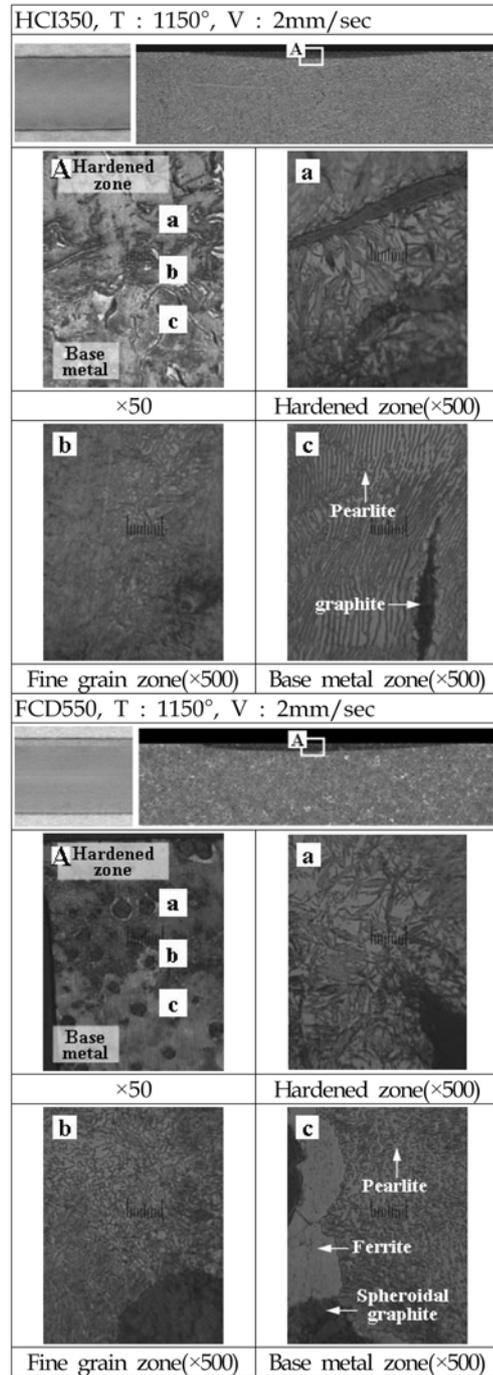


Fig. 5. Micro structure of heat treated zone.

HCl350 소재를 살펴보면, 기지조직인 편상흑연이 뒤엉키듯 존재하고 있다. 기지조직은 완전한 펄라이트와 흑연 주위에 약간의 페라이트로 구성되어 있다.

FCD550 소재는 완전한 구상화된 흑연화된 흑연 주위로 페라이트가 감싸고 있는 불즈 아이(Bull's-eye) 조직을 취하고 있다.

FCD550 (c)에서와 같이 기지조직은 펄라이트로 구성되어 있고 조직 사진 중 어두운 부분은 구상화된 흑연이며, 그 주변의 밝은 색으로 흑연을 둘러싼 조직이 페라이트이다.

두 소재 모두 서로 다른 조직을 가지고 있지만 (a)와 같이 경화부는 시멘타이트의 탄소가 페라이트로 고용되어 마르텐사이트 조직을 형성하고 있으며, (b)의 열영향부는 마르텐사이트 조직에 페라이트 또는 잔류오스테나이트 조직이 혼재되어 있다. (c)는 모재부로 페라이트와 시멘타이트 조직으로 구성된 펄라이트 조직이 형성되어 있다.

레이저열처리의 프로세스는 레이저빔에 의한 표면 경화로 레이저빔의 조사 시 기지조직은 가열된 후 매우 빠르게 자기냉각 과정을 거쳐 조직성장이 극소화 되고 마르텐사이트로 빠르게 변태된다. 이로 인하여 재료의 강도를 높이고 내마모성, 내충격 피로강도를 높이게 되어 기계적 성질도 향상된다.

실험에 사용된 HCl350, FCD550 소재는 고탄소 강으로 열처리능이 우수한 소재로 각각 편상흑연과 구상흑연이 포함된 주철로 경화부의 침상 마르텐사이트 조직이 잘 형성되어 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 고출력 다이오드 레이저를 이용하여 주철금형의 열처리 시 경화특성 연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 다이오드 레이저를 이용한 표면경화 처리 시 HCl350 소재의 최대경도 및 경화 깊이는 각각 864 Hv, 0.8 mm이었고, FCD550 소재의 최대경도 및 경화 깊이는 각각 832 Hv, 0.75 mm이었다.
2. 표면경화 처리 시 HCl350, FCD550의 최대 변형은 각각 6.3 μ m, 16.6 μ m로 표면처리에 의한

변형은 크지 않았다.

3. 미세조직의 상태는 경화깊이에 따라 경화부는 침상의 마르텐사이트가 형성되어 있었으며, 열영향부는 시멘타이트와 잔류 오스테나이트 그리고 펄라이트가 혼재된 조직이 관찰되었다.

후 기

본 논문은 지식경제부에서 시행한 지역연계기술개발사업(2009)의 연구기금 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. K. W. Park, Y. H. Han and S. Y. Lee : J. of the Korean Society for Heat Treatment, **9**(4) (1996) 271.
2. K. S. Nam and K. H. Lee : J. of the Korean Society for Heat Treatment, **9**(4) (1996) 229.
3. S. D. Park, O. Y. Lee and K. H. Song : J. of the Korean Society for Heat Treatment, **8**(1) (1995) 32.
4. F. Dausinger : Proceedings of LAMP (1992) 697.
5. J. D. Kim, W. J. Kang, J. J. Lee, J. H. Lee, J. Suh and M. O. Lee : Proceedings of the Korean Welding and Joining Society Symposium (2006) 248.
6. H. J. Shin, Y. T. Yoo, D. G. Ahn and K. Im : J. Mater. Pro. Tech., 187-188 (2007) 467.
7. H. J. Shin and Y. T. Yoo : J. Mater. Pro. Tech., **201** (2008) 342.
8. P. Hoffmann, R. Dierken and T. Endress : J. of the Korean Society for Heat Treatment, **20**(4) (2007) 203.
9. E. Kennedy, G. Byrne and D. N. Collins : J. Mater. Pro. Tech., 155-156 (2004) 1855.
10. S. D. Choi, S. H. Cheong, S. C. Yang and J. G. Kim : Kumoh National Institute of Technology, (2007) 380.
11. H. T. Hwang, H. S. Soo, J. D. Kim, M. K. Song and Y. K. Kim : Materials Research Society of Korea, **19** (2009) 574.
12. J. C. KIM : MA Thesis(in Korean), Ulsan University (2009) 380-385.