

〈 論 文 〉

CO₂레이저 비임을 이용한 표면경화 처리중 형성된 AISI 4140의 잔류응력에 관한 연구

박근용 · 이준범 · 한유희* · 이상윤

동아대학교 금속공학과

*한국기계연구원 레이저가공기술연구회

A Study on the Residual Stress of AISI 4140 Formed during
Surface Hardening Treatment by using the CO₂ Laser Beam

K.W. Park, J.B. Lee, Y.H. Han*, S.Y. Lee

Department of Metallurgical Engineering, Dong-A University

*Study Circle for Laser Material Processing, KIMM

ABSTRACT

This study has been performed to investigate into some effects of power density and traverse speed of laser beam on the microstructure, hardness and residual stress of AISI 4140 treated by laser surface hardening technique.

Optical micrograph has shown that large martensite and a small amount of retained austenite in outermost surface layer and fine lath martensite in inner surface hardened layer are formed under the condition of a given power density and traverse speed. Hardness measurements have revealed that as the power density increases at a given 2.0m/min of the traverse speed, the maximum hardness values of outermost surface hardened layer is increased from Hv=635 to Hv=670. X-ray analysis for residual stress has exhibited that low compressive residual stress values are obtained in center point of the cress section of surface hardened layer with in mid point between the edge and the center point, about 1.5mm from the center point, due simply to a difference in self-quenching rate. It has been shown that the higher the power density at a given traverse speed and the olwer the traverse speed at a given power density, the more the compressive residual stress values are increased due to an increase in the input heat of laser beam.

1. 서 론

일반 기계부품이나 자동차부품 및 항공기 부품에 이르기까지 부품의 내구성과 수명 연장을 위해 최근에 실용화가 이뤄지고 있는 레이저 비임을 이용한 표면경화처리는 처리시간이 빠르고 자동화가 가능하여

고품질의 대량처리가 용이하다. 그리고 형상이 복잡하고 정밀한 부품에 대하여 요구하는 부위의 국부적 처리가 가능하고 레이저 시스템의 정밀제어가 가능하여 실린더 라이너의 안쪽벽면에 선택적인 경화효과를 얻을 수도 있다. 레이저 비임에 의한 표면경화 처리인 자료는 비임직경, 출력밀도, 조사속도, 표면코팅재,

비임특성 등이 있으며 이러한 처리조건에 따라 부품의 요구되는 경화특성을 자유자재로 얻을 수 있다^{11)~10)}. 레이저 표면경화처리에서 레이저 비임과 부품재료와의 상호작용은 비임의 단위 시간당 조사되는 거리와 단위면적당 비임의 입열량의 적절한 조절을 통하여 재료의 요구되는 물성치에 따라 적절히 조절이 가능하다. 이러한 레이저 표면경화처리는 고열원의 레이저 비임에 의해 A₃ 이상의 고온으로 가열되어 오스테나이트화된 후 내부의 기지에 의한 순간 급랭효과로 자기퀵칭이 이뤄지며 동시에 경화처리 표면부는 체적 팽창을 일으키는 마르텐사이트 변태를 수반한다. 이러한 마르텐사이트 변태와 레이저 열원이 조사되는 시료의 표면부에 형성되는 잔류응력으로 인해 표면부는 고경도와 강인성을 나타내어 부품의 기계적 성질을 향상시키는 주요인으로 작용하고 있는 것이다^{11)~15)}. 레이저 표면경화처리후 표면경화부에 형성되는 잔류응력 상태는 열적구배, 재료의 물성치, 기계적 성질 등에 의해 결정되어지며 깊이방향으로 레이저의 출력 밀도, 조사속도, 냉각속도 등에 따라 큰 변화폭을 나타낸다¹⁶⁾. 그리고 표면경화부에 잔류하는 응력값은 일반 중탄소 저합금강에서는 -200MPa~500MPa 범위로 나타나며 이러한 압축잔류 응력의 분포는 부품의 내구성과 피로특성을 향상시키는 주요인으로서 부품의 수명 연장을 위해서는 필수적인 요건으로 작용하고 있는 것이다.

본 연구에서는 중탄소 저합금강인 AISI 4140을 시료로 사용하여 비임직경을 5mm로 일정하게 유지하고 출력밀도 및 조사속도를 각각 달리 변화시켜 레이저 표면경화 처리를 실시한 후 현미경 조직관찰과 경도 분포 특성을 고찰하고 표면경화부에 형성된 압축잔류응력의 세기를 측정하여 레이저 경화인자에 따르는 잔류응력의 변화를 규명하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1 시료

본 연구에 사용된 시료는 일반적으로 상용되는 중

탄소 저합금강인 AISI 4140이며 8mm×20mm×30mm 판상크기를 시험편으로 사용하였으며 시료의 화학조성은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of specimen. (wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.40	0.25	0.85	0.02	0.01	1.03
Ni	Mo	Cu	V	Al	
0.05	0.17	0.08	0.01	0.09	

2.2 표면코팅

일반적으로 금속표면에 레이저 비임을 조사시 90% 이상 반사되고 10% 미만의 극히 적은 양의 비임만 흡수된다^{11),3)}. 이는 금속표면이 적외선 전자기방사의 흡수성(absorptivity)이 좋지 않기 때문이다. 금속표면의 레이저 비임의 흡수율과 반사율은 식 (1)과 같다.

$$Ra = 1 - R \quad (1)$$

여기서 Ra는 흡수율(absorption ratio)이고 R는 반사율(reflection ratio)이다. 따라서 에너지를 보다 효과적으로 사용하기 위하여 금속표면에 비임 흡수재를 코팅시켜야 한다. 이러한 금속표면의 코팅에 따른 흡수코팅은 ① 파장이 10.6 μ m인 레이저 비임을 잘 흡수하며, ② 열전도율이 좋고 열분해되기 어려울 것이고, ③ 금속과의 밀착성이 좋고 균일하게 코팅하기 쉬워야 하며, ④ 레이저 표면경화 처리후 제거하기 쉬워야 하는 등의 조건에 적합해야 하며 보통 흡수성이 뛰어난 인산망간(Mn₃(PO₄)₇), 인산아연(Zn₃(PO₄)₂) 등을 화학코팅시키거나 흑연(graphite, C)분말, 산화규소(SiO₂)분말, 흑색페인트(black paint)를 분무식으로 코팅시켜 사용하고 있다^{2),6)}. 따라서 레이저 표면경화 처리시 시료 표면의 레이저 비임에 대한 흡수율을 증가시키기 위해 공업적으로 많이 사용되는 흑색 페인트를 시료표면에 2회 반복하여 균일하게 코팅하여 레이저 표면경화 처리를 하였다. 코팅하기 전의

전처리로서는 시료표면의 산화막과 불순물을 제거하기 위하여 20분간 아세톤 용액에서 초음파세척을 하였다.

2.3 실험장치

본 연구에 사용된 레이저 표면경화 실험장치는 Rofin-Sinar(Rs) 840의 연속출력파(continus wavelength) 및 정격출력 4kW의 횡류방식(traverse flow type) CO₂ 레이저 장치이며 발진기(resonator)에서 출력되어 나온 파장 10.6 μ m의 CO₂ 레이저 비임이 시료표면에 도달하기까지의 비임의 통과와 초점거리 등을 나타낸 밀러 시스템은 Fig. 1에 나타낸 바와 같고 발진기의 특성은 Table 2와 같으며 측정된 시료의 표면으로부터 초점높이는 15mm이었다. 레이저 표면경화 처리용 시편은 X-Y테이블에 고정하여 조사속도를 달리하면서 실시하였으며 시편 표면의 산화방지와 플라즈마 제거를 위해 사용되는 차폐가스

(shielding gas)로는 아르곤 가스를 사용하였다.

Table 2. Characteristics of 4kW resonator.

Resonance type	GAS FLOW		Three-axis perpendicular intersection flow type
	Discharge type		DC Discharge
	GAS	Composition	He:N ₂ /O ₂ :CO ₂ =53.9:28.3:2.8
Volume of consumption		85 l /hour	
Power characteristics	Rating power	4000 watt	
	Power wave	CW	
	Stability	± 2%	
Beam characteristics	Mode	multi mode	
	Beam diameter	41 mm	
	Radiation angle	3 mrad	

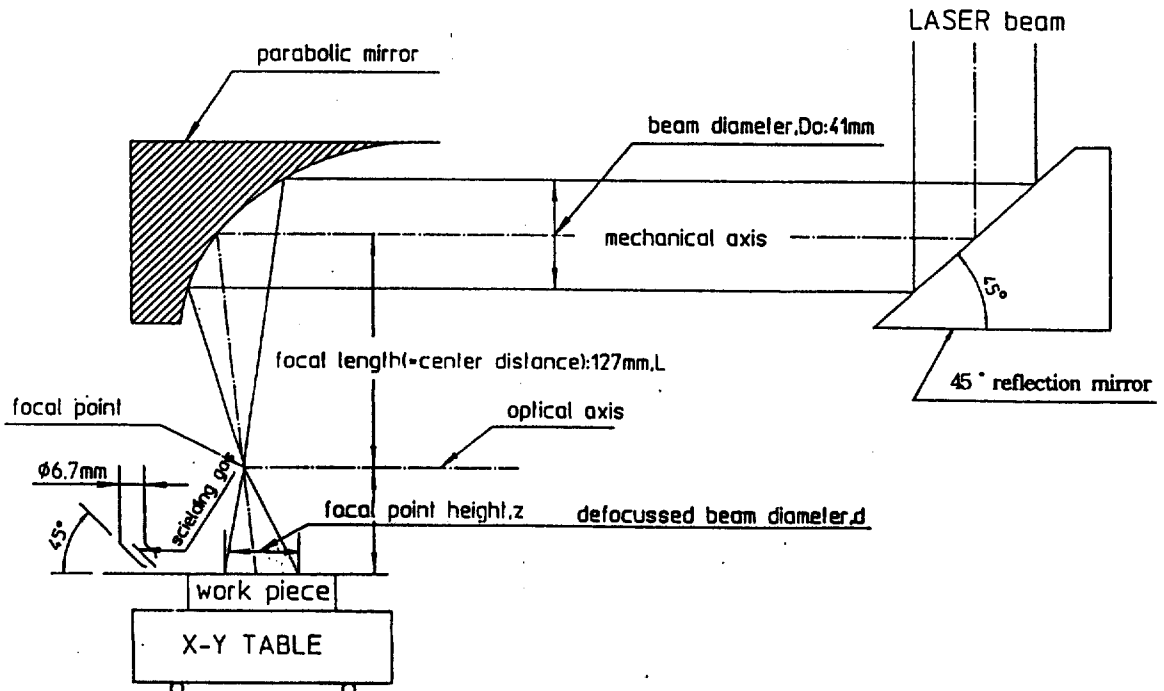


Fig. 1 Experimental set up using parabolic mirror.

2.4 레이저 표면경화 처리조건

레이저 표면경화 처리조건은 표면경화처리가 가능한 조건인 용융이 일어나지 않는 범위내의 비임조건으로 한 것이며, Table 3에 나타낸 바와 같이 비임 직경은 일정하게 하고 출력밀도 변화와 조사속도의 변화를 유도하여 실험을 행하였으며 레이저 비임 모두드는 사각형 비임 모드(rectangular beam mode)를 적용하였다.

Table 3. Chemical composition of specimen. (wt.%)

specimen	power density (w/cm ²)	traverse speed (m/min)	defocussed beam diameter(mm)
AISI 4140	4076, 6114, 8153	1.5, 2.0, 2.5,	5.0

2.5 현미경 조직 관찰

레이저 비임으로 조사된 시편 표면경화부의 미세조직을 관찰하기 위해 2% nital로 부식시킨 후 광학현미경(optical microscope, Nikon NEC-5)을 사용하여 관찰하였으며 압축 잔류응력의 세기에 영향을 미치는 표면경화부의 마르텐사이트의 미세조직을 관찰

하기 위해 주사전자현미경(scanning electron microscope, HITACHI, S2400)을 사용하였다.

2.6 단면경도 시험

레이저 비임으로 조사된 시편의 단면경도 측정을 위해 시료표면을 0.3 μ m 알루미나 분말로 정마(polishing)한 후 미소 비커어스 경도시험기(micro Vickers hardness tester, Matsuzawa KVKE)를 사용하여 하중 300g으로 고정하고 경화부 최외표면으로부터 중심부에 이르기까지 0.05mm 간격으로 측정하였다. 경도 측정 후 표면경화부의 경도치가 시편의 최외표면으로부터 Hv=450의 경도치를 나타내는 깊이까지를 유효경화깊이(effective case depth)로 설정하였다.

2.7 잔류응력측정

본 연구에 사용된 잔류응력 측정기는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 X-선 회절법(X-ray diffractometer)을 이용한 응력측정기(X-ray residual stresses measurement, RIGAKU, MSF-2M)이며 시편은 각도계(goniometer) 하단의 턱지그에 고정시켜 정위치한 후 정렬지그(alignment jig)로 시편의 좌,우 방향

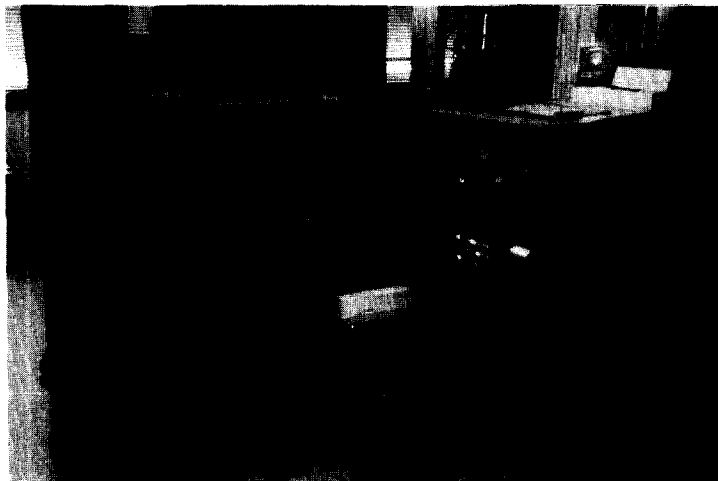


Fig. 2 Experimental set up using measurement system of residual stresses.

으로 이동시키면서 응력을 측정하였다. Fig. 3은 응력이 존재하는 시료표면의 응력에 대한 함수관계를 도시한 것으로서 시료표면에서의 주응력 방향을 σ_1 , σ_2 , σ_3 이라고 할 때 OC방향의 응력 σ_ψ 를 측정하면 표면에 수직인 σ_3 는 0이 된다. Fig. 4는 X-선 회절법에 의한 시료표면의 응력측정에 대한 개략도를 나타낸 것으로서 응력측정 부위는 레이저 표면경화 처리된 경화부 ($5\text{mm} + a\text{mm}$, a : 열영향부)의 중심선에서 좌,우 방향으

로 하였으며 응력측정치는 X-선 회절기의 비입 입사각(X-ray incident angle, ψ)을 0° , 15° 및 30° 로 하여 평균치로 측정하였다. Table 4는 응력측정기의 특성과 사용조건을 나타낸 것이다.

Table 4. Specification of X-ray residual stress measurement

goniometer	optical system : parallel beam method
	focus-to-sample distance : 110mm
	filter(for $K\beta$) : Ni
	setting system : optical reflection system
X-ray tube	target : Cu
	output : max. 30kv, 10mA
	effective focus : $4 \times 4\text{mm}^2$
controller	2θ scan system : step scan
	2θ feed speed : $64^\circ/\text{min}$
	ψ presrtting : $0^\circ \sim 30^\circ$ in steps of 15°
X-ray generator	tube voltage : 30kv
	tube current : 8mA
	stability : $\pm 0.1\%$

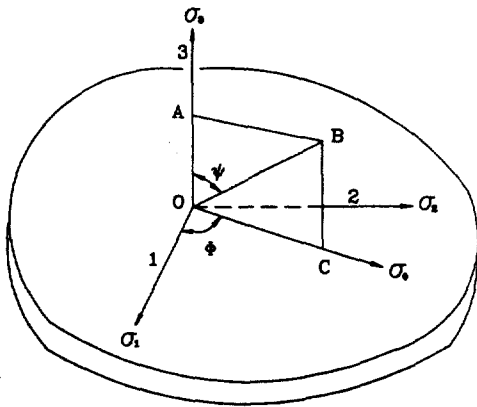


Fig. 3 Stresses at surface of a stressed body ($\sigma_3=0$, the stress to be measured is σ_ψ).

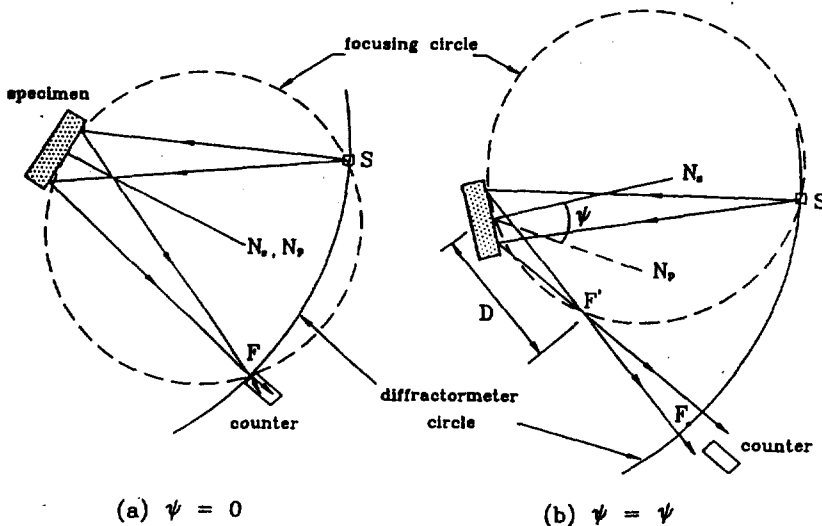


Fig. 4 Use of a diffractometer for stress measurement (N_s =normal to specimen surface, N_p =normal to reflecting planes)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 현미경조직

시료표면의 레이저 표면경화 특성을 고찰하기 위하여 2.0m/min의 주어진 조사속도와 8153w/cm²의 출력밀도에 따른 AISI 4140의 레이저 표면경화 처리 후 광학현미경 조직을 Fig. 5에 나타내었다. 시료의 표면경화부와 내부(substrate)와의 조직비교를 위해 저배율과 고배율로 각각 관찰한 것으로서 시료의 표면 끝단부와 인접한 (a)부위의 경우 단위면적당 입열되는 고열원의 레이저 비임양은 극도로 높고 0.1~1초의 순간적인 상호작용 시간(interaction time) 동안

안 A₃ 이상의 오스테나이트온도로 가열되어 냉각되어 있는 내부에 의해 자기퀵칭되는 효과에 의한 전형적인 마르텐사이트의 조직으로 나타남을 알 수 있으며 판상 마르텐사이트(plate martensite)와 유사한 마르텐사이트 조직이 나타남을 알 수 있다. 또한 순간적인 가열-냉각 과정으로 인하여 오스테나이트의 유지시간이 짧고 급격한 변태과정이 일어나 미량의 잔류오스테나이트도 나타남을 알 수 있다. 레이저 비임의 열원의 영향이 표면보다 못미치는 경화부 안쪽 부인 (b)지점에서는 미세한 라스 마르텐사이트(lath martensite)가 나타나며 미량의 미고용된 복합 탄화물도 분포하고 있음을 알 수 있다. 레이저 비임에 대

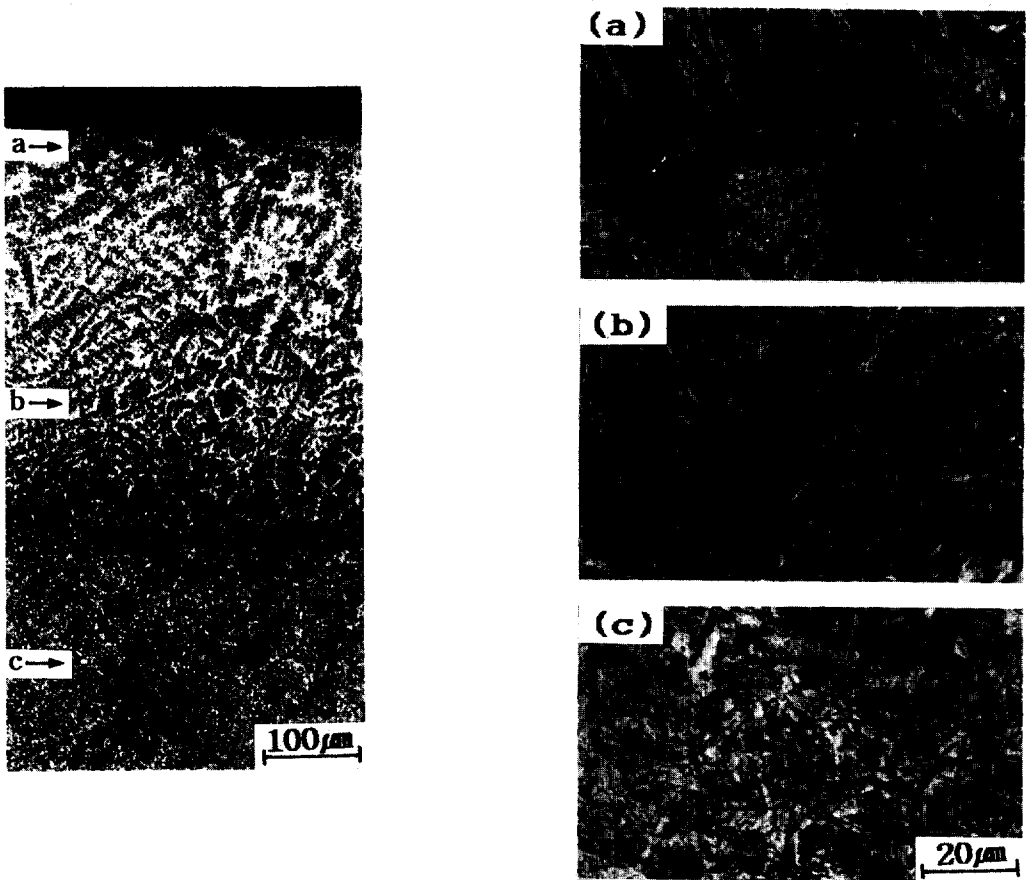


Fig. 5 Optical microstructures of AISI 4140 coated with black paint and laser surface hardened for power density of 8153w/cm² and traverse speed of 2.0m/min. : (a) outside hardened zone, (b) inside hardened zone and (c) substrate.

한 열영향이 전혀 미치지 못하는 기지인 (c)에서는 펄라이트와 페라이트로 구성되며 전반적으로 레이저 표면경화부와 기지와의 뚜렷한 조직적 차이를 알 수 있다. 이는 레이저 표면경화가 가능한 시료와 비입의 상호작용 시간이 0.1~1초인 최단시간으로 최표면층에만 레이저 열원을 가하여 내부로의 열확산변태를 억제시키기 때문이다^{1),2),17)}.

3.2 경도특성

6114w/cm²의 동일한 출력밀도에서 1.5m/min~2.5m/min의 조사속도의 변화조건에서 레이저 표면경화 처리된 AISI 4140의 단면경도 분포곡선을 Fig. 6에 나타내었다. 여기서 Hv=450지점을 유효경화깊이로 설정해 보면 조사속도의 감소에 따라 0.25mm에서 0.55mm로 현저히 증가함을 알 수 있다. 1.5m/min~2.5m/min의 조사속도가 증가할수록 최표면부의 단면경도 분포는 Hv=670에서 Hv=630으로 감소하는 것으로 나타났는데 이는 시료의 최표면부에 단위 면적당 입열되는 레이저 비입의 입열양이 동일한 출력밀도에서 조사속도가 증가함에 따라 감소하기 때문에 최표면층의 복합탄화물의 고용이 감소하고 표면층의 변태 경화능이 높은 조사속도하에서 감소하여 경도치가 감소된다고 생각된다.

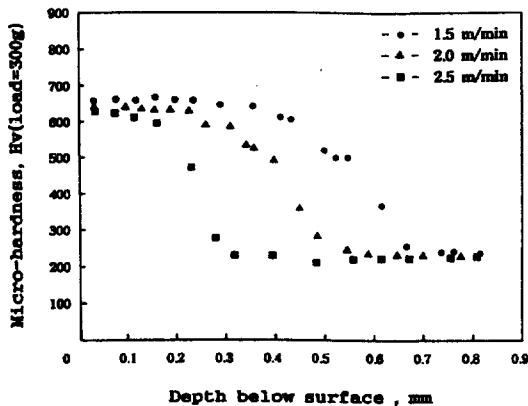


Fig. 6 Relation between hardness and depth below surface of AISI 4140 coated with black paint and laser surface hardened for different traverse speeds with a power density of 6114w/cm².

Fig. 7은 2.0m/min의 동일한 조사속도하에서 출력밀도를 4076w/cm²에서 8153w/cm²로 증가시켜 레이저 표면경화 처리된 AISI 4140의 단면경도 분포곡선을 나타내었다. 최표면층의 경도는 4076w/cm²의 Hv=635에서 8153w/cm²의 Hv=670으로 현저히 증가하는데 이는 시료의 최표면부에 단위 면적당 입열되는 레이저 비입의 입열양이 동일한 조사속도하에서 출력밀도가 증가함에 따라 증가하기 때문에 최표면층의 복합탄화물의 고용이 증가하고 표면층의 변태 경화능이 고출력 밀도하에서 우수하여 경도치가 증가됨으로 사료된다. 일반적으로 경도분포 곡선이 기지에 가까운 심부에서 급격하게 감소하는 현상이 나타나는 것은 레이저 표면경화 처리의 잇점인 최단시간내의 시료표면 가열을 통한 급속 자기냉각효과로서 이는 레이저 열원이 시료와의 상호작용시간이 짧아 레이저 열원이 시료에 흡수되어 가열되는 용량이 충분하지 못하여 경도치가 급속히 감소한다.

3.3 잔류응력특성

잔류응력 측정은 측정 상수(parameter)가 입력된 컴퓨터본체 측정시스템에 의한 X-선 회절기를 이용하여 AISI 4140의 레이저표면 경화부 중심부에서 좌,우 방향으로 각각 3.5mm까지 측정하였다.

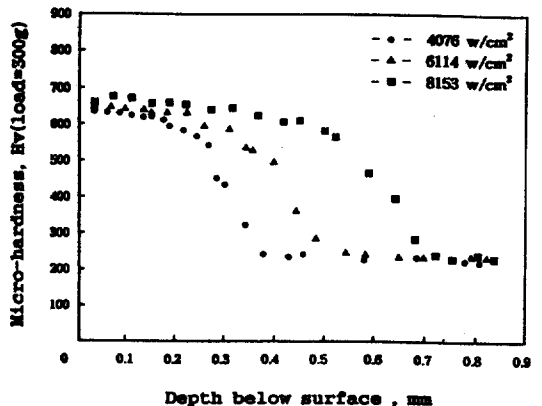


Fig. 7 Relation between hardness and depth below surface of AISI 4140 coated with black paint and laser surface hardened for different power densities with a traverse speed of 2.0m/min.

Fig. 8은 4076w/cm²의 동일한 출력밀도에서 조사 속도를 1.5m/min에서 2.5m/min으로 증가시켜 레이저 표면경화 처리한 AISI 4140의 표면경화부의 잔류응력 세기를 나타낸 것으로서, 레이저 경화부의 잔류응력치는 대부분 압축잔류응력으로 분포함을 알 수 있다. 레이저 경화부의 중심부의 압축잔류 응력치는 -130MPa~-300MPa로 나타나고 중심부에서 좌.우 방향으로 1.5mm 부위에서는 -280MPa~-400MPa 범위로 압축잔류 응력치가 나타나 경화부 중심보다

측면에서의 압축잔류 응력치가 보다 높게 나타나며 조사속도가 빠를수록 압축잔류 응력치는 현저히 감소함을 알 수 있다. 이러한 레이저 경화부 중심부보다 중심부와 레이저 비임 외곽 사이에서 잔류응력치가 높게 나타나는 이유는 고열원의 레이저 비임과 시료와의 열구배에 따라 고열원에 대한 냉각된 기지조직과의 급속한 냉각에 따르는 충분한 자기퀵칭 때문이라 사료된다.

Yang 등¹⁷⁾은 레이저 표면경화 처리시 고열원의 레이저 비임에 의한 열적응력이 온도구배와 마르텐사이트 변태를 동시에 수반하며 마르텐사이트 변태는 단위 면적당의 체적팽창을 유도하여 표면층의 압축잔류 응력 형성에 큰 영향을 나타내고 압축잔류 응력분포는 표면경화층 부위에서 높게 나타남을 제시하였다.

출력밀도 4076w/cm²의 동일한 조건에서 조사속도를 1.5m/min에서 2.5m/min으로 증가시켰을 때의 레이저 표면경화부의 중심부(A)의 주사전자현미경조직을 Fig. 9에 나타냈다. 조사속도가 증가할수록 중심부의 마르텐사이트 조직의 변화는 1.5m/min에서 침상의 조대한 형상과 격판이 심하게 어긋나기 나타나 변태가 급속히 진행됨을 알 수 있고 2.5m/min에서는 미세한 형상과 전위밀도가 높게 나타나는 라스 마르텐사이트로 나타나는데 이러한 현상은 Fig. 8에

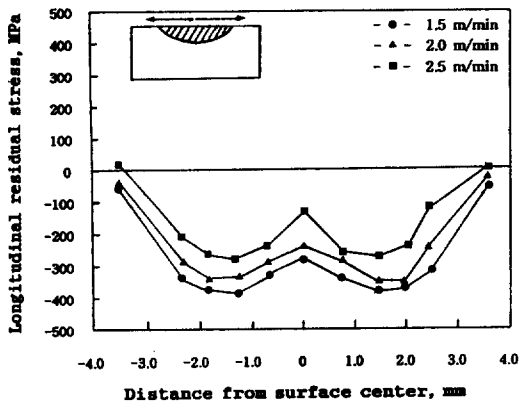


Fig. 8 Relation between hardness and depth below surface of AISI 4140 coated with black paint and laser surface hardened for different traverse speeds with a power density of 6114w/cm².

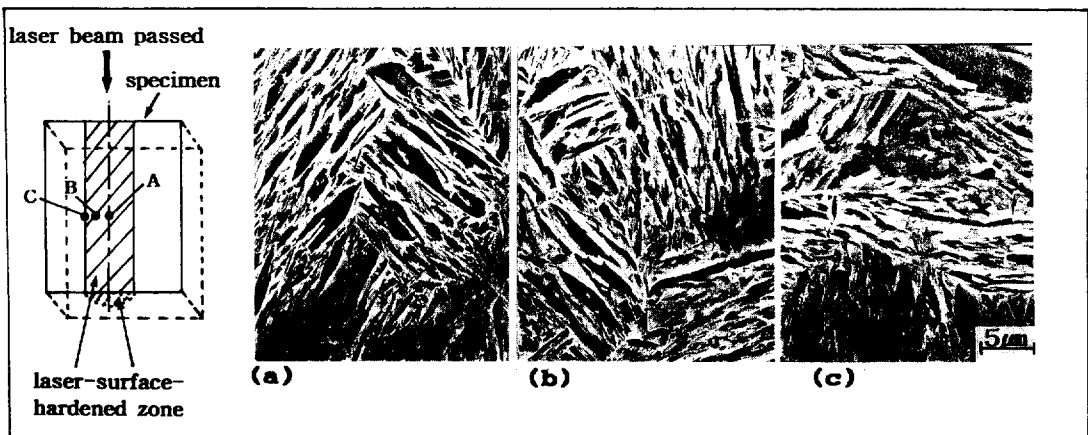


Fig. 9 Scanning electron micrographs showing the center zone (A) obtained in AISI 4140 laser-surface-hardened for different traverse speeds of (a) 1.5m/min, (b) 2.0m/min, (C) 2.5m/min at five power density of 4076w/cm².

서와 같이 동일한 출력밀도에서 중심부의 압축잔류응력치는 조사속도가 증가할수록 감소하였다. 레이저 표면경화처리시 발생하는 압축잔류 응력치는 마르텐사이트의 역학적인 생성기구에 밀접하게 관련되고 있으며 이는 Fig. 9에서와 같이 음속에 가까운 마르텐사이트 판의 성장속도가 조사속도의 증가에 따라 느려져 침상의 이글어진 마르텐사이트 판 생성을 단축시키게 되어 마르텐사이트 핵 생성을 촉진시키는 응력이 감소하게 나타난다고 사료되며, 이러한 마르텐사이트의 생성기구는 고열원의 레이저 비임에 있어 단위면적당의 레이저 비임의 입열량과 비임 강도의 세기가 시료와의 상호작용 시간이 줄어들어 상대적으로 감소하게 나타나 오스테나이트-마르텐사이트 변태시간을 단축시키게 된다.

Fig. 10은 레이저 비임이 1회 통과한 후 시료 표면 경화부의 중심부(A)와 기지와와의 경계부(C) 및 압축 잔류 응력치가 가장 높게 형성되는 층(B)에 형성된 마르텐사이트 조직을 주사전자 현미경으로 고찰한 것을 나타내었다. 압축잔류 응력치가 낮은 (A)와 높게 나타나는 (B)에서는 고열원의 레이저 비임과 시료와의 열구배의 차이와 사각비임의 에너지 분포상태 및 레이저 비임의 열확산의 역학적인 상호관계에 기인해 나타나는 현상이라 생각되며 이와 같이 볼 때 레이저 비임이 중심부를 기점으로 하여 양방향으로 열확산이 동시에 이뤄지면 좌,우측의 냉각된 기지조직에 의해

열확산 방향이 중심부쪽으로 역순하는 결과를 초래할 수 있으며 또한 냉각된 기지에 의한 자기퀘칭이 (A)보다 (B)에서 냉각속도 차이에 의해 원활히 이뤄져 응력부하가 크게 형성되는 마르텐사이트 형상의 조대화가 나타나게 됨을 알 수 있으며 이는 압축잔류 응력에 영향을 미치는 요인이 상변태와 온도구배임을 나타내는 보고¹⁷⁾와 일치하고 있다.

Fig. 11은 6114w/cm²의 동일한 출력밀도에서 조사속도를 1.5m/min에서 2.5m/min으로 증가시켜 레이저 표면경화 처리한 AISI 4140의 표면경화부의 잔류응력 세기를 나타낸 것으로서, 레이저 경화부의 중심부의 응력치는 -250MPa~-320MPa의 범위로 나타나 Fig. 9의 중심부보다 잔류응력치가 다소 증가되었는데 이는 동일한 조사속도하에서 출력밀도의 증가에 따라 열용입량이 증가하여 주위의 기지에 의한 냉각속도가 빠르게 진행되어 조대해진 마르텐사이트 변태가 일어났기 때문이라 사료된다. Fig.12는 8153w/cm²의 동일한 출력밀도에서 조사속도를 1.5m/min에서 2.5m/min으로 증가시켜 레이저 표면경화 처리한 AISI 4140의 표면경화부의 잔류응력 세기를 나타낸 것으로서, 레이저 경화부에서 좌,우 1.5mm 부위에서 최고 430MPa로 나타남을 알 수 있다. 2.0m/min의 동일한 조사속도에서 출력밀도 변화에 따른 AISI 4140의 표면경화부의 압축잔류 응력치는 Fig. 13에서 나타낸 바와 같으며 출력밀도가 증가할수록 경화

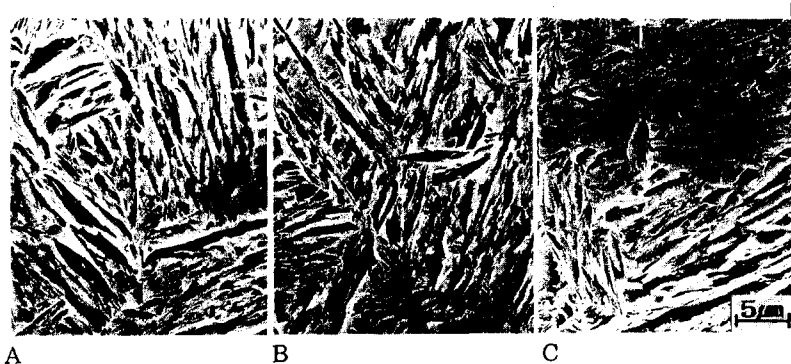


Fig. 10 Scanning electron micrographs showing the hardened zone (A,B,C) obtained in AISI 4140 laser-surface-hardened for traverse speed of 2.0m/min and power density of 4076w/cm².

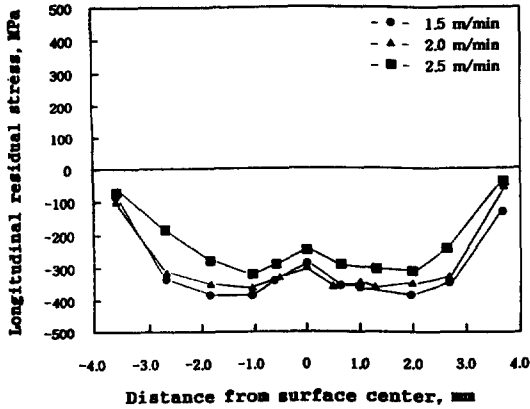


Fig. 11 Relation between longitudinal residual stress and distance from surface center of AISI 4140 coated with black paint and laser-surface-hardened for different traverse speeds with a power density of 6114w/cm².

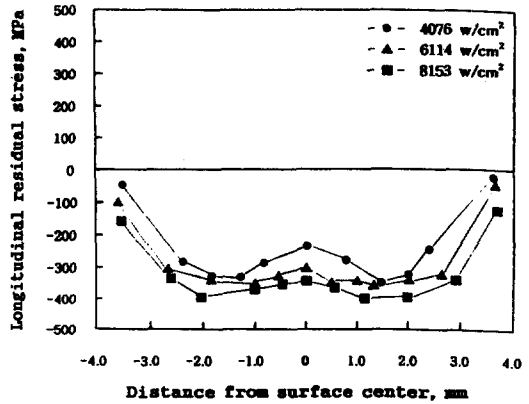


Fig. 13 Relation between longitudinal residual stress and distance from surface center of AISI 4140 coated with black paint and laser-surface-hardened for different power densities with a traverse speed of 2.0m/min.

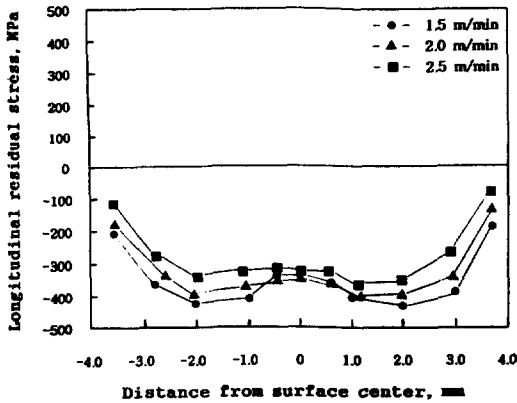


Fig. 12 Relation between longitudinal residual stress and distance from surface center of AISI 4140 coated with black paint and laser-surface-hardened for different traverse speeds with a power density of 8153w/cm².

층 각 부위의 응력치는 증가되며 열확산이 이뤄지는 열영향부 경계부위에서 -50MPa~-150MPa의 압축 잔류 응력치를 나타남을 알 수 있다.

Fig. 14는 2.5m/min의 동일한 조사속도에서 출력 밀도 변화에 따른 AISI 4140의 표면 경화부 중 중심부(A)의 미세조직을 나타낸 것으로서, 출력밀도가 증가할수록 열적구배가 커서 냉각된 기지조직에 의한 급속냉각의 자기퀵칭이 되어 마르텐사이트의 핵생성을 촉진시키는 응력이 높게 형성되어 판상 마르텐사이트의 배열이 어긋나게 나타남을 알 수 있다.

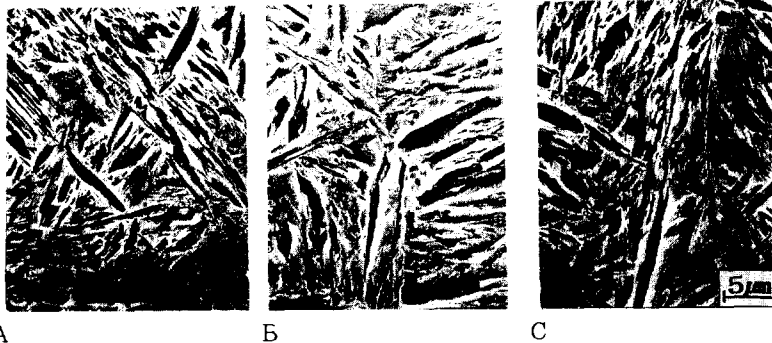


Fig. 14 Scanning electron micrographs showing the center zone (A) obtained in AISI 4140 laser-surface-hardened for different power densities of (a) 4076w/cm², (b) 6114w/cm², (c) 8153 w/cm² at given traverse speed of 25m/min.

4. 결론

CO₂ 레이저 비임의 비임 모우드와 비임직경을 일정하게 유지하고 출력밀도와 조사속도를 변화시키면서 레이저 표면경화 처리로부터 얻은 실험결과는 다음과 같다.

1. 주어진 조사속도와 출력밀도의 조건에서 AISI 4140의 현미경조직 특성은 최표면부에서 마르텐사이트의 조대화와 미량의 잔류오스테나이트의 분포로 경화부 내부에서 미세한 라스 마르텐사이트로 나타난다.
2. 2.0m/min의 동일한 조사속도에서 출력밀도의 증가에 따른 AISI 4140의 최대표면도 경도는 Hv=635에서 Hv=670로 증가하고 경도분포는 내부로 현저히 증가된다.
3. 압축잔류응력 세기는 레이저 표면경화부의 중심부에서 자기퀵칭의 냉각속도에 기인하여 낮게 나타나며 시료의 레이저 표면경화부의 중심부보다 좌,우 1.5mm 부위에서 최고치를 나타낸다.
4. AISI 4140의 레이저 표면경화부에는 급격한 열적구배와 상변태에 의하여 최고 430MPa의 압축잔류응력이 형성되고 열영향부 끝단부에서는 압축잔류응력으로 분포한다.
5. 압축잔류 응력분포는 동일한 조사속도에서 출력밀도가 증가할수록, 동일한 출력밀도에서 조사속도가 느릴수록 레이저 비임의 입열량이 늘어남으로 증가된다.

참고문헌

1. S. Mandziej, M.C. Seegers, J. Godijk: Materials Science and Technology, vol.5, no.4, pp.350~355, 1989
2. Y. Yoshida and T. Hirozane: Welding International, vol.3, no.9, pp.799~804, 1989
3. S.J. Na, Y.S. Yang: Surface and Coatings Technology, vol.34, pp.319~330, 1988

4. J.Com-Nougue and E.Kerrand: Laser Surface Treatment of Metals, pp.497~511, 1986
5. U. Kerft, J. Hoffmann, T. Hirsch and P. Mayr, Surface Engineering, vol.11, no.1, pp.61~65, 1995
6. V. Lopez, J.M. Bello, J. Ruiz and B.J. Fernandez: J. of Materials Science, vol.29, pp.4216~4224, 1994
7. K. Stanford: Heat Treatment, vol.3, pp.109~116, 1980
8. M.A. Majid, L.B. Hussain, S.K. Yaseen Alani: Surface Treatment-Solid State, ECLAT '90, pp.291~300, 1990
9. P. Merrien, H.P. Lieurade, M. Theobalt, G. Baudry, T. Puig and F. Leroy: Surface Engineering, vol.8, no.1, pp.61~65, 1992
10. A.A. Gusenkov and A.N. Ployakov: J. of Machinery Manufacture and Reliability, no.4, pp.58~62, 1990
11. Yutaka Iino and Kenji Shimoda: LAMP '87 (Laser Advanced Materials Processing), pp.329~334, 1987
12. B. Scholtes, B.L. Mordike: Residual Stresses in Science and Technology, vol.2, pp.655~662, 1987
13. R. Lin and T. Ericsson: Heat Treatment and Surface Engineering, vol.22, no.5, pp.409~414, 1991
14. Y.S. Yang and S.J. Na: Surface and Coatings Technology, pp.1~10, 1990
15. Y.S. Yang and S.J. Na: Processing Instn. Mech. Engrs, vol.204, pp.167~173, 1990
16. A. Solina, M. De Sanctis, L. Paganini, A. Blarasin and S. Quaranta: J. of Heat Treatment, vol.3, no.3, pp.193~204, 1989
17. Y.S. Yang and S.J. Na: Surface and Coatings Technology, vol.38, pp.311~324, 1989