

YAG 레이저에 의한 SK5 표면경화 특성

Surface Hardening Characteristics of SK5 Steel by Pulsed YAG LASER

강형식(LG전자), 문중현^{*}, 옥철호(동아대원), 전태욱, 박홍식(동아대)

ABSTRACT

Case hardening behavior of carbon tool steel(SK5) was investigated after pulsed YAG laser irradiation. In the case of beam passes, martensite formed in the melt zone and in former pearlite regions of the austenitization zone exhibits very high Vickers hardness values. The molten depth and width decrease as the beam power density increase. The influence of depth and width of color painted specimen was also investigated. The molten zone of the black painted specimen was the largest. The wear loss rate of the black painted specimen was smaller than any other painted or raw material.

Key Words : surface hardening(표면경화), laser irradiating(레이저 조사), pulse width(펄스 폭), defocusing distance(디포커스 거리), hardened depth(경화 깊이), hardened width(경화 폭)

1. 서론

1960년 미국의 Maiman에 의해 레이저가 처음으로 발진되어 레이저 열원을 이용한 가공기술은 현재 절단, 용접, 드릴링등 다양한 생산 가공 분야에서 응용되고 있다. 레이저 열원에 의한 표면 열처리의 매력은 내마모성에 필요한 부분을 담금질 균열을 발생시키지 않고, 복잡한 형상에서도 국부만 처리할 수 있고³⁾, 대기중에서도 작업이 가능하다는 것이다. 특히 경화 면적이 부품중량에 비해 작은 경우에는 가스 침탄보다 비용효과가 크다. 레이저열원을 이용한 표면 개질 기술에는 가열, 냉각에 의한 레이저 열처리, 코팅막이나 표면에 공급된 분말을 레이저 빔으로 용해해서 모재와 합금화 시키거나 표면의 재용융부에 세라믹등으로 경질입자를 주입 복합화 시키는 레이저 합금, 그리고 레이저 야금^{3), 4)} 등이 있다.

본 연구는 SK5 재료를 사용하여 YAG 레이저로 빔을 조사시켜 탄소 공구강의 표면경화를 시도하여 경화부의 특성을 검토하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 연구에서 사용된 시료는 탄소 공구강인 SK5로서 50mm×20mm×5mm인 평판과 외경 30mm, 내경 15mm의 환재로, 두 개의 형상 시료를 사용했으며, 이의 화학적 성분은 Table 1과 같고, 비커스 경도치는

207Hv이다.

Table 1 Chemical composition of specimen(wt. %)

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.87	0.29	0.40	0.012	0.013	0.02

본 연구에서 사용된 레이저 장치는 Pulsed YAG 레이저 장치로 이 실험 장치는 파장 1.064 μ m에 멀티모드의 빔방식으로 최대 출력은 400W이다. 본 실험에 사용된 레이저 장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 레이저를 조사하는 방법은 최소 스폿(spot) 위치를 찾아 초점 위치를 정하고(디포커스 거리 0mm), 그 위치를 기준으로 하여 렌즈에서 떨어지는 방향으로 시료를 이동 초점 거리에 따른 조사표면의 경화특성과 경화층 깊이의 영향을 조사하였다.

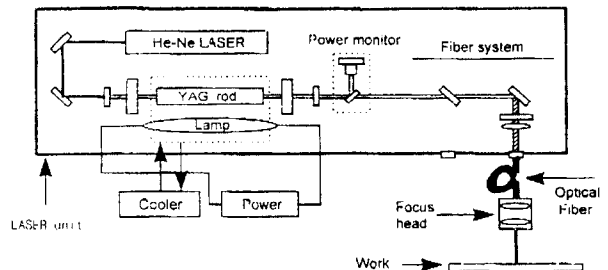


Fig. 1 The system of optical fiber and focusing head at laser unit

또한 색에 의한 표면 경화부의 특성을 조사하기 위해 색광의 3원색(적색, 청색, 녹색) 외에 흑색, 황색 등 시중에 시판되고 있는 유성 매직을 모재표면에 0.5 μ m 두께로 칠하여 레이저 빔을 조사하였다. 본 실험에서 사용한 조사조건은 Table 2와 같다.

Table 2 Laser irradiating condition

Frequency(Hz)	40
Beam traveling velocity(m/s)	10
Laser power(J/s)	1, 3, 5, 7
Pulse width(ms)	3, 5
Defocusing distance(mm)	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14
Beam mode	Multi mode
Shielding gas	Ar
Color painting	Yellow, Red, Green, Blue, Black, Raw

현미경 조직 관찰은 레이저 빔을 조사한 시료를 중앙에서 절단하여 3% 나이탈액으로 15초 동안 부식하여 실시하고, 레이저 표면 경화 처리되지 않은 시료와 비교하였다. 또한 경도는 비커스 경도 시험기를 사용하였고 마찰, 마멸 시험은 기준 원판의 원주 측면에 붙은 디스크(ball on disk)방식으로 일정한 압력을 가하여 상대 시료를 마멸시키는 것으로 단시간에 마멸시험을 실시하였다. 상대 시료는 볼 타입의 직경 12.7mm인 베어링강 STB2를 사용하였고, 시험조건은 미끄럼속도 0.03 m/s, 미끄럼거리 108m, 작용하중은 9.8N 으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 레이저 빔 조사부의 형상

디포커스 거리에 대한 레이저 빔 조사부의 경화 폭과 깊이를 Fig. 2에 나타내었다. 디포커스 거리가 증가함에 따라 경화 깊이는 감소하고 경화폭은 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 디포커스 거리의 증가에 따라 레이저 빔 강도의 저하로 입열량이 감소하나 빔의 조사면적은 넓어지기 때문인 것으로 생각된다. Fig. 3는 레이저 빔 조사면의 경화부를 디포커스 거리에 대한 경화층의 폭과 깊이를 광학현미경으로 사진 촬영한 것으로 디포커스 거리 2mm에서는 표면 경화부가 깊고, 폭이 좁게 나타나지만 디포커스 거리 8mm에서는 표면 경화부의 깊이가 작고, 레이저 조사 표면도 비교적 평탄하게 관찰된다. 초점거리인 경우에는 경화부 중앙이 오목하고 그 주변은 부풀어

올라있다²⁾. 시료에 집속된 초점위치가 시료표면에서 위로 디포커스 함에 따라 조사부 표면은 큰 직경을 형성하고, 시료 내부로 들어 갈수록 약간의 테이퍼를 주는 원추형으로 된다.

디포커스 거리 12mm와 14mm에서는 입열량의 감소에 따른 빔 강도의 저하로 경화부가 잘 관찰되지 않는다.

3.2 레이저 조사부의 단면조직

Fig. 4에서 (a)는 본 실험에 사용된 시료로서 퍼얼라이트 조직을 나타내고 있으며, (b)는 레이저 조사부의 단면 조직으로 기지 조직에서 보였던 퍼얼라이트(pearlite)가 레이저 조사에 의해 시료 표면이 가열, 급냉응고 (자기 담금질) 함으로써 마르텐사이트

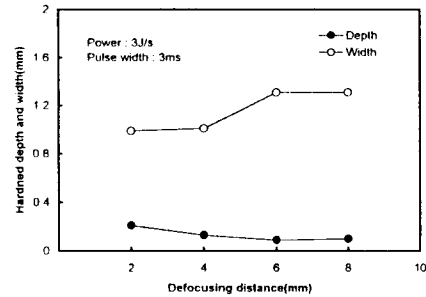
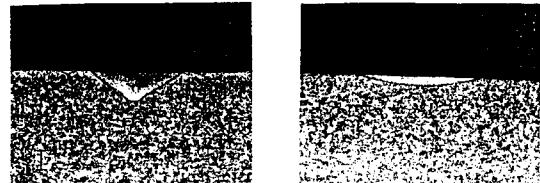
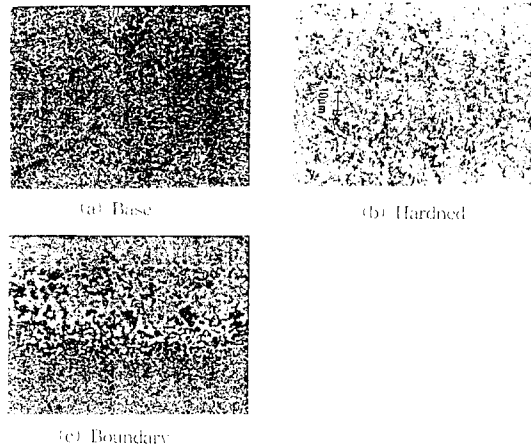


Fig. 2 Influence of defocusing distance on molten zone width and depth



(a) Defocusing distance 2mm (b) Defocusing distance 8mm

Fig. 3 Micrograph of cross section of molten zone (Power density 3 m²/s, Pulse width 3ms)



(a) Base (b) Hardened (c) Boundary
Fig. 4 Microstructure of specimen

(martensite) 조직으로 변환 것을 보여주고 있다. (c)는 기지조직과 레이저 조사면의 경계부를 나타낸 것으로 (b)에서 나타났던 완전한 마르텐사이트 조직은 관찰되지 않는다. 이것은 레이저 빔의 조사로 인해 시료 표면은 가열되었으나 냉각과정에서 시료의 최외각 표면으로부터 중심으로 갈수록 냉각속도가 저하됨에 따라 완전한 자기 담금질이 되지 않았기 때문인 것으로 생각된다.

3.3 레이저 조사부의 경도

Fig. 3에서 관찰된 빔 조사부 최외각 표면으로부터 깊이 0.6mm까지의 경도치를 측정 한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 0.24mm까지는 750 이상의 경도 분포를 보이나, 0.28mm에서 경도가 356으로 급격히 저하하여, 0.46mm에서는 224~238의 경도로 거의 일정한 값을 나타낸다.

0.26mm에서 0.46mm까지의 경도가 245~519의 분포를 보이는 것은 경화부와 기지 조직의 경계부로서 레이저 빔 조사로 인해 열 영향을 받아 가열되었으나, 레이저 빔 조사부의 최외각 표면에 대해 중심으로 갈수록 냉각속도의 저하에 따른 것으로 자기 담금질이 완전히 되지 않아 중간조직인 소르바이트(sorbite)와 트루스타이트(truostite)조직으로 되었기 때문인 것으로 생각된다.

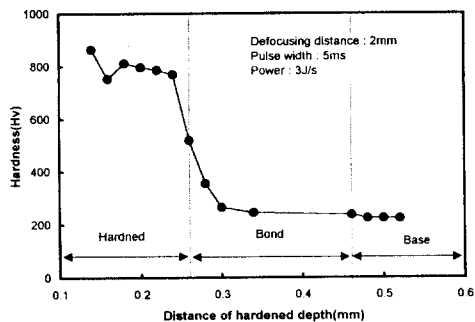


Fig. 5 Relationship between hardened depth and hardness

Fig. 6에서는 디포커스 거리에 대한 레이저 빔 조사부의 경도 변화를 나타낸 것이다. 디포커스 거리에 따른 경도는 800 이상으로 어느 것이나 마르텐사이트 조직이라 판단된다. 그러나 디포커스 거리 14mm에서는 시료 표면에 조사되는 빔 강도의 저하로 인해 350으로 감소하는 것을 알 수 있다.

또한, 에너지 밀도 3J/s 와 5J/s 에서 디포커스 거리를 변화시킨 경우 조사부의 경도 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 디포커스 거리는 경도치가 800 이상의 분포를 나타내는 8mm까지만 고려하였다. Fig. 8에서는 빔 에너지 밀도 변화에 따른 비커스 경도치를 나타낸 것이다. Fig. 7과 Fig. 8는 경도치가 795~834

인 것을 알 수 있고, 빔 에너지 밀도와 펄스폭의 변화에 의한 경도는 일정한 것으로 판단된다.

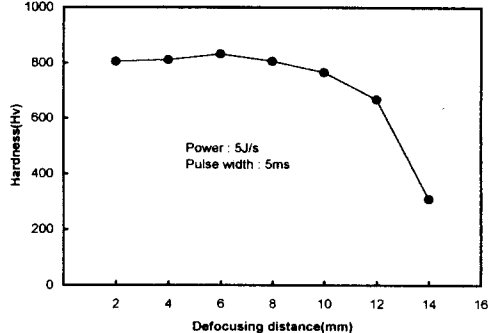


Fig. 6 Influence of defocusing distance on hardness

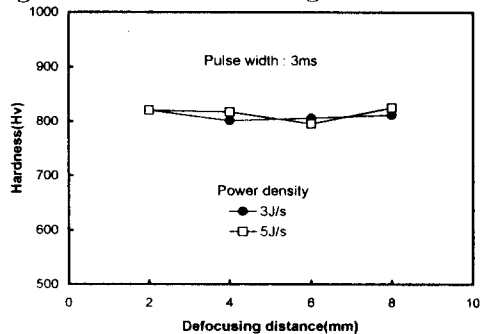


Fig. 7 Relationship between hardness and defocusing distance

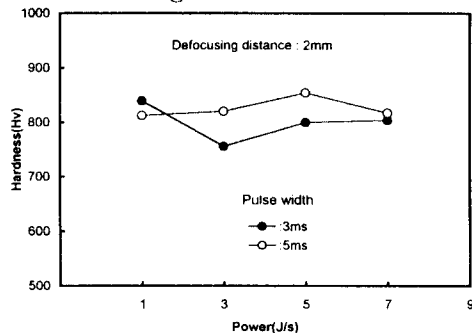


Fig. 8 Influence of power density on hardness

3.4 레이저 조사부의 칼라 페인팅의 영향

시료 표면의 칼라 페인팅에 의한 레이저 조사면의 경화 폭과 깊이의 변화를 Fig. 9에 나타내었다. 에너지 밀도 1J/s 및 5J/s에서 경화폭과 깊이는 흑색으로 페인팅된 시료가 가장 크고, 적색과 청색은 같은 크기의 경화층을 형성하였다. 또 황색 페인팅 시료는 페인팅하지 않고 단지 레이저 표면경화처리만 한 시료와 경화층 크기에서 변화가 없는 것으로 나타났다. 그러나 에너지 밀도가 작을 때는 시료에 칼라 페인팅을 한 경우와 그렇지 않은 경우 시료의 경화층의 차이가 뚜렷하게 나타났으나, 에너지 밀도가 클 때는 흑색 페인팅된 시료를 제외한 빛의 3원

색 및 노란색 페인팅 시료와 무색의 시료에서는 경화층 크기에 큰 영향을 미치지 않았다. Fig. 9의 (a)와 (b)에서 공히 흑색으로 페인팅된 시료가 경화폭과 깊이에서 가장 크게 형성된 것은 빛의 파장이 0.7 μ m 이상에서도 빛의 반사율이 2 ~ 3% 이내의 범위에서 일정하게 유지¹¹⁾되고 있기 때문인 것으로 생각된다.

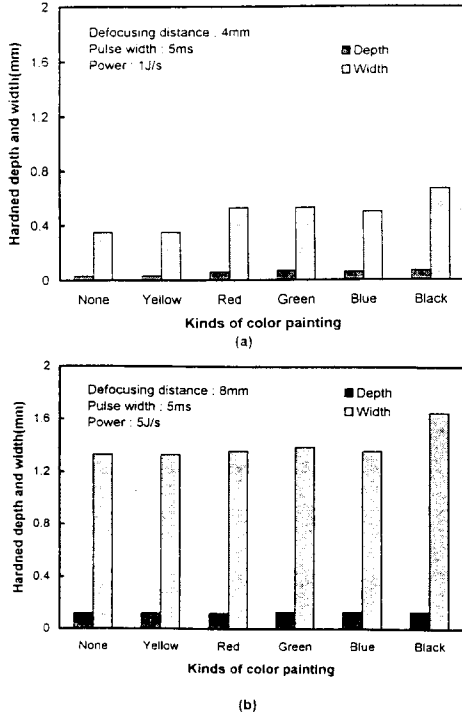


Fig. 9 Effect kinds of color painting in depth and width

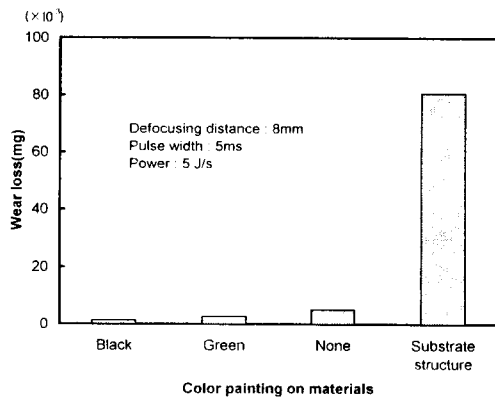


Fig. 10 Relationship between wear loss and color painting of SK5

3.5 레이저 조사부의 내마멸성

Fig. 10은 레이저 표면경화 처리되지 않은 시료와 레이저 표면경화된 시료와 칼라 페인팅한 시료를

동일 하중조건(9.8N)에서 미끄럼 거리에 대한 마멸량을 측정 한 것이다. 칼라 페인팅을 한 시료가 단지 레이저 표면경화된 시료보다는 내마멸성에서 향상되었음이 나타나고 있다. 또, 마멸량은 흑색 페인팅된 시료에서 가장 적고, 청색 페인팅 시료, 페인팅하지 않고 단지 레이저 표면경화된 시료의 순서로 마멸량이 증가하였다. 동일한 조사조건에서 칼라 페인팅의 색에 따른 마멸량과 페인팅 되지 않은 시료의 마멸량의 차이를 보이 것은 표면층에 흡수되는 레이저 빔의 입열량의 차이에 기인한 것으로 생각된다.

4. 결론

광파이버를 이용한 YAG 레이저에 의한 SK5의 탄소 공구강의 표면 경화를 위하여 디포커스 거리, 에너지밀도 변화, 칼라 페인팅 및 펄스폭을 변화시켜 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 레이저 빔으로 조사된 시료표면은 경화층을 형성하여 마르텐사이트 조직으로 변화하여 내마모성이 커지고 경도가 4배까지 향상된다.
2. 디포커스 거리 증가와 에너지 밀도, 펄스폭의 증가에 따른 경도치의 변화는 없으나 그 값을 조정함으로써 경화층 범위를 결정할 수 있다.
3. 칼라 페인팅에 따른 경화층 영향은 에너지 밀도와 무관하게 흑색 페인팅 시료가 반사율이 2~3% 이내로 안정되어 있고 에너지 흡수율이 높기 때문에 경화 폭과 깊이가 가장 크다.
4. 시료에 흑색으로 페인팅을 함으로써 칼라 페인팅을 하지 않고 레이저 빔만 조사시킨 시료보다 뛰어난 내마모성을 얻을 수 있게 되었다.

참고 문헌

1. 朴度洋, “實用色彩學”, 半島出版社, 1995, p.26
2. 片岡義博, 宮崎俊行, “パルス YAG レーザによる炭素鋼の溶融硬化特性”, 鑄物 第 62 卷 第 92号, 1990, pp.720~725
3. 水谷嘉之, 志村好男, “レーザ表面改質によるトライボロジ-特性の改善”, 表面技術, Vol.47, No.2, 1990, pp.113~116
4. 重松一典, 中村 守, “レーザによる工業用純チタンの表面硬化處理”, 表面技術, Vol.47, No.9, 1996, pp.74~75
5. M.Riabkina-Fishman, J.Zahvi, J.MAT.SCI.23, 1988, pp.1547~1552
6. C.H.Chen, C.P.Ju, and J.M.Rigsbee, J.MAT. SCI, and Tech., Vol.4, 1988, pp.161~166
7. C.H.Chen, C.P.Ju, and J.M.Rigsbee, J.MAT. SCI, and Tech., MAT. SCI, and Tech., Vol.4, 1988, pp.167~172