

Nd:YAG 레이저 충격 피닝에 의한 금속표면의 잔류응력 특성 개선

양세영*, 최성대⁺, 전재목⁺⁺, 공병채⁺⁺⁺
(논문접수일 2010. 5. 26, 심사완료일 2010. 8. 4)

Improving the Residual Stress Characteristics of the Metal Surface by Nd:YAG Laser Shock Peening

Se-Young Yang*, Seong-Dae Choi⁺, Jea-Mok Jun⁺⁺, Byeong-Chae Gong⁺⁺⁺

Abstract

Laser shock peening is useful to improve fatigue characteristic of multiple number of metals and alloys. This process induces a compressive residual stress on the metal surface, and when tensile load is applied, growth of crack is delayed and which changes the characteristic of the metal surface. It is an innovative surface treatment technique for strengthening metals. Specimens of SM45C are used in this study. The effect of an inertial tamping layer on the residual stress field using laser shock peening setup and Nd:YAG laser power is evaluated. Residual stress distribution measured by X-ray diffraction. As a result of this study it can be presented that following condition of Nd:YAG laser power and inertial tamping layer parameters, compressive residual stress is generated on the surface of the SM45C. Results to experimental data indicate that laser shock peening has great potential as a means of improving the mechanical performance of the metal surface.

Key Words : Laser shock peening(레이저 충격 피닝), Metal Surface(금속표면), Inertial Tamping Layer(투명 보호층), Ablative Layer(불투명 흡수층), Compressive residual stress(압축잔류응력)

* 금오공과대학교 대학원 생산기계공학과
+ 교신저자, 금오공과대학교 기계공학부 (sdchoi@kumoh.ac.kr)
주소: 730-701 경상북도 구미시 양호동 1
++ 한국폴리텍 VI대학 컴퓨터응용기계과
+++ 한국폴리텍 IV대학 컴퓨터응용금형과

1. 서론

최근 표면처리 기술들은 값비싼 재료들에 대한 대체, 비용 절감 등 산업전반에 점점 더 중요하게 여겨지고 있다⁽¹⁾.

대부분의 피로균열이 재료의 표면에서 발생되기 때문에 표면에서의 균열발생과 초기 균열성장을 억제시킬 수 있는 표면 가공법이 원리적인 면에서 가장 효과적인 피로특성 개선책으로 생각되고 있기 때문이다.

지난 60 여 년 동안 기계요소소의 피로강도와 피로수명을 개선하기 위한 목적으로 사용되어 왔던 쇼트피닝(Shot Peening)이란 작은 쇼트 볼 입자를 피닝 될 재료의 표면에 고속으로 충돌시켜 국부적인 소성변형을 유발시키는 표면 가공법이였다⁽²⁾. 비록, 쇼트피닝이 상대적으로 비용이 안 들고 요구되어 지는 크기나 작은 영역에 사용될 수 있을 지라도 쇼트피닝은 압축잔류응력의 깊이에 있어 연질 또는 알루미늄 합금의 경우에는 0.25mm를 넘지 못하고 경질금속에는 더 제한을 가지고 있다^(3,4). 최근 레이저 충격 피닝(Laser Shock Peening)이라는 새로운 표면처리 기술로 다수의 금속 및 합금의 피로 특성을 개선하는데 유용함이 알려지고 있다. 레이저 충격 피닝을 통해 생성된 압축잔류응력은 금속 표면에 균열의 생성과 성장을 억제하여 정적, 동적 프레팅 피로(fretting fatigue) 특성과 응력부식(stress corrosion) 균열을 억제시켜 표면 상태를 개선시키는 것으로 알려져 있다⁽⁶⁻¹¹⁾. 이렇듯 레이저가 표면 특히, 금속표면의 성질을 변화시키기 위한 많은 일에 사용되어 왔다.⁽⁵⁾

이에 본 논문에서는 레이저 충격 피닝에 의한 투명 보호층과 불투명 흡수층에 따른 금속표면의 잔류응력 및 표면경도를 측정하였고 특히, 투명 보호층과 레이저 파워조건을 달리 하였을 경우 레이저 충격 피닝에 의한 금속표면에 잔류응력 특성이 어떻게 영향을 미치는지 검토하였다.

2. 레이저 충격 피닝

2.1 레이저 충격 피닝 과정

Fig. 1과 같이 고에너지 레이저 펄스 빔을 금속표면에 조사시켜 강한 충격파를 발생시킨다. 이러한 충격파를 금속표면에 전달하기 위해서, 우선 금속표면을 물로 보호하고, 또한 금속표면에 알루미늄테이프와 같은 물질을 입혀 열로 변한 에너지로부터 금속 표면에 열 영향이 나타나는 것을 막아주는 방법을 사용한다. 레이저 에너지로부터 시험편 표면에 열 영향을 받아 인장 잔류응력이 발생하는 것을 막아 주는 역할

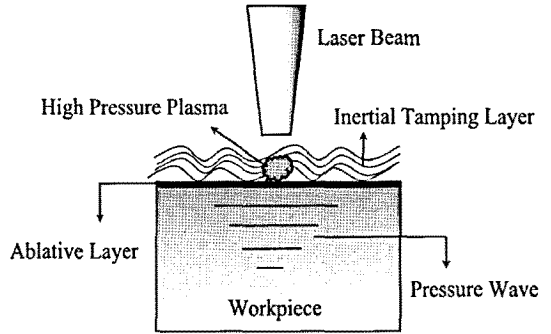


Fig. 1 Schematically principle of laser shock peening⁽¹⁴⁾

을 한다. 물속에서 재료 표면에 레이저 빔을 조사시키게 되면 물속을 통과한 레이저 빔은 금속표면이나 불투명한 층의 물질에서 흡수되고 증발되면서 플라즈마를 발생시킨다. 레이저 빔이 집속되어 생성된 플라즈마의 온도는 급격하게 상승하게 된다. 이러한 플라즈마는 금속표면에서 고에너지 밀도를 발생시켜 압력이 급격하게 올라가게 되고 이로 인한 충격파가 금속 내부로 진행하게 된다. 레이저 충격 피닝에서는 표면에 물과 불투명 보호층을 동시에 사용하거나 물만을 사용하는 경우가 있는데, 물은 플라즈마의 팽창을 막아주는 역할을 하여 플라즈마의 압력이 물을 사용하지 않을 경우에 비하여 수십에서 수백 배 정도 증가된다. 레이저 피닝 과정에서 노즐을 이용하여 물을 금속표면에 흐르게 하거나, 혹은 시험편을 수조안에 넣고 레이저 빔을 조사시킬 수도 있다. 금속표면에 입힌 불투명한 물질은 레이저 빔에 의해 생성된 고온의 플라즈마를 막아주며, 금속표면과의 열적 접촉을 막아 주어 금속종류와 무관하게 일정한 피닝 효과를 나타나게 하여준다. 일반적으로 불투명한 물질이 없는 금속표면에 레이저 빔을 직접 조사시키게 되면 고온의 플라즈마에 의해 금속표면이 변색되거나 용융층이 형성되는데, 이때 형성된 용융층은 재결정 온도 이상의 열을 금속에 가하여 피닝 효과를 감소시킨다. 금속표면에 입혀주는 보호막 층은 주로 페인트, 접착제, 금속막 등을 사용할 수 있는데 막의 두께가 얇을 경우 막이 없는 경우와 비슷하게 플라즈마 발생효과를 보인다.

2.2 레이저 충격 피닝에 의한 충격파 발생

레이저 피닝에서 금속 내부로 진행되는 충격파는 금속의 기계적 특성을 강화시켜 준다. 충격파가 금속내부로 진행하면서 금속 내부구조에 일차로 인장성 변형을 일으키고, 충격파가 사라지면서 압축 변형을 만들어 준다. 금속 내부

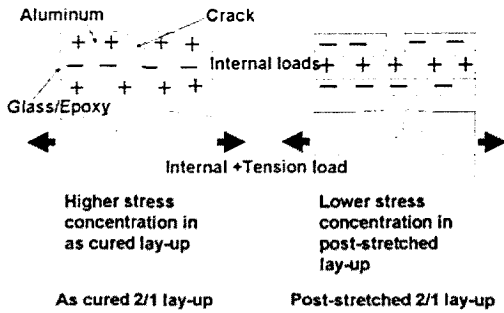


Fig. 2 Effect of residual stress in crack propagation

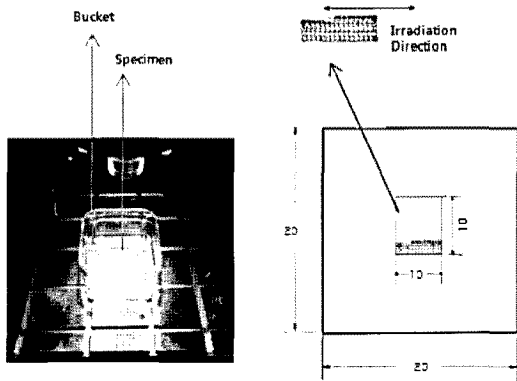


Fig. 3 Schematic of the specimen and treated area(mm)

로 진행되는 충격파는 깊이에 따라 감소하게 된다. 따라서 금속표면에 높은 압력의 플라즈마에 의한 소성변형(plastic deformation)을 일으키고, 이로 인한 Fig. 2 와 같이 금속표면에 인장잔류응력이 형성되면 인장하중을 받을 때 크랙의 전파가 용이하고 반대로 압축잔류응력이 형성되면 인장하중을 받을 때 크랙의 전파가 지연되고 압축성 잔류응력을 발생 시킴으로써, 금속표면의 특성을 변화시켜주는 표면처리 기술이다.⁽¹²⁾

3. 실험방법

3.1 시험편

본 연구에 사용된 시험편은 일반 공작기계나 금형에 사용되어지는 SM45C이다. 시험편의 크기는 Fig. 3과 같이 20×20×5mm로 제작하였고 밀링 가공한 면을 그대로 열처

Table 1 Chemical compositions of SM45C (%)

	C	Si	Mn	P	S
SM45C	0.42~0.48	0.15~0.35	0.6~0.9	≤ 0.03	≤ 0.035

Table 2 Condition of Nd:YAG Laser

Laser type	Wave length [μm]	Focal length [mm]
Nd:YAG	1.06	190

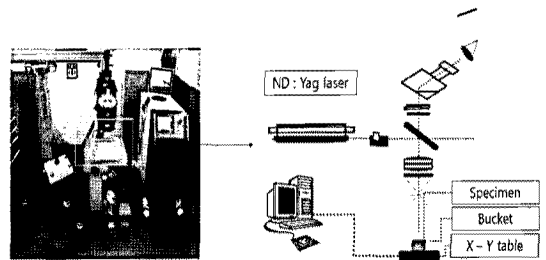


Fig. 4 Experimental setup for laser shock peening

리는 하지 않았다. 시험편은 레이저 충격 피닝 전에 불순물을 제거하기 위해 아세톤으로 표면을 세척하였다. 시험편의 화학 조성분은 Table 1과 같다.

또한, 불투명 흡수층의 크기는 20×20mm, 두께는 50μm인 알루미늄 테이프를 시험편 표면에 입혔다.

3.2 실험방법

본 연구에 이용된 Nd:YAG 레이저는 Table 2와 같이 파장은 1.06μm 이고 초점거리 190mm 인 집속 렌즈를 사용한다. Fig. 4와 같이 X-Y 테이블 위에 수조를 설치하였고 시험편은 수조 내에 잠기게 하여 X-Y 이동기의 모터구동에 의하여 레이저 빔이 시험편 표면에 조사되도록 하였다.

Nd:YAG 레이저 빔을 조사하여 실험한 결과로서 X-선 회절법(XRD)에 의한 금속표면의 잔류응력과 마이크로 경도 시험기로 표면경도를 측정하였다.

Table 3의 시험편들은 수조 내에 투명 보호층인 물에 5mm Table 4의 시험편들은 수조 내에 투명 보호층인 물에 10mm 잠기도록 하였고, 공통적으로 불투명 흡수층인 알루미늄 테이프를 시험편 표면에 입혀 레이저 빔이 10×10mm 영역에 조사되도록 하였다.

Table 3 Condition of analysis data for laser shock peening-Inertial tamping layer 5mm

Specimen	1	2	3	4
Laser power [mJ]	Untreated	120	180	220
Laser beam size [mm]		0.6	0.6	0.6
PW [ms]		1	1	1
PWM [%]		21	23	25
Pulse [Hz]		18	18	18
Inertial tamping layer-Water [mm]		5	5	5
Ablative Layer [Al-tape]		use	use	use
Meltdown [Surface]		No	No	Yes

Table 4 Condition of analysis data for laser shock peening-Inertial tamping layer 10mm

Specimen	4	5	6	7	8
Laser power [mJ]	400	410	700	2000	2200
Laser beam size [mm]	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
PW [ms]	3	4	4	4	3
PWM [%]	16	13	14	20	25
Pulse [Hz]	18	18	18	18	18
Inertial tamping layer-Water [mm]	10	10	10	10	10
Ablative Layer [Al-tape]	use	use	use	use	use
Meltdown [Surface]	No	No	Yes	Yes	Yes

3.2.1 표면잔류응력 측정

잔류응력 측정을 위해 본 연구에 사용된 방법은 X-선 회절법을 이용하였다. 엑스선 회절분석기(PANalytical, Xpert PRO)를 사용하여 잔류응력을 측정하였다. 잔류응력 측정용 스트레인 게이지의 표점거리를 재료의 격자면 간격 d 로 대신한 격자 변형률 $\Delta d/d$ 의 변화량에 기초를 두고 있다. 즉, 재료에 외력이 작용하게 되면 격자면 간격 d 가 변화하게 되어 X선 회절시 회절각 2θ 값이 변화하는 것으로부터 잔류응력을 측정할 수 있다. 이러한 방법은 재료 표면에 X 선을 조사하여 그 회절각을 측정하여 응력 산출하기 때문에 비파괴적으로 수행할 수 있고 X선 침투 깊이가 수십 μm 정도이므로 표면층의 잔류응력을 측정할 수 있으며 피측정물의 면적이 작을 때도 사용할 수 있다⁽¹³⁾.

Table 5 XRD measurement condition

Method	$\sin^2(\Psi)$
Generator voltage	40kV
Tube current	20mA
Scan range	100° to 160°
Scan step	0.02
Φ	30°
Ψ	45°
d	1.54Å (Cu/K-alpha1)

Table 6 Mechanical constants of SM45C

E	V	d_0
211.6 Gpa	0.289	1.172

3.2.2 XRD 방법

Table 5는 XRD 측정 조건을 나타내며 X선 측정방향에 따른 d 값의 변화로부터 재료의 잔류응력을 측정해내는 (1) 식과 Table 6의 SM45C 재료상수를 이용하여 표면잔류응력을 측정하였다.

$$\sigma_{\Psi} = \frac{1}{d_0} \left(\frac{\partial d_{\Psi}}{\partial \sin^2 \Psi} \right) \left(\frac{E}{1+\nu} \right) \quad (1)$$

위의 (1)식의 $\left(\frac{\partial d_{\Psi}}{\partial \sin^2 \Psi} \right)$ 는 d 와 $\sin^2 \Psi$ 선도의 기울기를 의미하며 기울기가(+)값이면 인장응력, (-)값이면 압축응력이 된다⁽¹³⁾.

$\sin^2 \Psi$ 선도를 그리기 위하여 보통 0°, 15°, 30°, 45° 의 4방향을 택하는데 45°이내방향에서 가장 안정된 조건을 찾을 수 있다. 이유는 d 와 $\sin^2 \Psi$ 선도에서 Ψ 는 시편의 기울기로서 X 선이 시편에 조사될 때 시편이 기울어져 있으면 디포커스(Defocus)가 발생하게 되어 X 선의 경로차가 발생하므로 우리가 원하는 부위의 값 이외의 정보도 얻게 된다. 이 디포커스는 시편이 많이 기울어져 있으면 더 커지게 된다. 그래서 응력 측정 시 라인 포커스(line focus)를 사용하지 않고 포인트 포커스(Point focus)를 사용하게 되는데 포인트 포커스를 사용하더라도 완전히 없어지진 않고 Ψ 가 커지면 더 커지게 된다. 또한 Ψ 가 커지면 회절 피크(Peak) 폭이 넓어지며 이때 완전히 대칭하지 않은 피크가 나올 가능성이

크다. 그렇게 되면 정확한 d 값을 결정하기 힘들며 그 오차에 따라 응력 값에 큰 오차를 유발하게 된다. 따라서 Ψ 틸트(Tilt)는 45도 이내로 하여 응력 값을 측정하였다. 0°, 15°, 30°, 45° 만 측정한 것이 아니라 측정의 편차를 최소화하고 정확한 값을 확인하고자 0~45도 까지 Ψ 틸트를 7 포인트를 측정하여 기울기를 구하였다.

3.2.3 표면경도 측정

표면경도 측정을 위해 본 연구에서는 레이저 충격 피닝을 한 시험편들의 표면경도 값을 마이크로 경도 시험기(SIMADZU, JP/HMV-2)를 사용하여 980mN의 인가하중으로 경도를 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 투명보호층 5mm-잔류응력과 표면경도 분포

레이저 충격 피닝을 한 후 취득한 시험편 표면의 잔류응력과 표면경도는 상용통계프로그램인 Minitab®을 이용하여 데이터를 분석하였다. Table 3의 시험편들을 수조 내에 투명 보호층인 물에 5mm 잠기게 한 후 레이저 충격 피닝의 변수를 달리하여 투명 보호층과 불투명 흡수층에 따른 레이저 충격 피닝 후 금속표면의 잔류응력을 X-선 회절법에 의해 측정한 결과가 Table 7과 Fig. 5와 같다.

결과에서 보듯이 레이저 충격 피닝을 하지 않은 1번 시험편은 거의 0 Mpa의 잔류응력을 나타내고 있고, 2번 시험편의 레이저 파워가 120mJ의 경우 압축잔류응력 141.1Mpa, 3번 시험편의 180mJ의 경우 압축잔류응력은 316.8Mpa이다. 4번 시험편의 220mJ의 경우 인장잔류응력 384.2Mpa이다. 4번 시험편과 같이 불투명 흡수층인 알루미늄 테이프와 시험편표면이 완전히 용융되는 부분에서는 레이저 빔의 높은 에너지의 열영향으로 인하여 높은 인장 잔류응력이 발생됨을 알았다. 레이저 충격 피닝이 되지 않은 1번 시험편과 비교 하여 보면 명확하게 잔류응력의 차이를 확인할 수 있다. Fig. 6은 1번 시험편에서 4번 시험편까지의 표면경도를 측정한 결과이다. 1번 시험편에서 3번 시험편까지는 레이저 충격 피닝을 하지 않은 1번 시험편과 거의 유사한 표면경도를 나타내고 있지만 4번 시험편과 같이 불투명 흡수층인 알루미늄 테이프 및 시험편표면이 완전히 용융되는 부분에서는 레이저 빔의 높은 에너지의 열 영향으로 인하여 높은 표면경도를 나타내고 있다.

Table 7 Surface residual stress-Inertial tamping layer 5mm

Specimen	Laser power [mJ]	Inertial tamping layer (Water) [mm]	Surface residual stress [Mpa]
1	0	0	0
2	120	5	-141.1
3	180	5	-316.8
4	220	5	384.2

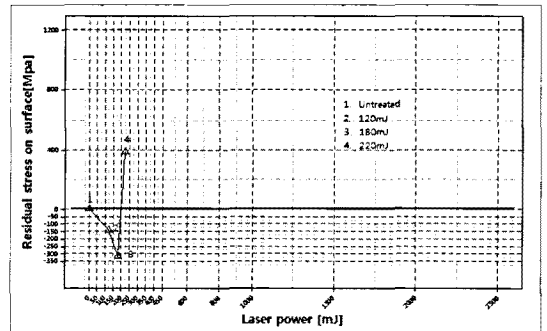


Fig. 5 Residual stress distribution of specimens on surface-Inertial tamping layer 5mm

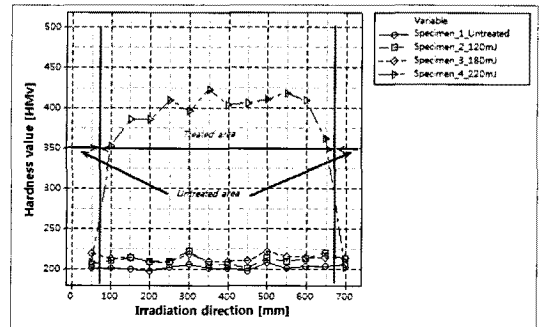


Fig. 6 Hardness distribution of specimen on surface-Inertial tamping layer 5mm

4.2 투명 보호층 10mm-잔류응력과 표면경도 분포

Table 4의 시험편들을 수조 내에 투명 보호층인 물에 10mm에 잠기게 한 후 레이저 충격 피닝의 변수를 달리하고 투명 보호층과 불투명 흡수층에 따른 레이저 충격 피닝 후 금속표면의 잔류응력을 X-선 회절법에 의해 측정한 결과가

Table 8 Surface residual stress-Inertial tamping layer 10mm

Specimen	Laser power [mJ]	Inertial tamping layer (Water) [mm]	Surface residual stress [Mpa]
5	400	10	-284.2
6	410	10	-288.5
7	700	10	531.6
8	2000	10	1085.6
9	2200	10	1174.3

Table 8과 Fig. 7과 같다. 결과에서 보듯이 5번 시험편은 레이저 파워가 400mJ의 경우 압축 잔류응력 284.2Mpa를 나타내고 있고, 6번 시험편의 레이저 파워가 410mJ의 경우 압축 잔류응력 288.5Mpa, 7번 시험편의 700mJ의 경우 인장잔류응력 531.68Mpa, 8번 시험편의 2000mJ의 경우 인장잔류응력 1085.6Mpa, 9번 시험편의 2200mJ의 경우 인장잔류응력 1174.3Mpa이다.

Table 3과 Table 4의 항목 중 용융(Meltdown)여부에 따라 시험편 표면의 압축잔류응력과 인장잔류응력이 구분되는 차이를 명확하게 확인할 수 있었다. 5번 시험편에서 6번 시험편은 불투명 테이프와 시험편표면이 용융되지 않은 상태로 압축 잔류응력이 발생됨을 알 수 있다. 그런데, 7번 시험편은 불투명 흡수층인 알루미늄 테이프와 시험편표면의 용융이 산재된 부분으로서 인장 잔류응력이 발생하였다. 특히, 8번 시험편과 9번 시험편은 불투명 흡수층인 알루미늄 테이프와 시험편표면이 완전히 용융되는 부분에서는 레이저 빔의 높은 에너지의 열영향으로 인하여 매우 높은 인장 잔류응력이 발생됨을 알았다.

Fig. 8의 경우는 5번 시험편에서 9번 시험편까지의 표면 경도를 측정된 결과이다. 5번 시험편에서 6번 시험편까지는 불투명 테이프와 시험편의 표면이 용융되지 않은 상태로 레이저 충격 피닝을 하지 않은 1번 시험편과 거의 유사한 표면 경도를 나타내었고 7번 시험편은 불투명 흡수층인 알루미늄 테이프와 시험편표면의 용융이 산재된 부분으로서 시험편의 표면경도가 상승함을 알 수 있었다. 특히, 8번 시험편과 9번 시험편은 불투명 흡수층인 알루미늄 테이프 및 시험편표면이 완전히 용융되는 부분에서는 레이저 빔의 높은 에너지의 열 영향으로 인하여 매우 높은 표면경도를 나타내고 있다.

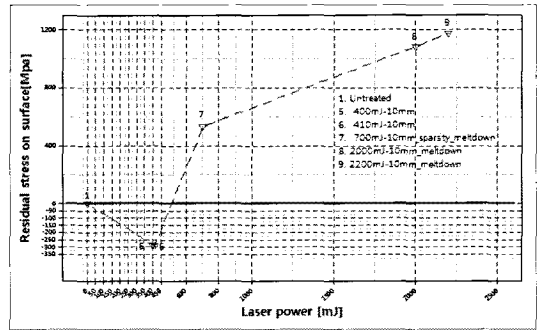


Fig. 7 Residual stress distribution of specimen on surface-Inertial tamping layer 10mm

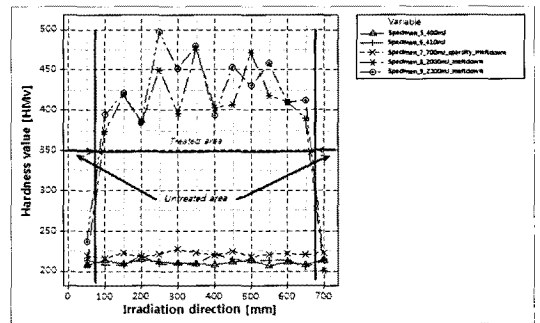


Fig. 8 Hardness distribution of specimen on surface-Inertial tamping layer 10mm

4.3 투명 보호층 5mm 및 투명 보호층 10mm-잔류 응력과 표면경도 분포비교

Fig. 9는 투명보호층인 물을 5mm와 10mm조건으로 하고 레이저 충격 피닝을 하지 않은 1번 시험편과 2번 시험편에서 9번 시험편까지 레이저 파워 조건을 달리하여 레이저 충격 피닝을 한 후 X-선 회절법으로 잔류응력을 측정된 결과를 비교하여보면 잔류응력의 차이점을 뚜렷하게 확인할 수 있었다. 레이저 충격 피닝을 한 후 투명보호층인 물의 변수를 달리하였을 경우에는 10mm일 경우가 불투명 흡수층인 알루미늄테이프가 녹지 않는 범위에서 레이저 파워를 높일 수 있었고 이것은 투명보호층인 물의 범위가 5mm조건이었을 경우보다 안정된 범위에서 사용할 수 있음을 알았다. Fig. 10의 경우 레이저 충격 피닝을 하지 않은 1번 시험편과 2번 시험편에서 9번 시험편까지 레이저 충격 피닝을 통하여 표면경도를 비교하였다. 레이저 충격 피닝을 한후 불투명 흡수층인 알루미늄 테이프 및 시험편표면이 완전히 용융되는

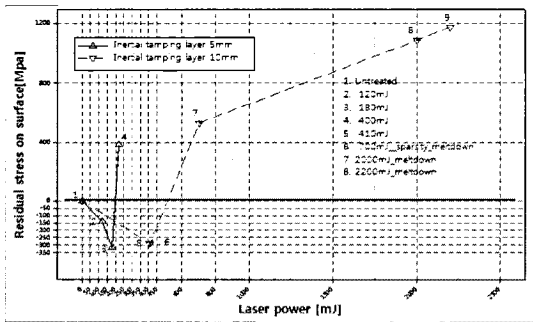


Fig. 9 Residual stress distribution of specimens on surface-Inertial tamping layer 5mm & 10mm

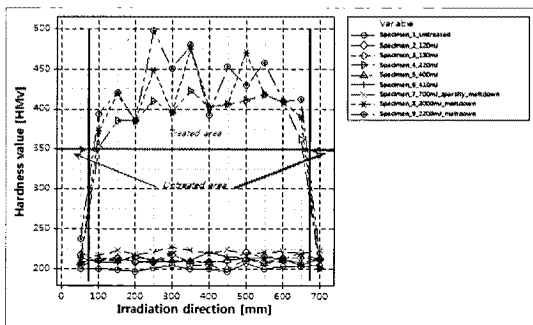


Fig. 10 Hardness distribution of specimen on surface-Inertial tamping layer 5mm & 10mm

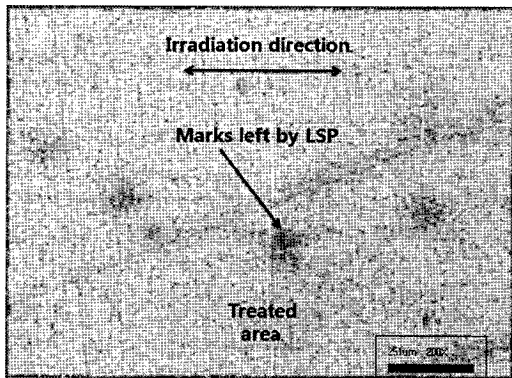


Fig. 11 Photograph of the treated surface, note the marks left by the LSP-Without meltdown

여부에 따라 시험편의 표면경도에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 투명보호층인 물과 불투명 흡수층이 알루미늄

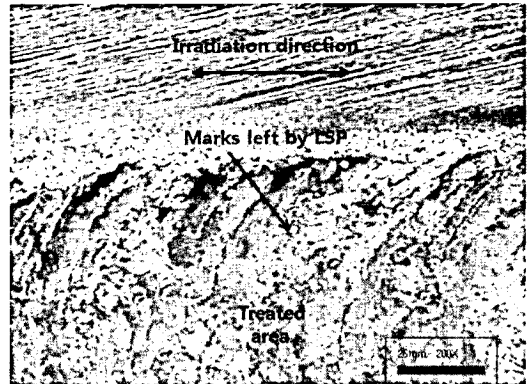


Fig. 12 Photograph of the treated surface, note the marks left by the LSP-Meltdown

테이프를 사용하여 레이저 파워를 달리하여 레이저 충격 피닝을 한 후 불투명 흡수층과 시험편표면이 용융되지 않은 금속표면의 상태를 나타내고 있다. 간헐적으로 열원이 가해졌던 상태를 알 수 있다. Fig. 12는 레이저 충격 피닝 후 레이저 빔의 높은 에너지의 열영향으로 불투명 흡수층과 시험편의 표면까지 용융되어진 금속표면의 상태를 나타낸다.

5. 결론

본 연구에서는 SM45C를 사용하여 Nd:YAG 레이저로 레이저 충격 피닝을 통해 투명 보호층과 불투명 흡수층에 따른 레이저 파워를 달리하여 금속표면의 잔류응력과 표면 경도를 측정하였고, 적절한 레이저 충격 피닝을 통해 금속표면에서 압축잔류응력이 생성되어 금속 표면상태가 개선되는 특성에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) Nd:YAG 레이저를 사용하여 시험편을 수조에 투명 보호층인 물과 불투명 흡수층인 알루미늄 테이프를 사용하여 레이저 파워 조건과 투명보호층인 물의 변수를 달리하여 레이저 충격 피닝 후 X-선 회절법으로 시험편의 잔류응력을 측정할 결과 명확한 잔류응력의 차이를 확인할 수 있었다.
- (2) 레이저 충격 피닝시 레이저 파워 조건과 투명보호층인 물을 5mm, 10mm로 달리하였을 경우에도 레이저 파워가 적절한 경우는 압축 표면잔류응력이 발생하였고 레이저 파워가 과도하여 불투명 흡수층인 알루미늄 테이프 및 시험편표면이 용융되는 부분에서는 레이저 빔의

높은 에너지의 열영향으로 인하여 인장 표면잔류응력이 발생하였다. 이것은 어느 정도 수준이상의 레이저 파워가 조사될 경우 레이저 충격 피닝의 효과가 감소됨을 알 수 있다.

- (3) 레이저 충격 피닝을 한 시험편에 따른 경도 측정결과에 따라 레이저 파워가 커질수록 시험편의 불투명 흡수층인 알루미늄테이프 및 시험편표면이 용융되는 부분에서는 레이저 빔의 높은 에너지 열 영향으로 인하여 재료표면이 불규칙하게 되었고 경도 또한 상대적으로 높게 나타났다.
- (4) 금속표면에 알루미늄테이프와 같은 물질을 입혀 열로 변한 에너지로부터 금속 표면에 열 영향이 나타나는 것을 막아주고, 인장 잔류응력이 발생하는 것을 막아 주는 역할을 하는데 알루미늄 테이프와 시험편표면이 용융됨으로 인해 시험편표면에 직접 플라즈마로 인한 상변화되는 현상이 발생하는 것으로 여겨지며 고온의 플라즈마와 함께 표면의 금속이 용융되었고 그것으로 인해 표면경도가 상대적으로 높고 또한, 인장잔류응력이 발생된 것으로 사료된다.
- (5) 금속표면에서 레이저 충격 피닝에 의한 활용가능성 및 응용분야가 넓어지고 있다. 금속 표면에 압축 잔류응력이 생성되어 금속표면상태가 개선되는 특성을 실험적으로 알았기에 레이저 충격 피닝의 프로세스 제어가 가능하도록 변수를 최적화하면서 피로손상 억제를 위해 개선된 금속표면의 상태를 확인하고, 레이저 충격 피닝으로 생성된 금속표면의 압축잔류응력이 미치는 영향을 정량화하기 위한 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 교내 학술연구비 지원과제에 의하여 연구되었습니다. 대학 당국에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Hu, Y., Yao, Z., and Hu, J., 2006, "3-D FEM Simulation of laser shock processing," *Surface & Coatings Technology* 201., Vol. 201, Issues 3-4, pp. 1426~1435.
- (2) Rhee, H. W. and Park, Y. S., 2004, "Distribution Characteristics of Residual Compressive Stresses Induced by Shot-peening in the Aircraft Structural Material," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering* Vol. 21, No. 5, pp. 149~156.
- (3) Zhang, Y. K., Ren, X. D., Zhou, J. Z., Lu, J. Z., and Zhou, L. C., 2009, "Investigation of the stress intensity factor changing on the hole crack subject to laser shock processing," *Material and Design*, 30., Vol. 30, Issues 7, pp. 2769~2773.
- (4) Montross, C. S., Wei, T., Ye, L., Clark, G., and Mai, Y. W., 2002, "Laser shock processing and its effects on microstructure and properties of metal alloys: a review," *International Journal of Fatigue* 24, Vol. 24, Issues 10, pp. 1021~1036.
- (5) Yang, S. Y., Choi, S. D., Kim, G. M., Jun, J. M., and Gong, B. C., 2010, "Characteristics of strengthening for thin metals by laser beam," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 19, No. 2, pp. 216~223.
- (6) Rubio-Gonzalez, C., Gomez-Rosas, G., Ocana, J. L., Molpeceres, C., Banderas, A., Porro, J., and Morales, M., 2006, "Effect of an absorbent overlay on the residual stress field induced by laser shock processing on aluminum samples," *Surface Science* 252, Vol. 252, Issues 18, pp. 6201~6205.
- (7) Lu, J. Z., Zhang, L., Feng, A. X., Jiang, Y. F., and Cheng, G. G., 2009, "Effects of laser shock processing on mechanical properties of Fe-Ni alloy," *Material and Design* 30, Vol. 30, Issues 9, pp. 5~8.
- (8) Braisted, W. and Brockman, R., 1999, "Finite element simulation of laser shock peening," *International Journal of Fatigue* 21, Vol. 21, Issues 7, pp. 719~724.
- (9) Hammersley, G., Hackel, L. A., and Harris, F., 2000, "Surface prestressing to improve fatigue strength of components by laser shot peening," *Optics and Laser in Engineering* 34, Vol. 34, Issues 4-6, pp. 327~337.
- (10) Yang, J. M., Her, Y. C., Han, N., and Clauer, A., 2001, "Laser shock peening on fatigue behavior of 2024-T3 Al alloy with fastener hole and stopholes," *Material Science and Engineering A298*, Vol. 298, Issues 1-2, pp. 296~299.
- (11) Chung, C. M., Baik, S. H., Kim, J. S., and Lee, S. B., 2008, "The Laser Peening Effect for Improving

- the Surface Properties of Metal,” *Journal of KSLP*, Vol. 11, No. 3, pp. 5~8.
- (12) Kim, T. G., Cheong, S. K., Kim, J. H., and Song, C. S., “A study on improvement of surface properties for titanium alloy using laser-induced shock waves,” *The Korean Society of Machine Tool Engineers Autumn Conference 2009*, pp. 226~230.
- (13) Choi, E. Y., Bhang, B. W., Son, S. K., and Cho, C. D., 2009, “A study on residual stress for Al6061 alloy by laser plasma shock peening (LPSP) process,” *The Korean Society of Mechanical Engineers Spring Conference 2009*, pp. 552~556.
- (14) Hatamleh, O., Lyons, J., and Forman, R. H., 2007, “Laser and shot peening effects on fatigue crack growth in friction stir welded 7075-T7351 aluminum alloy joint,” *International of Journal of Fatigue* 29, Vol. 29, Issues 3, pp. 421~434.