'YAG LASER에 의한 공구강의 표면개질에 관한 연구

옥철호 · 강형식(동아대 대학원), 이광영(경상대),
박홍식 · 전태옥(동아대)

A Study on the Surfaces Modification of Tool Steel by YAG LASER

C. H. Ok, H. S Kang, K. Y. Lee, H. S. Park, T. O. Jun

Abstract

Case hardening behavior of tool steel(SK5) was investigated after YAG laser irradiation. In the case of beam passes, martensite formed in the melt zone and in former pearlite regions of the austenization zone exhibited very high Vickers Hardness values. The molten depth and radius, micro structure, hardness were investigated as a function of defocusing distance, pulse width, and power density.

Key Words : YAG, Defocusing distance, Power density

1. 서 론

최근 레이저 기술의 급속한 발전과 더불어, 레이저 열원을 이용한 가공기술은 절단, 용접, 구멍 뚫기 및 미소 측정 등 다양한 생산기술 분야 뿐만아니라 의학분야에서도 응용되어 사용되고 있다.[1~3]

레이저 빔을 이용한 표면경화는 종전의 실현 불가능한 새로운 가공기술 표면을 얻을 수 있게 되었고, 내마멸성이 필요한 부분에 담금질 균열을 발생시키지 않고, 국부적으로 표면경화 열처리가 가능하며, 대기중에서 작업이 가능하다는 특성을 가지고 있다. 특히 중량에 비해 면적이 작은 경우에는 다른 표면경화 보다 비용이 적게 드는 이점이 있으며, 순간적으로 표면층을 가열, 자기담금질(self-quenching) 효과가 뛰어나다.

자기냉각 효과를 양호하게 하기 위해서는 모재가 어느정도의 임계질량을 가지고 있어야 하므로 강판의 경화된 깊이와 전체 두께 사이의 비가 일반적으로 1 : 7.75 이상의 경우에는 충분한 자기냉각 효과를 나타낸다.

하지만 레이저 담금질에서는 용접이나 절단과는 달리 레이저 빔의 에너지 밀도는 비교적 낮게 해야 하고 또한 에너지 분포를 균일하게 함으로서 안정된 경화층을 유지해야 될 필요성이 요구된다.[4~7]

본 연구에서는 YAG레이저를 이용하여 공구강의 표면에 레이저빔을 조사시켜 에너지밀도(power density), 용융깊이(molten depth), defocusing distance., 경도치(hardning value) 및 칼라 페인팅에 대한 모재의 열영향부 표면상태를 검토하고 국부적인 레이저 열처리가 모재의 표면에 미치는 영향을 규명하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험장치와 실험방법

2.1 실험장치

본 실험에서 사용한 시편은 시판되고 있는 공구강(SK5)을 사용하였으며, 크기는 50mm×20mm×5mm인 평판이며, 이의 화학 성분은 Table 1과 같다. 그리고 경도치(Hv)는 220이다.

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 연구에 사용된 레이저는 Pulsed YAG 레이저로서 파장이 1.063μm인 멀티모드 방식으로 최대출력은 400W이며, 이의 개요도는 Fig. 1과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 YAG 레이저의 구성은 공진기, 광섬유(optical fibre), 포커스 헤드(focus head)로 이루어져 있다.

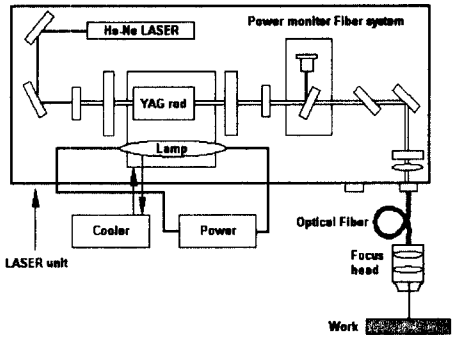


Fig. 1 The system of optical fiber and focusing head in laser unit

2.2 실험방법

Fig. 2는 레이저에 의한 표면열처리 사이클을 나타낸 것으로서 t_0~t_1은 가열 구간으로서 표면경화 영역이고, t_1~t_2는 온도유지 구간으로써 표면 경화의 깊이를 결정하는 영역이다.

또한 t_2~t_3는 냉각구간으로서 표면경화 조직인 마르텐사이트의 조직이 형성되어 있는 영역이다. 즉 가공물의 표면은 빔조사에 의해 t_1 에서 t_2 사이의 오스테나이트 변태개시점(Ac_1)까지 급속 가열되고, 빔조사를 계속하는 시간인 t_1~t_2 사이의 Ac_1 점 이상, 용융점 Tmp 이하에서 유지되고, 빔의 조사가 정지되면 시간 t_2부터 냉각되어 시간 t_3에서 Ms점에 도달하여 마르텐사이트 조직으로 변태한다.

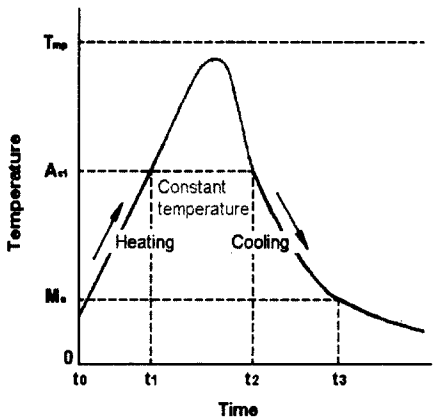


Fig. 2 Temperature curve of surface hardening process by laser beam

Fig. 3에는 레이저 빔 조사를 나타낸 것으로서, 시편에 레이저빔을 연속적으로 조사하기 위하여 시편의 이동은 X-Y 스테이지 구동로봇을 이용하여 일정한 속도로

이동시켰으며, 시편의 표면이 급속 가열 및 급속 냉각시키는 구조로 되어 있다. 여기서 테이블의 이동속도는 10m/s, 주파수는 40Hz로 하였다.

또한 레이저 빔의 조사는 광섬유를 이용하여 레이저 빔을 포커스 헤드에 집중시켜 디포커스 거리에 따라 길이 방향으로 조사시키기 위하여 최소 spot 위치를 정하고 (디포커스 거리 0mm), 그 위치를 기준으로 렌즈에서 멀어지는 방향으로 시료를 이동시켰다. 한편 포커스 헤드 안에 있는 실드 글라스(shield glass)를 보호하기 위해서 노즐의 측면에서 아르곤(Ar)가스를 15 ℓ/min를 분사하였다. 그리고 촛점거리에 따른 조사표면의 경화특성은 경화층 깊이로 조사하였다.

Table 2에는 본 연구에 사용된 실험조건을 나타내었다.

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, 7
Defocusing distance(mm)	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14
Beam mode	Multi mode
Shield gas	Ar

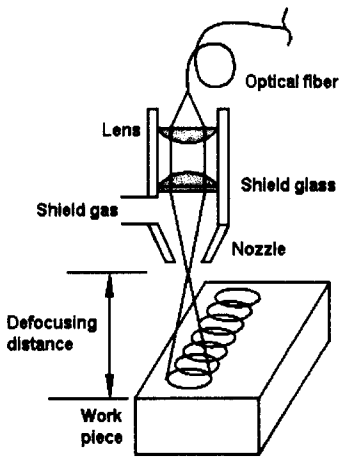


Fig. 3 Schematic view of laser irradiation

2.3 시편의 조직 관찰.

레이저 빔을 조사한 표면 경화된 시편을 절단하여, polishing 한 후, 3% 나이탈 부식액으로 부식시켜 광학현미경을 사용하여 기지조직을 관찰하였다.

2.4 표면경화된 시편의 경도시험

시편의 경도측정을 위해 시편표면을 emery paper(#200~1000)과 미세연마기를 이용해서 연마한 후 비커스 경도시험기를 사용하여 경도치를 측정하였다. 하중은 0.98N으로 하여 경하부 최외각 표면층으로부터 기지조직의 경계부 0.24mm까지는 20 μm 간격으로, 기지조직은 125 μm 간격으로 경도치를 측정하였다.

유효 경화깊이 결정방법은 경도 분포곡선에서 변곡점까지의 깊이를 결정하는 방법, 즉, 경도치(Hv)가 표면의 경도와 비교하여 경도가 급격히 감소하는 표면 전까

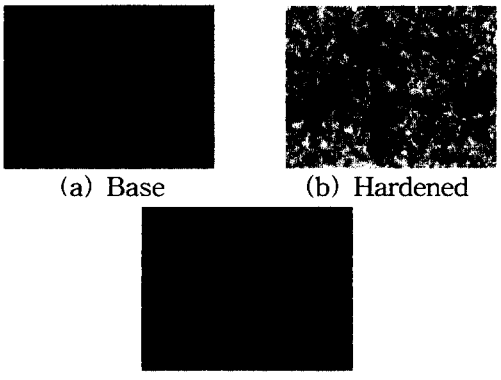
지를 유효경화 깊이로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 레이저 조사부의 단면 조직

Fig. 4는 레이저 빔 조사에 의한 시험편의 조직사진을 나타낸 것으로서, (a)모재로서 완전한 퍼얼라이트 조직을 나타내고 있으며, (b)레이저 빔을 조사에 의해 표면이 급냉(자기담금질)으로 인한 마르텐사이트 조직으로 변태한 것을 보여 주고 있다. 그리고 (c) 표면이 마르텐사이트 조직으로 변화하였고, 내부는 기지조직인 퍼얼라이트 조직이 형성되고 있다는 것을 알 수 있다.

이것은 레이저 빔의 조사로 인해 시편의 표면은 가열되었으나, 냉각과정에서 시편의 표면으로부터 내부로 들어갈수록으로 냉각속도가 저하됨에 따라 완전한 자기담금질이 되지 않았기 때문인 것으로 생각된다.



(a) Base (b) Hardened

(c) Bond

Fig. 4 Microstructures of specimen

3.2 레이저 빔 조사부의 형상

Fig. 5에는 에너지 밀도를 3J/s, 펄스 폭 3ms로 일정하게 하고 디포커스 거리에 따른 레이저 빔 조사부의 경화 폭과 깊이를 나타낸 것이다. 디포커스 거리가 증가함에 따라 경화부의 깊이는 감소하나 경화 폭은 증가함을 알 수 있다. 이것은 레이저 빔의 강도저하로 인한 입열량이 감소하여 깊이는 감소하나, 조사면적은 넓어졌기 때문이라 생각된다.

Fig. 6은 레이저 빔 조사면의 경화 폭과 깊이를 광학현미경으로 나타낸 것으로 디포커스 거리가 작을수록 표면경화부의 깊이는 깊어지나, 폭은 좁게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나 디포커스 거리가 멀어질수록 폭은 넓게 나타나지만, 깊이는 작아져 평탄하게 된다는 것을 알 수 있다. 경화부의 형상은 시편의 초점위치가 시편 표면 위에서 조사하기 때문에 조사부의 표면은 큰 직경을 형성하고, 시료 내부로 들어 갈수록 약간의 테이퍼를 가진 원추형이 형성된다고 생각된다.

Fig. 7은 디포커스 거리를 2mm, 펄스 폭을 5ms로 일정하게 하고 레이저 빔의 에너지 밀도를 증가시켰을때 경화깊이와 폭을 나타낸 것으로 빔의 에너지 밀도가 증가함에 따라 경화층이 커지는 것을 알 수 있다.

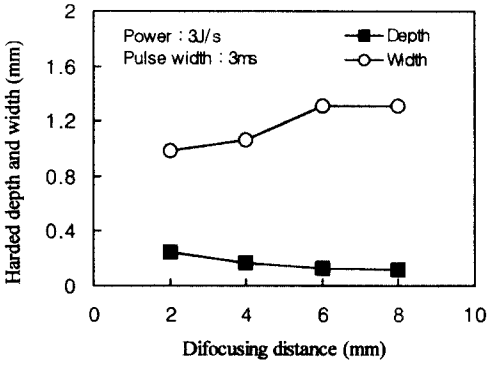
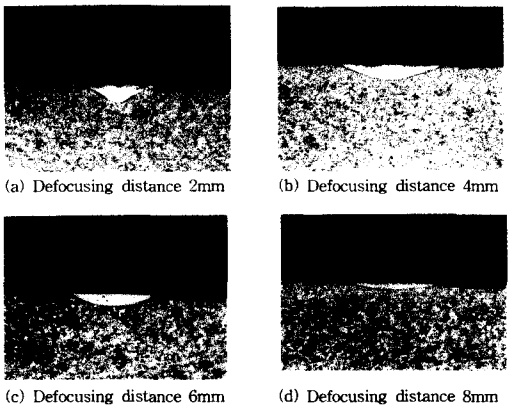


Fig. 5 Influence of defocusing distance on molten width and depth



(a) Defocusing distance 2mm (b) Defocusing distance 4mm

(c) Defocusing distance 6mm (d) Defocusing distance 8mm

Fig. 6 Photo, of molten and width on defocusing distance

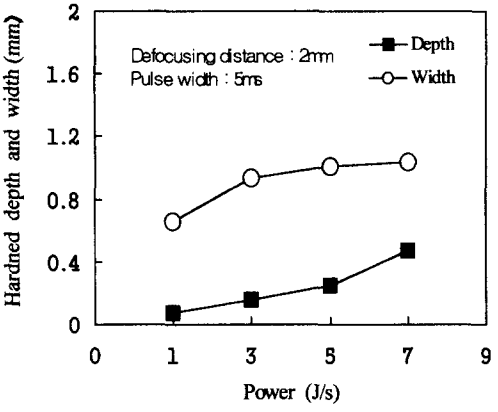
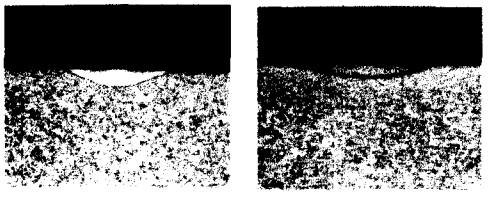


Fig. 7 Molten depth and width on laser power



(a) 3 J/s (b) 5 J/s

Fig. 8 Photo. of molten depth and width on laser power

Fig. 8은 에너지 밀도 (a) 3J/s 및 (b) 5J/s의 경화부를 나타낸 것으로서 레이저 빔의 에너지 밀도가 증가함에 따라 경화층이 증가하는 것을 볼 수 있다.

3.3 레이저 조사부의 경도 조사.

Fig. 6의 표면으로부터 경화깊이 0.6mm까지의 경도치를 측정한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 깊이 0.26mm까지는 750 이상의 경도 분포를 보이나, 0.28mm에서 경도치가 356으로 급격히 저하하여, 0.46mm에서는 모재경도 정도로 거의 일정한 값을 나타내고 있다는 것을 알 수 있다

0.28mm에서 0.46mm까지의 bond부의 경도가 245~519의 분포를 보이는 것은 경화부와 모재와의 경계부로서 레이저 빔 조사로 인하여 열영향을 받아 가열되었으나, 레이저 빔 조사부의 표면에 대해 중심으로 갈수록 냉각속도의 저하에 따른 것으로 자기 담금질이 완전히 되지 않으므로써 중간조직인 소르바이트(sorbite)와 트루스타이트(troostite)조직으로 되었기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 10에서는 에너지 밀도 5J/s, 펄스폭5ms로 일정하게 하였을 때 디포커스 거리에 따른 레이저 빔 조사부의 경도 변화를 나타낸 것이다. 디포커스 거리가 8mm까지의 경도치는 800 이상으로 기지조직은 마르텐사이트로 구성되어 있다고 생각된다. 그러나 디포커스 거리 8mm에서 12mm까지는 디포커스 거리의 증가에 따른 에너지 밀도 저하로 인하여 기지조직은 전술한 바와같이 본드부의 중간조직과 같은 기지조직을 나타내었기 때문이라 생각된다. 그러나 디포커스 거리가 14mm의 경우에는 레이저 빔의 영향을 받지 않은

것으로 생각되어 경도치는 거의 모재의 경도치 정도로 감소한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 11에서는 디포커스 거리를 2 mm로 하였을 때 빔 에너지 밀도 변화에 따른 비커스 경도치의 변화를 나타낸 것이다. 에너지 밀도에 변화에 따른 경도의 변화는 펄스 폭에 관계없이 거의 일정하다는 것을 알 수 있다. 따라서 에너지 빔의 조사조건에 따른 경도치의 변화는 에너지의 밀도의 변화보다는 디포커스 거리에 의존한다고 생각된다.

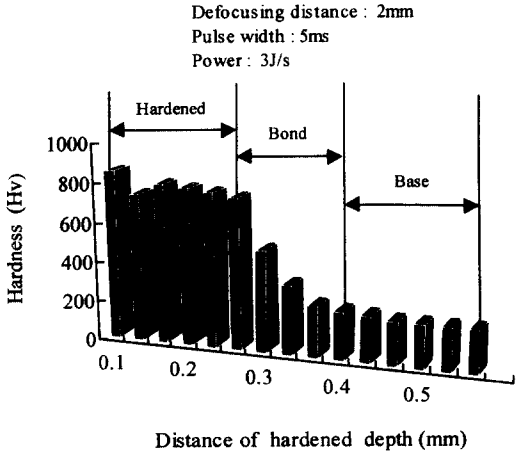


Fig.9 Relationship beween hardened depth and hardness

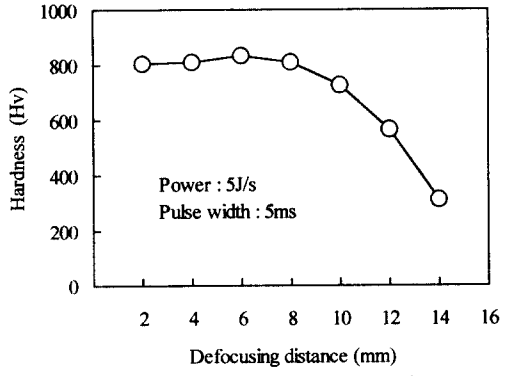


Fig. 10 Influence of defocusing distance on hardness

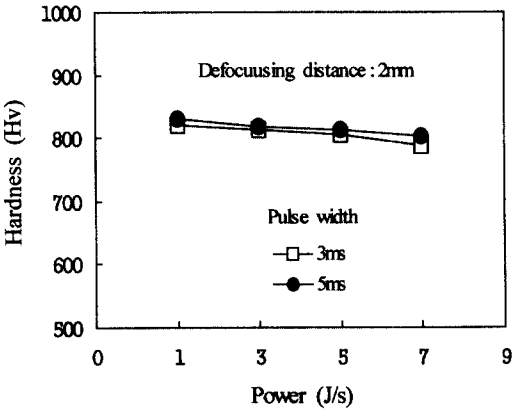


Fig. 11 Influence of power density on hardness

Fig. 12는 칼라 페인팅에 의한 레이저 조사부 면의 경화폭과 깊이의 변화를 나타낸 것이다. 에너지밀도 1 J/s 에서 경화폭과 깊이는 흑색으로 페인팅된 시료가 가장 크고, 적색과 청색은 같은 크기의 경화층을 형성하였다. 또 황색 페인팅 시료는 페인팅하지 않고 시편의 경화층 크기와 비슷하게 나타났다. 에너지밀도가 적을 때에는 칼라페인팅을 한 경우와 하지않은 경우 시료의 경화층의 차이가 뚜렷하게 나타났다.

Fig. 13은 에너지밀도를 5J/s로 증가시켰을 때의 경화 깊이와 폭의 크기를 나타낸 것입니다. 에너지가 클 때는 흑색을 제외하고는 경화층의 크기에 큰 영향을 주지 않았다. 흑색으로 페인팅된 시료의 경화층이 가장 크게 형성된 것은 흑색의 경우 빛의 파장이 0.7μm이상에서도 빛의 반사율이 5%이내의 범위에서 일정하게 유지되지 때문이라 생각된다.

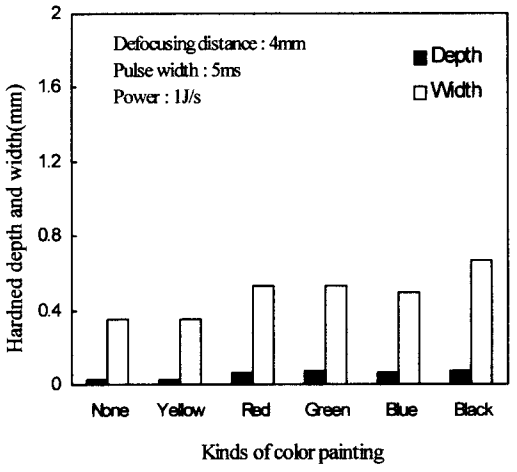


Fig. 12 Effect kinds of color painting in depth and width (Power : 1 J/s)

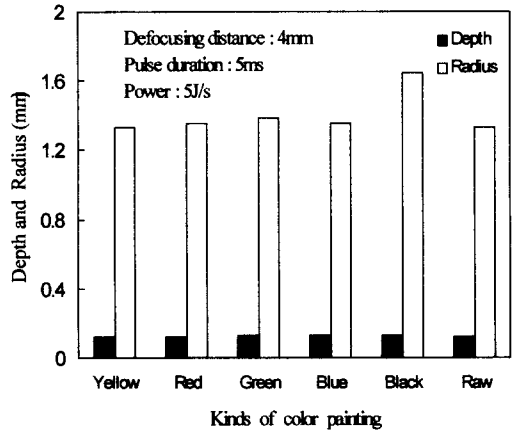


Fig. 13 Effect kinds of color painting in depth and width (Power : 5 J/s)

4, 결 론

YAG 레이저를 이용한 공구강(SK5)의 표면경화 열처리 특성을 알기 위해 디포커스 거리, 에너지밀도 , 펄스 폭 및 칼라 페인팅을 변화시켜 실험한 결과는 다음과 같다.

1. 레이저 빔의 조사로 인한 표면하부의 경화깊이에 따른 조직은 자기담금질의 효과로 인하여 마르텐사이트, 트루스타이트 및 소르바이트로 변화한다.
2.. 디포커스의 거리가 증가함에 따라 경화 깊이는 감소하지만 경화폭은 증가하였고, 에너지 밀도가 증가하면 경화폭과 경화 깊이가 모두 증가한다.
3. 에너지 밀도와 펄스 폭의 증가에 따른 경도치의 변화는 거의 없지만 디포커스의 거리가 8mm 이상이 되면 경도치는 급격히 저하한다.
4. 칼라 페인팅에 따른 경화층의 영향은 흑색 페인팅의 경우 반사율이 5% 이내로 안정되어 경화 폭과 깊이가 가장 크다.

참 고 문 헌

1. J.Wilson, J.F.B. Hawkes, "Lasers Principles and Applications", Prentice Hall, pp.1～33 (1987)
2. 先端加工技術研究會, "超精密加工技術への挑戰", pp.146～151 (1984)
3. 情密工學會 表面改質に關する調査研究分科會,"表面改質技術", pp.124～130(1988)
4. 朴度洋, "實用色彩學", 半島出版社, pp. 26 ～27, (1995)
5. 金道薰, "레이저 가공학", 京文社, pp. 235 ～255, (1992)
6. 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, pp.720～725, (1990)
7. 水谷嘉之, 志村好男, "レーザ表面改質によるトライボロジー特性の改善", 表面技術, Vol.47, No.2, pp.113～116, (1990)

8. 高橋英明, 溫井勝敏, 苦林 潤, “レーザー照射による金屬セラミックスの局部表面處理”, MateriaJapan, 第34卷, 第12号, pp.1276～1283, (1995)
9. 重松一典, 中村 守, “レーザによる工業用純タンの表面硬化處理”, 表面技術, Vol.47, No.9, pp.74～75, (1996)
10. 吉岡俊朗, 白井靖幸, 金釜憲夫, 宮崎俊行, “電子ビーム加工における溶融層の形成とAEの發生”, 精密機械, 51, 8, pp.1534～1539, (1985)
11. M.R, Fisman and J.Zahvi, "Structure and microhardness of laser-hardened 1045 steel", J.MAT. SCI.23, pp.1547～1552, (1988)