

〈 論 文 〉

# 레이저 빔을 이용한 철계 급랭 응고 재료의 표면 합금화

南基錫 · 李九鉉

한국기계연구원 재료공정연구부

Surface Alloying of Iron Base Rapid Solidification  
Materials Using Laser Beam

K. S. Nam, K. H. Lee

Division of Materials Processing,

Korea Institute of Machinery and Materials,

66 Sangnam-dong, Changwon, Kyungnam, Korea 640-010

## ABSTRACT

This work has been carried out to reduce the softening of heat affected zone on laser surface alloying. Iron based rapid solidification material with Cr<sub>5-10</sub>, V<sub>1-3</sub>, Mo<sub>3-7</sub>, W<sub>2-5</sub>, B<sub>7-8</sub>, C<sub>2-3</sub>, Si<sub>0.5-1at%</sub> was alloyed on the surface of SM45C steel. The excellent softening resistance in alloyed and heat affected zone showed, which could be attributed to the formation of stable high temperature precipitates.

## 1. 서 론

레이저 표면 합금화는 합금 원소를 모재상에 도포 또는 도금하여 고밀도 에너지의 레이저 빔을 조사시켜 피복층과 모재의 일부를 용융 표면에 합금 층을 형성하는 기술로, 미국과 유럽 공동체에서 전략 소재 및 귀금속 자원 절약 측면에서 연구 개발이 시작되었다. 즉 전략 원소의 사용량을 줄이기 위해서는 Cr, Co, Ni 및 Mo 등을 함유하는 소재를 사용하는 것보다 이들 원소를 표면에 합금화하는 것이 바람직하며, 전기 전자 부품 제조시 고가의 귀금속 원소 사용에 따른 제조 원가 상승도 표면 합금 기술 개발의 한 동기가 되었다.<sup>(1-3)</sup>

또한 레이저 빔은 국부적으로 금속 재료 표면을 순

간 용융시킬 수 있는 특징을 가지고 있으며, 그 경우 용융 금속의 열이 주위의 고체에 급속히 빼앗기기 때문에 급랭 응고가 이루어진다. 이러한 급랭 응고는 열역학적으로 안정된 결정상이 충분히 성장하지 못하는 사이에 냉각되기 때문에 과포화 고용체를 형성하고, 석출 또는 편석된 개재물이 균일하게 분산되므로써 마모, 부식 및 산화 등의 여러 특성을 개선할 수 있어 각종 신소재 개발에 널리 이용되고 있다.<sup>(4-6)</sup>

그러나 레이저 빔은 빔의 크기가 작기 때문에 한 번에 넓은 면적을 처리할 수 없으며, 넓은 면적을 처리하기 위해서는 중첩해서 처리하지 않으면 안된다. 따라서, 중첩된 부위는 재가열 및 용해됨으로써 조직의 조대화 및 성분 변화를 가져와 연화되거나 내식성이 저하되는 현상을 초래하게 된다.

본 연구에서는 이들 현상을 방지할 목적으로 고온에서도 조대화되지 않고 미세 용고조직을 갖는 철계 초미립 급랭 용고 합금 Cr<sub>7-10</sub>, V<sub>1-3</sub>, Mo<sub>3-7</sub>, W<sub>2-5</sub>, B<sub>7-8</sub>, C<sub>2-3</sub>, Si<sub>0.5-1at%</sub>을 레이저 빔으로 표면 합금화하여 급랭 용고층의 경화 및 고온 연화 특성을 조사하였다.

### 2. 실험 방법

본 연구에서 이용된 합금 원소 첨가 방법은 분말 도포법으로 다음과 같이 제조하였다. 먼저 레이저 빔 흡수율을 증가시키고 양호한 합금층을 얻기 위해 가로 100mm, 세로 50mm, 그리고 두께 15mm의 SM45C 강재를 샌드브라스팅하여 R<sub>p</sub>=8.314, R<sub>v</sub>=11.151, R<sub>a</sub>=19.466의 표면 조도를 얻었다. 그것을 아세톤으로 초음파 세척하여 불순물을 제거하고 완전히 건조시킨 다음 두께 200 $\mu$ m의 테이프를 부착 30mm의 너비로 테이프를 오려내었다. 이와 같이 준비된 시편에 요구조성을 얻도록 첨가 원소 분말을 혼합하여 채운 다음 이소프로필 알코올을 사용하여 슬러리 상태로 만들었으며, 그 슬러리 분말을 편평하게 한 다음 완전히 건조하였다. 레이저 출력, 성분 관리 및 빔 흡수율을 등을 고려하여 독일의 Hermann C. Starck사의 순도 98% 이상, 입자크기 10 $\mu$ m 이하의 분말을 이용하였으며, 예비 실험에 의해 결정된 모재의 용융 깊이 500 $\mu$ m을 기준으로 하여 목표 성분에 부합되도록 분말의 혼합비를 결정하고, 볼 밀을 이용, 15시간 동안 혼합하였다.

레이저는 일본 도시바사에 의해 제작된 최대 출력 1200W의 연속파장 CO<sub>2</sub>레이저를 이용하였으며, 실험에는 1000W 출력의 레이저 빔을 초점 거리로부터 40mm defocus시켜 사용하였다. 처리하고자 하는 시편을 X-Y테이블 위에 올려놓은 다음, 알곤 보호가스를 취입하면서 설정된 목표 속도로 레이저 빔을 주사하였다. 주사 속도는 예비 실험을 통해 결정된 300-500mm/min으로 하고 용융부가 1/2씩 중첩되도록 하였다. 그리고 균일한 용융부를 얻기 위해 한 번 조사

한 후 1분의 정지 시간을 주어 냉각시킨 다음, Y 방향으로 이동 4회 주사하여 약 10mm 폭의 합금층을 얻었다.

그 표면 합금층 단면을 연마 및 폴리싱한 다음 EDX을 이용 화학 조성을 조사하고 비커스경도기로 처리 조건에 따른 경도 변화를 측정하였다. 금속 현미경으로 표면 합금층의 마크로 조직 및 미세 용고조직을 관찰하였으며, 투과전자현미경을 이용하여 석출물의 분포 상태를 알아보았다.

### 3. 연구 결과 및 고찰

Fig. 1은 레이저 빔의 주사 속도에 따른 합금층의 경도 변화를 나타낸 것으로 HV800-950의 경도값을 나타내었으며, 주사 속도가 400mm/min 인 경우 가장 높은 HV950의 경도값이 얻어졌다. 한편 모재는 약 HV700의 경도값을 나타내었다. Fig. 2는 열 영향부의 연화 정도를 조사하기 위하여 열 영향부 중심으로 부터 거리에 따른 경도 변화를 조사한 것으로 모든 주사 속도에서 큰 차이가 없다. 즉 열 영향부에서 연화 현상이 일어나지 않음을 알 수 있다.

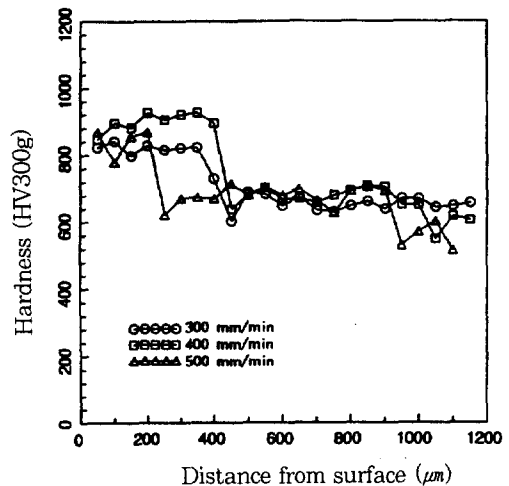


Fig. 1 Hardness variation of the alloyed layers according to the scanning speed of laser beam.

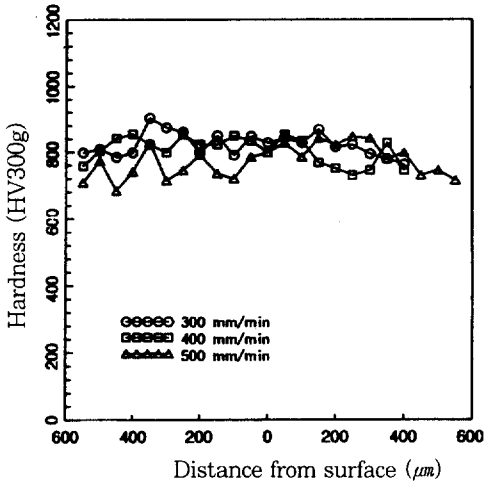


Fig. 2 Hardness variation of the heat affected zone according to the scanning speed of laser beam.

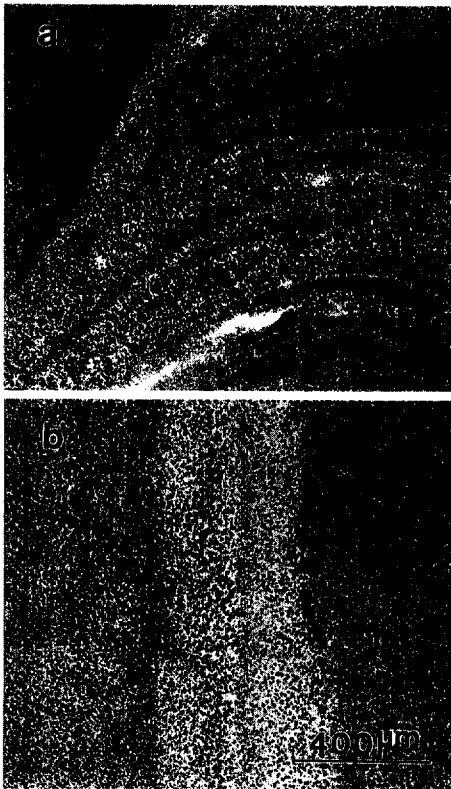


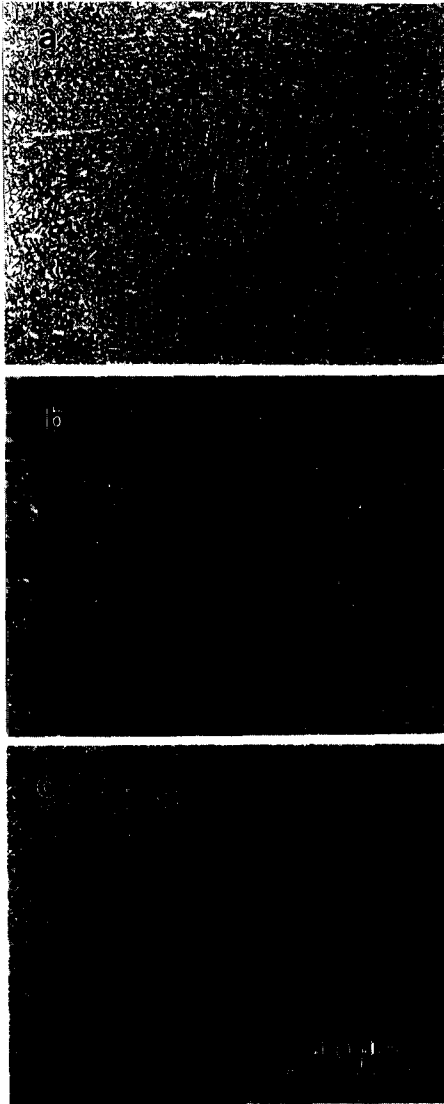
Fig. 3 Macrograph of the surface alloyed layer. (a) alloyed layer, (b) heat affected layer.

Fig. 3(a)는 합금층, 그리고 (b)는 열 영향부의 마크로 조직으로, 용융부의 경우 빔의 진행 반대 방향으로 물결 흐름 형상의 줄무늬상 합금 성분 편석을 볼 수 있다. 이러한 편석은 합금 용융층의 대류 현상에 따른 것이다. 대류 현상은 레이저 빔 조사시 발생하는 가스 체적 팽창 및 합금 원소의 점성 차이에 기인하는 것으로 보고되고 있다.<sup>(7)</sup> Fig. 3(b)는 재가열된 부위로 Fig. 3(a)와는 달리 줄무늬상 편석 현상이 없으며, 합금 원소가 더욱 용해되어 있음을 알 수 있다. 그 원인은 재가열에 따른 합금 원소의 균일화에 기인한 것으로 생각된다.

Fig. 4는 주사 속도에 따른 합금층의 용고 조직 변화를 보인 것으로 그 속도가 커질수록 셀 형태에서 매우 미세한 수지상정 및 셀의 혼합 조직으로 바뀌었다. 일반적으로 온도 구배가 크고 성장 속도가 느릴수록 용고 조직은 셀 형태를 보이고 성장 속도가 빠를수록 수지상정, 그리고 등축정으로 변화되기 쉬우며, 또한 냉각속도가 클수록 조직이 미세해진다.<sup>(8)</sup> 레이저 빔에 의한 표면 용융의 경우 온도 구배가 크며, 주사 속도가 빠른 경우 냉각 속도가 크다. 본 연구에 이용된 합금의 경우 셀의 성장을 저해하기 쉬운 고온 석출물 형성 원소를 다량 함유하고 있다. 따라서 미세한 셀 구조를 나타내기 쉬울 것으로 보이나 주사 속도가 빠른 경우 충분한 고온 석출물이 형성되지 못하므로 성장 속도가 빨라 미세한 수지상정이 형성될 수 있을 것으로 생각된다.

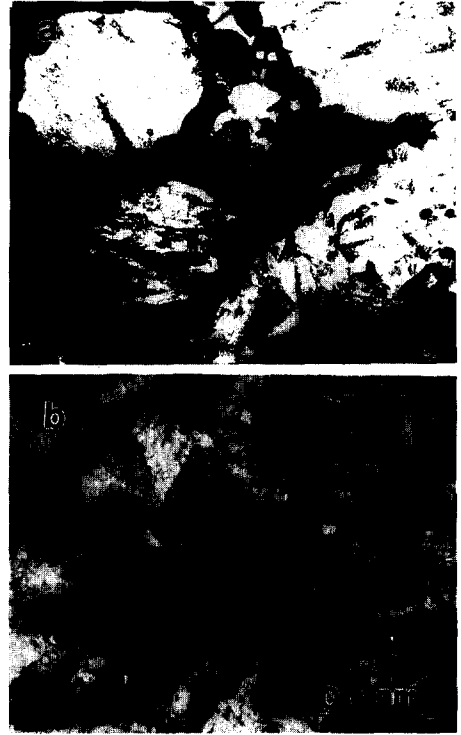
Fig. 5는 300mm/min 주사 속도로 합금화한 층의 투과전자현미경 조직으로, 한 개의 셀 내부에는 여러 개의 100Å martensite packet이 그리고 셀 및 경계부에는 다량의 석출물이 존재하고 있으며, 이러한 석출물이 셀의 성장을 억제한 것임을 뒷받침해 준다.

Fig. 6은 합금층의 연화 특성을 조사하기 위하여 주사 속도 300mm/min으로 처리된 시편을 400℃, 600℃ 및 800℃에서 1시간 동안 가열하여 얻은 경도 변화를 나타낸 것이다. 모든 가열 온도에서 표면쪽이



**Fig. 4** Optical micrographs of the alloyed layers according to the scanning speed of laser beam. (a) 300mm/min, (b) 400mm/min, and (c) 500mm/min.

경도가 낮고 모재와의 경계부가 경도가 높았다. 모재와의 경계부 경도는 600℃로 가열한 경우를 제외하고 거의 비슷하였으나, 표면 부위의 경도는 400℃ 및 800℃로 가열한 경우 낮고, 600℃에서 템퍼링한 경



**Fig. 5** Transmission electron micrographs showing the structure of alloyed layer. (a) cell boundary and (b) within cell.

우 가장 높았다. 이것은 모재 내에 존재하던 C가 합금층으로 확산되면서 W, V, Mo 등의 원소와 결합 석출물을 형성함에 따른 것으로 사료된다. 한편 800℃로 가열한 경우 모재의 경도가 크게 낮아졌다. Fig. 7은 가열 시간에 따른 연화 특성을 알아보기 위하여 주사 속도 300mm/min으로 합금한 시편을 800℃에서 여러 시간 동안 가열하여 경도 변화를 조사한 것으로, 시간이 증가되어도 거의 연화되지 않음을 볼 수 있다.

이러한 결과로부터 본 합금의 경우, 고온 연화에 대한 저항 특성이 우수함을 알 수 있으며, 그 원인은 고온 경도가 셀 내부 및 경계부에 존재하는 다량의 고온 안정 석출물들에 의해 지배되기 때문인 것으로 생각된다.

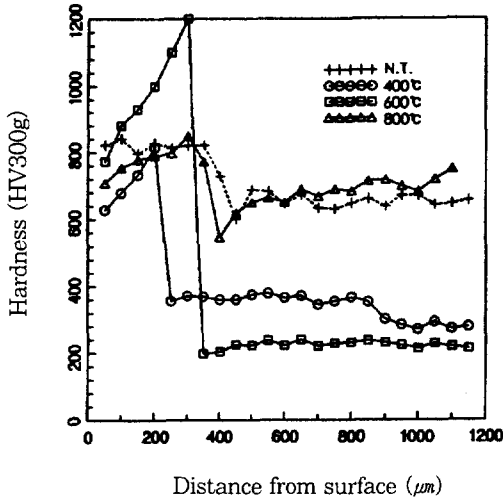


Fig. 6 Hardness variation of the surface alloyed layer which was processed with the scanning speed of 300mm/min, and then heated for 1hr at 400°C, 600°C, and 800°C respectively.

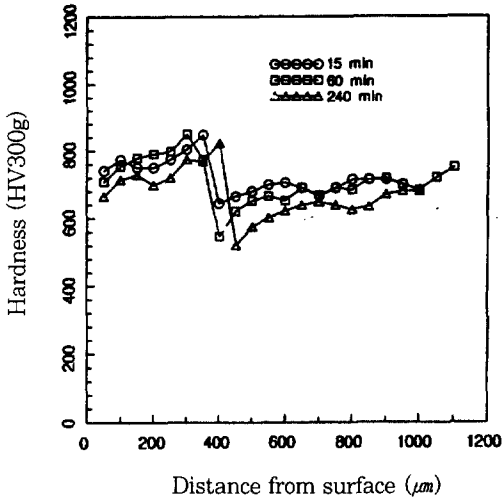


Fig. 7 Hardness variation of the surface alloyed layer which was processed with the scanning speed of 300mm/min, and then heated at 800°C for 15min, 60min, and 240min respectively.

#### 4. 결론

철계 초미립 Cr<sub>5-10</sub>, V<sub>1-3</sub>, Mo<sub>3-7</sub>, W<sub>2-5</sub>, B<sub>7-8</sub>, C<sub>2-3</sub>, Si<sub>0.5-1</sub>at% 재료를 SM45C 탄소강 표면에 레이저로 합금화하여 합금층 및 열 영향부의 경화 거동을 조사 하였다. 그 결과 HV900-1200의 매우 높은 경도의 합금층이 얻어졌으며, 또한 열 영향부에서 연화 현상이 일어나지 않았다. 그 원인은 고온에서 안정한 다량의 석출물이 형성됨에 따른 것으로 결론지워진다.

#### 참고문헌

1. 梅原傳行, 日本金屬學會誌, 27(10) (1984) 766.
2. C. W. Draper, International Metals Review, 30(2) (1985) 85.
3. 森一平, 鐵と鋼, 10 (1986) 1508.
4. B. H. Gear, Metals Technology, April (1979) 121.
5. Michael Bass, Laser Materials Processing, (1983) 237
6. 橋本功二, 實務表面技術, 34 (1987) 391.
7. T. R. Anthony, J. of Applied Physics 48(9) (1977) 388.
8. W. Kurz and D. J. Fisher, Fundamentals of Solidification, Trans. Tech. Pub. USA, (1989) 88.