

## CO<sub>2</sub> 레이저에 의한 Ti-6Al-4V합금의 TiN 表面合金化

박상덕·이오연·송기홍\*

전북대학교 공과대학 금속공학과

\*전주공업전문대학 금형설계과

TiN Surface-Alloying of Ti-6Al-4V Alloy by CO<sub>2</sub> Laser

S. D. Park, O. Y. Lee and K. H. Song\*

Dept. of Metallurgical Engineering, Chunbuk National University

\*Dept. of Die and Mold Design, Chunju Technical College

### ABSTRACT

Ti-6Al-4V alloy are widely used in chemical and aircraft industries for their good corrosion resistance and high strength to weight ratio. Surface alloying of Ti alloy by CO<sub>2</sub> laser is able to produce few hundred micrometers thick TiN surface-alloyed layer with high hardness on the substrate very simply by injecting reaction gas(N<sub>2</sub>) into a laser-generated melt pool and adjust the hardness to the specific requirements of the individual application by changing of laser processing parameters. This research has been investigated the effect of such parameters on TiN surface-alloying of Ti-6Al-4V alloy by CO<sub>2</sub> laser. The maximum hardness of TiN surface-alloyed zone was obtained by injecting 100%N<sub>2</sub> gas and it was decreased as the amount of N<sub>2</sub> gas in Ar and N<sub>2</sub> gas mixture was decreased. As scanning speed was increased, the hardness and depth of TiN surface-alloyed zone was decreased at constant laser power. The surface hardness after double scanning laser treatment is higher than that of single scanning. At constant laser power, the surface roughness is increased after the surface alloying if laser scanning speed is decreased.

### 1. 서 론

레이저를 이용한 재료가공기술은 고출력 레이저 빔을 열원으로 이용하여 재료를 가공하는 방법으로 크게 용접, 절단, 열처리 및 표면합금화 등으로 나눌 수 있다. 금속재료의 표면합금화(surface alloy-

ing)는 종래의 표면처리 기술의 범위를 넘어 레이저, 플라즈마, 전자빔 등 새로운 기술을 이용하여 적극적으로 재료표면을 개선하는 일종의 표면개질(surface modification) 처리로서 기지금속에 내마모성, 내열성 등 필요한 성질을 부여하기 위하여 이종금속을 기지금속의 표면에 첨가시킨 후 합금층

을 형성시키거나, 반응성이 강한 가스를 기지금속과 반응시켜 새로운 성질을 갖는 합금층을 형성시켜, 기지재료 자체의 기본적인 강인성을 유지하면서 외부의 격렬한 환경에 적용할 수 있도록 하여 전체적인 합금화보다는 표면만을 합금화시키는 것이다.

Ti기 합금중 실용합금으로 널리 알려져 있는  $\alpha + \beta$ 상의 Ti-6Al-4V합금은 뛰어난 비강도, 파괴인성 및 내식성이 우수하며 310°C까지의 고온안정성을 갖고 있어 우주항공용 재료, 해수구조용 재료 등에 다양하게 응용되고 있다<sup>1, 2)</sup>. 그러나 이 재료는 철강재와 달리 티타늄 특유의 조직변화 성질 때문에 기계적성능을 현저히 개선할 수 있는 간단한 열처리 방법이 개발되어 있지 않으며, 특정한 표면 성질을 얻기 위해서는 전자빔, PVD 또는 플라즈마분사에 의하여 표면처리하여 사용하고 있다. 티타늄합금의 표면처리를 위하여 상기 방법을 적용할 경우 박막제조에는 적당하나 일정 두께 이상으로 되면 모재와 표면층의 부착성 때문에 결합력이 떨어진다<sup>3)</sup>. 또한 모재와 표면층의 계면에서 조성이 불연속적이므로 균일 가열장에서도 열물성차에 기인한 열응력 또는 잔류응력이 발생하여 계면에서 쉽게 박리되는 현상이 나타난다.

그러나 레이저에 의한 표면합금화방법은 모재와 표면층의 조성이 연속적이므로 계면문제를 최소화할 수 있어서  $\mu\text{m}$ 단위인 박막계통의 미소재료 개발과  $\text{mm}$ 단위 이상인 거시 재료개발이 가능하며, 특수 목적을 위한 복합기능을 가진 차세대 재료개발 방법에 매우 유리한 조건들을 갖고 있다. 다시 말해서 레이저에 의한 표면합금화방법은 국부적인 가열에 의해 변형을 최소화할 수 있고 복잡하고 정교한 부품의 표면처리도 가능하며 열원으로 사용하는 레이저의 출력, 집속조건 및 주사속도 등을 변화시켜 주사함으로써 금속표면에서 성분원소의 용융 및 응고조건을 조절하여 광범위한 용질원소의 변화와 합금층의 두께를 얻을 수 있다<sup>4)</sup>.

레이저 표면 합금화는 주로 저탄소강, 합금공구

강, 주철 등 구조재의 내마모성 향상을 위해서 Cr, Ni, W 등의 금속과 WC, TiC, TiN 등 탄화물을 시료표면에 피복시키든가 또는 분말입자를 첨가하여 레이저로 용착시키는 연구가 다수 보고되었다<sup>5-8)</sup>. 또한 티타늄합금의 내식성과 내마모성을 향상시키기 위하여 TiC, TiN을 합금화하거나 질소분위기 혹은 메탄가스분위기 중에서 질화물, 탄화물 등을 형성시키는 합금화 연구도 일부 보고되고 있으나<sup>9-12)</sup>, TiN 표면합금층의 형성과 기계적 특성에 미치는 공정인자의 영향에 대한 체계적인 연구결과는 아직 부족한 실정이다.

본 연구에서는 항공기 구조재로 널리 사용되고 있는 Ti-6Al-4V합금의 표면개질을 위하여 레이저빔을 이용하여 Ar과 N<sub>2</sub>의 혼합가스를 용융티타늄과 반응시켜 경도가 매우 높은 TiN 합금층을 얻고, 이때 TiN 표면합금화에 미치는 주요 공정인자인 레이저빔의 출력밀도, 주사속도, 집속조건 및 Ar과 N<sub>2</sub> 가스의 혼합비, 유량 등의 영향을 조사하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시편준비 및 실험장치

본 실험에서 사용한 시편은 일본 대동특수강에서 제조한 Ti-6Al-4V 합금으로 직경 50mm 환봉을 구입하여 실험하였으며, 화학조성은 Table 1.과 같다.

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

Al	V	C	Fe	O	N	H	Ti
6.28	4.06	0.01	0.15	0.16	0.01	0.04	bal.

일반적으로 금속표면에 조사되는 CO<sub>2</sub>레이저빔의 흡수량은 표면상태에 따라 크게 영향을 받으며 약 90% 이상 반사되고 10%미만의 극히 적은 양이 흡수된다. 따라서 레이저빔의 반사 및 흡수도를 일정하게 유지시키기 위하여 시편을 두께 6mm로 절단한 후 에머리 페이퍼 600번까지 연마하고, 아세톤

용액에서 5분간 초음파 세척하여 시료표면의 유기 물질이나 불순물을 제거하였다.

티타늄합금의 표면합금화를 위해 사용된 CO<sub>2</sub> 레이저는 Rofin-Sinar社의 RS840기종으로서 정격 출력은 4,000W, 연속파(cw)이고 레이저빔 직경은 41mm, 멀티모드(TEM<sub>mn</sub>)이었다. 레이저빔은 parabolic mirror로 집속하여 정밀하게 이동하는 X-Y 테이블에 고정된 시료의 표면에 조사되며, 이때 집속된 빔의 초점거리는 127mm이었다. 내경이 약 6mm인 구리관을 통해 취입되는 반응가스는 레이저빔과 시료표면이 접하는 위치를 향하도록 하였고, 표면처리시 시편을 알루미늄판 위에 고정시켜서 시편에 가해진 열이 알루미늄판으로 쉽게 전달되어 빠르게 냉각이 되도록 하였다.

## 2.2 레이저 표면합금화

레이저 표면합금화를 위한 실험조건은 비임모드를 일정하게 하고 레이저빔을 i) 시료표면 ii) 표면으로 부터 3mm와 5mm 위로 defocusing하여 표면합금화 하였다. 각 집속조건에서 안정한 합금층이 형성되는 조건을 알아보기 위해 레이저 출력을 0.6kW~1.6kW로 변화시키고 각 출력 조건에서 주사속도를 0.6m/min~4.0m/min으로 변화시키며 레이저처리하였다. 반응가스는 레이저빔과 30°가 되도록 취입하였으며, 또한 N<sub>2</sub>와 Ar의 혼합가스의 조성비를 달리하여 이에 따른 합금층의 형상과 경도변화를 조사하였다. 표면처리시 beam scanning 간격은 0.5mm로 하여 이전에 레이저처리된 부분과 겹치도록 하였다.

## 2.3 경도측정 및 조직관찰

표면합금화된 시편은 레이저의 주사방향과 수직으로 절단하고 다이아몬드 연마제를 사용하여 6 $\mu$ m~0.25 $\mu$ m까지 단계적으로 연마한 후 미소경도기(미국, Buehler社, micromet3)를 이용하여 100g의 하중으로 시료표면으로부터 모재경도(약 300 Hv)가 얻어질 때까지 약 25 $\mu$ m 간격으로 측정하였

다. 광학현미경 조직도 경도측정과 마찬가지로 레이저 주사방향과 수직하게 절단하여 0.25 $\mu$ m까지 정마한 후 keller시약(2HF-10HNO<sub>3</sub>-88H<sub>2</sub>O)으로 부식시켜 관찰하였다.

## 2.4 X-선 회절시험 및 EPMA 분석

레이저처리 후 형성된 합금층의 TiN형성 여부를 확인하기 위하여 레이저처리한 시편과 레이저처리하지 않은 시편을 준비하여 X-ray 회절분석을 하였다. 회절분석은 RIGAKU社의 III/A형 모델을 사용하였으며, target은 Cu, filter는 Ni를 이용하여 30°~90°의 회절각(2 $\theta$ )까지 측정하였다.

1회 레이저처리한 경우와 2회 레이저처리한 경우의 합금층에 생성된 dendrite의 형상을 비교하고, 이러한 조직들의 위치에 따른 합금원소 Al과 V의 농도분포를 조사하기 위하여 EPMA(JEOL, JXA-8600)를 이용하여 정량분석하였다.

## 2.5 표면거칠기 측정

레이저 표면합금화 후 합금층의 표면을 관찰하면 마치 용접부와 같이 미세한 물결무늬가 나타난다. 따라서 시편 표면의 굴곡이 심할 경우 제품의 성능에 좋지 못한 영향을 미치므로 표면거칠기 또한 제어할 필요가 있다. 합금층의 표면거칠기는 Surf-test 201(Mitutoyo社)을 사용하여 레이저 출력과 주사속도의 변화에 따른 중심선평균 거칠기(R<sub>a</sub>) 및 최대높이거칠기(R<sub>max</sub>)를 측정하여 비교하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 TiN 합금층의 형성과 조직

Fig. 1(a)는 반응가스를 공급하면서 티타늄의 표면에 레이저빔을 조사시킬 때 일어나는 표면반응부의 개략도이다. 티타늄의 표면에 CO<sub>2</sub>레이저빔이 조사될 경우 표면에 도달한 레이저빔의 대부분은 반사되고 약 10% 정도 흡수된다.

표면에 흡수된 레이저광이 열로 전환되어 시편의

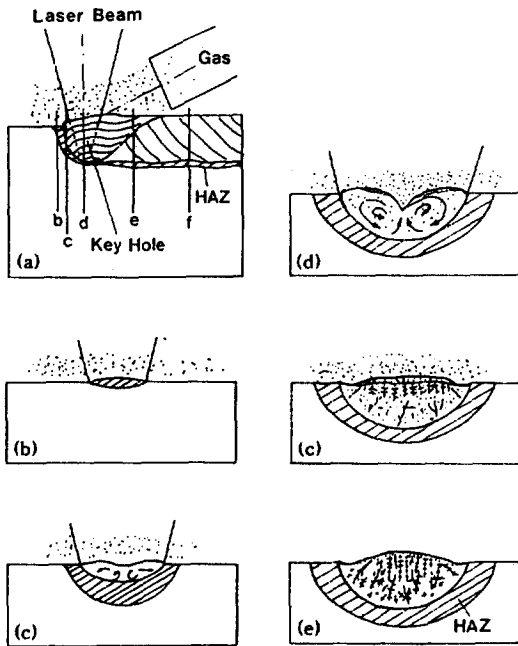


Fig. 1 The schematic profiles for laser surface alloying process.

체적을 변화시키면 Fig. 1(b)와 같이 표면이 용기되며 열영향층이 생겨 가스와의 반응성이 증가하게 된다. 레이저빔의 강도가 높아 표면을 용융시킬 수 있을 정도가 될 경우 Fig. 1(c)와 같이 표면의 일부가 녹으면서 중심부에서 바깥쪽으로 용융된 티타늄이 용탕안에서 대류하게 되며, 반응가스를 공급할 경우 가스의 용해도와 반응도가 급격히 증가하여  $N_2$  가스를 공급할 경우  $2Ti + N_2 \rightarrow 2TiN$ 의 화학반응으로 표면층에 dendrite형상의 TiN 화합물이 형성된다(Fig. 1(d)). 이때 형성된 화합물의 일부는 용탕의 윗 부분에 부유하면서 반응가스와 레이저빔의 일부를 차단시킨다. 레이저빔이 더 이상 조사되지 않을 경우 화학반응의 생성물은 용점의 차이 때문에(용점이 티타늄의 용점보다 높을 경우) 위에서부터 아래쪽인 [100] 방향으로 모재보다 더 빨리 응고되며, 용융된 모재는 아래에서 윗쪽으로 응고하게 된다(Fig. 1(e)). 용융된 모재의 응고시 반응가스의 농도가 높은 부위는 다시 티타늄과 반응하여 입상이나 막대상 또는 판상의 TiN을 형성시키

며(Fig. 1(f)), 레이저 처리 후 표면부는 표면합금화층(TiN층)과 열영향부로 나누어지게 된다.

Ti-6Al-4V 합금에  $N_2$  가스를 취입하여 레이저 표면합금화한 표면을 육안으로 보면 TiN 형성시 나타나는 전형적인 황금색의 표면이 관찰되었다. 표면층에 형성된 dendrite가 TiN 화합물인지를 확인하기 위하여 출력 0.6kW, 주사속도 0.8m/min, 100%  $N_2$ , 30 l/min의 조건에서 레이저처리한 시편에 X선 회절시험한 결과를 레이저처리하지 않은 시편과 비교하였다. Fig. 2(a)의 레이저처리하지 않은 시편에서는 주로  $\alpha$ -Ti 회절피크만이 측정되었는데 이 이유는  $\alpha + \beta$  Ti인 Ti-6Al-4V 합금에서  $\beta$

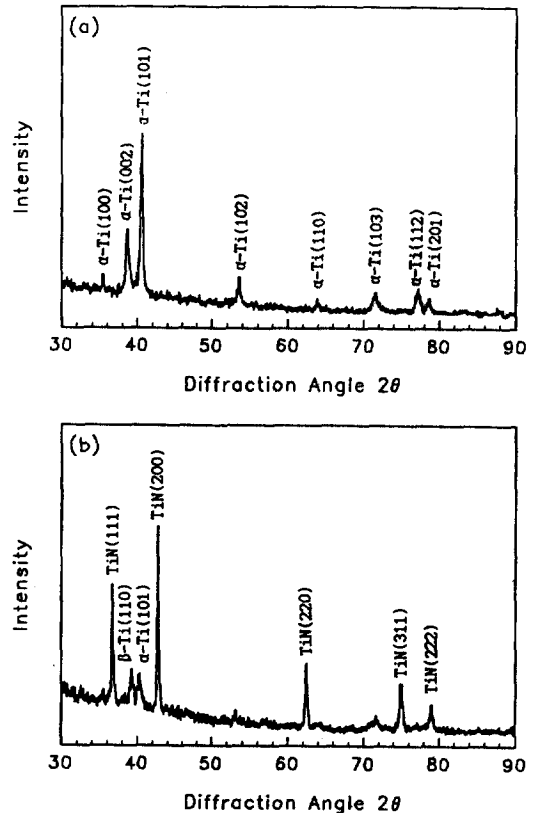
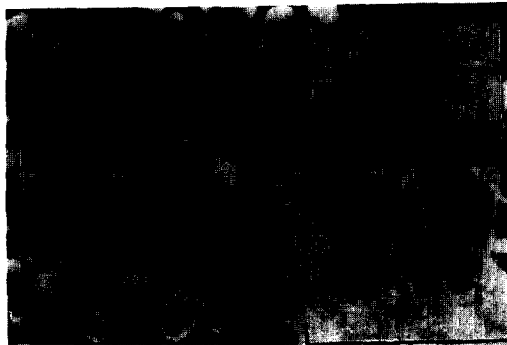


Fig. 2 X-ray diffraction patterns of surface-alloyed zone.  
 (a) substrate  
 (b) Surface alloyed zone(0.6kW, 0.8m/min, 100%  $N_2$ , 30 l/min)

-피크는 열처리 온도가 약 800~1,050°C사이일 경우 뚜렷하게 나타난다는 연구결과를 뒷받침 해준다<sup>14)</sup>. 그러나 레이저처리한 시편은 Fig. 2(b)에 나타난 것처럼 (111), (200), (220), (311), (222) 면의 TiN 회절피크가 측정되었다. 이로써 합금층에 형성된 dendrite가 TiN임을 알 수 있었다.

Photo. 1(a)는 출력 0.6kW, 주사속도 0.8m/min, 100%N<sub>2</sub>, 유량 30 l/min의 조건에서 레이저처리한 시편의 표면부위 주사전자현미경 조직사진이다. Al과 V의 분포를 알아보기 위해 EPMA에 의하여 선분석한 결과, 사진상에 나타난 것과 같이 Al과 V이 모두 dendrite 사이에서는 높은 피크가 나타났고 dendrite내에서는 낮게 나타났다. 이들 용질원자들의 양을 보다 명확히 알아보기 위해 dendrite (a)와 dendrite사이(b)를 정량분석하여 Table 2와 같은 결과를 얻었다. 1회 레이저처리와 2회 레이저처리 모두 증기화한 원소량을 고려하지 않고 Table 2에 나타난 분석결과만을 가지



**Photo. 1** Microstructure and line profile of TiN surface - alloyed zone by EPMA(0.6 kW, 0.8m/min, 100%N<sub>2</sub>, 30 l/min).

**Table 2.** Quantitative analysis of point (a) and (b) at Photo. 1.

point \ element(wt%)	Al	V
matrix	6.280	4.060
(a)	2.991	3.530
(b)	6.378	5.779

고 판단할 경우 용질원자 Al과 V의 농도가 dendrite내에서는 낮고 dendrite 사이에서는 높게 나타났다. 그 이유는 레이저처리시 dendrite의 TiN이 형성될 때 용점차이(Ti와 TiN)와 모재에 의한 급냉으로 가파른 온도구배가 발생되며, 이때 생긴 온도구배는 조성적 과냉을 일으켜 dendrite의 첨단에 밀려난 용질원자들이 dendrite 사이에 농축되는 것으로 생각된다.

### 3. 2 Beam focusing의 영향

레이저 표면처리시 출력밀도(Intensity,  $I=P/A$ )에 따라 합금층이 형성되는 양상을 알아보기 위해 0.8kW, 0.8m/min, 100%N<sub>2</sub>의 조건에서 레이저빔의 초점을 시료표면으로부터 수직방향으로 상승시키며 레이저빔을 조사시 레이저빔 전용측정장치(독일 PROMETEC社의 LASER-SCOPE UFF-100)를 이용하여 시료표면의 출력밀도를 측정하였다. Fig. 3의 (a), (b), (c)는 각각 레이저빔의 초점이 시료표면, 시료표면으로부터 3mm, 5mm 위치에서의 출력밀도의 분포를 나타낸 것으로서 (a)의 경우 시료표면에 주사되는 빔의 면적(A)이 작으므로 출력밀도가 높으나 (b), (c)로 갈수록 빔의 면적이 넓어져서 출력밀도가 감소한다.

Photo. 2와 Fig. 4는 위 조건들에 대한 조직사진과 경도분포를 나타낸 것이다. Fig. 3의 출력밀도와 비교하면 레이저빔의 초점을 시료표면에 위치시킨 Fig. 3(a)는 표면합금화시 레이저빔이 용융금속내로 깊숙히 침투하여 다중반사되므로 빔의 흡수율이 크게 증가하여 Photo. 2(a)와 같이 합금층이 넓고 깊게 형성된다. 이 조건에 대한 경도분포인 Fig. 4(a)에서 최고 경도값이 약 880Hv, 경화깊이 1,500μm로 경도값이 그다지 높은 것은 아니지만 합금층이 상당히 깊게 형성되었음을 알 수 있다. 하지만 이 경우 표면처리시 많은 플라즈마가 발생하여 안정한 표면처리가 어렵고, 표면처리한 후 표면을 관찰한 결과 매우 거친 표면이 나타났다. 출력밀도가 낮은 Fig. 3(c)는 안정한 표면처리가 가능

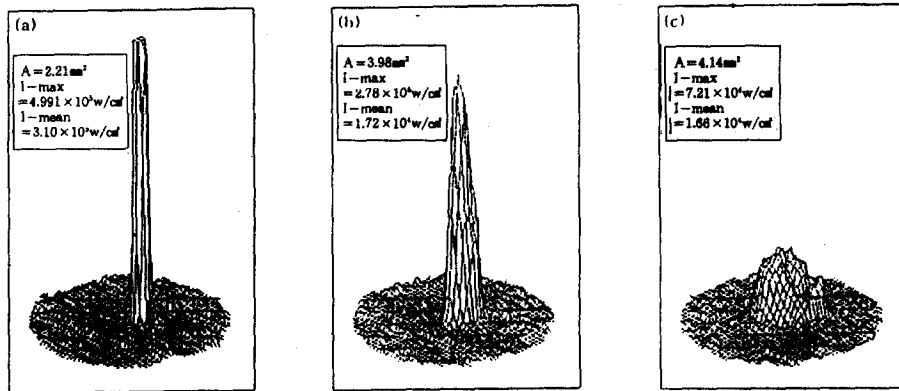


Fig. 3 Measured intensity distribution profile of laser various position of the focal plane (0.8kW, 0.8m/min, 100% N<sub>2</sub>).

(a) focus 0mm      (b) focus +3mm      (c) focus +5mm

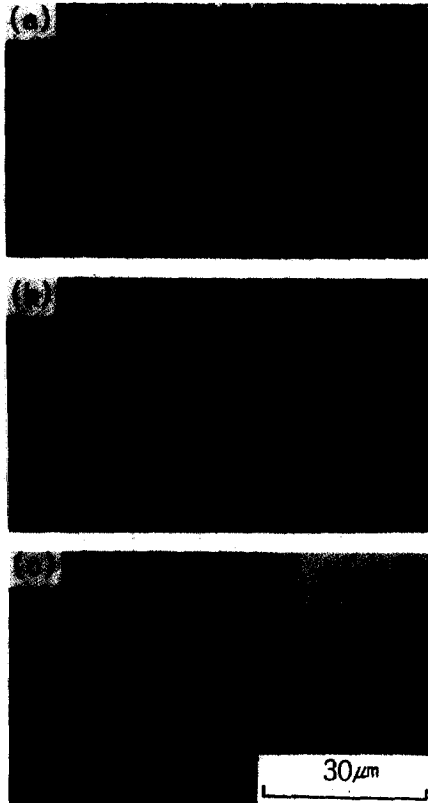


Photo. 2 Microstructures of surface alloyed zone for various position of the focal plane (0.8kW, 0.8m/min, 100% N<sub>2</sub>).

(a) focus 0mm  
(b) focus +3mm  
(c) focus +5mm

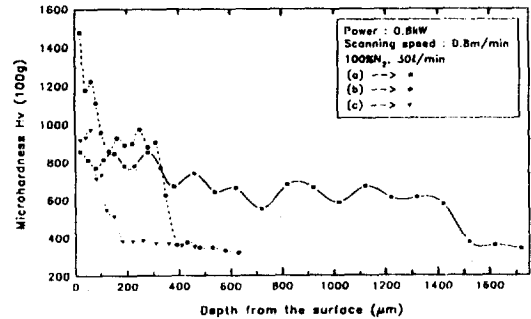


Fig. 4 Microhardness profiles of surface alloyed zone for various position of the focal plane (0.8kW, 0.8m/min, 100% N<sub>2</sub>)

(a) focus 0mm  
(b) focus +3mm  
(c) focus +5mm

하나 Photo. 2(c) 같이 dendrite가 완전하게 성장하지 않고 드물게 형성된 형상이 나타나며 합금층도 깊지 않음을 알 수 있다. 이것은 이에 대한 경도분포를 나타낸 Fig. 4(c)에서도 확인할 수 있으며 최고 경도값 980Hv, 경화깊이 180µm 정도로 Fig. 4(a), (b)에 비해 경화깊이가 상당히 작음을 알 수 있다. Fig. 3(b)는 Photo. 2(b)와 같이 대체로 균일한 dendrite가 형성되었으며 최고 경도값 1,480Hv, 경화깊이 380µm 정도가 나타났다.

이로부터 출력밀도가 높을수록 합금층이 넓고 깊게 형성됨을 알 수 있다. 하지만 출력밀도가 너무

높아서 안정한 표면처리가 불가능한 Fig. 3(a)와 출력밀도가 낮아 충분한 경화층이 형성되지 않은 Fig. 3(c)의 조건을 배제하고, 이후의 실험에서는 빔의 초점을 시료표면에서 상향으로 3mm 위에 위치시킨 Fig. 3(b)의 조건으로 레이저 처리하였다.

### 3.3 반응가스의 유량과 혼합비의 영향

티타늄의 표면처리시 보호가스나 반응가스의 역할은 티타늄과 반응가스와의 높은 화학반응성 때문에 매우 중요하다. 레이저를 이용한 티타늄의 표면처리시도 이러한 점이 매우 중요하며, 특히 TiN을 표면에 형성시키고자 할 경우 가스의 농도에 따라 경도값, 경화깊이, 표면거칠기 등에 여러가지 다른 결과가 나타난다. Fig. 5는 출력 0.6kW, 주사속도 0.8m/min의 조건에서 100%N<sub>2</sub> 가스의 유량을 10 l/min~30 l/min로 변화시켜 표면처리한 시편의 표면으로부터 거리에 따른 경도값을 나타낸 것으로서 유량이 30 l/min, 20 l/min는 경도값이 큰 차이가 없었으나, 10 l/min의 경우는 약간 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 6은 출력 0.6kW, 주사속도 0.8m/min의 조건에서 가스유량을 30 l/min로 고정시키고 N<sub>2</sub>와 Ar의 혼합비를 변화시켜 레이저 처리한 시편의 경도분포를 나타낸 것이다. 100%N<sub>2</sub>가스를 사용하였을 때 최고경도값 1,350Hv와 경화깊이 350μm으로 나타났으며 N<sub>2</sub>량이 감소함에 따라 경도값과 경화깊이가 점차 감소하여 50%N<sub>2</sub>를 취입하였을 경우 최고경도값 670Hv, 경화깊이 320μm으로 감소하였다.

Photo. 3은 이들의 조직사진으로 N<sub>2</sub> : Ar=100 : 0의 가스 혼합비로 취입한 경우 전반적으로 dendrite가 조밀하고 균일하며 잘 발달되어 있음을 알 수 있다. 그러나 N<sub>2</sub>가스량이 감소함에 따라 dendrite의 발달이 크게 둔화되어 가스 혼합비가 N<sub>2</sub> : Ar=33 : 67인 경우 부분적으로 dendrite가 전혀 나타나지 않은 부위도 관찰되었다. Ar가스만 취입하였을 경우는 TiN이 형성되지 않고 wid-

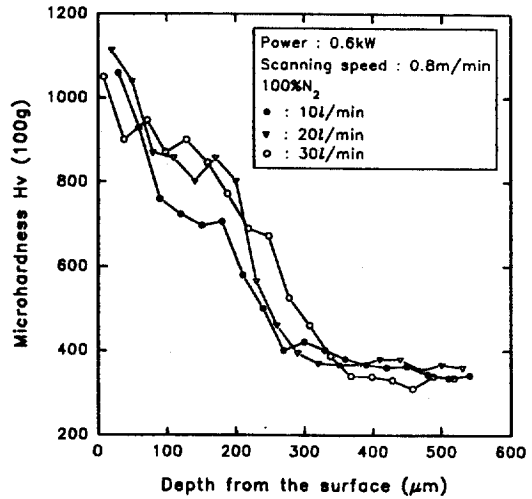


Fig. 5 Microhardness profiles of TiN surface-alloyed zone for various N<sub>2</sub> gas flow rates.

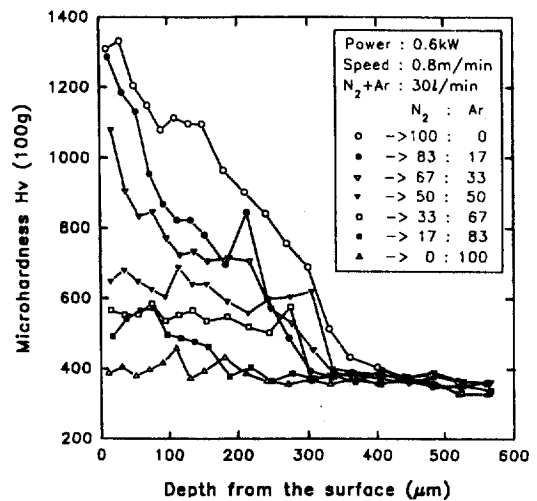
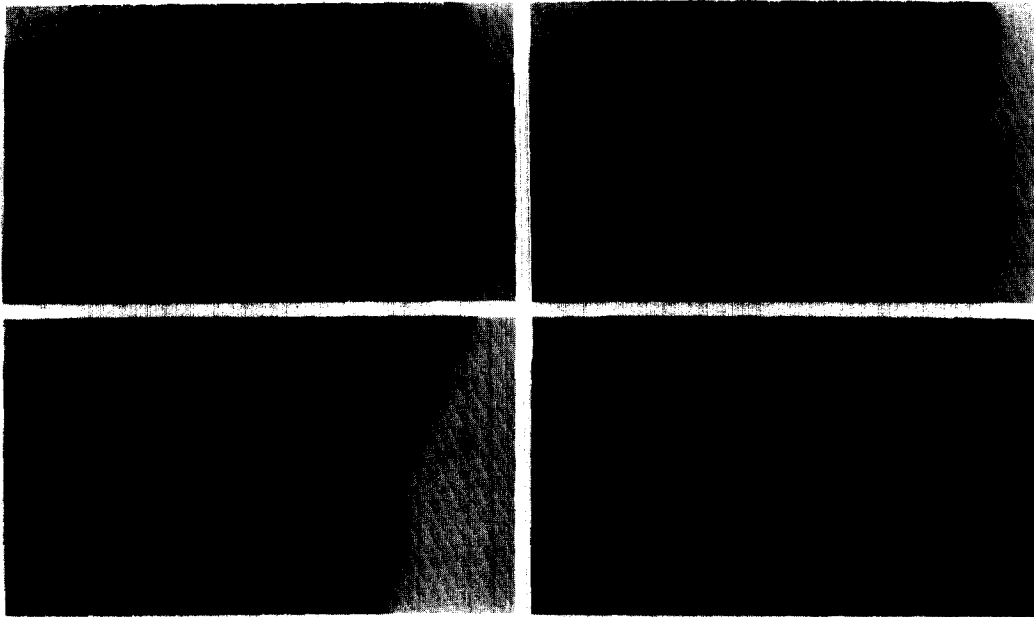


Fig. 6 Microhardness profiles of TiN surface-alloyed zone for various gas mixtures(N<sub>2</sub> : Ar).

manstätten 형상의 마르텐사이트조직만이 나타났 다. 따라서 효과적인 표면처리가 가능한 적절한 조건은 100%N<sub>2</sub>, 가스유량 30 l/min로 생각된다.

### 3.4 레이저출력과 빔 주사속도의 영향

Photo. 4은 출력 1.0kW, 주사속도 0.8~4.0m/



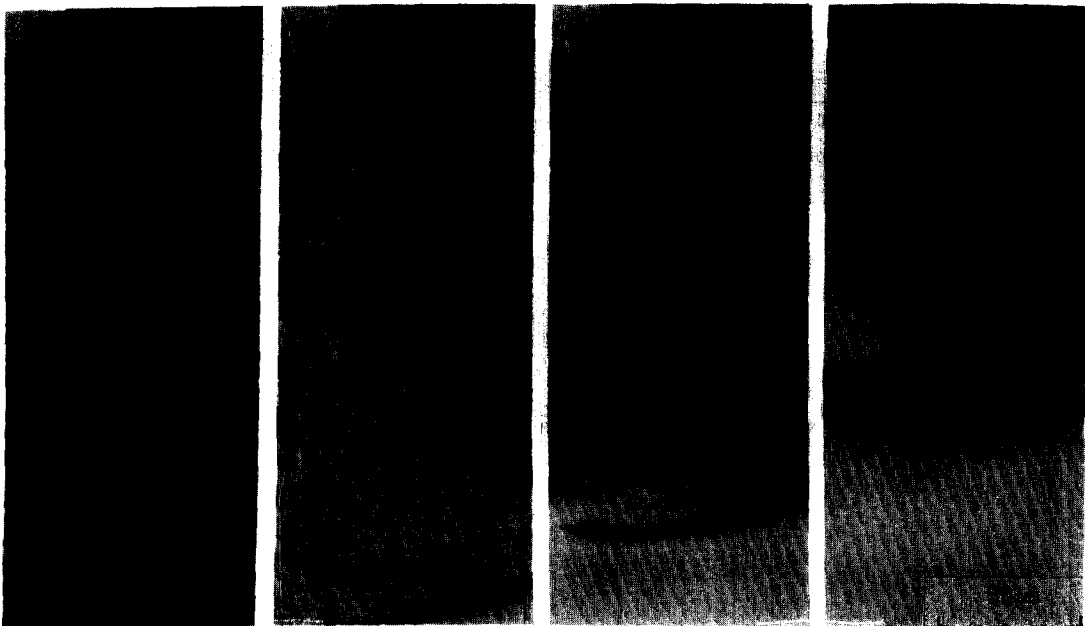
**Photo. 3** Microstructures of laser treated zone for various gas mixtures(0.8kW, 0.8m/min).

(a)  $N_2 : Ar = 100 : 0$

(b)  $N_2 : Ar = 67 : 33$

(c)  $N_2 : Ar = 33 : 67$

(d)  $N_2 : Ar = 0 : 100$



**Photo. 4** Microstructures of laser surface-alloyed zone for various scanning speeds(1.0kW, 100% $N_2$ , 30  $\ell$  /min).

(a) 0.8m/min (b) 1.6m/min (c) 2.4m/min (d) 3.2m/min



min, 100%N<sub>2</sub>, 유량 30 ℓ/min의 조건에서 레이저 빔을 시료표면에 3mm위에 focusing하여 표면합금화한 시편의 광학현미경 사진이다. 우선 합금층의 형상을 살펴보면 주사속도가 0.8m/min인 경우 합금층의 모양이 불규칙적인 형태이지만 1.6m/min인 경우 대체로 고른 분포를 보이며 주사속도가 3.2m/min가 되면 반타원형의 형태가 됨을 알 수 있다. 주사속도가 증가할수록 경화층의 깊이가 감소하고 있으며 주사속도가 0.8m/min일 경우 dendrite의 TiN이 조밀하고 고르게 분포되어 있으나

주사속도가 감소할수록 TiN의 생성이 점차 감소되어 주사속도가 2.4m/min와 3.2m/min인 경우 TiN이 부분적으로 형성되어 있으며 전혀 생성되지 않은 부분도 나타나고 있다.

Fig. 7(a)는 출력 0.6kW, 100%N<sub>2</sub>, 유량 30 ℓ/min의 조건에서 레이저처리한 시편의 경도분포이다. 주사속도가 0.8m/min일 경우 표면부위에서 1,100 Hv 정도의 최고 경도값이 나타났고 대체로 주사속도가 증가함에 따라 경도값과 경화깊이가 작아지고 있다. 이것은 합금층에 형성되는 TiN의 형태에 크

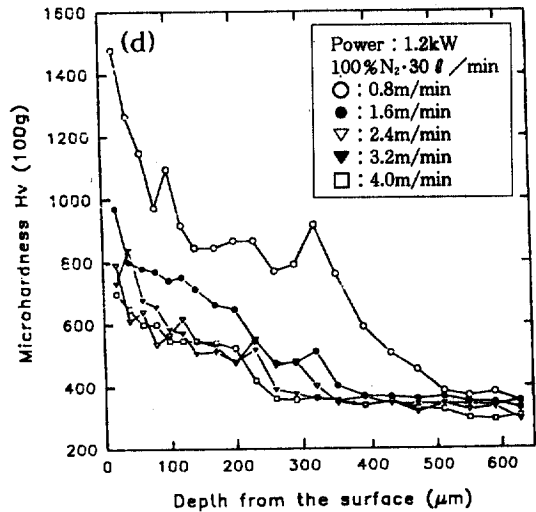
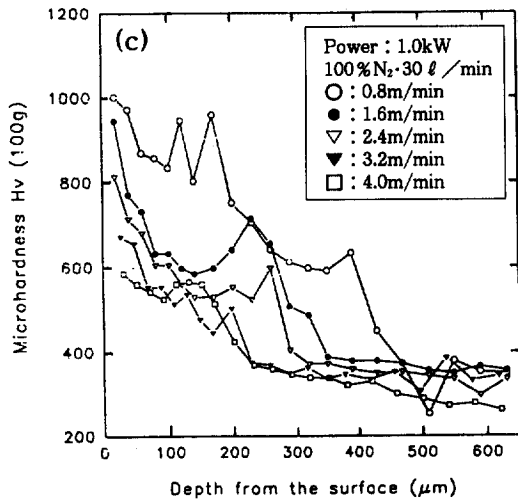
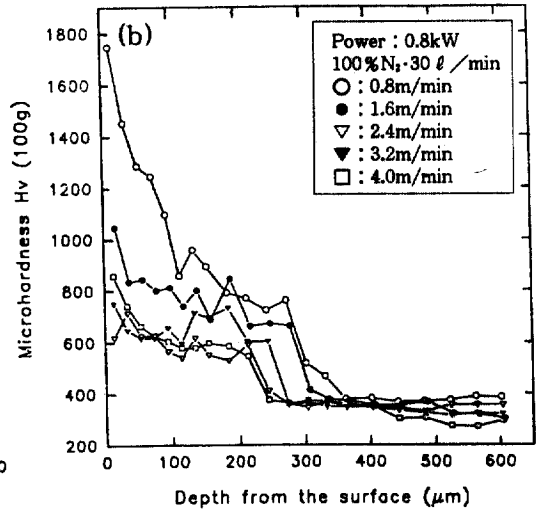
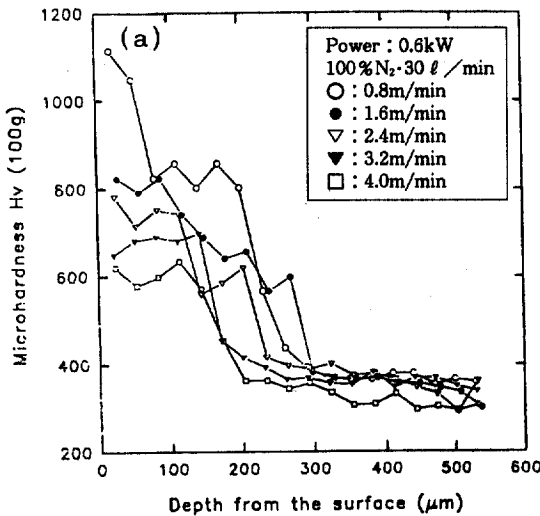


Fig. 7 Microhardness profiles of TiN surface-alloyed zone for various scanning speed and laser power(100%N<sub>2</sub>, 30 ℓ/min).

게 의존하는데 사진에도 나타난 바와 같이 출력이 일정할 때 주사속도가 증가할수록 반응시간이 짧아 지므로 TiN의 크기와 양이 감소하고 합금층의 깊이도 작아진다. 주사속도 증가에 따라 경도값들이 균일하게 감소하지 않고 약간씩 차이가 나는 것은 경도측정시 표면으로부터 약 25 $\mu\text{m}$  간격으로 측정하게 되므로 압입자가 dendrite에 압입될 경우 높은 경도값이 나타나지만 dendrite사이의  $\alpha$ 상에 압입될 경우 경도값이 낮아지기 때문이다.

Fig. 7(b), (c), (d)의 경우도 Fig. 7(a)의 출력 0.6 kW인 경우와 마찬가지로 주사속도가 증가할수록 경도값과 경화층깊이가 감소하고 있다. 본 실험조건 하에서 최대경도값은 출력 0.8kW, 0.8m/min에서 1,750Hv로서 모재의 경도보다 5배 증가하였다.

Fig. 7에서 주사속도가 1.6m/min일 경우를 서로 비교하여 보면 대체로 출력이 증가할수록 경도값이 높고 마찬가지로 경화층의 깊이도 증가함을 알 수 있다. 또한 이들의 조직사진에서도 출력이 증가할수록 합금층의 깊이가 증가하고 TiN의 양도 증가하는 것을 관찰할 수 있었는데, 이것은 일정한 주사속도에서 출력이 증가할수록 입열량이 증가하게 되므로 활발한 반응이 일어나 TiN의 생성량과 합금층의 깊이가 증가되기 때문이다.

Photo. 5는 출력 0.6kW, 주사속도 0.8m/min, 100%N<sub>2</sub>, 유량 30 l/min의 조건에서 레이저빔을

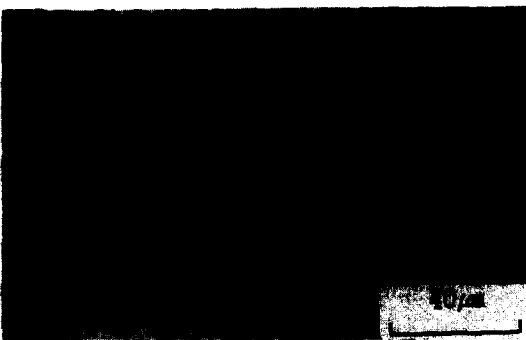


Photo. 5 Microstructure of Tin surface-alloyed zone for double scanning(0.6kW, 0.8/min, 100%N<sub>2</sub>, 30 l/min).

시료표면에서 3mm 위에 focusing하여 레이저처리 한 후 다시 동일조건으로 레이저처리(2회처리)한 시편의 조직사진으로 1회 처리한 경우에 비하여 전체적으로 매우 치밀하고 조대한 dendrite가 형성되어 있음을 알 수 있다. Fig. 8은 동일조건에서 1회와 2회 처리한 시편의 경도값의 변화를 비교한 것으로서 2회 처리한 시편의 최고경도치가 1,600Hv 정도로 1회 표면처리시 얻어진 최고 경도치 1,100 Hv보다 500Hv정도 더 높게 나타났다.

Fig. 9(a)은 출력 0.6kW, 100%N<sub>2</sub>, 유량 30 l/min의 조건에서 주사속도의 변화에 따른 중심선평균거칠기(R<sub>a</sub>) 및 최대높이(R<sub>max</sub>)를 나타낸 것이다. 주사속도가 0.8m/min에서 4.0m/min으로 변할 때 R<sub>max</sub>는 약 37 $\mu\text{m}$ 에서 16 $\mu\text{m}$ 으로 감소하였고, R<sub>a</sub>값도 5 $\mu\text{m}$ 에서 3 $\mu\text{m}$  정도로 감소하였다. Fig. 9(b)는 주사속도 1.6m/min, 100%N<sub>2</sub>, 유량 30 l/min의 조건에서 출력의 변화가 미치는 표면거칠기값을 나타낸 것으로서 출력이 증가함에 따라 R<sub>a</sub>, R<sub>max</sub>값 모두 약간씩 증가하고 있다. 이 결과로부터 레이저 처리시 시편의 표면거칠기는 레이저의 출력밀도와 상관관계를 가지며, 일반적으로 출력밀도가 증가함

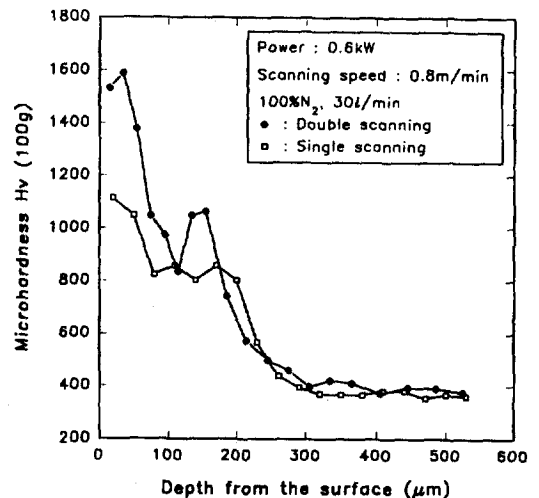


Fig. 8 Microhardness profiles of TiN surface-alloyed zone for double scanning(0.6kW, 0.8m/min, 100%N<sub>2</sub>, 30 l/min).

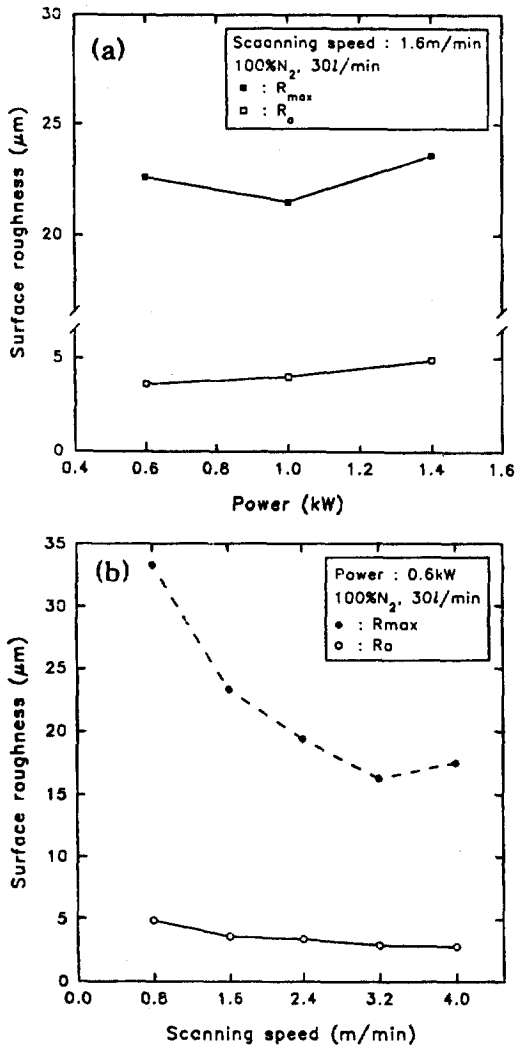


Fig. 9 Surface roughness profile for various scanning speed and laser power.

에 따라 표면조도는 약간 증가되는 경향을 나타냈다. 이 현상은 TEM<sub>01</sub>·모드의 CO<sub>2</sub> 레이저 실험결과에서도 보고된 것으로<sup>13)</sup> 출력증가에 따른 빔모드의 불안정성도 고려해 볼 수 있다.

#### 4. 결 론

Ti-6Al-4V 합금의 표면에 경도가 매우 높은 TiN 합금층을 얻기 위하여 CO<sub>2</sub> 레이저 처리하였을 때 TiN 표면합금화에 미치는 주요공정인자인 레이

저빔의 출력밀도, 주사속도, 집속조건 및 Ar과 N<sub>2</sub> 가스의 혼합비, 유량 등의 영향을 조사하고, 미세조직, 경도, EPMA분석 및 표면거칠기를 측정하여 비교 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 일정한 출력에서 주사속도가 증가하면 형성되는 합금층의 깊이가 작고 dendrite의 양과 크기도 감소하여 낮은 경도값이 얻어진다.

2) 0.8kW, 0.8m/min, 100%N<sub>2</sub>의 조건에서 레이저처리한 경우 최대경도는 약 1,750Hv로서 모재경도의 5배 이상 증가되며, 2회의 레이저 처리한 경우는 1회 한 경우보다 높은 경도값이 얻어진다.

3) N<sub>2</sub>가스를 100% 취입할 때 최대 경도값이 나타나며, 혼합가스중 N<sub>2</sub>가스량이 감소함에 따라 경도값이 감소하고, Ar만 취입할 경우 모재경도와 거의 차이가 없었다. N<sub>2</sub>가스의 유량(10 l/min~30 l/min)이 변하여도 합금층의 경도값에는 큰 영향을 미치지 않았다.

4) 일정한 출력에서 주사속도가 감소할수록 거친 표면이 형성되고 초기의 표면이 거칠수록 표면 처리 후에도 거친표면이 나타난다.

#### 후 기

본 연구는 1993년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 이루어진 것으로서 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. E. K. Molehanova : Phase Diagrams of Titanium Alloy, Israel Programs for Scientific Translation, Jerusalem(1965)37.
2. M. T. Donachie, Jr. Edward : Titanium and Titanium Alloys Sourcebook, American Society for Metals(1982)25.
3. K. T. Rie, Th. Lampe : Thermochemical Surface Treatment of Titanium and Titanium Alloy Ti-Al6-V4 by Low Energy Nitrogen

- Ion Bombardment. Mat. Sci. and Eng., 69 (1995)473~481.
4. 김도훈 : 대한금속학회, 제5회 재료물성 심포지움(1991. 8)pp. 17~26.
  5. 김도훈, 항운섭 : 대한금속학회지, 24(1986) 755.
  6. 김도훈, 석병근 : 대한금속학회지, 25(1987) 307.
  7. 김도훈, 서량하 : 대한금속학회지, 26(1988) 880.
  8. Gerd Sepod : NATO. Adv. Study Inst. Ser B., (1983)163.
  9. B. L. Mordike, H. W. Bergmann : Proc. 4th Int. Conf. on Rapidly Quenche Metals, Sendai(1981)197.
  10. B. L. Mordike, H. W. Bergmann, N. Gross : Gaseous Alloying with Laser Heating. Z. Werkstofftechnik, 14(1983), S. 253~257.
  11. H. W. Bergmann : Thermochemische Behandlung von Titan und Titanlegierungen durch Laserumschmelzen und Gaslegieren. Z. Werkstofftechnik, 16(1985), S. 392~405.
  12. U. Fink, H. W. Bergmann : Laser Surface Treatment of Implants, H. W. Bergmann, R. Kupfer, [Eds.], 1990, Proc. ECLAT '90, Erlangen, 1, 451~460.
  13. S. Z. Lee : Thermochemische Oberflaechenbehandlung von Titanwerkstoffen mit CO<sub>2</sub>-Lasern. UNI. Erlangen, Diss., 1992.
  14. T. Enjo, T. Kuroda, M. Nishizawa : Microstructure and Mechanical Properties in Weld Heat Affected Zone of Titanium Alloy. Trans. of JWRI, 17(1988)113~118.