

40Cr 강의 Laser Surface Hardening 에 관한 연구

유능희 · 강성군†
한양대학교 공과대학 재료공학부

A Study on 40Cr Alloy steel of Laser Surface Hardening

Nung-Hee Ryu and Sung-Goon Kang†

Division of Materials Science and Engineering, College of Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791

(2001년 10월 10일 받음, 2001년 11월 12일 최종수정본 받음)

Abstract In this study, the surface of 40Cr steel was hardened by CO₂ Laser, and then the microstructural transformations and the hardness distributions of the laser surface hardened layer were observed. The experimental results showed the surface hardening layer was consisted of three parts, which is outmost surface layer of needle martensite, middle layer of martensite and remained pearlite, and transitory boundary layer. In hardness distributions, the surface hardness of the surface hardening layer had Hv 800~1000, that was 2 to 4 times of matrix's hardness. The hardness distribution of laser hardening layer that of surface layer hardened by general heat treatment.

Key words: Laser Surface Hardening, martensite, transformations, 40Cr alloy steel

1. 서 론

40Cr강은 shaft, gear 등의 각종 기계류 및 전기 부품에 사용되는 중탄소 합금강으로, 냉칭 및 소려 열처리를 하는 조질 강재이다.^{1,2)} 또한 내마모 특성이 요구되는 부품재료로서의 중탄소 합금강으로 내마모성 향상을 위한 다양한 표면 열처리 기술에 관한 연구가 보고 되어 왔다. 특히 미소 영역의 내마모성 향상을 위한 여러 열처리 기술에서 고효율 에너지와 국소 열처리가 가능한 laser 기술의 활용에 관한 연구는 고에너지 집속 열처리에서 주요한 연구 분야로 있다.

Laser를 활용한 laser surface hardening을 위한 표면 열처리 기술은 재료가공법에서 가장 적은 에너지 밀도가 요구되는 범주에 속하며, 이 방법이 적용될 수 있는 재료는 용융전에 고상변태가 가능한 금속재료에 널리 활용될 수 있는 표면 열처리 기술이다. 이에 내마모성이 요구되는 40Cr 강의 표면 경화에 laser surface hardening 열처리는 적용 내마모성 부품의 사용 수명의 연장이 기대 될 수 있고, 생산성 향상과 유지 보수에 중요한 인자로 적용한 것은 주지의 사실이다.^{6,7)}

특히 Laser는 2×10^4 K까지의 급속 고온 가열과 가열부위의 급속 냉각 (10^6 K/sec) 이 가능하며 재료의 표면경화에

중요한 적용 분야로 손꼽히고 있다.³⁾ 특히 laser에 의한 표면 경화 기술은 가공처리에 있어 선택적 부위의 표면경화는 물론, 표면처리 후 열충격 및 열변형이 다른 열처리 가공보다 상대적으로 적은 기술로서 더욱 각광을 받고있다.^{4,5)}

본 연구에서는 laser surface hardening 기술을 대표적 소재강인 중탄소 40Cr강의 표면 경화처리에 적용하여 laser parameter에 따른 경화 관계가 조사되었다. 또한 일반 열처리의 상변태이론을 기초로 laser parameter에 따른 경화 표면층의 조직변화 고찰을 하였으며 경도와 마모 특성에 미치는 영향에 관한 조사가 수행되었다.

2. 실험 방법

2.1 Laser surface hardening

Laser surface hardening을 위한 기지급속은 중탄소 40Cr강이었으며, 화학적 조성을 Table 1에 나타내었다. 본 실험에 적용된 laser surface hardening은 5KW CO₂ laser 발생장치를 이용하였고, laser 작동 조건은 laser 출력을 1000W~1400W로, 주사 속도는 10~30mm/sec로 변화시켰으며, 광선의 직경은 3mm, laser 조사광선의 중복지율은 50%로 조정하였다.

Laser surface hardening된 시편의 표면과 수직단면을

Table 1. The chemical compositions of 40Cr steel

Material	Chemical composition(wt.%)					
	C	Mn	Si	Cr	P	S
40Cr steel	0.37~0.44	0.50~0.80	0.17~0.37	0.80~1.10	≤0.035	≤0.035

† E-mail: sgkang@hanyang.ac.kr.

주사전자 현미경(SEM)으로 관찰하였으며 상분석에는 X-ray 회절분석(XRD)이 실시되었다.

2.2 미세조직의 변화에 따른 경도값

Laser 작동 조건의 변화에 따른 경화층의 깊이는 laser surface hardening된 시편의 단면을 수직으로 절단하여, 절단된 수직면의 미세 조직에 따른 깊이는 주사 전자현미경을 통해 측정되었으며 미소경도값은 CHX-1 micro vickers 시험기를 사용하여 수행되었다. 또한 laser 출력과 주사 속도의 변화에 따른 40Cr강의 표면 경도값이 측정되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Laser surface hardening에 따른 미세구조

Fig. 1은 본 시험에 사용된 40Cr강의 미세 조직 관찰 결과이며 pearlite와 ferrite의 혼합상이었다. Laser surface hardening후 Fig. 2에서 관찰할 수 있듯이 crescent moon 형태의 HAZ (Heat Affected Zone)가 형성되었다. Laser beam이 금속 표면에 주사되면 표면온도가 급격히 올라가 Ac₃을 초과하면 기저조직인 pearlite가 austenite로의 상변태가 발생하게 되며 온도가 다시 급격히 냉각될 때에는 martensite로 변태되어 ferrite와 혼합상을 이루게 된다.

Laser 처리층은 기지와와 접경층, 중간층과 외부 intensive층으로 구분되며 각층에서 laser 온도장이 달라 변태된 상도 다르게 나타나게 된다. Laser의 출력을 1400W, 주사

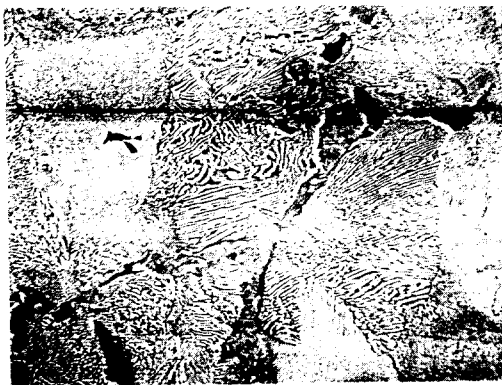


Fig. 1. SEM of as received 40Cr steel

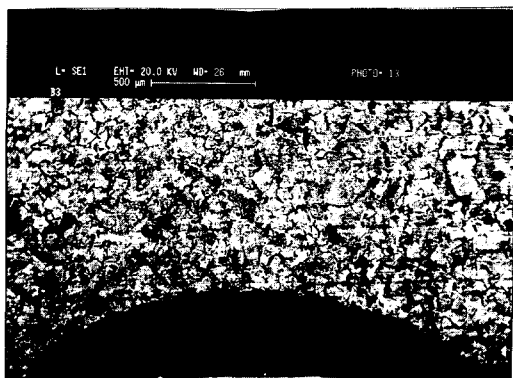


Fig. 2. Cross sectional SEM of laser surface hardened 40Cr steel (power 1400W, scanning velocity 22mm/sec)



Fig. 3. Cross sectional SEM of laser surface hardened 40Cr steel regions from top to bottom(power 1400W, scanning velocity 27mm/sec) (a) Top (b) Middle (c) Bottom

속도를 27mm/sec로 laser surface hardening후 형성된 서로 다른 경화층을 관찰한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3(a)는 laser가 직접 주사된 표면층으로 세 영역중에서 흡수열량이 제일 높고 pearlite가 완전히 austenite로 변태되어 냉각후 martensite로 상변태되었음을 관찰할 수 있었다. Fig. 3(b)는 laser 중간층으로 martensite와 미세한 pearlite가 혼합상으로 존재하고 있으며 Fig. 3(c)는 흡수열량이 가장 낮은 전이영역(transition region)으로 ferrite와 일부 탄화물로 이루어졌음을 알 수 있었다.

Fig. 4는 laser 주사 속도를 15mm/sec로 고정시키고 출력을 변화시키며 실시한 laser surface hardening 시편의

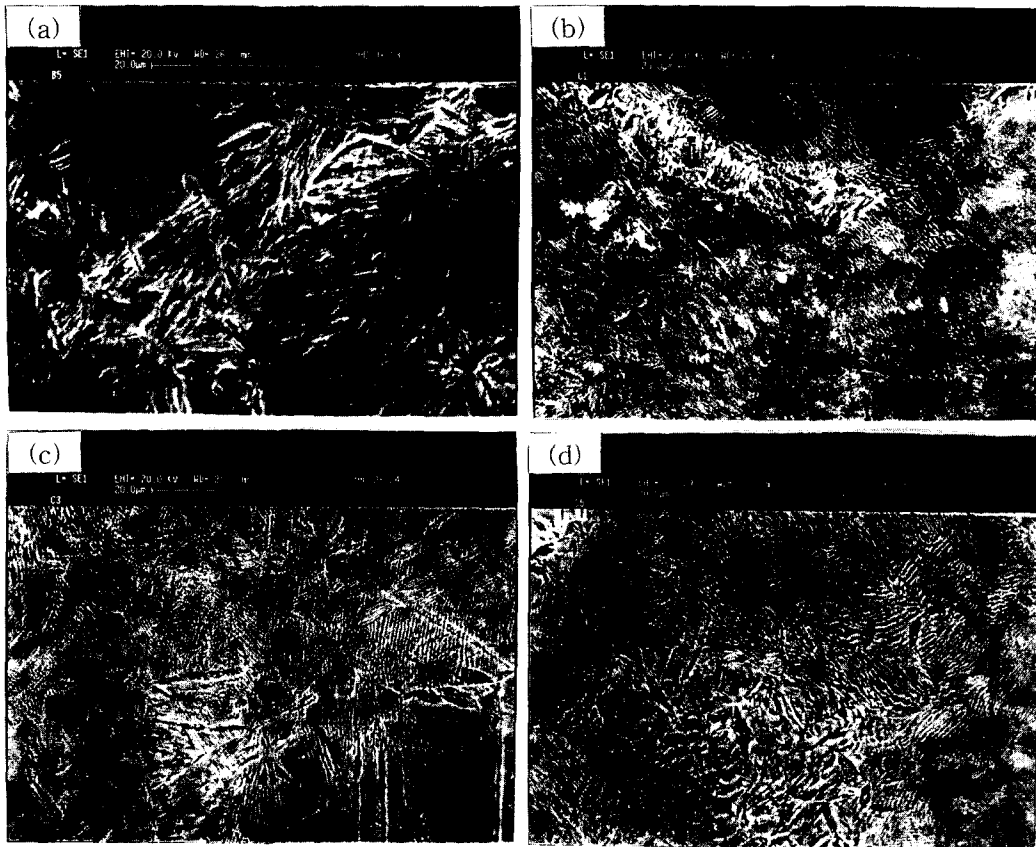


Fig. 4. Cross sectional SEM of laser surface hardened 40Cr steel with various laser power(scanning velocity 15mm/sec) (a) 1000W (b) 1100W (c) 1200W (d) 1400W

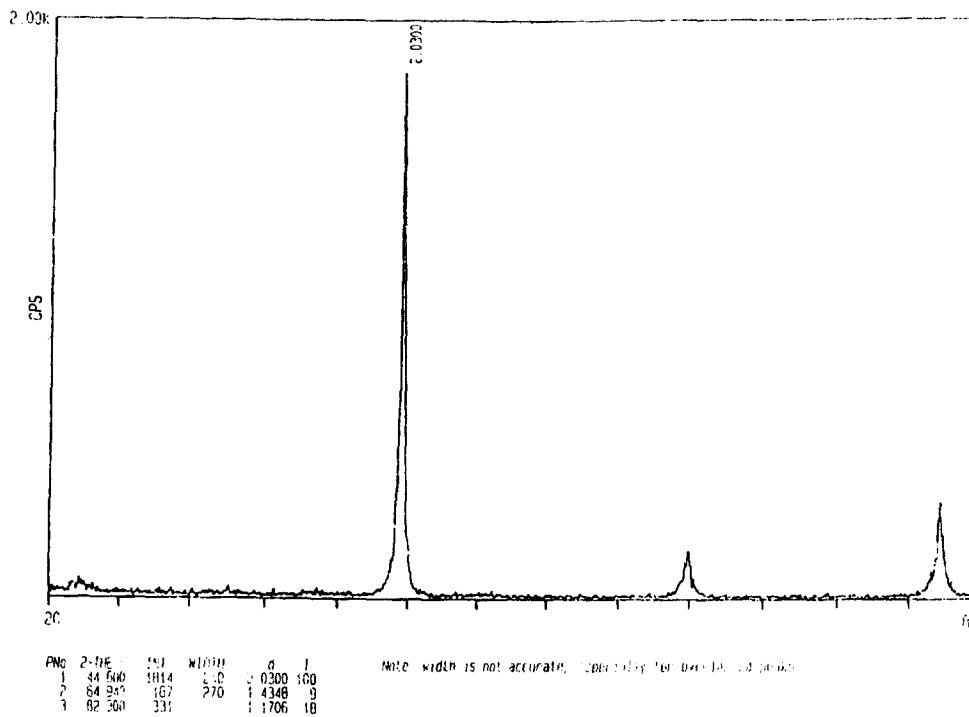


Fig. 5. XRD pattern of laser surface hardened 40Cr steel

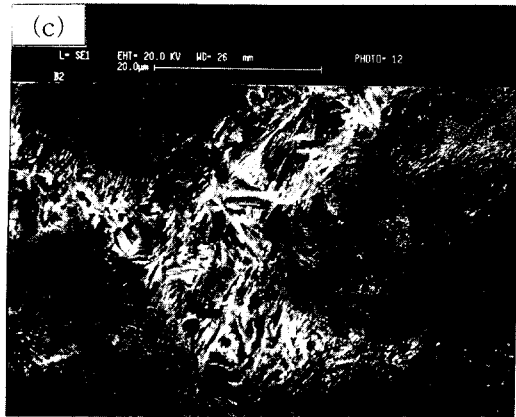
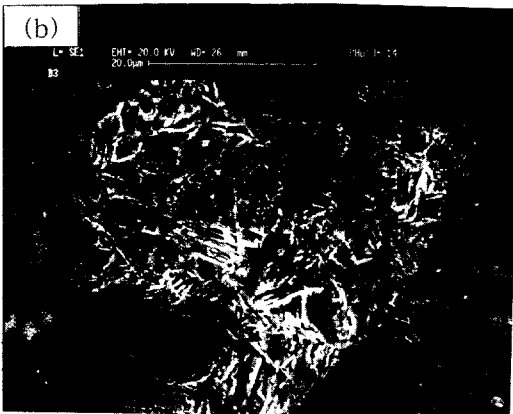


Fig. 6. Cross sectional SEM of laser surface hardened 40Cr steel with various scanning velocity(power 1400W)

SEM 관찰 결과이다. Laser 출력이 1000W에서 1400W로 증가됨에 따라 시편 조직은 ferrite가 점차 감소되고 martensite가 증가되는 경향을 보였으며 Fig. 4 (d)는 대부분의 조직이 martensite로 변태되었으며 미세하고 길쭉한 형상을 가졌음을 관찰할 수 있었다. 이것은 laser 출력의 증가에 따라 흡수 열량이 증대되어 pearlite가 austenite로의 충분한 상변태가 발생되었기 때문인 것으로 판단되었다. Fig. 5는 laser 출력을 1400W, 주사 속도를 15mm/sec로 40Cr강의 laser 처리 표면의 XRD 분석결과이며 martensite와 일부 탄화물이 혼합되어 있는 것으로 판단되었다.

Laser 출력뿐 아니라 laser 주사 속도는 표면온도와 직

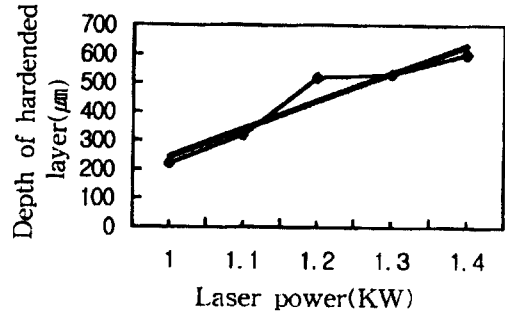


Fig. 7. Relationship of hardened layer depth(scanning velocity 15mm/sec) with laser power

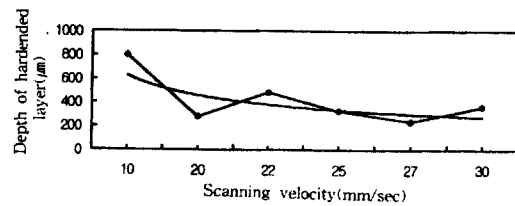


Fig. 8. Relationship of hardened layer depth (power 1400W) with scanning velocity

접 관계되는 중요한 factor 중의 하나이다. 주사 속도가 저속이면 순간 단위에너지 밀도가 증가하여 재료표면의 흡수 열량이 증가되어 온도가 상승하며 일단 A_{c3} 을 초과하면 pearlite가 austenite로 변태되고 온도가 급강하하는 동시에 martensite로 상변태된다. 반면 주사 속도를 고속으로 하면 흡수열량이 감소되어 일부 pearlite는 austenite로 변태되지 못하고 잔류하게 된다. 주사 속도가 가속될수록 austenite로 상변태 되지 않은 pearlite가 냉각 후 더 많이 martensite중에 그대로 잔류하게된다. Fig. 6은 laser 출력을 1400W로 고정시키고 주사 속도를 각각 10mm/sec, 20 mm/sec와 22mm/sec로 변화시켜 laser surface hardening 후 실시한 SEM 관찰 결과이다. Fig. 6(a)의 속도는 Fig. 6(b)와 6(c)의 약 50%밖에 되지 않고 laser 출력과 spot 직경이 일정하므로 에너지 밀도는 2배로 된다. Fig. 6(a)에서는 조직의 대부분이 martensite로 변태되었지만 Fig. 6(b)와 6(c)에서는 martensite 이외에 pearlite도 잔류했다. 이것은 주사 속도가 빠르므로 흡수열량이 낮아 일부의 pearlite가 austenite로 변태되지 못하고 그대로 martensite속에 잔류된 것으로 판단되었다.

3.2 미세 조직의 변화에 따른 미소 경도

Fig. 7과 Fig. 8은 laser 출력과 주사 속도에 따른 경화층 깊이의 변화를 SEM 단면 관찰을 통해 측정된 그림이다. Laser 출력이 높을수록, 주사 속도가 느릴수록 흡수열량의 증가로 인하여 경화층의 깊이가 증가되었으며 이론적인 계산값과 일치함을 알 수 있었다. Fig. 9와 Fig. 10은 laser 출력과 주사 속도의 변화에 따른 경도값을 측정된 결과이다. 앞에서 살펴본 바와 같이 시편의 흡수열량이 높아 질수록 martensite로 변태된 영역이 깊었으며 그로 인해

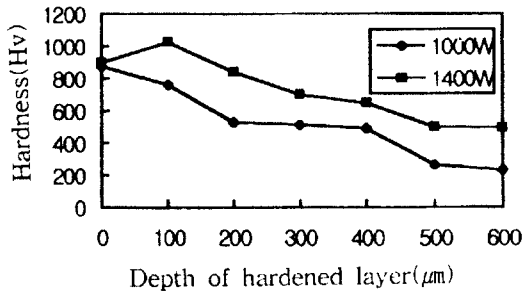


Fig. 9. Relationship of hardness with hardened layer under constant scanning velocity(15mm/sec)

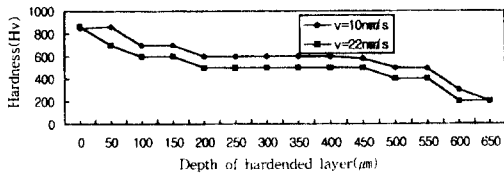


Fig. 10. Relationship of hardness with hardened layer under constant laser power(1400W)

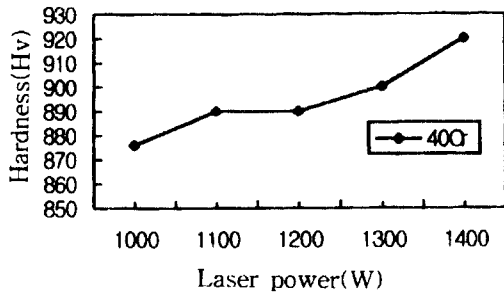


Fig. 11. Relationship of surface hardness with laser power (scanning velocity 15mm/sec)

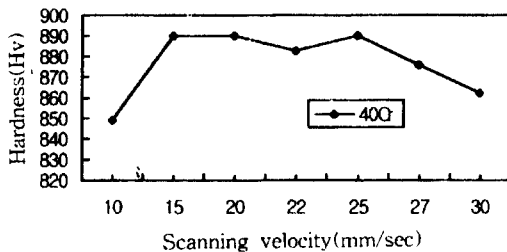


Fig. 12. Relationship of surface hardness with scanning velocity (power 1400W)

경화층의 깊이가 증가되었음을 알 수 있었다. Fig. 11은 일정한 주사 속도하에서 laser 출력 변화에 따른 경도 측정 결과이다. 출력이 낮을 때에는 경도는 상대적으로 감소되고 출력이 높을 때는 경도가 상대적으로 증가되었다. 또한 일정한 laser 출력하에서 주사 속도를 변화시켰을 때 측정된 경도값을 Fig. 12에 나타내었다. 그래프에서 관찰할 수 있듯이 출력이 높고 주사 속도가 느릴 때 일수록 흡수열량의 증가로 인해 martensite의 상대적인 증가로 경도값이 상승되는 경향을 나타냄을 알 수 있었다. Fig. 12에서 주사 속도가 10mm/sec일 경우에 급격한 경도값의 감소는 낮은 주사 속도로 인한 높은 흡수열량으로 인해 시편 표면에서 발생된 용융에 의한 것으로 판단되었다.

4. 결 론

1) Laser surface hardening된 표면층의 조직은 martensite와 일부 탄화물의 혼합상이었으며, 흡수열량의 변화에 따라 martensite의 상대적인 양의 차이를 보였다. 즉 흡수열량이 증가할수록 laser surface hardening후 martensite가 증가하였으며 흡수열량이 적을 때에는 잔류 pearlite가 관찰되었다.

2) 경화층의 깊이는 시편의 흡수열량의 변화에 따라 차이를 보였으며 흡수열량이 증가할수록 경화층은 깊었다.

3) Laser surface hardening된 표면의 경도값은 흡수열량이 증가될수록 상승하였으나 흡수열량이 매우 높아 표면에서 용융이 일어났을 때에는 낮은 경도값을 보였다.

참 고 문 헌

1. Editorial Office of Ministry of material industry Alloy steel Hand book, press of Material industry of china, china (1984).
2. Liang Erjuan, Laser journal, 22(4), 52 (2001).
3. J.I. Nurmien and J.E. Smith, Parametric evaluation of laser/clad interaction for hardfacing applications, E.A. Metzbowler (ed.) . Lasers in Materials Processing, ASM, Metals Park, OH, 1983.
4. D.H. KIM, Bull of the Korea Inst. of & Mater, 5(4), 361 (1992).
5. H.J. KIM, Laser Technology and Application Edt. Cep, BUSAN University, 262 (2000).
6. Shi Xiaoging, Applied Laser, 21(3), 172 (2001).
7. M.F Ashby, K. E Easterling, Acta Metal, 32, 1935 (1984).