

CO₂ 레이저빔에 의한 저탄소강판과 아연도금강판의 Tailored Blank 용접에 관한 연구

A Study of Tailored Blank Welding between Mild Steel and Zn-coated Steel Sheets by CO₂ Laser Beam

서종현, 김도훈, 유병길*, 이경돈*

Jong Hyun Suh, To Hoon Kim, Byung Kil Yu*, Kyoung Don Lee*

연세대학교 공과대학 금속공학과, *고등기술연구원 및 아주대학교 시스템공학과

(1998년 6월 25일 받음)

Abstract

A basic research for tailored blank welding between mild steel and Zn-coated steel was carried out with CO₂ laser beam. The materials used in this work were low carbon steel sheet with a thickness of 1.2mm and Zn-coated steel sheet with the same thickness and 6.3 μ m Zn coating. Experiments were carried out by applying the Taguchi method in order to obtain optimized conditions for the application of tailored blank laser welding method in practical manufacturing process.

Optical microscopy, XRD, SEM and TEM analysis were performed to observe microstructures and to determine the solidification mode of welded zone. Also mechanical properties were measured by microhardness test, tensile test and Erichsen test in order to evaluate the formability of welded specimen.

There was no trapped Zn in the fusion zone, and the phases in this region consisted of polygonal ferrite, quasi-polygonal ferrite, bainitic ferrite and martensite. The elongation value of welded specimen was more than 80% of that value in the substrate and LDH value was more than 90% of that value in the substrate metal.

1. 서론

최근, 자동차 제조공정에 많이 이용되는 Tailored Blank Welding 기법이란 두께, 표면 코팅 상태, 강도 등이 다른 두 종류 이상의 판재를 원하는 모양으로 절단하여, 최종적인 프레스 성형전에 이들을 용접시키는 기술이다. 예를 들어, inner door의 앞쪽 부분은 hinge부를 통해 자동차의 frame에 부착되기 때문에 전체 자동차문의 무게를 지지하기에 충분한 강도를 가져야만 한다. 따라서 종전에는 이러한 강도를 만족시키기 위하여 보강재를 사용하였으며, 사용되는 보강재는 절단, 성형, 용접의 과정을 거쳐야만 했다. 그러나 Tailored Blank Welding 기법을 사용하면 고강도가 필요한 부분은 강도가 좋은 재료나 더욱 두꺼운 재료의 Tailored Blank를 용접하여 사용함으로써 종전의 보강재 사용의 손실을 줄일 수 있다. 또한 Tailored Blank Welding 기법은 판재를 원하는 모양으로 절단하여 사용하

기 때문에, 절단작업시 scrap의 감소, 높은 강도나 비싼 재료가 요구되는 부분에서의 비용절감, 자동차 경량화에 따른 연료효율 향상, 자동차 차체의 강성증대를 통한 안정성 향상, 정확한 조립에 의한 내부 소음감소 등의 품질향상을 가져올 수 있다. 이러한 Tailored Blank Welding의 장점으로 인하여 최근 Toyota, Chrysler, GM, BMW 등의 세계적인 자동차 회사에서 이를 많이 채택하고 있다.

본 연구는 산업현장에 Tailored Blank Welding을 적용하기 위한 기초연구로서, 레이저빔을 이용하여 1.2mm 두께의 저탄소강판과 아연도금강판사이의 Tailored Blank Welding을 수행하였다. 레이저용접의 공정변수 조절을 통하여 용접후에도 양호한 성형성과 재현성을 갖는 최적의 공정조건을 도출하였으며, 이를 위해 실험계획법을 이용하였다. 또한, 금속학적인 고찰을 통해 레이저 용접시 용접부의 상변화를 예측하고, 아연도금층이 용접에 미치는 영

향을 고찰하였으며, 기계적특성의 측정을 통해 레이저용 접의 성형성을 평가해 보았다.

2. 실험방법

시편 준비 및 레이저빔 용접¹⁾

본 실험에서 사용된 재료는 1.2mm 두께의 자동차용 강판으로, 도금층이 없는 저탄소강판과 약 45g/m²(6.3μm) 정도로 아연도금된 저탄소강판을 용접하였다. 재료의 조성은 Table 1.과 같다.

Table 1. Chemical composition of substrate metal(wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	Sn	Ti
Zn-coated steel	0.011	0.006	0.148	0.018	0.012	0.027	0.027	0.023	0.091	0.003	0.046
Low carbon steel	0.010	0.004	0.085	0.010	0.010	0.016	0.015	0.008	0.078	0.004	0.056

시편은 300×80 mm의 크기로 절단한 후, 용접되는 면의 편평도를 유지하기 위해 평면 연마하였다. 용접에 사용된 레이저는 4kW급의 CO₂ 레이저이고 용접시 시편의 장착과 변형방지를 위하여 공기압력에 의해 작동되는 JIG를 사용하였다. 또한 용접시 생성되는 증발입자나 플라즈마를 제거하고 용접부의 산화를 방지하기 위하여, Ar 보조가스를 45° 정도의 nozzle 각도로 불어 주었다. 레이저 용접의 모식도는 Fig. 1.과 같다.

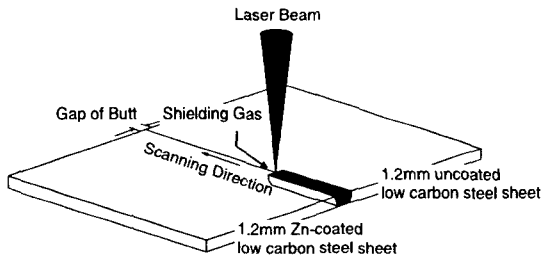


Fig. 1. Schematic illustration of laser welding

레이저용접시 조절가능한 변수들은 레이저빔 출력, 주사속도, 초점위치, 보조가스의 종류 및 유속, 맞대기 용접시의 허용간격, 집속렌즈의 focal length 등 매우 많다. 이러한 제어인자 이외에 비제어인자까지 효율적으로 제어하여, 적은 수의 실험으로 최적의 레이저용접조건을 얻어내기 위해 다구찌 실험계획법^{2,3)}을 사용하였다. 본 실험에서는 조절가능한 변수들 중 주사속도, 맞대기 용접간격, 보조가스의 유속, 레이저빔의 초점위치만을 선택하여 실험에

서의 인자로 사용하였다. 예비실험을 통해 각각의 인자는 Table 2.와 같이 3개의 수준으로 변화시켰으며, 이렇게 설정된 인자와 수준을 L₃⁴의 직교배열표에 배치하여 실험조건들을 조합하였다. 또한, 비제어인자를 고려하기 위해 각 조건마다 5회의 반복 실험을 수행하였다.

Table 2. Configuration of Factors and Levels for welding

Factor Level	A	B	C	D
	scanning speed (m/min)	gap of butt weld (mm)	gas flow rate (CFH)	Defocus (mm)
0	4	0.10	25	0
1	5	0.15	50	-0.25
2	6	0.20	75	-0.50

위의 조건에 따라 레이저용접을 수행한 후, 용접된 시편 각각에 대해 특성치를 평가하고 이에 대한 S/N(Signal/Noise)비를 구하여 최적의 레이저 용접 조건을 도출하였다.

성형성 평가

성형성(formability)이란 재료가 파단없이 소성변형될 수 있는 능력, 또는 재료가 상대적으로 소성변형되기 쉬운 정도를 말한다.⁴⁾ 본 실험에서는 여러 가지 성형성 평가의 방법 중 경도시험, 인장시험과 Erichsen 시험을 실시하였다. 경도시험의 경우, 경도가 높은 재료일수록 낮은 성형성을 가지므로 모재에서 열영향부와 용접부를 통과하여 Knoop 경도를 측정하였다. 이때, load는 100g, loading time은 10초로 하였다. 인장시험의 경우, ASTM subsize type E8-78 규격에 따라 시편을 제작하였고, 용접부와 인장방향이 평행한 것, 수직인 것을 모두 측정하여 용접부의 성형성 비교와 함께 용접이 건전하게 이루어졌는지를 확인하였다. Erichsen 시험(Dome Height Test)은 성형할 판재를 고정시킨 후 아래에서 일정한 속도로 불을 올리며 판재가 변형되다가 파단될 때까지의 높이를 구하는 실험이다.

Ball은 지름이 50mm인 것을 사용하였으며, stretching mode에서 grip 압력은 82kN으로 수행하였다.

미세조직관찰 및 상분석

설정된 최적조건에 대해서 용접부 비드의 형상과 용접부 조직의 상변화를 관찰하기 위하여 용접된 시편의 단면

을 채취하여 기계적인 연마후, Nital 또는 Marshall액으로 에칭하여 광학현미경분석을 수행하였다. 또한 용융후 응고시 용접부에 형성된 상을 예측하고 생성물의 유무를 확인하기 위하여 XRD분석을, 용접부내에 Zn증기의 trap으로 인한 계재물이 있는지를 확인하고, 기계적인 시험후에 시편의 파단양상을 조사하기 위해 SEM관찰을 수행하였다. 광학현미경에 의한 관찰과 XRD분석으로 구분이 어려운 상(phase)의 확인을 위해서는 TEM분석을 병행하였다.

3. 결과 및 고찰

다구찌법에 의한 레이저용접의 최적화

본 실험에서는 다구찌 실험계획법을 사용하여 레이저용접된 시편들중 최대의 성형성과 용접재현성을 만족시키는 레이저용접의 최적조건을 설정하였다. 예비실험을 통하여 결정된 인자와 수준(Table 2)을 가지고 선정된 직교배열표에 따라 9개조건의 레이저용접을 수행하였다. 본 실험에서 목적하는 바는 자동차제조의 press과정에서 좋은 성형성을 나타내는 조건을 도출하는데 있으므로 이렇게 용접된 시편들을 가지고 성형성을 대표하는 연신율과 LDH값을 측정하였다. 이중 연신율을 얻기 위한 인장시험의 경우에 각 조건에 따른 용접부의 성형성을 비교하기 위해 인장방향과 용접선이 평행한 형상의 인장시편을 사용하였다. 이렇게 얻어진 성형성 특성치로부터 최적의 용접조건을 얻어내기 위해서 각 조 특성치를 S/N ratio로 나타내고, 평균분석과 분산분석을 실시하였다. 여기서 S/N ratio는 망대특성일때의 공식인 $SN_i = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{1}{y_{ij}^2} \right]$ 에 특성치 y와 반복횟수 n을 대입하여 구하였다.

평균분석(ANOM)은 각각의 실험인자들이 어떠한 수준에서 가장 좋은 특성치를 보여주는지를 알 수 있게 해주며, 분산분석(ANOVA)은 어떠한 변수인자가 각 특성치의 값에 가장 큰 영향을 미치는 지를 알 수 있게 해준다. 분산분석시 시행된 F-검정에서는 95%의 유의수준에서 F_0 가 $F(005)$ 보다 큰 경우에 그 인자가 특성치에 영향력이 있다고 하며, 통상 2이상의 F_0 값을 가지는 인자는 그 유의성이 인정된다. 연신율과 LDH값의 분산분석 결과에서 95% 유의수준의 F_0 검정을 실시한 결과, 두 경우 모두 보조가스의 유속이 가장 유의한 인자로 판명되었으며, 맞대기 용접간격의 유의성도 F_0 의 값이 2이상이므로 무시할 수 없는 인

자로 생각할 수 있다. 본 실험에서 저탄소강판의 도금층을 구성하는 아연은 비등점이 906℃로 철의 녹는점인 1539℃보다 훨씬 낮은 온도에서 증발하게 되므로 아연증기가 용접부내에 trap되거나 플라즈마를 형성하여 레이저빔을 차장하지 않도록 해주는 보조가스 인자와 맞대기 용접간격 인자가 중요하다고 생각되었다. 따라서 분산분석 결과, 이 인자들이 가장 유의성이 높은 인자로 평가된 것은 실험이 올바르게 수행되었음을 말해준다.

한편, B 인자(맞대기 용접간격)와 C 인자(보조가스 유속)는 평균분석결과에서도 공통적으로 B_1C_2 수준에서 가장 큰 S/N비값을 보이므로 맞대기용접의 간격은 0.15mm, 보조가스 유속은 75 CFH(cubic feet per hour)가 성형성을 높이는 최적조건이라고 할 수 있다. A 인자와 D 인자는 분산분석의 결과로 보아 본실험에서 사용된 어떠한 수준을 선택하여도 특성치에 큰 영향을 미치지 못하므로 경제성과 작업의 용이성을 고려하여 주사속도는 가장 빠른 2수준의 6m/min, 초점위치는 1수준의 -0.25 mm로 최적의 조건을 결정하였다.

이상의 분석으로부터 품질특성치의 최적화와 품질특성의 산포를 동시에 만족시키는 저탄소 아연도금강판과 비도금강판 사이의 최적 레이저 용접조건은 Table 3.과 같다.

Table 3. Optimum condition of Zn-coated/uncoated laser welding

factor		optimum condition
fixed factor	power	3.5 KW
	shielding gas	Ar
	focal length	250mm
scanning speed		6m/min
gap distance of butt welding		0.15mm
flow rate of shielding gas		75CFH
focus position		-0.25mm

Laser Welded Tailored Blank의 성형성(formability) 평가

Tailored Blank Welding 이 자동차의 생산공정에 적용되는 과정에서, 일단 용접된 판재는 금형에 의해 원하는 모양으로 변형되는 press공정을 거치게 되므로, 용접선을 포함한 판재에 대한 성형성의 고려가 매우 중요하다. 실제 생산공정에서 보고된 바에 따르면 모재가 가진 성형성의 80% 이상을 Tailored Blank Welding의 적용을 위해 만족할 만한 기준으로 설정하고 있다. 본 실험에서는 도출된 최적

의 조건으로 레이저용접하여 제작된 tailored blank 시편의 성형성을 평가하기 위하여 경도시험, 인장시험, Erichsen 시험을 수행하였다.

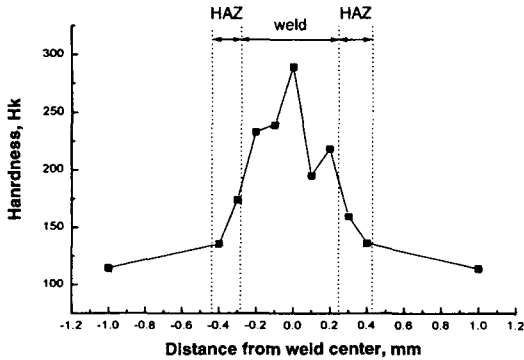


Fig. 2. Microhardness profile of welded region

먼저 용접부 주변의 경도분포를 살펴보면, Fig. 2에 나타난 바와 같이 용접부의 경도는 모재보다 크게 증가되어 있음을 알 수 있었다. 이러한 경화는 레이저용접시의 급속냉각으로 인해 용접부의 결정립이 미세화되고, 높은 경도를 갖는 상(phase)이 용접부에 형성되었음을 말해준다. 그 외에 용접가공시 재료의 일부만이 용융과 응고를 거치면서 수축과 팽창에 따른 잔류응력도 도입된 것도 경화의 원인으로 작용할 수 있다. 용접부의 경화는 용접된 재료 전체의 연신율을 저하시키므로 용접부와 HAZ부의 크기를 최소화하는 것이 유리하다.

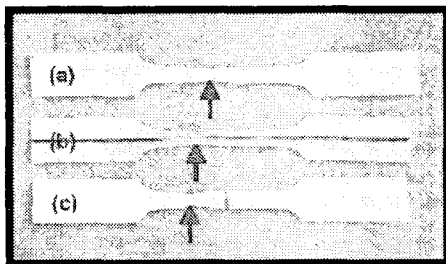


Fig. 3. Tensile test specimens ; (a) substrate metal specimen (b) welded specimen (parallel to strain direction) (c) welded specimen (perpendicular to strain direction)

다음으로 역시 도출된 최적조건으로 용접된 시편을 가지고 인장시험을 수행하여 항복강도, 인장강도, 균일 연신율, 총 연신율을 측정하였다. 인장 방향이 용접선에 평행한 시편과 수직인 시편, 두 종류를 모두 시험하였으며 Fig. 3에서 각 시편의 파단 양상을 확인할 수 있었다. 일반적으

로 일축인장시험에서 용접선에 평행한 방향으로의 인장시험은 용접부의 연신율을, 용접선에 수직인 방향으로의 인장결과를 용접이 잘 되었는지를 평가하는 기준으로 사용된다.

성형성을 가장 잘 대표하는 연신율의 경우, 모재는 48.2%, 용접선에 평행하게 인장한 시편은 39.6%로서 이는 tailored blank 용접의 적용에 필요한 기준인 모재 대비 80%를 상회하는 만족할만 한 성형성을 보여 주었다. 또한 용접선에 수직인 방향으로 인장한 경우에는 모재에 비해 67.8% 정도의 연신율로서 수평인장의 경우보다 성형성은 떨어지나 모재에서의 파단 결과로 볼 때, 용접이 잘 수행되어 접합의 정도가 양호함을 보여주고 있다. 용접부를 포함한 시편의 인장결과를 전체적으로 비교해 볼 때, 모재에 비해 항복강도는 상승하고 연신율은 감소하는 경향이 나타났다. 이는 레이저용접 후 생성되는 비이드(bead)의 경도가 모재에 비해 매우 크고 거의 변형이 없기 때문이다. 다시 말해 시편의 비이드부는 연신에 기여하는 정도가 거의 없기 때문에 동일한 시편에서는 모재에 비해 실제 연신 가능한 부분이 작아지게 된다. 이에 따라 연신율은 감소하게 되며 그 감소 정도는 용접선이 인장방향에 수직인 경우가 평행한 경우보다 커진다.³ Fig. 3에 나타난 인장시편의 파단양상을 참고하면, (c)와 같이 용접선이 수직인 시편은 연신에 거의 기여하지 않는 용접부가 gauge length의 중앙에 위치하고 있으므로 gauge length가 줄어드는 효과를 내어 강도가 낮은 모재부에 응력이 집중되고 이에 의한 파단이 일어나게 된다. 또한 (b)와 같이 용접선이 평행한 시편은 모재와 용접부로 구성된 복합재료(composite material)의 양상을 나타내게 되며, 연신율이 좋은 모재부에서 대부분의 변형을 담당하게 된다. 인장시에는 전체적으로 균일하게 연신이 되다가 경도가 높은 용접부에서 먼저 파단이 일어나고 이것이 균열로 작용하여 양측 모재의 파단으로 이어지게 된다. Fig. 4는 인장시험후 파단된 부분의 주사전자현미경(SEM) 사진을 보여주고 있다. 그림에서 (a), (b) 모두 연성파괴에서 보여지는 dimple 파괴양상을 보여주고 있다. 또한 모재의 파단으로부터 얻어진 사진과 용접부에서 얻은 사진의 비교를 통하여, 레이저용접시의 급속냉각에 의해 dimple의 크기가 매우 미세화된 것을 알 수 있었다.

Erichsen 시험의 경우에는, Fig. 5(b)에 나타난 바와 같이

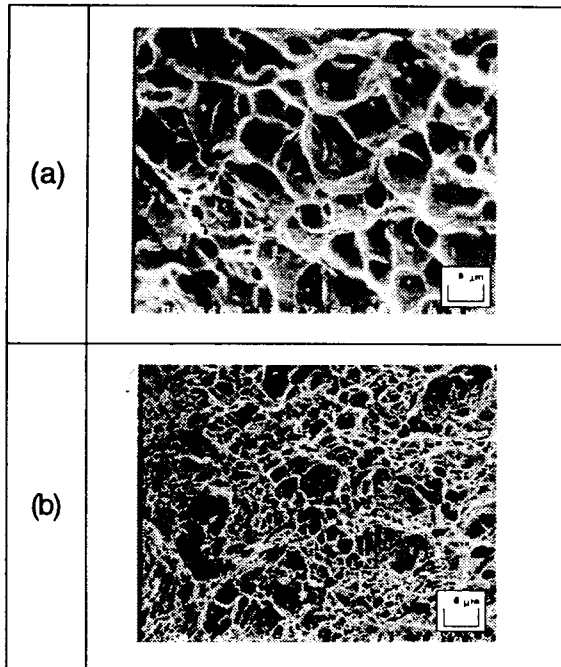


Fig. 4. SEM fractographs; (a)substrate metal,(b)welded region

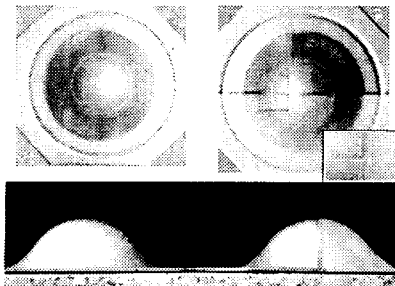


Fig. 5. Dome Height Test specimen;
 (a)substrate metal
 (b)welded specimen

Table 4. Result of Elongation and LDH value

	Elongation(%)						LDH(mm)					
	1	2	3	4	5	average	1	2	3	4	5	average
substrate	50.4	48.0	48.8	45.2	48.2	48.16	22.5	22.9	23.4	23.2	23.0	23.0
perpendicular to weldline	32.8	34.0	31.6	33.2	31.6	32.64						
parallel to weldline	40.0	39.2	41.2	39.2	38.4	39.6	22.8	22.9	22.6	21.0	21.9	22.24

주응력 방향에 수직하게 파단이 일어났으며 인장시험에서 변형방향과 용접선이 평행한 경우와 마찬가지로 용접부와 모재가 함께 연신되다가 연신율이 낮은 용접선에서 먼저 파단이 일어나고 이것이 모재측으로 전파되어 용접선에

에 수직하게 갈라지는 양상을 보여주었다. 용접선에서 모재로 균열이 전파되는 시간은 매우 짧으므로 용접부가 가지고 있는 연신율이 시편전체의 연신을 결정하게 되며 이 과정에서 만약 용접부에 기포등의 용접결함이 있다면 이 부분에서 파단이 생성되므로 성형성에 치명적인 것으로 생각되었다.

Table. 4에 인장시험에서 얻은 연신율과 Erichsen 시험에서 얻은 LDH 값을 모재의 수치와 비교하여 나타내었으며, 모두 모재 성형성의 80%를 상회하는 우수한 성형성을 나타내었다.

레이저 용접부의 형상 관찰

본 실험을 통해 결정된 최적조건에 따른 용접부의 형상을 Fig. 6(a)에 나타내었다. 용접부의 폭이 약 600 μ m~700 μ m, HAZ부가 약 200 μ m로 레이저용접의 장점인 좁은 용접부와 열영향부를 관찰할 수 있으며, 이는 성형성을 향상시키기 위해 요구되는 용접부의 조건과 부합된다. 또한 성형성에 매우 치명적인 비이드 내부의 기공이나 용접후 비이드부가 표면위로 튀어나오는 convexity는 발견할 수 없었다. 약간의 concavity가 존재하기는 하지만 1mm이상의 두께를 가진 판재의 용접에서 함몰된 깊이가 두께의 20% 이하라면 건전한 용접이라고 할 수 있으며, 이러한 concavity는 용접후 성형공정에서 금형의 마모를 줄여주는 장점으로 작용할 수도 있다.

본 실험에서는 다른 재료의 용접에 비해 아연도금층이 용접에 어떠한 영향을 미치는 지를 고찰하는 것이 중요하다. 따라서 최적화된 용접부의 내부에 용접시 발생한 아연이 trap되었는지의 여부를 확인하기 위하여 용접부의 표면에서 깊이 방향으로 EDS 분석을 실시해 보았다.(Fig. 6(b)) line scanning의 분석결과, 용접부내에서는 아연을 포함하고 있다고 보이는 어떠한 계재물의 peak도 관찰할 수 없었다. 따라서 본 실험에서 수행된 용접에서는 레이저용접 변수들의 적절한 조절로 발생한 아연증기가 적절히 제거되고 건전한 용접이 이루어졌음을 알 수 있었다.

일반적으로 레이저용접은 냉각속도가 10³~10⁶K/s 정도 인 급속냉각과정으로 알려져 있다. 본 실험에서 수행된 레이저용접후의 응고시 냉각속도를 예측하기 위하여 용접부

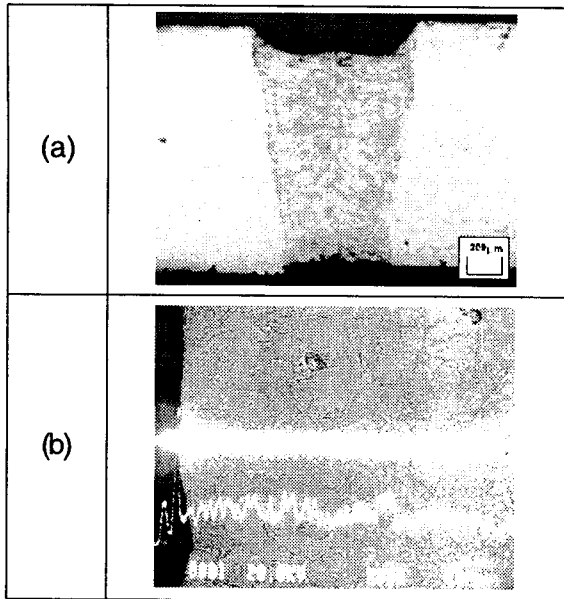


Fig. 6. Weld bead obtained with optimum condition
(a) optical microstructure on cross section of weld
(b) EDS result of Zn-profile into welded region

의 수지상구조를 관찰한 후, primary dendrite arm spacing(DAS)을 측정하여 보았다. 측정된 DAS는 대략 4 μm 정도였으며 1차수지상 간격은 냉각속도의 증가에 따라 감소한다는 관계식⁽⁶⁾을 이용하여 $8.8 \times 10^3 \text{K/s}$ 정도 즉, 10^4K/s 에 접근하는 냉각속도가 얻어졌음을 예측할 수 있었다.

용접부에 존재하는 상의 규명

용접부에 존재하는 상을 조사하기 위해 먼저 XRD(X-ray Diffraction Analysis)분석을 통해 모재와 용접부를 비교하였다. 결과적으로 모재와 용접부 모두에서 bcc 결정구조인 α -페라이트 peak만을 관찰할 수 있었다. 따라서 용접부에는 잔류 오스테나이트는 없으며 bcc 결정구조를 가지는 페라이트의 여러상들이 혼재하고 있을 것으로 생각되었다. 본 레이저 용접시의 냉각속도는 10^4K/sec 정도로 계산되었고 이렇게 큰 냉각속도로 오스테나이트에서 페라이트로 변태할 때는 polygonal 페라이트, quasi-polygonal 페라이트, bainitic 페라이트, 마르텐사이트 등이 형성될 수 있다는 것을 Fig. 7의 TTT-curve에서 알 수 있었다.⁷

이 실험은 탄소의 함량이 0.01wt%로 매우 적은 강종간의 용접으로서 상변태에 의해 bainitic 페라이트나 마르텐

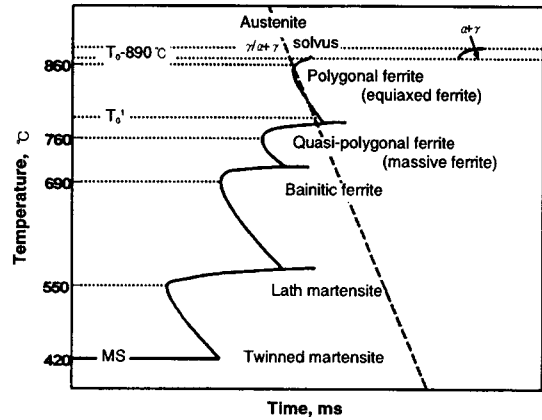


Fig. 7. Schematic TTT curve for transformation in 0.01wt% carbon steel

사이트상이 형성될 가능성은 희박하므로 용접부의 대부분은 polygonal ferrite와 quasi-polygonal ferrite로 이루어져 있다고 생각할 수 있다. 이러한 예측을 뒷받침하기 위해 용접부내에서 조직에 따른 미세경도를 측정해 보았으며, 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8의 (c),(d),(e)에는 용접부 내에서의 압흔과 그에 따른 knoop 경도값이 표

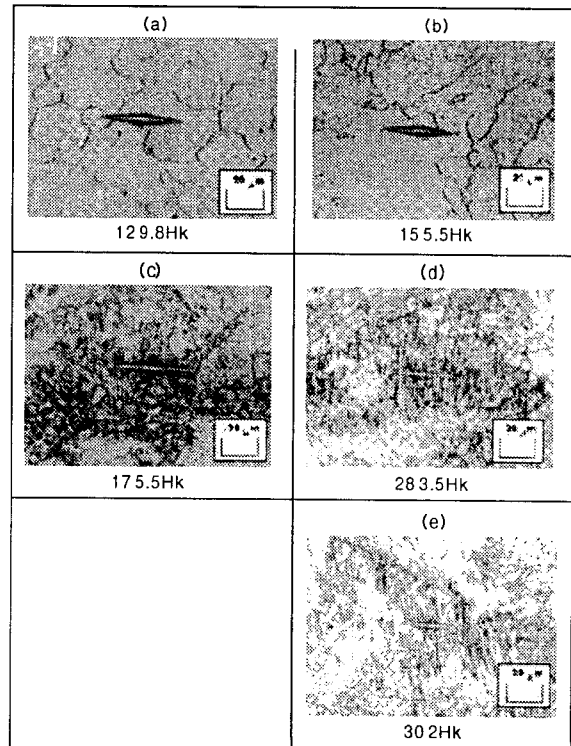


Fig. 8. Knoop microhardness; (a)substrate metal, (b)heat affected zone, (c),(d),(e) local areas of welded region

시되어 있으며 이는 문헌⁵⁾에 명시된 quasi-polygonal ferrite, bainitic ferrite, martensite의 경도치와 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

최종적인 용접부 조직에 대한 확인을 위해 투과전자현미경(TEM)분석을 수행하였다. Fig. 9에 투과전자현미경으로 찍은 용접부내 상들에 대한 사진을 나타내었다. (a)와 (b)의 사진을 비교해 보면 (a)는 대부분의 모재조직을 구성하고 있으며 결정립 내부에 전위밀도가 그리 높지 않은 페라이트상을, (b)는 용접부의 많은 부분에서 발견되며 전위들이 서로 얽혀 있어 전체적으로 검게 보이는 페라이트상을 보여주며 이 상들을 polygonal 페라이트, quasi-polygonal 페라이트로 구별하여 말할 수 있다. 이렇게 연속 냉각에 의해 극저탄소강에서 형성된 quasi-polygonal 페라이트는 강도와 연성의 적절한 combination에 의해 용접부가 우수한 기계적 성질을 갖게 해주는 상(phase)으로 알려져 있다." (c)는 lath 간격이 0.2 μ m 정도인 전형적인 마르텐사이트 조직을 보여주며, 본 실험에서와 같이 극저탄소강의 변태에서도 빠른 냉각속도에 의해 좁은 구역에서 형성될 수 있다는 것을 알 수 있었다.

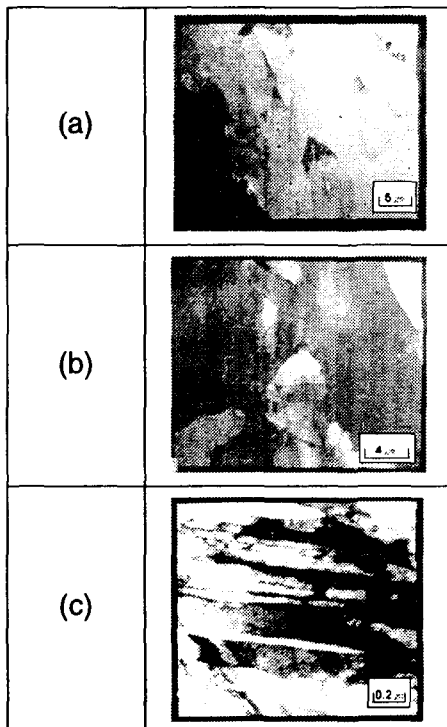


Fig. 9. TEM microstructure; (a) polygonal ferrite (b) quasi-polygonal ferrite (c) martensite

4. 결론

(1) 레이저 출력 3.5kW, 보조가스 Ar 일 때, 최적의 성형성을 확보하기 위해 다루찌 실험계획법에 의해서 얻어진 레이저 용접의 최적조건은 주사속도 6 m/min, 맞대기 용접간격 0.15 mm, 보조가스 유속 75 CFH (= 35.4 l/min), 초점위치 -0.25 mm로 결정되었으며 이 중 가장 유의성이 높은 인자는 보조가스의 유속이었다.

(2) 결정된 최적의 조건으로 용접을 수행했을 때 아연도금층으로부터 발생된 아연증기는 적절히 제거되어 건전한 용접이 가능하였다.

(3) 고밀도 열원인 레이저빔에 의한 용접은 빠른 용융과 큰 냉각속도를 주므로 용접부 조직이 미세화되었고 용접부의 상은 polygonal 페라이트, quasi-polygonal 페라이트, 미량의 bainitic 페라이트 및 마르텐사이트 등의 여러 조직이 혼재되어 있는 것으로 생각된다.

(4) 도출된 최적의 용접조건에 따라 레이저 용접을 수행하여 얻은 연신율과 LDH 값은 각각 모재대비 82.2%, 96.7%의 높은 값을 얻었으며 따라서 Tailored Blank의 적용에 있어 중요한 프레스공정에 요구되는 성형성은 확보되었다고 할 수 있다.

참고문헌

1. 김도훈: "레이저 가공학", 경문사, 서울 (1990)
2. R. H. Lochner, J. E. Matar : "Designing for Quality", Quality Resources (1990)
3. Peace, Glen Stuart : "Taguchi Method", Addison-Wesley (1993)
4. 박기철, 남재복 : RIST 연구논문, 제6편, 제4호, 653 (1992)
5. 레이저 기술, 통권 36호 pp59~67 (1996)
6. S. Ktayama and A. Matsunawa : Proc. ICALEO, pp 60~67 (1984)
7. E. A. Wilson : ISIJ Int., Vol 34, 615 (1994)
8. Koji Shibata, Kentaro Asakura : ISIJ Int., Vol 35, 982 (1995)
9. Symposium Book, New Aspects of Microstructures in Modern Low Carbon High Strength Steel, ISIJ, Tokyo (1994)