

# Co/Co+Ni 성분의 분말 소결 금속과 탄소강의 레이저 용접성에 대한 고찰

박종원\* · 이창희

## CO<sub>2</sub> Laser Weldability Between Sintered Co, Co+Ni alloy and Carbon Steel

J.W. Park\* · C.H. Lee

한양대학교 금속공학과 표면개질 및 접합 연구실

### ABSTRACT

The weldability of dissimilar materials between sintered materials which are consisted of Co, Co+Ni and carbon steel has been investigated using CO<sub>2</sub> laser. Autogeneous CO<sub>2</sub> laser welding were run along the butt between two alloys using sets of parameters variation-power and travel speed. In order to study weldability, mechanical

tests (bending strength test, microhardness test) and metallurgical analyses (microstructure, phase transformation, fracture mode) were carried out. From the results obtained, it was found that the porosity which exists in a weld metal greatly

affects the soundness of the weld. The optimum energy input to have a proper strength over than the requirement by a specification, found to be around 0.3-0.35kJ/m. There are two kinds of fracture mode in the weld metal, depending upon alloy combination, brittle fracture in the case of Co-carbon steel and a ductile fracture in the case of Co+Ni-carbon steel. In general, Co+Ni sintered material showed a better weld properties as compared to the Co sintered material.

### 1. 서 론

Diamond saw blade는 콘크리트, 석재, 내화물과 같은 비금속 건축용 자재를 절단하는 곳에 사용되고 있으며 국내를 포함하여 미국, 유럽 등 전세계에 관련산업이 발달하고 있다. 이

러한 diamond saw blade는 탄소강으로 된 몸체(shank) 부분과 분말소결법에 의해 미세한 다이아몬드가 함유된 팁(segment)을 접합시켜 제작되는데 일반적으로 고주파 브레이징 용접(1)으로 제작되어 왔다. 그러나 브레이징 용접은 용접시 상당히 큰 열 영향부가 형성되어

상크에 많은 변형을 가져올 수 있고 또 상크와 팁의 결합이 약하여 생산성과 효율성의 저하 그리고 실제 사용시 많은 위험 가능성을 가지고 있다. 따라서 최근에는 레이저 용접이 브레이징 용접을 대체하여 diamond saw blade 제조공정에서 크게 대두되고 있으며 레이저를 이용하여 diamond saw blade를 제조할 경우 많은 이점을 얻을 수 있는데 레이저 용접은 입열량이 적은 고밀도 열원을 사용하므로 급속가열 및 급속 냉각이 가능하여 이로 인해 야금학적 결합을 유발시킬 수 있는 열 영향부(열 영향부)와 재료의 열 변형을 최소로 줄일 수 있고 피용접물과의 비접촉 공정이므로 용접부의 오염을 감소시킬 수 있으며 고속용접과 용접 자동화 그리고 정밀제어가 가능하여 생산성을 향상시킬 수 있다.

Diamond saw blade가 절삭공구(cutting tool)로써 우수한 성질을 가지기 위해서는 높은 강도값을 가지는 상크와 좋은 소결성을 가지는 팁이 필수적이다. 일반적으로 레이저 용접에 사용되는 탄소강은 급속응고에 의해 형성되는 취성조직을 피하기 위해 낮은 탄소강을 사용하나 diamond saw blade의 경우 절삭공구로써 사용되기 위해서 비교적 높은 탄소함량을 가진 탄소강이 필요하다. 팁의 경우 소결성에 의해 팁에 존재하는 다이아몬드와 용접부에 많은 영향을 미치게 된다. 실제 절삭은 팁에 존재하는 다이아몬드에 의해 이루어지는데 소결성이 좋지 않으면 다이아몬드의 분포에 영향을 미칠 수 있고 또 소결이 높은 온도에서 이루어지면 다이아몬드의 산화를 유발, 파괴될 수 있기 때문이다. 용접부에 미치는 영향은 소결 후 팁에 존재하는 기공의 양을 말한 것으로 좋은 소결성을 가질수록 이 기공에 의해 용접부가 적은 영향을 나타낸다.

따라서 본 연구는 레이저 용접을 이용 diamond saw blade를 제조시 상크에 존재하는

높은 탄소함량과 팁의 분말소결성에 의해 나타나는 접합부의 기계적인 특성과 야금학적인 고찰을 통하여 서로 다른 이종재료간의 용접성을 체계적이고 구체적으로 분석, 이해하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 실험 재료 및 장비

본 연구에 사용된 diamond saw blade의 개략도를 Fig 1에 나타내었다. Diamond saw blade는 상크와 팁으로 구성이 되어 있고 팁은 이중구조로 되어있다. 팁이 이중구조로 된 이유는 용접성을 향상시키기 위한 것으로 레이저 용접시 다이아몬드는 레이저 빔을 반사시키고, 레이저에 의해 용융되어 용융부의 탄소함량을 증가시켜 용접성을 떨어뜨릴 수 있기 때문이다. 따라서 팁은 다이아몬드가 함유되지 않고 용접성이 좋은 재료로 구성된 1st layer와 실제 cutting tool의 기능을 발휘하도록 다이아몬드를 함유한 초경합금재료의 2nd layer로 구성이 되어있다.

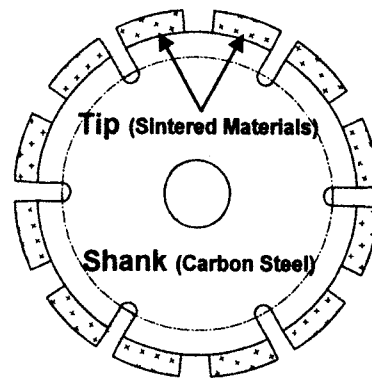


Fig. 1 : Schematic drawing of Diamond saw blade

본 실험에 사용된 재료는 상크의 경우 탄소함량이 0.36%인 JIS G 3311 SCM 435을 사용하였고 팁은 내마모성과 내부식성이 우수하여

현재 diamond saw blade의 제작에 널리 쓰이고 있는 100% Co 와 Co 보다는 비교적 저렴한 가격이라는 장점을 가진 Ni이 섞인 (50%Co + 50%Ni) 두가지 종류의 팁을 1st layer로 사용하였다. 샹크와 팁 각각의 화학적 조성은 Table 1 에 나타내었다. 사용된 실험재료의 규격은 샹크의 경우 지름이 304.8 mm, 두께가 2mm인 것을 사용하였으며 팁의 경우는 가로 47mm, 세로 7mm (1st layer:1mm, 2nd layer:6mm), 두께가 2.5mm인 것을 사용하였다. 실험에 사용된 장비는 Table 2 에 나타내었다.

Table 1. The chemical composition of materials

Shank	Chemical composition (wt%)	C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S	Fe
		0.36	0.20	0.68	1.01	0.30	0.015	0.004	Bal.
Tip	1st layer	100% Co			50%Co+50%Ni				
	2nd layer	43%Cu, 21%Ni, 19%W, 16%Sn							

Table 2. Specification of welding machine

Model	CW CO <sub>2</sub> Laser
Max. Power	2kW
TEM Mode	TEM <sub>01</sub>
Focus Spot Size	0.46mm
Focus Depth	4mm

2.2 실험 방법

실험은 마그네트 방식의 클램핑을 이용하여 맞대기 용접을 실시하였으며 용접은 샹크의 앞과 뒤, 두 번의 용접을 하였다. 실험에 사용된 변수는 Table 3 에 나타내었으며 출력과 용접속도를 공정변수로 사용하였고 빔 조사 각도, 플라즈마 제거 가스 (N<sub>2</sub>) 각도, 보호가스 등을 고정변수로 사용하였다. 실험의 진행 순서는 먼저 재료와 변수의 결정, 그리고 예비

실험과 같은 준비과정을 거친후 CO<sub>2</sub> 레이저 용접을 실시하였다. 이후 용접성을 알아보기 위해 굽힘 강도 실험, 미소 경도 실험과 같은 기계적 특성 분석과 광학현미경, 주사전자현미경(SEM)/EDS, XRD, Image Analyzer을 사용하여 야금학적인 분석을 실시하였다.

Table 3. Welding parameters tested

Variables	Power(kW)	0.72, 1.08, 1.44, 1.8, 2
	Travel speed(m/min)	2, 3, 4, 5, 6
Fixed Factors	Beam angle(°)	5
	Gas flow angle(°)	25
	Gap(mm)	0
	Shielding gas	N <sub>2</sub>

기계적 분석 방법의 하나인 bending strength test는 엄밀히 말하면 토크시험이라 할 수 있으며 이는 샹크와 팁간 접합부의 건전성 여부를 평가하는 방법이다. 실험은 토크렌치 (torque wrench)를 사용하여 실시하였으며 변수에 따른 최대 접합 강도 값 (파단이 일어날 때 얻은 값)을 측정하였다. 적정조건의 설정에 필요한 최소 접합 강도 값은 DSA 규정 (즉 독일 안전 기준 협회)에서 설정한 것을 참고하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$Mb = \frac{E^c \times L \times \sigma_{b,min}}{6}$$

E : Core size of the main blade(mm)

L : Length of the Tip(mm)

$\sigma_{b,min}$  : Minimum bending hardness(N/mm<sup>2</sup>)

본 실험에서 사용한 재료로 얻을 수 있었던 최소 접합 강도 값은 샹크의 두께 2mm 용접부의 평면 길이 47mm, 그리고 600N/mm<sup>2</sup>의  $\sigma$ 값 (일반적으로 사용하는 레이저의 기준)을 사용하여 191 kgf.cm을 얻었고 연구에 사용된 굽힘시험의 장치는 Fig. 2 에 개략적으로 나타

나 있다.

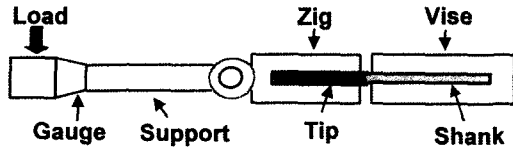


Fig. 2 : Schematic of Bending test (Torque test)

경도시험은 micro-Vickers 경도기를 이용하여 측정하였으며 조건은 100g의 하중을 10초 동안 유지하여 시행하였다. 경도값은 팁에서부터 상크까지 일정한 간격 (0.1mm)을 유지하면서 측정하였으며 앞, 뒤 용접 즉, 두 번의 pass가 경도값에 미치는 영향을 알아보기 위하여 pass에 따라서도 경도값을 측정하였다.

야금학적인 고찰은 먼저 접합부의 거시조직을 알아보기 위하여 시편의 단면 부분과 평면 부분을 잘라서 전처리 과정(마운팅, 연마)을 실시한 후 3%의 nital을 사용하여 에칭을 하였다. 이러한 과정을 거친후 광학 현미경을 사용하여 용융부의 거시조직과 모든 용접조건에서의 용접 상태 (깊이, D/W 비 등)를 분석하였다. Image Analyzer를 사용하여 결함유무 (기공분율, 기공 크기 등)를 평가하였다. 용융부에서의 미세조직은 주사전자현미경으로 각 부분의 조직을 관찰하였고 용융부에서의 성분분포를 알기위해 EDS를 사용하였다. 용융부에서 일어나는 상변화는 용접후 XRD로 분석하여 알아보았으며 용융부의 접합강도 측정후 재료에 따른 강도값의 차이원인을 알아보기 위해 저배율 현미경과 주사전자현미경을 사용하여 파단면의 경향을 살펴보았다.

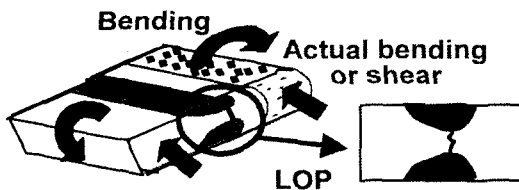


Fig. 3 : The schematic drawing of LOP formation and its relation to the stress direction in bending strength and actual stress.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 접합 강도 (Bending strength test)

시편에 따른 접합 강도 실험 결과를 Fig 4 ~ Fig 5 에 나타내었으며 그래프의 가로축은 출력을 용접속도로 나눈 입열량으로 나타내었다. 세로축은 2개를 나타내었는데 입열량에 따른 접합 강도값의 분포(그래프 아래쪽)와 이 접합 강도값에 영향을 미치는 인자(그래프의 위쪽)의 입열량에 따른 분포를 나타내었다. 그래프에서 나타난 symbol을 살펴보면 모양이 다를 수 있는데 이것은 입열량에 미치는 출력과 용접속도의 영향을 구별한 것이다. 각각의 그래프에 주어진 수직 및 수평 점선은 guide line으로 좋은 용접성을 나타내기 위한 적정 조건 값을 나타낸 것이다. 예를 들어 DSA(독일 안전 협회)에 의해 구한 최소 접합 강도값이 191 kgf.cm이므로 접합 강도값 191 kgf.cm에 수평 기준선을 그었다. 그래프를 살펴보면 open symbol로 표시된 것이 있는데 이것은 LOP (Lack Of Penetration), 즉 충분치 않은 입열량에 의해 앞, 뒤 용접부가 서로 중첩 되지않고 용융되지 않은 부위가 용접부 중심에 잔존한 경우를 표시한 것으로 이런 LOP가 나온 경우는 적정 용접 조건에서 제거하였다. 그 이유는 Fig 3 으로 설명할 수 있다. 접합강도를 얻기 위해 실시한 접합 강도 실험은 용접방향과의 수직으로의 접합 강도 응력을 평가하는 것으로 앞, 뒤 용접부의 중첩여부는 접합 강도값에 많은 영향을 끼치지 못하는 못한다. 그러나 실제 diamond saw blade를 사용할 경우에는 마찰력에 의해 접합 강도 실험시 가한

힘과는 수직방향 (즉 용접방향과 평행한 방향으로)으로 힘이 가해지므로 만일 앞, 뒤 용접의 용접부가 서로 중첩이 되지 않을 경우에는 중첩되지 않은 부분이 내부 균열로서 작용을 하므로 파단을 일으킬 확률이 높다. 따라서 LOP가 발생한 경우에는 적정 용접 조건에 포함을 시키지 않았다. Fig 4 는 입열량에 따른 접합강도와 용입비(D/W)와의 관계를 나타낸 것으로 용입비의 경우 100%Co 텃과 50%Co+50%Ni 텃 둘 다 비슷하게 입열량이 증가할수록 용입비가 증가하는 경향을 보이는데 이것은 입열량이 증가함에 따라 용접형태가 전도용접에서 키홀(심)용접 형태로 바뀌는 것에 기인한다. 즉 낮은 입열량에서 이루어지는 전도용접의 경우 용접이 시편 표면에 흡수된 레이저 에너지의 열 전도도에 의해 일어나므로 용입비가 크지 못하나 고출력에서 이루어지는 심용접은 용접이 용융금속내에 형성되는 키홀에 의한 레이저빔의 다중반사 및 흡수 현상에 의해 이루어지므로 많은 양의 레이저가 금속내에 흡수, 용입비가 증가하게 되는 것이다.<sup>2)</sup>

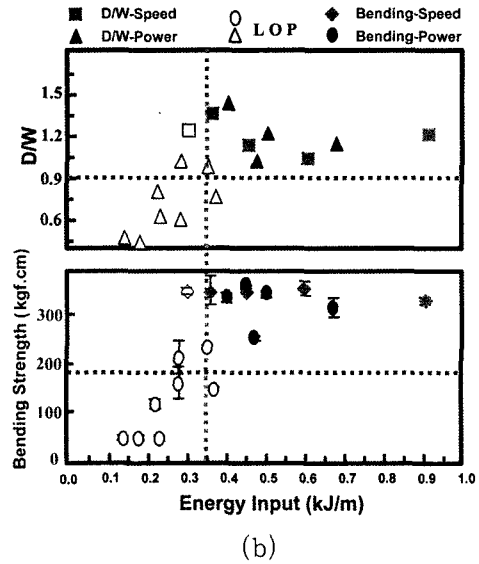
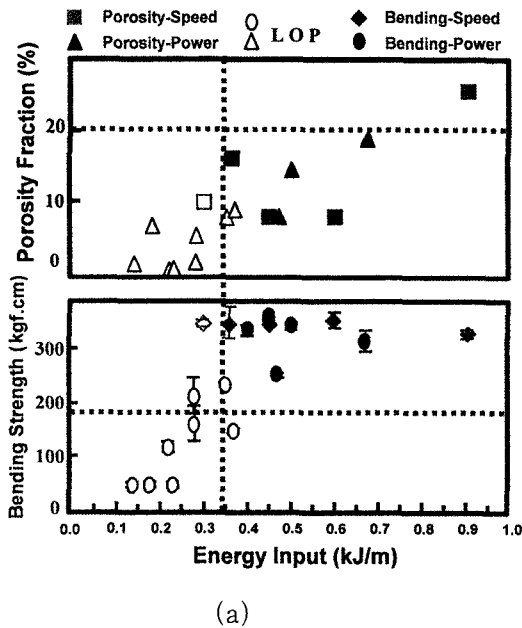


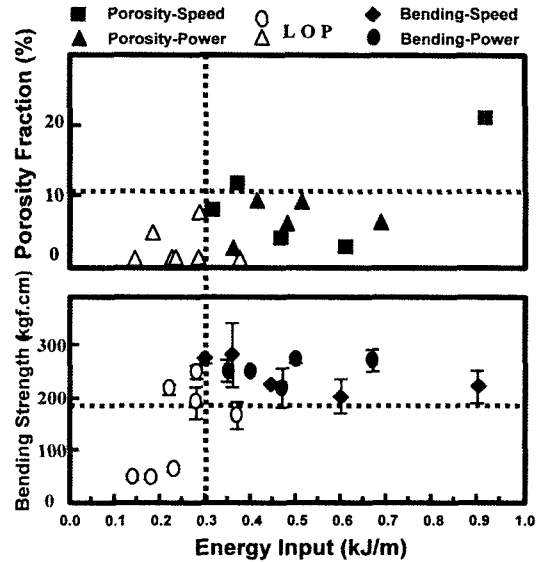
Fig. 4 : The relationship between energy input, D/W and bending strength for Co(a) and Co+Ni(b) segments

Fig 5 는 입열량에 따른 접합강도와 기공분율과의 관계를 나타낸 것으로 입열량이 증가할수록 기공분율이 증가함을 알 수 있는데 이것은 레이저빔의 에너지 밀도가 높을 때 용융부 상부에 발생하는 플라즈마에 기인한다.<sup>3)</sup> 즉 높은 입열량 하에서는 많은 양의 플라즈마가 용융부에 생기는 키홀위에 발생하는데 이때 키홀 상부에 존재하는 플라즈마의 온도는 키홀에 존재하는 기체보다 온도가 높다. 따라서 키홀에 존재하는 압력의 방향은 용융부 표면에서 키홀 안쪽 방향으로 존재하므로 기체 또한 키홀 내부에 존재하게 된다. 그러나 키홀내에서는 기체가 빠져나갈 곳이 존재하지 않으므로 키홀의 측면 또는 위에 존재하는 용융금속이 흘러내려 키홀이 붕괴될 때 기체는 빠져나가지 못하고 기공으로 존재하게 되는 것이다. 따라서 입열량이 높은수록 용융부 상부에 존재하는 플라즈마의 양이 증가하여 많은 양의 기공분율을 관찰된다. 용접부에 많은 양의



기공이 존재하는 다른 이유로는 각 재료의 물리적인 성질, 즉 액체내에서 기체의 용해도 (Table 4)에서 찾아볼 수 있다. 만일 100%Co 텃, 50%Co+50%Ni 텃이 모두 같은 양의 기공을 함유하도록 소결되어졌다 하더라도 Ni이 액체상태일 때 보호가스로 사용되는 질소나 기타 다른 기체를 함유할 수 있는 양은 Co나 Fe가 액체상태일 때 기체를 함유할 수 있는 양의 약 2배정도 된다. 용접부의 급속한 냉각은 이러한 액체상태일 때 함유하고 있는 기체를 응고시 밖으로 배출할 시간을 주지 않으므로 액체상태일 때 함유하고 있던 기체는 용접이 끝난 후 모두 용접부에 기공으로 존재하게 된다. 따라서 100%Co 텃을 사용하는 경우보다 50%Co+50%Ni 텃을 사용하는 경우 더욱 높은 기공분율을 나타내게 되는 것이다. Fig 4와 Fig 5에서 관찰되는 접합강도 값의 분포를 살펴보면 성분의 변화에 따라 최대 접합강도값은 차이를 보이나 공통적으로 입열량이 증가할수록 접합강도값은 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다. 일반적으로 입열량의 증가에 따른 기공분율이 증가할수록 접합강도값은 떨어지나 본 실험에서는 높은 에너지 밀도를 가진 경우를 제외하고는 그와 반대의 경향을 보였다. 이것은 입열량이 증가할수록 증가하는 용입비에 의한 것으로 생각이 된다. 즉 입열량이 증가할수록 접합강도 값에 나쁜 영향을 미치는 기공분율이 증가하는 것은 사실이나 이와 동시에 접합강도값 향상에 영향을 미치는 용입비가 증가하여 서로의 영향을 상쇄, 접합강도가 증가하게 되는 것이다. 그러나 너무 과도한 입열량에서는 앞에서 언급한바와 같이 용입비 또한 감소를 하게 되어 용접부의 접합강도값을 낮게 한다. 성분에 따른 시편이 기준 접합 강도값과 LOP기준을 만족하는 기준은 100% Co의 경우 입열량은 3.0kJ/m, 용입비는 0.9 이상, 기공분율은 10% 이하일 때 였으며

50%Co+50% Ni의 경우 입열량은 3.5kJ/m, 용입비는 0.9 이상, 기공분율은 20% 이하일 때 였다.



(a)

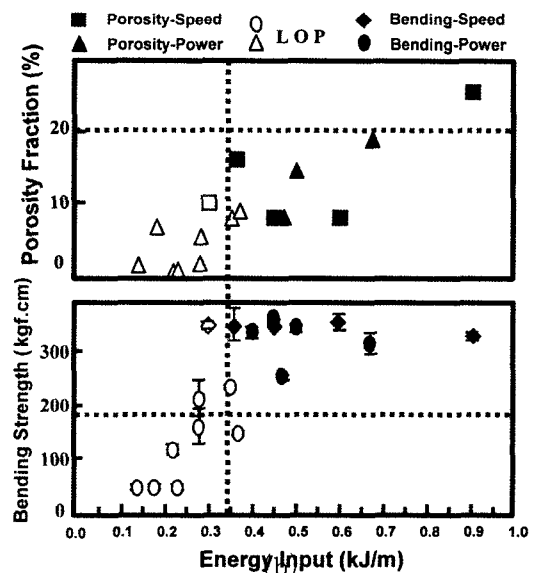


Table 4. The solubility of N and H in Fe, Co, and Ni

	N		H	
	Temp. (°C)	Solubility(mass % of N at temp.)	Temp. (°C)	Solubility (cm <sup>3</sup> of gas per 100g of metal)
Fe	700	$1.5 \times 10^{-3}$	300	0.1
	1600	0.044	1700	29.5
Co	Solid	-	600	0.9
	1600	0.0047	1650	24.3
Ni	1600	< 0.0025	300	2
	-		1700	51

3.2 미세 조직

Fig 6 은 광학현미경을 이용하여 용융부를 거시적으로 관찰한 것을 나타낸 것으로 특징적인 것은 용융부에 많은 양의 기공이 존재한다는 것이다. 용융부에 많은 양의 기공이 존재하는 이유는 여러 가지가 있지만 그 중의 하나는 재료적인 측면, 즉 팁의 제조에서 그 원인을 찾을 수 있다. 분말소결법으로 제조되는 팁은 이미 팁 자체에 많은 기공을 함유하고 있어 이 기공이 용융부에 존재하는 많은 기공의 원천이 되는 것이다. 이 사실은 Fig 6 을 보면 잘 알 수 있는데 대부분의 기공이 존재하는 위치가 용융부의 중심을 기준으로 하여 팁 쪽에 위치하고 있는 것을 알 수 있다. 다른 하나는 레이저 용접시 용융부의 빠른 응고에서 찾을 수 있다. 즉 용융부에 존재하는 기공이 많지 않으려면 용융부가 액체상태일 때 기공이 용융부를 빠져 나가야 하나 급속응고인 레이저 용융부에서는 빠져나갈 시간적 여유가 없기 때문이다. 또 다른 원인으로서는 용융부의 convection<sup>4)</sup>을 생각할 수 있다. 일반적으로 arc 용접시 용융부의 유동에 영향을 미치는 요인은 3가지, 즉 부력(buoyancy force), 전자기력 힘(electromagnetic force), 표면장력(surface tension)을 생각할 수 있는데 레이저 용접에서

는 전자기력 힘이 존재하지 않고 부력과 표면장력만 존재하게 된다 그런데 이 두 힘은 용융부의 넓이를 넓히는 방향으로 용융부를 움직이게 하고 하부에서 상부로의 용동이 거의 없기 때문에 상대적으로 많은 양의 기공이 용융부에 존재하게 되는 것이다. 이것은 Fig 6(b) 를 보면 잘 알 수 있는데 많은 양의 기공이 용융부의 바닥 부근에 존재하는 것을 관찰할 수 있다.

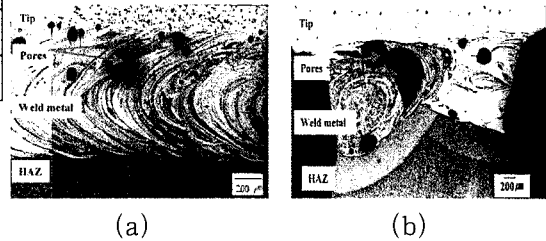
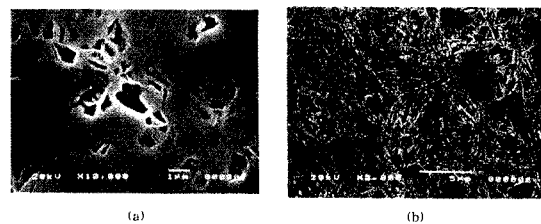


Fig. 6 : Macroscopic view of (a) Planing surface, (b) cross section of weld.

각 부분의 조직을 알아보기 위해 주사전자현미경을 사용하여 관찰한 고배율 사진을 Fig 7 에 나타내었다. Fig 7(a) 는 팁 부분을 찍은 사진으로 예상했던 대로 팁에는 많은 기공이 존재하고 있었다. 팁에 존재하는 기공 크기는 약 0.9µm 였으며 기공분율은 Image Analyzer로 분석한 결과 약 9%를 나타내고 있었다. Fig 7(b) 는 상크를 관찰한 사진으로써 흰색의 탄화물이 존재하는 템퍼드 마르텐사이트 조직을 나타내었고 결정립 크기는 약 8µm를 나타내었다. Fig 7(c)는 열 영향부를 관찰한 것으로 저입열 레이저 용접의 전형적인 빠른 냉각속도와 높은 탄소함량 (0.36%)에 의해 래스 크기가 약 0.5µm의 마르텐사이트 조직을 나타내었다.





(c)

Fig. 7 : Microstructure of (a) Tip, (b) Shank, (c) HAZ

각 성분에 따른 용접부 사진은 Fig 8 에 나타내었다. 100% Co 팁을 사용한 경우의 사진은 Fig 8(a)에 나타내었으며 용접부 내에서의 조직은 래스 거리가 약 0.17 $\mu$ m인 래스 마르텐사이트 조직을 가지고 있었다. 용융부를 성분 분석하여 본 결과 용융부에서 Co와 Fe는 비교적 고르게 섞였으며 성분은 크게 71Fe-29Co와 59Fe-41Co의 성분을 보였다. 성분에 따른 조직을 알아보기 위해 상태도(Fig 9(a))를 이용하였으며 분석결과 두 성분 모두 공통적으로  $\alpha'$  단상, 즉 마르텐사이트를 보임을 알 수 있었다. 50%Co+50%Ni 팁을 사용한 경우의 용접부 사진은 Fig 8 에 거시적인 사진(b)과 미세조직의 사진(c)(d)로 나타내었다. 거시적인 사진으로 알 수 있는 특징은 희게 보이는 부위와 검게 나타나는 지역이 확연히 구별된다는 것인데 각 부분의 고배율 사진을 관찰해보면 검게 보이는 지역(c)은 고 Co, Ni을 가지는 오스테나이트 스테인레스 강의 용접부와 유사한 cell 조직을 보여주고 있다. 한편 희게 보이는 지역(d)은 플레이트 마르텐사이트 조직을 나타내고 있다. (c) 지역이 상온에서 오스테나이트 조직을 보인 이유는 많은 양의 오스테나이트 안정화 원소인 Ni에 의해 응고조직인 오스테나이트가 상온까지 존재하게 된 경우이고<sup>3),6)</sup> (d)의 경우는 적당한 양의 Ni에 의해 경화능이 향상되어 플레이트 마르텐사이트가 형성된 것으로 예상된다.<sup>7)</sup> 이러한 성분 변화에 따른 조직 변화 사실을 확인하기 위해

희게 보이는 지역과 검게 보이는 지역을 성분 분석하여본 결과 (c) 지역의 성분은 56Fe-22Ni-22Co 였으며

(d) 지역의 성분은 80Fe-10Ni-10Co의 성분을 가지고 있었다. 삼원 상태도8)(Fig 9(b))를 이용하여 위에서 얻은 성분에 따른 조직을 분석하여 보면 80Fe-10Co-10Ni의 성분을 가질 때는  $\alpha+\gamma$ 의 상을 가지고 56Fe-22Co-22Ni의 성분을 가질때는  $\gamma$ 의 상을 가짐을 알 수 있었다. 용접부에서 흰 부분과 검은 부분의 분포를 보면 흰 부분이 약 70%, 검은 부분이 약 30% 정도를 차지하고 있으므로 용접부에 존재하는 상은 단상이 아닌 오스테나이트와 마르텐사이트로 이루어진 두 상이라고 할 수 있다.

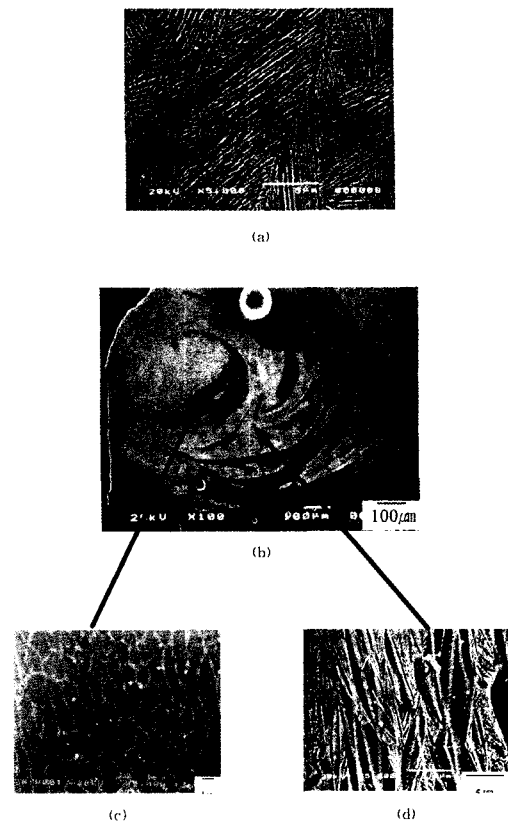


Fig. 8 : Microstructure of (a) 100%Co, (b)(c)(d) 50%+50%Ni segments Weld metal.



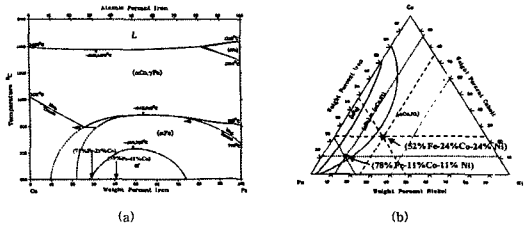


Fig. 9 : The phase diagrams of (a) Fe-Co, (b) Fe-Co-Ni

3.3 XRD 분석

팁, 용접부, 샹크에서 보인 상 변화를 알아보기 위하여 XRD 분석을 실시하였으며 실험 방법으로는 용접부에서의 정확한 변화를 알아보기 위하여 먼저 샹크 부분과 팁 부분을 잘라 그 부분의 상을 분석한 후 용접부 부분만을 다시 측정하여 샹크와 팁 부분의 상을 각각 비교 분석하였다. XRD 분석결과는 Fig 10에 나타내었는데 100%Co 팁을 사용한 경우(Fig 10(a)) 팁에서는 Co의 저온상인 HCP 구조와 고온상인 FCC 구조가 보였으나 주로 저온상인 HCP 구조임을 알 수 있고 샹크는 Fe-BCC 구조를 나타냈다. 용접부에서 보인 상은 2가지 즉 Co의 저온상인 HCP구조와 (Fe, Co)에 의한 BCC 구조를 나타내었으나 각 구조의 intensity를 비교하여 보면 HCP 구조의 intensity는 BCC구조에 비해 무시할 정도로 적고 또 Co는 용접부에 고르게 분포되어 있으므로 용접부가 나타내는 성질에는 큰 영향을 미치지 않는다고 생각할 수 있다. 50%Co+50%Ni 팁을 사용한 경우(Fig 10(b)) 팁에서 HCP 구조와 FCC 구조를 보였다. 이것은 Co의 저온상인 HCP와 Ni이 보이는 FCC 구조에 의한 것이다. 샹크의 경우는 Fe-BCC 구조를 나타내었다. 용접부에서는 BCC와 FCC의 peak이 모두 보였으므로 앞에서 분석한 용접부의 상은 오스테나이트와 마르텐사이트의 두 상으로 이루어진 것이라는 것을 확인할

수 있었고 각 구조의 intensity를 비교하여 보면 BCC 구조의 intensity가 FCC 구조의 intensity 보다 높으므로 용접부에 존재하는 주된 상이 BCC 구조임을 알 수 있다.

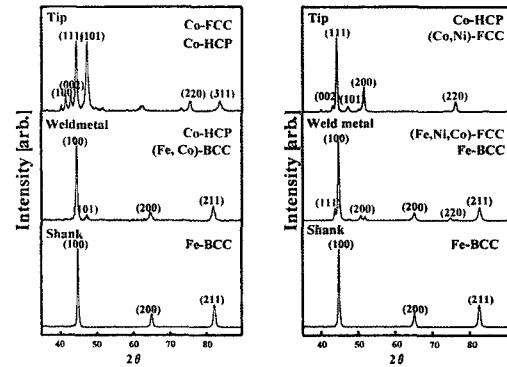


Fig. 10 : X-ray diffraction patterns in case of using (a) 100% Co tip, (b) 50% Co+50%Ni tip

3.4 경도 시험 (Microhardness test)

용접후 각 부위의 성질 변화를 알아보기 위하여 미소경도계를 사용하여 경도를 측정하였다. 경도측정은 앞(첫 번째), 뒤(두 번째) 용접의 상호 작용을 알아보기 위해 첫 번째와 두 번째 그리고 용접부가 중첩된 부분의 경도값을 각각 측정하여 비교하였으며 팁에 따른 경도분포는 Fig 11에 나타내었다. 먼저 100% Co 팁을 사용한 경우를 살펴보면 팁은 약 300Hv를 나타내었는데 이것은 Co의 일반적인 경도값이고 샹크에 나타난 경도값은 약 400Hv 정도로써 이것으로 샹크가 템퍼드 마르텐사이트라는 것을 알 수 있다. 세 부분의 경도값 측정에 의한 차이를 보이는 곳은 열 영향부로서 중첩된 부분과 두 번째 용접에서는 거의 비슷한 값을 보이고 첫 번째 용접에서는 조금 낮은 경도값을 나타내는 것을 볼 수 있는데 이것은 첫 번째 용접에 의해 형성된 열 영향부의 경도값이 두 번째 용접에 의해 부분 템퍼링이 되어 경도값이 낮아진 것이라고 판단된

다.<sup>9)</sup> 용융부 부분의 조직은 마르텐사이트지만 열 영향부 보다는 낮은 경도값, 약 400Hv를 보이고 있다. 이렇게 용융부의 경도값이 낮은 이유는 조성의 차이에 있다고 본다. 즉 열 영향부에서는 상크가 가지고 있는 모든 탄소의 함량으로 상변태를 하는 반면 용융부는 팁과 상크가 섞이게 되므로 열 영향부보다는 적은 양의 탄소를 가지고 상변태를 하고 또 팁에서 함유하고 있는 합금원소(Co)가 경도값에 영향을 미치기 때문이다. Fig 11(b)는 50%Co+50%Ni 팁에 대한 경도분포로 용융부를 제외하고는 100% Co 팁을 사용한 경우와 비슷함을 알 수 있다.

용융부의 경우는 부분 부분마다 상당한 경도값의 차이를 보임을 알 수 있는데 이것은 앞 절에서 언급하였다시피 용융부에서의 성분 분포의 차이에 의한 조직 변화 때문이라고 생각이 된다.<sup>4),6)</sup> 용융부에 보이는 높은 경도값(550Hv) 지역과 낮은 경도값(300Hv) 지역의 성분 분석을 해본 결과 경도가 높은 지역의 성분은 적은 양의 Ni을 그리고 경도가 낮은 지역은 많은 양의 Ni을 함유하고 있었고 각각의 경도값과 XRD 분석을 종합하여보면 경도가 높은 지역은 마르텐사이트 그리고 경도가 낮은 지역은 오스테나이트라는 것이 명확해진다.

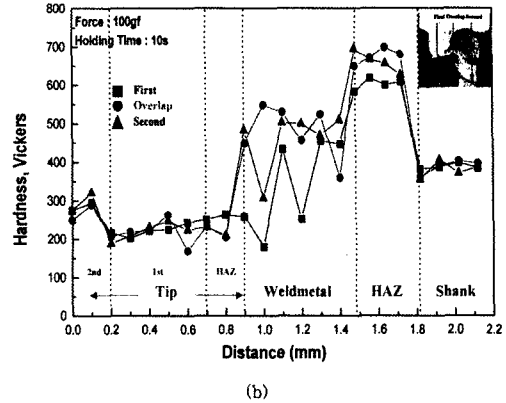
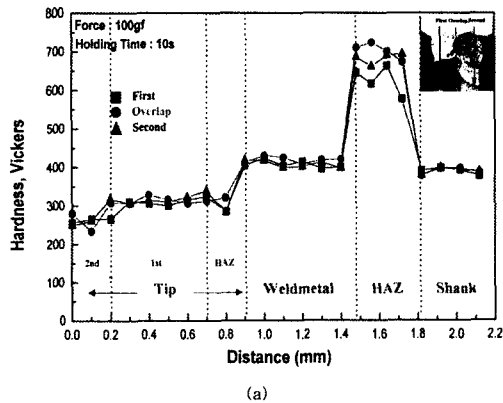


Fig. 11 : Hardness distribution in case of using (a) 100% Co, (b) 50% Co+50%Ni

### 3.5 파단면 (Fracture Mode)

Fig 12는 접합강도 시험 후 재료의 변화에 따른 접합강도의 차이를 분석하기 위하여 파단면을 주사전자현미경으로 관찰한 것으로 관찰결과 100%Co tip을 사용한 경우(Fig 12(a)) 모든 파단은 용접부에서 일어났으며 파단은 취성파괴 양식인 cleavage 형태로 난 것을 알 수 있는데 이것은 용접부에서 보인 주 조직인 취성파괴 양식을 나타내는 BCC 구조이기 때문이다. 50%Co+50%Ni tip을 사용한 경우(Fig 12(b)) 접합강도 시험 중 일어난 모든 파단은 용접부 부분에서 일어났고 대부분이 용접부의 팁 부근에서 일어남을 알 수 있었으며 파단은 연성파괴 양식인 딴플(dimple)형태를 관찰할 수 있었다. 용접부에서 연성파괴가 일어나는 이유를 알아보기 위해 파면을 EDS 분석한 결과 파단면의 주 성분이 Ni과 Co임을 알 수 있었다. 파단면의 주 성분이 Ni과 Co인 이유는 다음과 같이 생각된다. 레이저 용접시 용융부는 용융부 유체흐름을 지배하는 힘(표면장력)과 빠른 냉각속도에 의해 상크와 팁이 균일하게 섞이지 않고 상대적으로 팁에 가까운 부분

은 팁 성분이, 상크에 가까운 부분은 상크의 성분이 많이 존재하게 된다. 접합강도 시험시 용접부에 힘이 가해지면 낮은 경도값을 가지는 Ni, Co-rich 지역에서 힘이 집중되어 이곳에서 파단이 일어나는데 Ni와 Co가 가지는 FCC 구조에 의해서 파단은 연성파괴를 보이고 또 파단이 일어나기 전에 용접부에 존재하는 많은 양의 기공 또한 용접부에서 파단이 일어나기 쉽게 해준다고 생각된다.<sup>10)</sup>

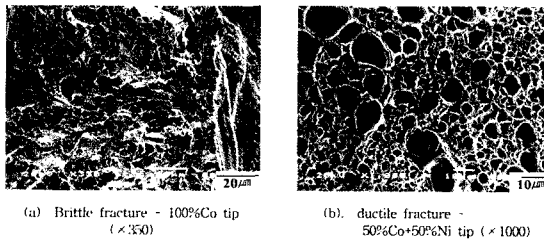


Fig. 12 : Typical Fracture surface of (a)100%Co weld, (b)50%Co+50%Ni weld

#### 4. 결론

이상의 실험으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 용접성에 많은 영향을 미치는 인자는 기공, 입열량(출력/(빔 면적×용접속도)), 용입비 및 LOP의 유무였으며 건전한 용접성은 입열량이 증가함에 따라 증가하는 용입비에 의해 용융부가 서로 중첩이 될 때 (LOP가 나타나지 않았을때) 나타났다.
2. 입열량이 증가함에 따라 용접부에서의 기공분율과 용입비가 증가하였으며 굽힘 강도 시험 결과 최소강도값 이상을 얻을 조건은 입열량이 0.3~0.35kJ/m 이상, 용입비 0.9 이상, 그리고 용접부에서의 기공분율이 10~20% 이하일 때였다.
3. 미소경도시험 결과 상크, 팁, 열 영향부에서는 모두 일정한 경도분포를 보였으나 용접부에서는 레이저 용접 특성인 빠른 냉각과

용융부 convection에 의해 팁 성분과 상크 성분이 잘 섞이지 않아 성분에 따라 경도값의 편차가 나타났다.

4. 각 부분에서의 미세조직은 상크는 템퍼드 마르텐사이트, 열 영향부는 마르텐사이트 조직을 나타냈으며 용접부에서는 성분에 따라 한가지 혹은 두가지 조직이 관찰되었는데 100%Co 경우는 래스 마르텐사이트가, 50%Co+50%Ni의 경우는 응고조직이 상온까지 존재하는 오스테나이트와 빠른 냉각속도와 많은 양의 Ni로 인한 플레이트 마르텐사이트의 두가지 조직이 관찰되었다.
5. 적정 강도값 이상에서 파단은 모두 팁 부근의 용접부에서 일어났으며 파단은 100%Co인 경우는 취성 파괴 형태를 그리고 50%Co+50%Ni의 경우는 용접부의 주로 존재하는 FCC 구조와 파단이 일어나기전 용접부에 존재하는 기공의 영향으로 연성 파괴 형태를 보였다.

#### 참고 문헌

- 1) Jeong Hoon Lee and Chang Hee Lee, "Characteristics of Brazed Joint of Sintered Bronze/Steel Using Ag-Cu-Zn-Cd Type Filler Materials", Journal of The Korean Welding Society, Vol.17, No.3, June, 1999, p.79~89.
- 2) Y. E. Tzemg, "Pulsed Nd:YAG Laser Seam Welding of Zinc-Coated Steel", Welding Research Supplement, 1999, pp238-s ~ 244-s.
- 3) To Hoon Kim, "Porosity Formation in Laser-beam Materials Processing", Journal of materials science letters, 1991, pp400~402.
- 4) Sindo Kou, "Welding Metallurgy", John wiley & Sons, (1987), pp91~99, 100~102, 129~139.

- 5) M. C. Flemings : "Solidification Processing",  
Materials science and engineering series,  
1974, pp66~73.
- 6) J. Seretsky and E. R. Ryba, "Laser  
Welding of Dissimilar Metals : Titanium to  
Nickel", Welding research supplement,  
1976, pp 208-s ~ 211-s.
- 7) D. A. Porter and K. E. Easterling, "Phase  
Transformations in Metal and Alloys".  
1992, pp. 382~385.
- 8) G. V. Raynor and V. G. Rivlin, "Phase  
Equilibria in Iron Ternary alloys", The  
institute of metals, 1988, pp 42, pp 140~  
143.
- 9) W. F. Smith, "Structure and Properties of  
Engineering Alloys", 2nd, McGraw-Hill,  
1993. pp 65~72.
- 10) Robert E. Read-Hill, "Physical Metallurgy  
Principles". 1994, pp. 467. 739~750.