

〈번역〉

### 레이저를 이용한 표면공학\*

한양대학교 재료공학과

安仁鑾外譯

요지 : 이 보고서는 재료의 표면처리에 레이저의 역할이 증가하고 있음을 설명하고 생산현장과 실험실 환경에서의 그것의 금속학적인 응용을 조사한다. 변태경화, 표면합금화와 크래딩에 특히 관심을 두었으나, 아직 개발단계에 있는 표면용융, 입자분사와 증착과같은 기술에 관해서도 언급한다.

이제는 견문이 넓은 경영자들도 레이저가 무엇에 응용될 수 있는지를 알아야만 하는 기계공구가 되었다. 이정도까지의 레이저 개발에는 단지 20년밖에 안걸렸으며, 오늘날 5kw beam power가 공업적으로 이용될 수 있다. 실험실에는 공업용으로 이용할 수 있는 20kw power를 갖는 기계가 있으며, 공장의 절박한 요구에 부응할 수 있는 것이다. 이러한 새로운 처리기구의 영향은 현재 레이저가 생산현장이나 실험실에서 이용될 수 있는 다음 몇가지 표면처리기술의 조항들로부터 평가되어질 수 있다.

- 변태 경화                    생산현장
- 표면 용융                    실험실
- 표면 합금화                생산현장 / 실험실
- 표면 크래딩                생산현장
- 입자 분사                    실험실

- 레이저 화학증착          실험실
- 레이저 물리증착          실험실
- 강화 도금                  실험실
- 충격 경화                  실험실

이러한 처리기술들은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 단지 전력량, 경과한 반응시간과 반응영역에 가해지는 재료가 다를 뿐이다.

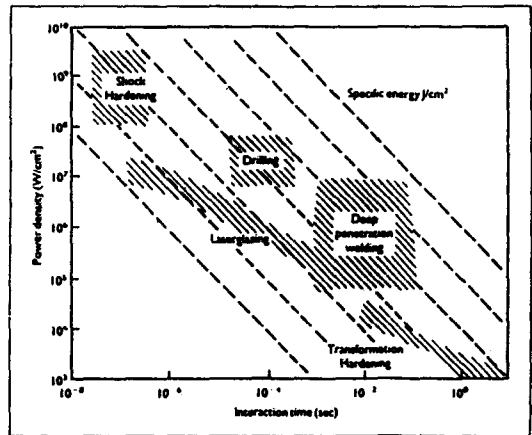


Fig. 1 Operational regimes for various laser materials processing techniques.

다른 처리기술에 비해 레이저 표면처리의 공통적인 장점들은 다음과 같다.

- 화학적인 청결성

\* 영국금속학회 발간 Metals and Materials, 1985年 12月号에서 번역

- 열침투를 조절해 왜곡을 제어
- 열분포형태를 조절하여 열에 영향을 받은 영역의 형태나 위치를 제어
- 필요시의 후속가공을 줄임
- 어느정도 떨어진 거리에서의 비접촉처리가 가능
- 비교적 자동화하기에 용이함
- 다른 처리를 수행하는 작업장사이에서 시간공유의 단순화

레이저는 거의 평범한 광학적인 beam을 만들어 내는 광학진동자이면서 증폭기이다. 재료의 처리에 요하는 beam power는 흔히 100~10,000W 사이이다. 현재에는 이산화탄소레이저와 이트륨 알루미늄 가니트(yttrium aluminium garnet; YAG) 혹은 네오디뮴 유리고체(neodymium glass solid state) 레이저만이 공업적으로 이용할 수 있을 정도로 충분히 강력하다. 그러나 강력한 아르곤, 루비와 엑시머(Eximer) 레이저가 개발중이다. 따라서 CO<sub>2</sub>와 Nd제들이 항상 이 분야에 지배적일 것 같지는 않다. 즉 더 적은 반사성 문체와 저렴한 광학기구를 포함하여 더욱 더 짧은 파장에서 작업할 때에 많은 이점이 있기 때문이다. 잘 동조된 레이저광선의 평행성으로 인하여 거의 회절한계(CO<sub>2</sub> 레이저에서는 약 0.1mm 스폿크기)에 가깝도록 집적되어질 수 있다. 이는 집적된 2kw광선이 약 250,000w/mm<sup>2</sup>의 전력밀도를 가짐을 의미하고, 그것이 흡수될 경우 알려진 어떠한 재료라도 증발시키기에 충분한 전력이다. 반면에 매우 신속하고 정확하게 optical power를 형성하기에는 매우 쉽다. 더군다나 이 전력은 상당한 거리의 대기를 통과할 수 있으므로 레이저를 군사적으로 이용할 수 있다. 만일 이런 몇가지 특징이 함께 고려되어질 경우 레이저는 이상적으로 표면처리와 로봇조작에 적합한 조절기능과 특이한 다양성을 갖는 에너지원을 대표할 수 있다.

현재의 레이저처리에 관한 연구는 4가지 주요 분야로 나눌 수 있다.

- 처리공정 개발
- 구조분석 — 물리 금속학

- 수학적인 모델화
- 광선과 재료간의 상호작용에 관한 물리학

처리공정 개발활동 범위는 광선을 쏘이고, 물질이나 에너지를 가하고, 작업물 분위기를 조절하거나 혹은 처리공정 감지기의 개발을 통한 공정의 자동화등의 새로운 방법등을 포함한다. 또한 마모, 부식, 경도, 피로와 기계적 강도등과 같은 공업적인 성질들의 측정도 포함된다. 구조분석 면에서의 응용범위는 레이저처리에 의해 만들어진 상과 결정 구조를 밝히고, 느리거나 매우 빠른 속도에서의 응고 기구를 유추해서 공업적인 성질과 이 결과들을 상호 연관시킨다. 수학적인 모델화 연구에서는 많은 컴퓨터를 소유한 연구기관에서 열유동, 용탕 내에서의 유체 유동, 젯트나 플라즈마로부터의 기체 역학등의 모델화를 다루고 있다. 반응물리학에서는 반사성의 성질, 플라즈마형성, 매우 짧은 자극시(10<sup>-12</sup> sec의 자극)에 열유동과 병행한 플라즈마의 광학적인 성질과 이런 자극으로부터의 압력효과등의 이해를 다룬다.

그러므로 레이저처리는 과학적인 분야에 광범위하게 이용될 수 있음이 명백하다. 이제 기술된 표면처리의 몇가지 특질을 논의해 보겠다.

### A. 레이저 변태경화(LTH)

1966년에 처음으로 레이저가 변태경화에 이용되었고 오늘날 수백종류의 레이저들이 생산응용에 쓰이고 있다. 1970년에 General Motors사의 Saginaw 조타장치분야에서 처음으로 응용에 관해 보고했다. LTH를 이용하려는 최초의 이유는 마모에 대한 저항을 가지도록 경화시키려는 것이었다. 그러나 현재는 실제적으로 다음과 같은 곳에 이용되고 있다.

- ① 경도 증가
- ② 강도 증가
- ③ 윤활 촉진
- ④ 마모 감소
- ⑤ 마르텐사이트 스테인레스강의 재경화

- ⑥ 금속의 풀림
- ⑦ 피로수명의 증가
- ⑧ 표면층에의 탄화물생성
- ⑨ 독특한 기하학적인 형태의 형성

**A · 1 실험 장치**

변태경화는 경화시킬 재료 - 보통 페라이트강 - 의 표면에 레이저광선을 통과시킴으로써 얻을 수 있다. 이리하여 얇은 표면층은 광선이 주사되는 짧은 시간내에 오스테나이트온도 이상으로 급격히 가열되어진다. 일단 광선이 통과하면 이 표면 층은 아직 차가운 소재 내부로의 열전도에 의해 급냉된다. 이 냉각속도는 일반적으로 냉각수와 같은 외부 냉각제의 도움이 없이 마르텐사이트 변태에 의해 경화될 정도로 충분히 빠르다. 표면은 반사성을 감소시키기 위해 처리되어진다. 또한 어떠한 용융도 일어나지 않기 때문에 보통은 가스차폐가 필요하지 않다.

이 처리공정은 고상변태를 일으키는 재료들로 제한되어 있고 이 변태된 구조는 더욱 경한 구조로 급냉된다. 탄소강이나 펄라이트주철이 흔히 이 방법에 의해 처리된다. 일반적인 실험장치는 Fig. 2 에서 보여주며, 이에 관한 수많은 내용이 보고되었다.

**A · 2 주요 특성**

레이저 열처리는 다음과 같은 이점을 제공한다.

- 이 처리는 필요로 되는 부분이나 형태에 한정될 수 있다.
- 소재의 변형을 최소한도로 줄이고 최대의 효과를 가져오면서 적은 열주입량으로 얇은 표면층에 한정되어질 수 있다.
- 상변화에 기인한 미세한 체적증가를 제외하고는 어떠한 표면왜해가 없다.
- 매우 조그마한 부품을 제외하고는 급냉용고체가 필요치 않다. 때문에 표면왜해는 거의 없고, 냉각제에 의한 오염도 생기지 않는다. 처리전의 저온응력제거는 몇몇 가공된 소재에 필요

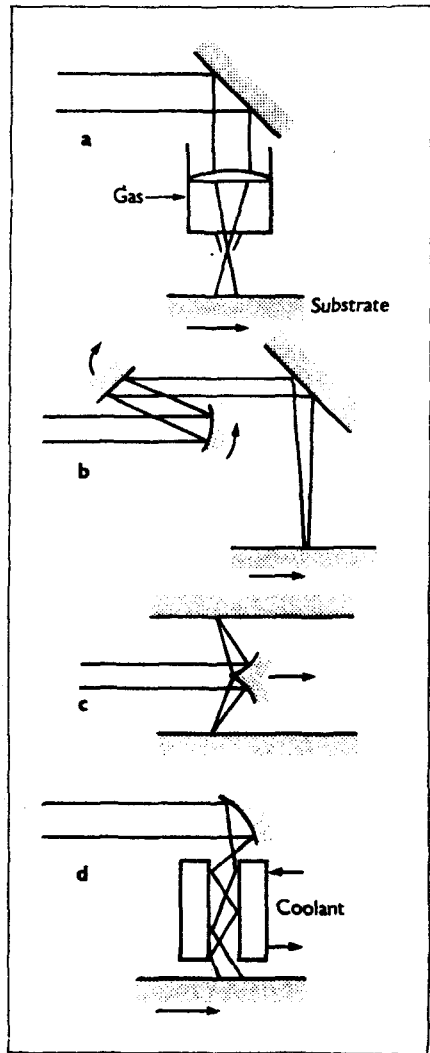


Fig. 2 Optical arrangements for laser surfacing; a, unfocused beam; b, rastered beam; c, toric mirror; and d, waveguide.

로 된다.

- 처리된 깊이의 정확한 조절이 가능하다.
- 경도 깊이의 분포형상을 이루게끔 하는 전력량 분배가 조절될 수 있다.
- 비록 거울을 이용해서라도 볼 수만 있다면, 어떠한 부분이라도 이 방법으로 처리될 수 있다.
- 쉽게 자동화할 수 있다.

- 복잡한 형태는 단지 소프트웨어만 변화시켜 처리할 수 있다.
- 처리공정 과정중의 조절도 가능하다.
- 장거리의 광선경로는 광학기구를 특정한 설비의 작업영역으로부터 어느정도 거리가 유지되는 것을 가능하게 한다.
- 처리속도가 비교적 빨라 생산성이 높다.
- 급냉응고로 인해 더욱 미세한 입자의 조직을 얻을 수 있다.

### A·3 처리 변수

#### A·3·1 반사성 조절

가공된 표면의 반사성은 보통 85~95%이다. 그러므로 종종 더 좋은 처리효율을 얻기 위해 이 값을 감소시킬 필요가 있다. 다음과 같은 공정들이 이것에 영향을 미친다.

- ① 흑연, MoS<sub>2</sub>, matt paint, 혹은 흑연/ 규산나트륨으로 표면을 착색.
- ② 표면을 쇼트 블라스팅한다. 그러나 이것은 바람직하지 못한 표면 마무리층을 생성시킨다.
- ③ 반사막을 씌운다.
- ④ Brewster의 각으로 입사되는 편광을 이용한다.

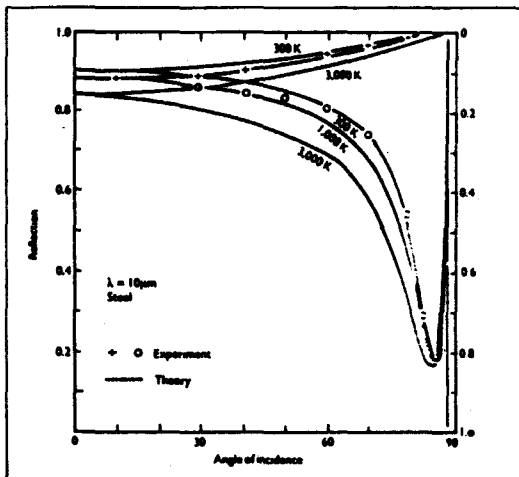


Fig. 3 The Brewster effect<sup>16</sup>

#### A·3·2 광학장치

이 처리는 표면 용융없이 경화가 일어날 경우 매우 미세한 한계내로의 전력량의 조절에 의존한다. 이것은 뒤에 보여지는 작용곡선에서 예증되어진다. 그러므로 광선은 한부분에 선택적으로 정해진 전력분배에 따라 예증되어진다. 그러므로 광선은 퍼져야만 한다. 각기 다른 전력분배에 따른 열침투는 Fig. 4에서 예시되어졌다. 광선을 형성하는 방법은 다음과 같다.

- ① Defocussing
- ② 1차원에서 rasting
- ③ 2차원에서 rasting
- ④ 집적거울로 광선을 집적
- ⑤ Axicon 렌즈로 광선을 집적
- ⑥ 봉이나 toric 거울을 이용한 실린더등과 같은 특별한 형태에 특수한 광학기구를 이용한 광 집적
- ⑦ 도파관(導波管)

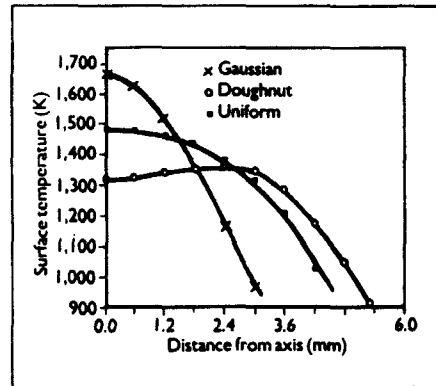


Fig. 4 Peak temperature distribution for different modes<sup>17</sup> Power, 3 KW, R<sub>s</sub>, 0.2; Beam diameter, 10mm.

#### A·3·3 처리공정 감지

생산에서의 레이저의 중요성은 아마도 매우 자동화된 시스템에서 발견될 것이다. 만약 이와 같은 경우, 처리공정을 감지하는 방법을 이용하여 처리공정의 제어가 가능하면 변태경화에서 공정중의

감지방법은 레이저의 최상의 성공에 결정적인 역할을 할 것이다.

이제까지는 3 가지 방법이 개발되었다.

- ① 표면온도는 제품에 부착된 열전대나 적외선 온도계로 측정된다. 이중 후자는 비접촉방법이기 때문에 상당히 유망한 방법이다.
- ② 마르텐사이트 변태를 음향방출 압전감지계로 들을 수 있다는 것은 이미 밝혀졌다.
- ③ 후방반사 신호로부터 이용할 수 있는 진단적인 정보는 광범위하고 아직까지 완전히 개발되지 않았다. 그러나 최근 Imperial 대학에서 개발되어 Quantum Laser 사에 의해 상품화된 음향 전력계는 이 신호를 쉽게 측정할 수 있게 했다.

현재의 레이저 변태경화의 응용은 Table 1에서 보여주는 바와 같다.

Table 1. Current applications of laser transformation hardening.

COMPONENT	MATERIAL	COMPANY	POWER	DEPTH	TEXT REF.
Crankshaft	Nodular cast iron	AVCO		1 mm	21
Valve guide	Grey cast iron	Ford			11
Steering gear housing (Timept 20s)	Ferritic malleable castings	GM	500W 1-1 1000W	0.5 mm	22, 23, 24
Diesel engine liner	Cast iron	GM	5kW		2, 21, 22
Rivets, clutch Springs					
Bushes					
Camshafts	Cast iron			1.27 mm	
Typewriters, interpolator bars					22
Electric shavers					22
Cut out cams, naval guns	4340 steel	US Navy	1.2 kW	0.38 mm	22
Corrugated paper rolls		Kraft	1.2 kW	1.0 mm	22
Engine air intake ports					21
Spine gear root	1050 steel		500W	0.38 mm	22, 26
Track guides M1-M60 combat vehicles			4kW	0.3-0.5 mm	22
Diesel engine piston grooves	0.4% C steel 5g cast iron		5 kW	0.6 mm	22, 25
Spacers	Cast iron				
Shafts					26
Cutting edges				0.61 mm	25
Parking brake bracket					21
Piston rings					27

### A · 4 처리공정 반응기구

#### A · 4 · 1 비용융상태에서의 열유동

표면이 용융되지 않는 변태경화는 수학적으로 모델화시키기에 가장 간단한 레이저 표면처리일 것이다. 용탕내에서의 대류는 잘 알려져 있고 표면 열손실은 대류와 방사의 normal rule을 따른다. 그

러나 수많은 모델이 이용됨에도 불구하고, 여지껏 특별한 처리로부터 기대되어질 수 있는 경도의  $\zeta$  이나 그 값을 설명하는 간단한 operating diagram을 그리는 것이 어렵다는 것이 입증되었다. 이것은 아마도 큰 광선지름을 가진 거의 1차원적 유동으로부터 더 작은 지름 - 혹은 Sharp에 의해 논의된 바와 같이 Peclet 수 - 을 가진 2차원적 유동으로 변하는 열유동때문일 것이다.  $P/\sqrt{DV}$ 와 경도의 깊이와의 실험적인 관계가 Courtney에 의해 밝혀졌다. (여기에서  $P$  = 흡수된 전력,  $D$  = 광선지름,  $V$  = 중주속도)

#### A · 4 · 2 확산에 의한 물질유동

강의 변태경화에서 모상조직은 특히 탄소의 불균질분포로 이루어진다. 일단 균질화가 일어나면 탄소는 농도가 낮은 쪽으로 이동한다. 오스테나이트 격자내에서의 확산시간은 Fig. 5에서 보는 바와같이, 이론적인 유한차이 모델(theoretical finite difference model)로부터 그려진 도표에서 지적된 대로 레이저 처리가 된 영역의 위치에 따라 달라진다. 그러므로 레이저 변태 경화된 영역에서는 아니지만 항시 모서리주변에 탄소가 완전히 확산되지 않아 결과적으로 불균질 마르텐사이트가 되는 영역이 존재한다. 이 불균질 마르텐사이트가 균질한 마르텐사이트보다 우선하는 지에 관한 충분한 실험이 없었다. 단지 Table 2에서와 같이 탄소농도가 높은 영역에서 더 높은 경도를 가지게 되고 그리하여 전체적으로 더 좋은 마모저항을 가지는 것이 예상된다.

Table 2. Experimental results of rotational wear resistance tests<sup>24</sup>

	LASER HARDENING	INDUCTION HARDENING
Material	SK5 (AISI W1)	SK5 (AISI W1)
Hardness	HRC64-67	HRC60-63
Case depth	0.7-0.9 mm	2.3 mm
Load	101 kg/mm	101 kg/mm
Scuffing	no occurrence	slight
Wear loss	0.5	1

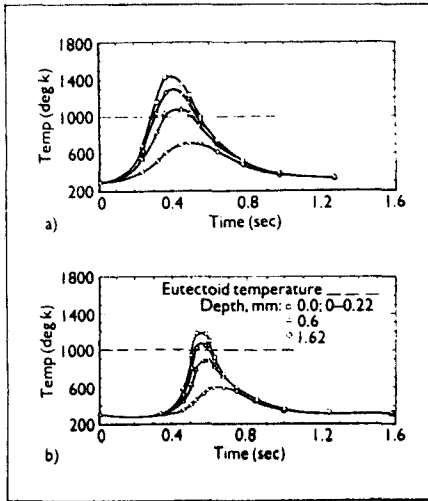


Fig. 5 Theoretically predicted thermal cycle during laser heating of En 8. Power, 2 KW; Beam radius, 3.0 mm; Reflectivity, 0.4; Speed (a), 22.5mm/s; and Speed (b), 42.5mm/s.

## A · 5 구조형성에 관한 기구

### A · 5 · 1 강

급격히 가열할때 펄라이트균은 처음에 오스테나이트로 변태한다. 그러면 탄소는 이러한 변태영역으로부터 확산해 나와 주변의 페라이트로 들어가 고탄소 오스테나이트의 체적분율을 증가시킨다. 급냉시에 어떤 탄소량(즉, 0.05%) 이상을 가지는 그러한 오스테나이트 영역은, 비록 탄소량이 0.1% 이상이 되면 잔류 오스테나이트가 발견되더라도, 냉각속도를 매우 빠르게 하면 급냉되어 마르텐사이트로 된다. 요구되는 냉각속도는 일정한 냉각곡선에 나타나 있다. LTH에서 냉각속도는 보통 100℃/S 이상인데 이것은 대부분의 강이 펄라이트나 베이나이트로 자기급냉(Self-quenching)되지 않음을 의미한다.

펄라이트의 변태는 시멘타이트판으로부터 페라이트판으로의 확산에 의해 진행되는 것으로 생각되어 지는데, 아마도 이것은 펄라이트균의 한 끝에서부터 시작될 것이다. 이 시간의존적인 반응은 오래 걸리지는 않으나, 레이저처리에서 이 반응이 어느

정도 진행되도록 하기 위해서는 균질화온도( $A_1$ ) 이상의 어느 정도의 과열로도 충분하다. 과열로 인한 확산반응의 정도는 앞서 존재한 펄라이트균의 크기에 다소 영향을 받는다. 변태시 이러한 균들은 0.8% 탄소함량을 가지는 오스테나이트로 된다. 이제 그 탄소는 탄소가 존재치 않는 페라이트로 확산된다. 또한 그 페라이트영역은 FCC 구조인 오스테나이트로 변태되어질 수도 있다. 결과적으로 생긴 마르텐사이트의 균질화 정도는 앞서 존재한 페라이트 영역과 처리조건 - 특히 반응시간(광선지름/종주속도) - 에 의존할 것이다. 그 정도는 탄소함량에 의존한다.

레이저처리된 강에서 노에서 처리된 강과 비교되는 어떤 특이한 금속학적인 변화가 발생되지 않았음은 이미 알려져 있다. 그러나 레이저처리의 더욱 급격한 가열과 냉각은 경화된 영역의 균질화 뿐만 아니라 미세한 형태의 마르텐사이트, 어느 정도의 잔류 오스테나이트와 탄화물석출을 초래한다.

### A · 5 · 2 주 철

페라이트형 주철은 페라이트와 흑연영역으로 구성된다. 그리하여 그 자체만으로는 확산시간이 너무 짧기 때문에 레이저에 의해 경화시키기가 어렵다. 전형적으로 20mm/S로 이동하는 5mm 광선에 대한 확산거리는  $10^{-1} \mu\text{m}$ 이다. 그러므로 형성되어지는 것은 단지 편상 흑연이나 구상흑연 주위의 단단한 껍질이다. 이것은 전체적인 경도값에 어떤 변화를 야기하지는 않지만 강한 마모성질을 줄 수 있다.

다소 빠른 냉각에 의해 형성된 펄라이트형 주철은 펄라이트와 흑연으로 구성된다. 이 경우에는 0.8% C 이상의 함량에서 변태경화에 의해 높은 경도치를 얻을 수 있다. 주철에서는 변태층과 용융층 사이에 매우 좁은 영역이 있다. 주철은 낮은 용점으로 인한 주조의 용이성 때문에 중요하다. 반면에  $A_1$  온도는 모든 탄소량에 대해 거의 일정하다. Sg 주철의 LTH는 흑연으로부터 탄소가 확산되어 나오는 것에 기인하는 용점저하를 초래하여 구상흑연 주위를 국부적으로 용융시킨다.

## A·6 성 질

### A·6·1 경 도

이것은 탄소량에 의존한다. 그 값은 Table 2에서 기록된 유도경화에서 알려진 값보다 다소 높을 수 있다고 알려졌다. 이 차이는 아마도 레이저처리 시 더 빠른 급냉을 허용하여 탄소의 균일성을 저하시키는 더욱 얇은 층에 기인할 것이다. 이것은 고농도 탄소농도구역을 형성시켜 이상변형뿐만 아니라 Kickuchi에 의해 보고된 대로 더욱 더 경한마르텐사이트를 발생시킨다.

연속적인 트랙이 겹치게 되면 이웃하는 트랙에 열적영향을 주게되어 역소려(back tempering)를 야기한다. 이것은 기름과 물을 위한 공간을 허용하기 때문에 반드시 나쁘지는 않다.

구조경화표면(patterned hardened surface)은 레이저처리전에 만들기가 곤란하기 때문에 주로 마모 표면만큼 많은 관심을 받지 못했다. 레이저는 구조 표면을 쉽게 만들 수 있으므로, 그것에 의해 Tribology에 전체적인 새로운 연구가 시작되었다.

### A·6·2 피 로

강과 주철에서는 변태경화시 마르텐사이트 형성에 의한 체팽창때문에 잔류응력이 존재한다. 피로파괴는 일반적으로 인장응력에 의해 표면에서 시작되므로 피로하중은 균열이 전파될수 있기 전 이 잔류응력을 극복하기에 충분해야만 한다. 그리하여 몇 년 구가들은 레이저처리로 개선된 피로수명을 보고했다.

### A·6·3 마모저항

또한 마모저항은 유층이나 수중소입의 그것과 비교해 레이저 처리로 개선됨이 알려졌다. SK5강에 의해 Kikuchi는 레이저처리된 표면의 마모저항은 유도경화된 표면의 그것보다 2배가 됨을 Table 2에서 보여준다.

## B. 레이저 표면용융 (LSM)

실험장치는 제법 집중된 레이저 광선이 이용되는 경우에만 표면경화와 유사하다. 용융되는 표면은 불활성분위기에 싸여 있다. 주요한 특징은 다음과 같다.

- 미세하고 거의 균질한 구조를 만드는 다소 빠른 냉각속도
- 적은 열침투, 이것은 왜곡을 적게하고 열에 민감한 재료에 사용하는 것을 가능하게 한다.
- 약 25  $\mu\text{m}$  정도의 표면처리층을 매우 쉽게 얻을 수 있다.
- 처리공정의 유연성

### B·1 처리 변수

처리공정에서의 주요 변수분야는 반사성 조절, 광선의 형성과 용탕의 보호등이다. 반사성은 용융공정때문에 조절하기가 어려우나 초기 반사성은 변태경화에서와 같은 방법으로 조절되어 진다. 광학장치는 용탕의 튀김이나 증기로부터 광학기구를 보호하기 위해 이용되는 방법뿐만 아니라 용탕에서의 유동을 조절하기 위해 요구되는 스폿크기나 광선형태를 만드는 방법에 따라 변한다. Mo 반사기구의 개발로 위의 첫 방법이 해결되었는데 이 기구는 비교적 세정하기가 용이하다.

### B·2 용 용

생산에의 레이저 표면용융의 응용은 아직 보고되지 않았다. 그러나 상당히 관심을 모으는 3가지 분야—즉 주철, 공구강, 매우 높은 냉각 속도로 metallic glass를 만들 수 있는 공정상—가 있다. 이런 모든 것들은 본질적으로 LSM에 의해 균질화되는 불균질재료들이다.

현재 LSM이 이용되지 않는 이유를 설명할 수 있는 두가지 이유가 있다. 첫째로, 표면용융이 필요로 된다면 표면합금화가 공정이 거의 같으므로 표면합금화로 경도, 마모 혹은 부식성의 개선 가능성도 덧붙여 제공한다. 둘째로, LSM에 의해 주철

과 공구강에 얻어진 매우 높은 경도는 어떤 표면이 동과 연관되므로 처리후 finishing이나 기계가공이 요구된다. 이러한 후속처리도 매우 높은 경도로 인해 용이하지 않으므로 때로는 마무리된 형태의 경제적인 기본열처리가 차라리 바람직하다.

### B. 3 생산

레이저 표면용융에 의해 생산되는 몇몇 중요한 공업재료는 다음과 같다.

#### B. 3. 1 주철

시멘타이트/레데브라이트 구조는 Fig. 6 에서와 같이 모서리나 HAZ에서의 흥미있는 확산효과로 형성된다. 경화효과는 후연에서 시멘타이트로, 오스테나이트에서 마르텐사이트로의 변화로 인해 생성된다.

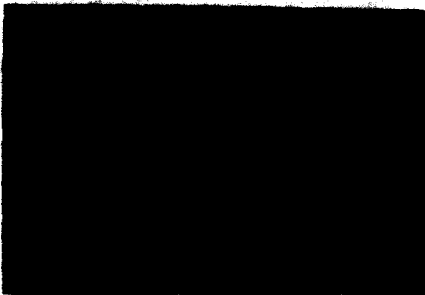


Fig. 6 Edge of laser melt zone in flake graphite cast iron. The structure in the fusion zone on the left is ledeburitic, through to austenite, martensite, graphite/ferrite<sup>36</sup>.

#### B. 3. 2 스테인레스강

마르텐사이트나 오스테나이트의 미세한 구조는 오스테나이트강에서의 잔류인장응력을, 마르텐사이트강의 단일트랙에서의 압축응력(접철 경우는 인장응력이 됨)을 초래하면서 생성된다.

#### B. 3. 3 티타늄

매우 전위된 미세구조가 형성된다.

#### B. 3. 4 공구와 특수강

매우 경하고 미세하게 분산된 탄화물이 높은 고온경도 성질과 병행해서 생성된다.

청동과 metallic glass에서 레이저가 이들 표면과 부딪칠때의 효과는 문헌에서 다루어졌다. 그러나 모든 재료에는 경도가 높아지면 균열이 생기는 경향이 있으므로 보통 예열처리함으로써 피할 수 있다.

### C. 레이저 표면합금화(LSA)

레이저 표면합금화는 다른 물질이 용탕내에 가해지는 것을 제외하고는 레이저 표면용융과 유사하다. 이 처리의 주요 특징은 다음과 같다.

- 대부분의 재료들은 다른 기저층으로 들어가 합금화되고, 높은 응고속도는 편석을 최소화한다. 사실상 몇몇 표면합금 - 예를 들면 Fe/Cr/C/Mn - 들은 급냉응고에 의해서만 만들어질 수 있다.
- 처리된 층의 두께는 1~2000  $\mu\text{m}$  정도이다. 매우 얇고, 매우 빠르게 급냉응고된 합금영역은 Q변환 레이저(Q Switched laser)를 이용해만 들어질 수 있다.
- 기화성이 강한 소재는 어느 정도의 손실이 예상될 수 있다.
- 다른 특질들은 표면용융과 동일하다.

#### C. 1 처리변수

처리공정에서의 변수들은 합금성분이 더해져야만 하는 것을 제외하고는 표면용융과 유사하다. 합금은 다음 방법들에 의해 생겨날 수 있다.

- ① 진기 도금
- ② 진공 기화
- ③ 미리 놓여진 분말로의 도금
- ④ 박막 이용
- ⑤ 이온 주입
- ⑥ 확산, 예를 들면 boronizing



- ⑦ 선 주입 (wire feed)
- ⑧ 반응성 가스막, 예를 들면 Ar과 C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>의 혼합가스 혹은 N<sub>2</sub>

C·2 응용

LSA는 다양한 표면합금을 만들 수 있다. 높은 응고속도는 불안정한 합금이 표면에 형성되지 않게 한다. 이런 모든 것은 비접촉 방법에 의해 이루어지는데 비교적 쉽게 자동화 할 수 있다. 놀랍게도 오늘날까지 생산응용에의 보고가 없다. 조사되어진 계들은 Table 3에 나타나 있다.

Table 3. A selection of material systems for which laser surface alloying has been investigated.

SUBSTRATE	SURFACE ALLOYING INGREDIENT	DELIVERY SYSTEM	TEXT REFERENCE
Ti Ti alloys	N C	Gas Paint	9, 55
Cast irons	Cr, Si, C	Paint Blown powder	56
Steel	Cr Mo B Ni	Electroplate Paint Diffusion Plating	58, 69 59 26, 51 60, 61
Stainless steel	C	Blown, painted	62
Al	Si, C, Fe	Paints	63, 64, 65
Superalloys	Cr	Plated	66

D. 레이저 표면크래닝

레이저크래닝의 목적은 기저층에로의 최소한의 용해로 기저층의 표면위에 합금을 용합시키는 것이다. Fig. 7에서와 같이 하나의 크래드트랙이 서로 겹치면서 접착되어진다.

그 처리는 기저층에 분말을 미리 놓거나, Fig. 8에서와 같이 레이저가 생기는 용탕으로 분말을 분사시킴에 의해 실행될 수 있다. 또한 선이나 판과 같은 크래드재료를 플라즈마 분사도금이나 전기도금을 행함으로써 이루어 질 수 있다.

분사된 분말에 의한 처리의 주요 특징은 다음과 같다.

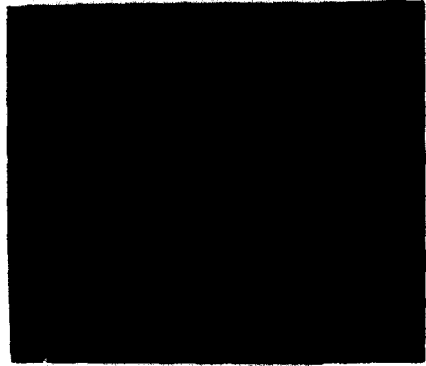


Fig. 7 A laser surface-clad of 316 stainless steel on mild steel. Thickness is 0.3mm at bottom and track at top is 1mm<sup>13</sup>

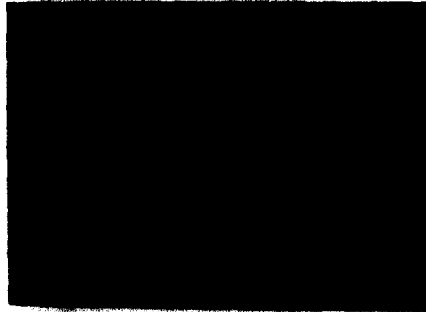


Fig. 8 Blown-powder laser cladding process in operation<sup>14</sup>.

- 용해도의 조절
  - 열에 의한 왜곡을 줄이기 위한 국부적인 가열
  - 어떤 한도내로 크래드의 형태를 조절
  - 한번의 통과로 0.3~3mm 두께를 가지게 함.
  - 부드러운 표면마무리
  - 훌륭한 용합결합
  - 미세한 금냉조직
  - 비접촉방법의 이용
  - 자동화의 용이함
- 레이저 표면크래닝의 처리변수들은 다음과 같다
- 혼합된 분말주입 : 이 방법으로 합금이 in-situ로 형성되거나 불균일 침적물이 형성된다.
  - Optical feed back systems : 이것은 광선전력 이용의 효율을 거의 40%까지 증가시킨다.
  - 진동에서의 크래딩 : 이 방법에 의해 기저층은

크래딩이 진행되는 동안 초음파적으로 진동되어진다. 이 기술에 의한 크래딩으로 균열이나 기공이 상당히 적게 관찰되어 진다.

**Table 4. Representative laser cladding efforts at production stage.**

COMPANY	COMPONENT	COMMENT
Rolls Royce	Turbine blade strut interlock	Titanium/zirconium powder feed
Pratt & Whitney	Turbine blade	PWA 690/zirconium propylated chips
G.E.	Proprietary	Reverse machining with Ti powder feed
Quantum Laser Corp	Various	Coating and welding services.

## D·1 응용

크래딩에서 레이저의 첫번째 이용은 RB 211기관에 있는 터빈 날개두껍 (blade sbroud) 이음새를 크래딩하기 위해 Rolls Royce에서 개발되었다. 그 이래로 많은 회사에서 레이저 크래딩처리를 사용했다. Eboo는 Table 4에서 이런 활동을 나열했다.