

## 레이저를 이용한 cladding process

김찬욱, 석한길

한국기계연구원 용접기술연구소

## Laser Cladding Process

C. W. Kim and H. G. Suk

Welding Technology Department

Korea Institute of Machinery &amp; Metals(KIMM), Daejeon, 305-606

## 1. 서 언

기계부품의 수명은 기계적인 마모 혹은 부식작용에 의해 좌우되기 마련이다. 손상된 부품은 대체하면 되지만 단순히 대체차원을 떠나 특히 작업중인 경우는 생산라인의 중단과 부품의 조립에 따르는 시간적 손실을 동반하기 때문에 전체적인 코스트를 고려하면 경제적 손실면에서의 파급효과는 크게 된다. 작업중의 기계부품은 여러형태의 하중을 동시에 받으며 그 부품을 구성하는 요소부품들은 완전히 다른 별개의 조건에서 사용되기 때문에 여러조건들을 만족시키는 특성을 발현하는 신합금을 개발한다든가 작동시에 요구되는 조건들을 전부 동시에 만족시킬 수 있는 기능부품을 설계, 제작하는 것은 매우 어렵다. 따라서 부품의 매트릭스재료의 본래의 특성을 해치지 않으면서 손상을 받는 부분, 즉 표면만의 특성을 개선시키는 방법이 효과적이라 할 것이다. 이러한 측면에서 레이저는 기하학적 요소 또는 출력특성을 잘 이용함으로써 재료표면에 야금학적인 변화를 줄 수 있는 특징이 있다.

한편, 레이저를 산업활동에 도입하기 시작한 이래 지난 10여년간 레이저를 이용한 천공 및 절단이

나 용접 process 등은 나름대로 신뢰성있는 생산기반기술로써 그 위치를 굳혔으나 레이저를 이용한 표면처리기술은 실용성있는 생산기술로써 가능성이 있다는 정도로만 산업계에 인식이 되어져 왔다. 그러나, 최근 선진국에서는 산업계의 필요성에 부응하기 위하여 레이저가 갖고 있는 특성을 활용한 새로운 표면공정기술이 개발되면서 레이저(예: CO<sub>2</sub>레이저: 파장; 10.6 $\mu$ m, 출력; 10<sup>2</sup>~10<sup>4</sup>W, 10% pulse)를 이용한 표면처리기술이 산업계에 적극적으로 활용되고 있는 추세이다. 실제로 일본의 자동차공업의 경우, 1990년 현재 CO<sub>2</sub>레이저빔을 이용한 생산기술중 표면처리기술이 차지하는 비중은 약 6.2%로<sup>1)</sup> 절단 및 천공기술의 점유율(83.9%)에는 훨씬 못미치나 레이저가공기의 보급율이 지속적으로 가속됨에 따라 그 점유율이 또한 신장되리라고 전망되고 있다.

본고에서는 기존의 표면처리기술로는 적용하기 어려운 분야 내지는 개선을 요하는 분야에서 레이저를 이용한 표면처리기술의 적극적인 활용을 도모하기 위해 레이저를 이용한 크래딩 프로세스의 일예를 소개함과 동시에 cladding 파라메타가 clad quality에 미치는 제영향에 대해 고찰하고자 한다.

## 2. 레이저 cladding 기술

레이저빔을 이용한 surface cladding process는 내마모성이나 내식성이 요구되는 곳에 광범위하게 적용할 수 있는 기술로 cladding이란 문자뜻 그대로 기판과는 전혀다른 성질의 물질(첨가재료)을 기판상에 부착하는 공정을 의미한다. 첨가재료는 용도에 따라 wire, 판재, 분말등 여러가지의 형태를 취할 수 있으나 본고에서는 분말상태의 첨가재료에 국한시켜 서술하기로 한다.

### 2.1 특성

cladding process는 용융과정이 수반되며 부착면에서 조성이 변하므로 일반적으로 통용되는 homogeneous system의 coating과는 구분된다. 첨가재료로서는 요구되는 특성과 경제성을 고려하여 분말상의 여러가지 결합상태의 hard metal (Fig. 1참조)이나 stellite합금(주로 탄소, 크롬, 텅스텐을 첨가한 Co base 재료) 등을 사용하고 있

다. cladding process는 분말상태의 첨가재료 주입, 에너지흡수, 용융 및 응고과정으로 구성되며 레이저출력, 레이저빔의 크기 및 형상, 스캔속도, 기판의 물리화학적 특성 등과 같은 인자에 의해 지배된다. 이러한 인자들의 구체적인 예를 Fig. 2에 나타낸다. cladding된 부분의 조성 및 조직은 첨가재료 및 기판간의 혼합정도와 냉각속도에 좌

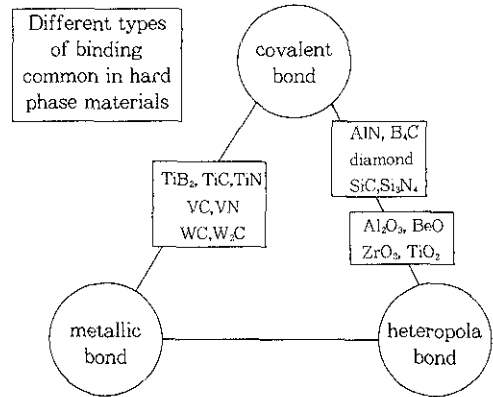


Fig. 1. Character of binding for different hard phase materials.

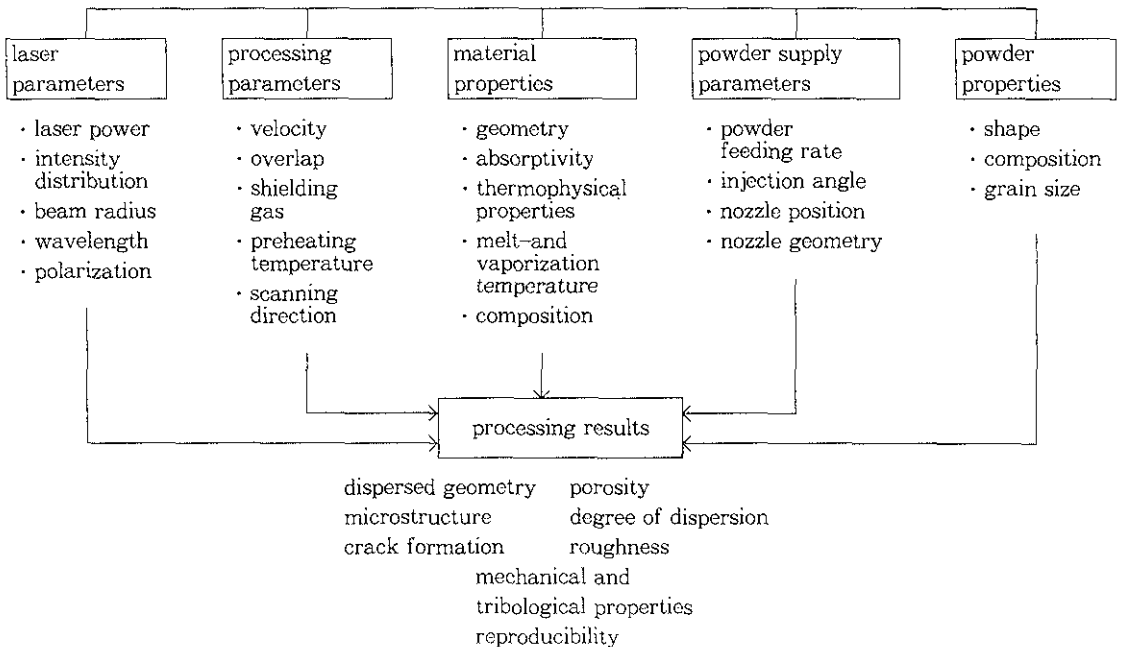


Fig. 2. Significant processing parameters for Laser cladding.

우된다. 첨가재료와 기판간의 결합력은 cladding process의 중요한 요소이며 process 인자를 잘 선택함으로써 dilution(정의에 대해서는 Fig. 3참조)을 2% 정도까지 낮게 조절할 수가 있다. 열영향부(HAZ), thermal distortion 및 single track에 의해 생기는 cladding 표면적응의 인자도 cladding process의 중요한 요소로 작용하며 이러한 인자들을 작게 하는 것이 바람직하다. 또한 급열 및 급냉정도에 따라 조직을 제어할 수 있으나 경우에 따라서는 조직이 비평형상태의 결정상 내지는 아몰퍼스화하여 조직내에 많은 점결함이 생겨나는 경우도 발생하므로 단위면적당 열입열량이 중요한 변수로 작용한다. cladding에는 용접 또는 절단공정과 비교하여 작은 출력밀도(power intensity)의 레이저가 적합하다.

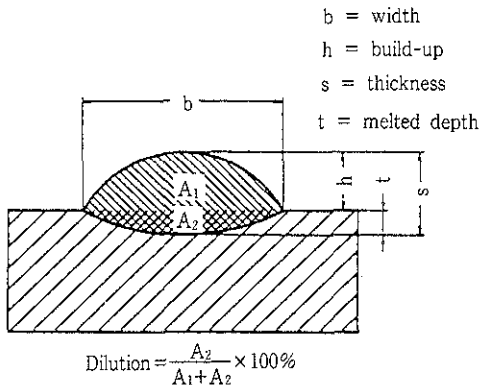


Fig. 3. Schematic diagram of Laser cladded track.

Laser cladding process에는 two-step-process와 one-step-process가 있으며 전자의 경우는 cladding할 부위에 thermal spray 등과 같은 방법으로 미리 첨가재료를 coating시킨후 레이저빔으로 재용해하여 기판에 부착하는 방법(pre-deposited material-method라고도 함)이다. 이 방법은 코팅층과 기판의 결합력을 증가시키고 또한 코팅층의 조직이 균일한 미세구조를 부여하는 등의 특징을 겸비하고 있다. 반면, 후자는 레이저빔이 조사되는 기판에 노즐을 통해 불활성가스와 더불어

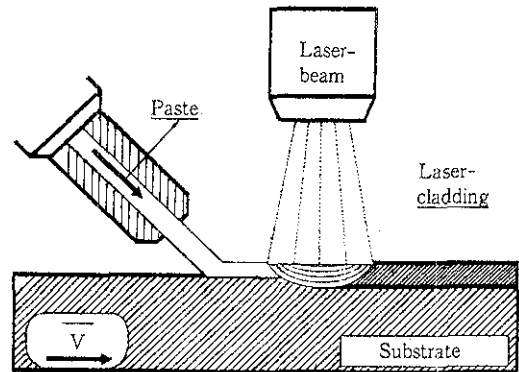


Fig. 4. Scheme of the one-step laser cladding process with paste bound cladding material.

어 직접 첨가재료를 주입하여 부착시키는 방법(blown-powder method라고도 함)으로 dilution이 작은 코팅층을 손쉽게 제어할 수 있는 장점이 있다. 그러나 one-step-process는 분말(첨가재료)을 직접 불활성가스와 같이 주입하므로 분말 효율(주입분말에 대한 기판에 부착된 분말의 양적 비율을 의미함)이 낮아 경제적인 측면에서 큰 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기위해 최근에는 분말에 결합제를 섞은 paste를 사용하는 새로운 one-step-process도 개발되어 있다. 이 방법은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 레이저빔이 조사되는 영역 바로 전방의 기판상에 paste를 주입하고 기판을 이동시킴으로써 paste를 용융시켜 연속적으로 cladding층이 만들어지도록 되어 있으며 single track을 반복하여 overlapping함으로써 균일한 넓은 cladding층을 만들 수 있는 특징이 있다. paste중의 결합제는 shielding gas(불활성가스)에 의해 분말입자가 흩날리지 않도록 분말을 일정한 형태로 유지하며 또한, 가열되는 동안 증발되어 cladding층에 혼입되지 않는다. 양질의 cladding층을 만들기 위해서는 paste, 주입시스템 및 cladding process에 대한 최적화를 필요로 하는 어려운 점이 있다. 그러나 이 방법은 첨가재료의 위치를 정확하게 제어할 수 있고 또한 결합제를 사용하기 때문에 첨가재료의 열적 분해가 적게되는 것

점이 있다<sup>2)</sup>.

2. 2 알루미늄합금의 cladding

알루미늄합금은 경량구조재로써 우수한 특성을 살려 수송 및 산업기계 분야에서는 이미 널리 활용되어 왔다. 최근에는 산업의 고도화와 더불어 항공기 및 자동차용 구조재로써 그 기반이 되는 중요한 재료로 활용되고 있으며 현재, 환경 및 자원의 재활용(recycling)문제가 전 세계적으로 큰 issue로 대두됨에 따라 전산업분야에 걸쳐 알루미늄합금을 적극적으로 활용할 추세이다. 그러나, 알루미늄합금은 내마모성이 떨어지는 단점을 갖고 있으므로 특히 우수한 표면특성이 요구되는 기계부품용(엔진부품 등)재료로 활용하기 위해서는 매트릭스재료를 보호하기위해서 충분한 기계적특성(내마모성 및 경도 등)을 표면에 부여하는 새로운 코팅재료 및 코팅 process의 개발이 요구되고 있다. 본절에서는 CO<sub>2</sub>레이저를 이용한 알루미늄합금의 cladding기술<sup>3)</sup>의 소개와 함께, crack이나 pore가 없는 양질의 코팅층을 제작하는 데 주요한 인자로 작용하는 shielding gas의 양, nozzle diameter, processing speed, powder quantity 등의 파라메타의 영향에 대해 기술하기로 한다.

2. 2. 1 processing speed 및 nozzle diameter

코팅첨가재는 입자크기가 40~106 $\mu$ m인 Ni base합금(15.5Cr,3.1B,4.3Si,Ni bal.)을 사용하여 Table 1과 같은 주조알루미늄합금에 대해 one-step-process로 크래딩을 행한 경우를 예시한다.

nozzle diameter는 분사되는 분말의 양, cladding 층의 용융지 깊이 및 너비를 좌우한다. Fig. 5에는 nozzle diameter 및 processing speed가 용융지의 깊이 및 너비에 미치는 영향을 나타낸다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 processing speed가 약 1.5m/min를 경계로 그 이하인 경우는 용융지의 깊이 및 너비는 nozzle직경에 크게 의존하나 그 이상인 경우는 processing speed가 증가함에 따라 nozzle diameter에 관계없이 용융지의 깊이 및 너비가 일률적으로 서서히 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나, 전반적으로 살펴보면 nozzle diameter는 3mm일때 최적의 결과가 얻어짐을 알 수 있다. Fig. 6은 nozzle diameter를 1mm로 일정하게 했을때 processing speed가 cladding층의 경도에 미치는 영향을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 processing speed가 증가함에 따라 cladding층

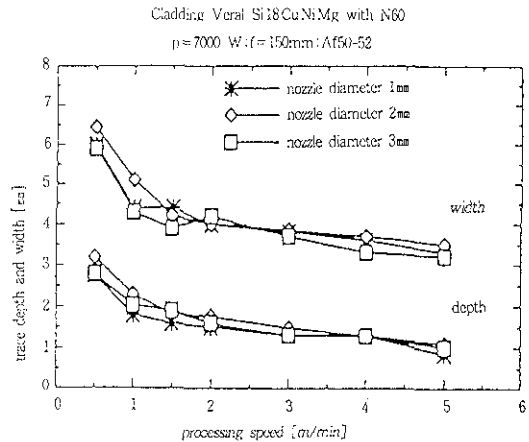


Fig. 5. Cladding with different nozzle diameter.

Table 1. The sample composition

	nominal composition %					
	Si	Fe	Cu	Mg	Ni	Al
Veral Si12CuNiMg	12	0.3	1.1	1.1	1.1	bal.
Veral Si18CuNiMg	18	0.3	1.1	1.1	1.1	bal.
pantal 7	7			0.4		bal.
Silumin beta	9.5			0.4		bal.

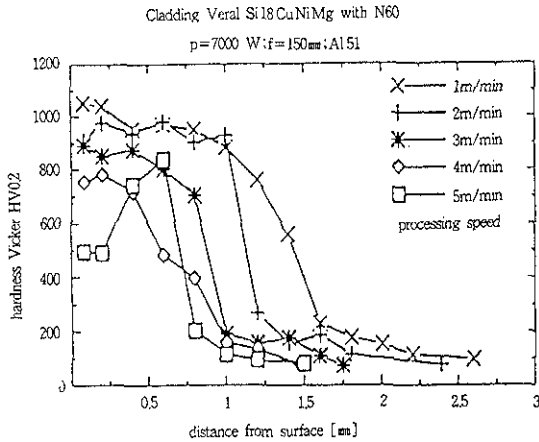


Fig. 6. Hardness profiles of cladded aluminum alloy.

의 표면경도가 감소하며 특히, cladding층의 표면으로부터 깊이방향으로 거리가 0.75mm를 넘을 경우는 경도가 급격히 감소함을 알 수 있다. 표면에서 processing speed가 클 수록 경도가 감소하는 것은 단위체적당 입열량이 cladding층의 미세구조에 영향을 주는 것으로 사료된다. 즉, 급열 및 급냉정도가 cladding층의 결정립도를 좌우하기 때문에 processing speed가 클수록 결정립이 조대화하여 그 결과 경도가 감소하는 것으로 해석된다.

## 2. 2. 2 beam defocussing

매트릭스상에서 초점의 위치에 대한 beam defocussing 또한 cladding process에 크게 영향을 끼친다. Fig. 7은 beam defocussing이 용융지의 깊이 및 너비에 미치는 영향을 나타낸다. 용융지의 너비는 defocussing 길이가 20mm일때 가장 좁게 나타나는 반면, 용융지의 깊이는 defocussing 거리가 길어짐에 따라 단조롭게 서서히 증가하는 경향을 보이고 있다. Fig. 8은 defocussing이 클래딩층의 경도에 미치는 영향을 나타낸다. beam defocussing 거리가 20, 22 및 24mm일때, cladding층의 표면으로부터 약 1.0mm까지의 영역에서 경도는 약 700~900Hv로 평가되었다. 또한 그림에서 보는 바와 같이 defocussing이 16mm일

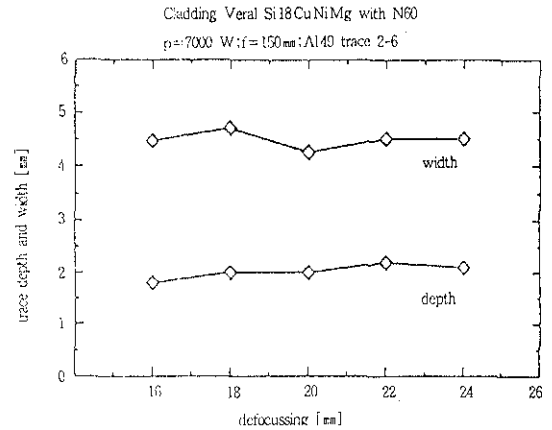


Fig. 7. Influence of beam defocussing on the trace depth and width.

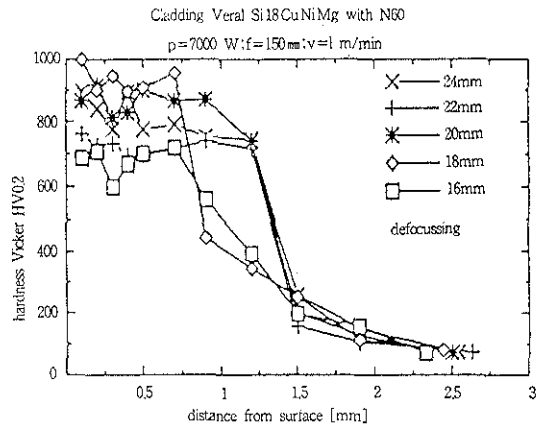


Fig. 8. Influence of beam defocussing on the hardness profiles.

때, cladding층의 표면으로부터 0.7mm까지의 영역에서 경도는 950Hv로써 가장 큰 수치를 나타내고 있는 반면, 표면층으로부터 1mm깊이의 영역은 경도가 200~400Hv로 급격히 그 수치가 낮아지고 있다. 이 결과는 cladding process중 매트릭스재료인 알루미늄과 첨가재료가 합금화하고 있음을 의미하고 있으며, 특히 합금화층의 기계적특성이 crack생성의 주요한 요인으로 작용하는 경우가 발생하기도 한다. 따라서 표면층으로부터 깊이에 대한 경도의 프로파일양상이 급격히 변화하지 않는 양호한 cladding층 및 균일한 합금화층

을 제작하기 위해서는 defocussing 거리를 최적화할 필요가 있다. 합금화층에 미치는 인자로서 광학적인 파라메타 이외에 야금학적 특성으로써 합금화 첨가원소가 또한 중요한 인자로 작용한다. 이와 관련하여 Hashimoto 등<sup>4)</sup>은 알루미늄모재의 합금화층에 미치는 첨가원소의 영향에 대해 조사하였다. 조사결과에 의하면 균일한 합금화층을 형성하기 위해서는 알루미늄과 공정반응을 일으키는 Cu나 Ni 등의 합금화원소가 적합한 반면, Cr이나 Ti과 같은 포정반응을 일으키는 원소는 합금화층에 고용점의 화합물을 형성하여 균일한 합금화층이 형성되지 않았다고 보고하고 있다. 또한, 첨가원소에 관계없이 합금화하는 첨가원소량이 증가함에 따라 경도는 증가하였으며 Cu나 Si 합금화층 내에서는 crack이 발생하지 않은 반면 Cr, Ni 및 Ti 합금화층에서는 미소 crack이 발생하였다<sup>4)</sup>.

### 2. 2. 3 shielding gas

shielding gas 또한 cladding 층에 영향을 미친다. shielding gas로 N<sub>2</sub>를 사용하였을 때가 용융지가 가장 깊으며 Ar이나 He를 사용할 경우는 그 깊이가 감소한다. Ar이나 N<sub>2</sub>에 비하면 He를 shielding gas로 사용하였을 때가 매트릭스재료인 알루미늄과 첨가재료의 합금화를 최소화할 수 있고, 또한 crack이나 기공이 존재하지 않는 양호한 cladding층이 얻어진다. 일반적으로 기관과 크래딩 첨가재료의 열팽창계수가 크게 다를 경우 cladding 내부층에 crack이 발생할 위험도가 증가한다<sup>5)</sup>. 또한, cladding층내부에서의 잔류응력을 줄이기 위해서는 cladding하기 전에 미리 기관을 예열할 필요성이 있으며 대체적으로 첨가재료는 기관의 열팽창계수보다 작은 재료를 선택하는 것이 crack발생을 억제하는 유효한 방법이다<sup>5)</sup>.

Fig. 9 및 10에는 각각 He 및 CO<sub>2</sub>를 shielding gas로 사용하였을 때 용융지의 깊이 및 너비에 미치는 유량의 영향(X표로 나타냄)을 나타낸다. 또한 He 및 CO<sub>2</sub>에 Ar이나 N<sub>2</sub> 등의 가스를 혼합하였을 때는 pure gas를 사용한 경우보다 용융지

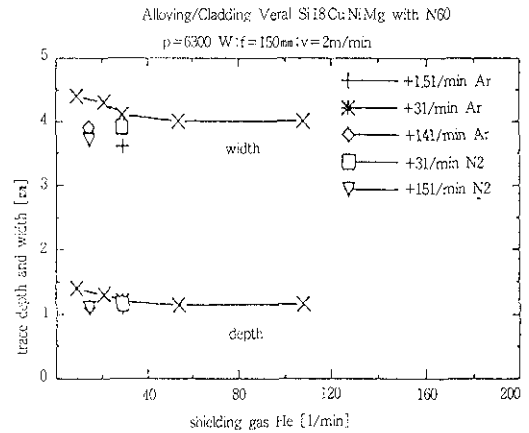


Fig. 9. Influence of shielding gas on the trace depth and width.

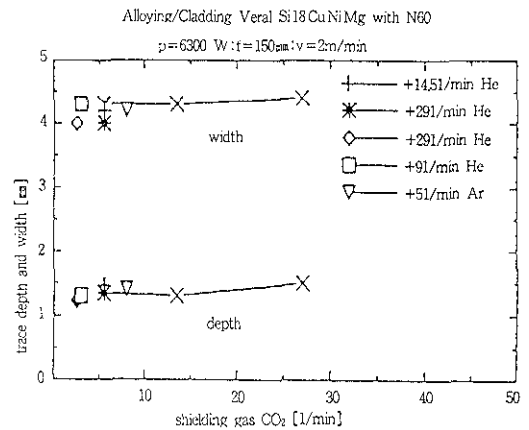


Fig. 10. Influence of Shielding gas on the trace depth and width.

의 깊이 및 너비가 거의 감소하고 있음을 보여주고 있다.

### 2. 3 injection geometry의 영향

cladding작업시의 분말효율은 경제적으로 중요한 변수로 작용한다. cladding process를 이용하여 경질재료를 코팅한 완제품(기체류부품)의 단가는 경우에 따라서는 제품단가의 약 50%정도가 cladding분말의 비용을 점하기 때문이다. 또한 cladding의 crack, 기공, 표면거칠기 그리고 dilution 정도가 clad quality를 좌우하므로 cladding

기술을 향상시키기 위해서는 cladding process 파라메타의 최적화에 관한 정보를 필요로 한다. 본 절에서는 injection nozzle의 기하학적 파라메타( $\theta_1$  및  $\theta_2$ )가 분말효율 및 clad quality에 크게 영향을 미치므로 그 영향에 대해 Marsden 등의 실험결과<sup>6)</sup>를 중심으로 알아보기로 한다.

실험결과에 대해 고찰하기 전에 우선 injection nozzle의 기하학적 파라메타인  $\theta_1$  및  $\theta_2$ 를 정의하는 모식도를 Fig. 11 및 12에 나타낸다. 그림에서 처럼  $\theta_1$  및  $\theta_2$ 는 각각 시편평면 및 시편의 이송방향과 이루는 injection angle를 나타내고 있다. 모재는 연강(저탄소강)인 st17를 사용하였으며 첨가재료는 입도가 30~60 $\mu\text{m}$ 의 Stellite 6 (26Cr,5W,1C,bal. Co)분말을 사용하여 Table 2의 조건으로 실험을 행하였다.

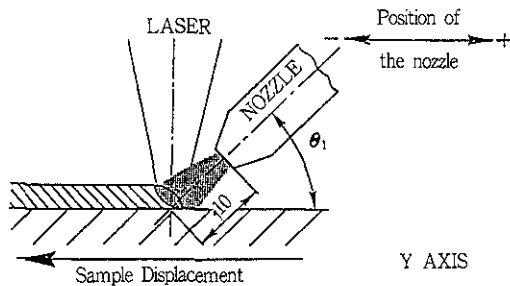


Fig. 11. Position of the nozzle relative to the laser beam in the Y-axis, showing the definition of the variables.

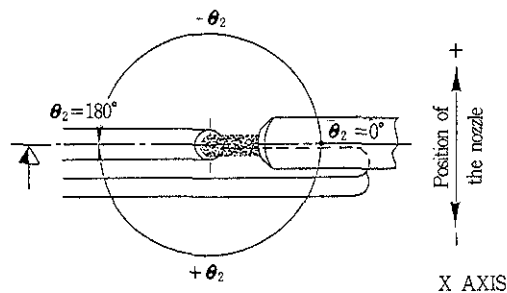


Fig. 12. Position of the nozzle relative to the laser beam in the X-axis, showing the definitions of the variables.

Table 2. Processing parameters

beam diameter	2mm
beam power	1,500W
injection nozzle diameter	2mm
step(or inter track advance)	0.6mm
speed	800mm/min
powder feeding rate	6 g/min

Fig. 13은 분말효율의  $\theta_1$ 의존성을 나타낸다.  $\theta_1$ 이 25°에서부터 65°까지 변함에 따라 분말효율이 거의 직선적으로 변화하고 있음을 알 수 있다. 이것은 모재상의 조사단면 형상은  $\theta_1$ 이 커짐에 따라 중횡비(aspect ratio)가 큰 타원형에서 중횡비가 큰 원형으로 변하기 때문이다. 즉,  $\theta_1$ 이 작을 때는 분말이 용융지반으로 공급되는 비율이 크기 때문에 손실되는 분말량이 증가한다. 또한, 분말효율의  $\theta_1$ 의존성을 외삽하여 보면 90°일때의 그 값이 약 70%로 100%가 되지않고 있음을 알 수 있다. 이것은 분말이 공급되는 단면적이 노즐로부터 분사되는 분말의 분산작용으로 인하여 2mm의 직경보다 큰 원형이 되기 때문에 손실되는 분말량이 많음을 의미한다. 그러므로 레이저빔직경에 대한 노즐직경의 비율은 중요한 processing parameter이며  $\theta_1$ 이 90°일때 이 비율이 커질수록 분말효율이 커지게 된다.

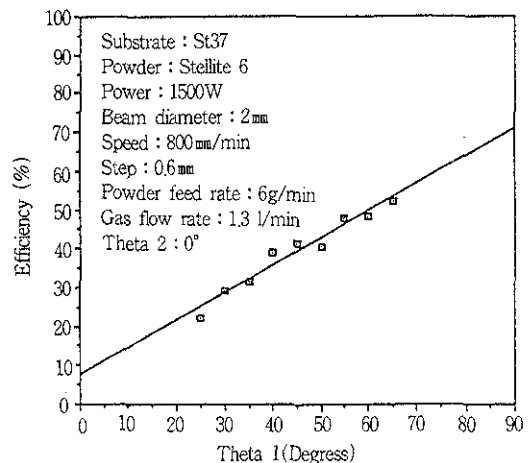


Fig. 13. Efficiency against Theta 1( $\theta_1$ )

Fig. 14 및 15에는  $\theta_1$ 을  $55^\circ$ 로 고정했을때 분말효율 및 표면거칠기에 미치는  $\theta_2$ 의 영향을 나타낸다. Fig. 14를 보면 분말효율은  $\theta_2$ 가  $\pm 180^\circ$  근방 및  $0^\circ$ 일때 각각 최소, 최대치를 보이고 있으며 용융지의 조사면적이 작아질 수록 분말효율이 낮아지는 것이 일반적인 경향으로 나타나고 있다. 즉  $\theta_2$ 가  $0^\circ$ 일때는 분말의 공급방향이 용융지와 거의 수직이므로 조사면적은 최대가 되며  $\theta_2$ 가  $\pm 180^\circ$ 인 경우는 분말이 공급되는 방향과 용융지의 일부분이 거의 평행상태이므로 최소가 된다. 또한  $\theta_2$ 가  $\pm 180^\circ$ 인 경우, 분말효율이 최소치를 갖지않는 것은 노즐의 위치가 분말효율이 최대가 되도록 최적화가 되어있기 때문이다. 이러한 최적화 프로세스에 의해 전 영역에 걸쳐 크래딩작업을 행할 경우, 분말효율은 Fig. 14의 점선으로 표시한 프로파일을 따른다고 가정할 수 있다. 또  $\theta_2$ 가  $+90^\circ$ 인 경우가  $-90^\circ$ 인 경우 보다 분말효율이 낮은 것은 다음과 같이 설명된다. 즉  $\theta_2$ 가  $-90^\circ$ 인 경우는 공급되는 분말과 용융지의 일부분이 수직을 이루는 반면,  $\theta_2$ 가  $+90^\circ$ 인 경우는 크래딩층이 용융지를 어느정도 가리게 되어 용융지의 표면이 공급되는 분말과 거의 평행이므로 실제로 용융지에 공급되는 분말의 양이 적게되기 때문이다.

Fig. 15는 표면거칠기에 미치는  $\theta_2$ 의 영향을 나타낸다. 노즐이  $\theta_2$ 가  $0^\circ$ 에서  $-$ 쪽으로 이동함에 따라 표면거칠기는 급격히 증가하기 시작하여  $-90^\circ$  근방에서 최대치를 가지며  $\theta_2$ 가  $-90^\circ$ 를 넘으면 표면거칠기는 다시 급격히 감소하기 시작하여  $\theta_2$ 가  $-180^\circ$ 일때 최소치를 갖게 된다.  $\theta_2$ 가  $0^\circ$ 와  $+180^\circ$ 사이에서는  $\theta_2$ 가 증가함에 따라 서서히 감소하기 시작하여  $+180^\circ$ 에서 최소치를 갖게 된다. 이것은 표면거칠기가 노즐의 기하학적 위치에 따라 공급되는 분말입자(빔에 의해 예열됨)와 모재가 접촉하는 포인트에 따라 달라지기 때문이다. 즉, 노즐을 통해 분사된 분말이 용융지를 비껴나간 경우 용융지 부근은 충분히 고온이나 용융상태는 아니므로 분말은 용융지의 배면측 내지는 그 측면의 clad와 충돌하여 달라붙게 된다.

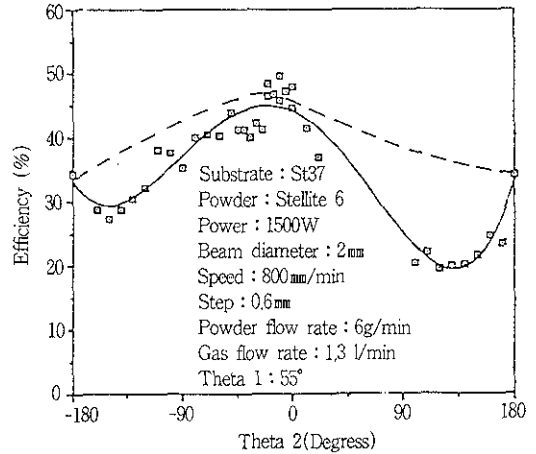


Fig. 14. Efficiency against Theta 2( $\theta_2$ ).

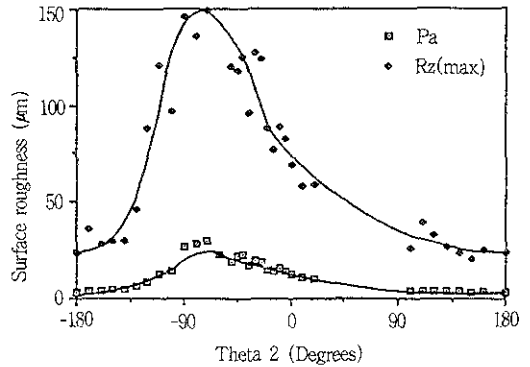


Fig. 15. Surface roughness against Theta 2( $\theta_2$ ).

따라서 clad표면을 매끄럽게 하기 위해서는 용융지 이외의 clad영역에 충돌하는 분말이 달라붙지 않도록 노즐의 기하학적 위치를 최적화하는 것이 필요하다. Fig. 15에서 알 수 있는 바와 같이 표면거칠기는  $\theta_2$ 가  $\pm 180^\circ$ 일 경우가 가장 낮게 나타나고 있다. 이것은 진술한 바와 같이 분말이 용융지의 배면( $\theta_2 = \pm 180^\circ$ )으로부터 분사될 때는 이미 고화된 cladding층과 충돌하는 분말이 빔에 의해 예열되지 않기 때문이다. 반면에  $\theta_2$ 가  $0^\circ$ 의 위치에서는 용융지를 벗어나는 분말은 빔에 의해 예열되어 clad표면에 부착되는 정도가 크게 된다.

또 다른 기하학적인 인자로서  $\theta_1$  및  $\theta_2$ 를 고정 한 상태에서 노즐의 X 및 Y방향(Fig. 11 및 12



참조) 위치도 중요한 요소로 작용한다. X 및 Y의 원점은 모재상에서 빔의 중앙부와 노즐의 orifice의 중앙이 일치하는 곳으로 정의한다.  $\theta_1$  및  $\theta_2$ 를 분말효율이 양호한 각도인  $55^\circ$ 와  $0^\circ$ 로 고정하고 X방향은  $-0.4$ 에서  $+0.2\text{mm}$ 까지, Y방향은  $-1.2$ 에서  $-0.85\text{mm}$ 까지 변화시킴으로써 얻어진 분말효율을 Fig. 16에 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 각 프로파일은 최대치를 갖고 있으며 노즐이  $X=0\text{mm}$ ,  $Y=-1.0\text{mm}$ 일때가 최적위치임을 알 수 있다. 이것은 분말이 빔축과 일치하는 용융지의 중앙에 그리고 모재면 보다 약간 상부측에서 부터 분사되는 경우가 분말효율이 가장 높다는 것을 의미한다.

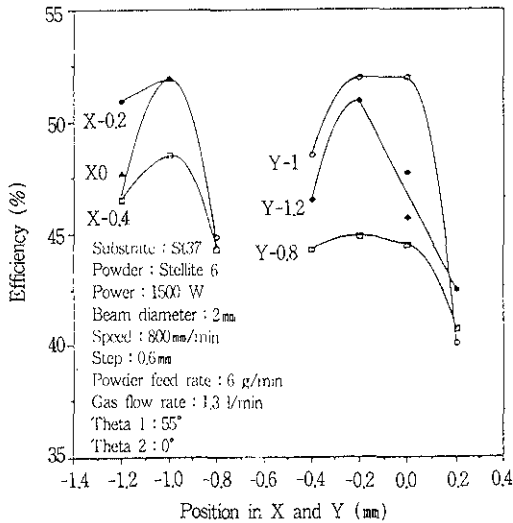


Fig. 16. Efficiency against position of nozzle.

### 3. 결 언

지금까지는 Laser cladding기술의 소개와 함께 그 응용예를 특정한 소재에 국한시켜 review 형태로 살펴보았다. Laser cladding process는 Laser unit 및 부대장비(노즐, feeder)등 시스템체화성향이 강한 기술이며 또한 양질의 cladding층을 만들기 위해서는 야금학적 측면에서의 연구가 요구되는 복합된 프로세스이다. 경제적인 측면으로 볼 때 현 시점에서는 대량생산에 적합하지 않다는 불

리한 측면도 있으나, 기존의 process로써는 얻을 수 없는 양호한 특성의 코팅을 할 수 있는 장점이 있어 국한적이기는 하나 절삭공구의 날, 소성가공용 공구 등에서 부터, 디젤엔진의 캠<sup>7)</sup>, piston ring groove<sup>8)</sup>, 항공기용 turbine blade, valve seat<sup>9)</sup> 등에 이르기 까지 광범위한 분야의 표면처리에 응용되고 있으며 금후, 그 응용분야가 더욱 확대되리라 보고 전망되고 있다. 그러기 위해서는 cladding기술을 적극적으로 제품에 응용할 수 있는 새로운 cladding process의 개발 이나 surface glazing, surface alloying 등과 같은 process와 복합화함으로써 기존의 cladding기술의 단점을 개선시키기 위한 연구개발이 경주되어야 할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. K. Shibata : Laser Treatment of Materials, Informationgesellschaft Verlag (1990) 433
2. E. Lugscheider and H. Bolender : ECLAT '90 Vol. I (1990) 111
3. R. Volz : Laser Treatment of Materials, Informationgesellschaft Verlag (1990) 399
4. T. Hashimoto, K. Nakata and F. Matsuda : Proceedings of Welding Research Institute of Osaka Univ., (1993) 57
5. R. Dekumbis : The 6th International Conference on Lasers and Manufacturing, Birmingham, UK, 1989
6. C. F. Marsden, A. Frenk, J. D. Wagniere, and R. Dekumbis : ECLAT '90 Vol. I (1990) 535
7. R. Gassmann, A. Luft, S. Schadich and A. Techel : Laser Treatment of Materials, Informationgesellschaft Verlag (1990) 405
8. R. Volz : Laser Treatment of Materials, Informationgesellschaft Verlag (1990) 403
9. B. L. Mordike : CO<sub>2</sub> Lasers and Application II, SPIE Vol. 1276 (1990) 340