

研究論文

박판의 CO₂레이저 빔 용접과 소재접합일체성형에 관한 연구

- 동질 박판재간 -

이 희 석* · 배 동 호**

A Study on the CO₂ Laser Beam Welding of Thin Steel Sheets and Tailored Blanks

- Between Similar Thin Sheet Materials -

H. S. Lee* and D. H. Bae**

Key Words : Welding Condition (용접조건), Laser Power (레이저 출력), Welding Speed (용접속도), Beam Focus (빔 초점), Weldability (용접성), Tensile Strength (인장강도), Butt-Welding (맞대기 용접), Deep Drawing (딥 드로잉), Tailored Blank (소재접합일체성형), Formability (성형성)

ABSTRACT

For the purpose of establishing laser welding condition (laser power, welding speed and beam focus) and of evaluating tailored blanks for two kinds of thin steel sheets SPCC and SK5M using in the thin plate structure such as automobile, train, and so on, investigated their CO₂ laser weldability under various initial welding conditions.

SPCC thin sheet showed good weldability under some welding conditions. But, high carbon steel sheet SK5M needed heat treatment after welding to obtain ductility of the welded joint.

And next, tailored blank was tested through deep drawing to evaluate reliability of their obtained laser welding conditions. The forming depths by tailored blank were SPCC+SPCC= 22-25mm and SK5M+SK5M=13-25mm.

* 비회원, 성균관대학교 대학원 기계공학과

** 정회원, 성균관대학교 공과대학 기계공학과

1. 서 론

최근 차세대 재료가공기술로서 관심과 기대가 집중되고 있는 레이저용접기술은 재료용접분야에서도 재래적인 용접기술상의 문제들을 개선시킬 가능성을 보이고 있다. 그러나, 아직까지 레이저 용접기술은 극히 초보적인 단계로서 용접방법과 재질에 따른 합리적인 용접조건들이 표준화 되어 있지 않고, 레이저 용접품질에 중요한 영향을 미치는 용접결합과 변형등에 대해서도 개선되어야 할 과제가 많은 실정이기 때문에, 앞으로 레이저 용접기술개발과 용접품질향상을 위해 많은 연구들이 이루어져야 할 것이다.^{1~8)}

한편, 이상의 레이저용접기술이 재료접합수단으로서 도입됨과 더불어, 최근에는 자동차, 항공기, 전자공업분야등에서는 생산성 제고를 위해 레이저 용접된 소재를 목적에 맞추어 프레스(press) 성형하는 소재접합일체성형(tailor welded blank, tailored blank)기술에 대한 관심이 국내·외에서 상당히 높아지고 있는 상황이며, 특히 자동차 산업의 경우는 종래의 차체 생산방식이 분할방식과 일체방식으로 이원화되어 각각의 장단점이 존재하였으나, 소재접합일체성형기술을 도입함으로써 이들의 장점을 살린 생산이 가능하게 되었다.

그러나, 소재접합일체성형에 있어서는 프레스 성형중에 용접부가 파단되면, 재료가 과다하게 소모될 뿐만 아니라, 프레스가공기의 가동률을 떨어뜨리기 때문에 확실한 용접품질(성형성)이 보장되어야 할 전제조건과 프레스 다이(press die)형상에 따른 최적의 소재형상설계 및 성형기구(forming mechanism)에 대한 이해가 선행되어야 한다.^{9,10)}

따라서, 본 연구에서는 이러한 점들에 유의하여, 자동차 차체와 부품재료로 많이 이용되고 있는 SPCC와 SK5M 박강판의 동종재간 CO₂ 레이저 용접을 위한 적정 용접조건을 구하고, 용접조건과 이로부터 제작된 시편의 용접품질에 대한 신뢰성을 평가하고자, 소재접합일체성형시험을 병행하였다.

2. 동종 박판재의 CO₂ 레이저 빔 용접

2.1 용접재료

본 연구에 사용된 용접재료는 자동차 및 철도차량 등에 많이 이용되고 있는 냉간압연 강판(SPCC)과 고탄소 강판(SK5M)으로서, 두께는 공히 t=1.0mm이며, 화학적 성분과 기계적 성질 및 열적특성은 Tables 1, 2, 3과 같다.

Table 1. Chemical compositions of materials

Material	Chemical composition (%)										
	C	Cr	Cu	Mg	Mn	Ni	P	S	Si	Ti	Fe
SPCC	0.12	-	-	-	0.5	0.026	0.04	0.045	-	-	Rem.
SK5M	0.84	-	-	-	0.44	-	0.021	0.006	0.24	-	Rem.

Table 2. Mechanical properties of materials

Material	Thickness (mm)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (Hv)
SPCC	1.0	157.8	288.1	25	112
SK5M	1.0	466.5	585.0	21	177

Table 3. Heat characteristics of materials

Material	Phase transformation temperature (°C)	Melting temperature (°C)	Density (Kg/m ³)	Specific heat (Kj/kg · °C)	Thermal conductivity (30°C) (Cal/cm · °C)	Volum coefficient of expansion (20~1030°C) (1/°C × 10 ⁶)
SPCC	727	1539	7,850	0.102	0.145	11.74
SK5M	730~750	1490	7,830	-	0.103	10.84

맞대기 용접을 위한 판재의 크기는 $300^L \times 300^W \times 1.0^T$ mm로 절단하였고, 판재의 길이 방향은 재료의 압연방향과 일치하도록 하였다. 그리고, 용접부 중앙의 접촉불량에 의해 레이저광이 누설되어 용접이 되지 않거나 용접이 불량해지는 경우가 많으므로, 이를 방지하기 위해서 재료절단시 발생된 변형을 레벨링머신으로 교정하고, 절단면은 밀링가공하여 재료의 폭이 150 ± 0.2 mm이내가 되도록 하였다. 특히 재료표면이 청결치 못할 경우 용접이 불량해지는 것을 방지하기 위하여 아세톤으로 세척한 후 용접하였다.

2.2 용접장치 및 용접조건

용접장치는 스위스 바이스트로닉(Bystronic)사에서 제작한 모델명 바이스타 3015의 CO₂ 레이저 용접기를 사용하였으며, 사양은 정격출력 2.8 kW(최대출력:3.0 kW), 출력과는 연속파(cw)이고, 빔(beam)특성은 (TEM00+TEM01) Mode, 용접속도(welding speed)는 0~50 m/min 이다.

용접시 용융금속의 산화(oxidation)와 질화(nitridation)를 방지하고, 플라즈마에 의한 레이저광의 흡수와 산란을 억제하기 위해서, 노즐(nozzle)로부터 레이저 빔(laser beam)과 동일 축 방향으로 분류되는 아르곤 가스(Ar gas)의 유량을 30 l/min로 하였으며, 용접시 시편설치의 편의성과 용접변형을 방지하기 위해 별도의 용접용 지그(jig)를 설계·제작하여 설치하였다.

레이저용접은 고밀도에너지(high density energy)와 비접촉에 의한 용융용접이므로 아크용접(arc welding)이나 가스용접(gas welding)에 비해 비드(bead)폭이 좁고, 용접열사이클(welding heat cycle)동안의 열변형이 적은 것이 특징이나, 용접조건이 부적절한 경우에는 용접비드내에 기공 또는 균열이 발생하거나 정상적인 비드가 생성되지 않는 경우가 있다.⁴⁾ 따라서, 이상의 용접결함을 억제하고, 적절한 접합강도를 얻기 위해서는 레이저 용접성에 영향을 미치는 인자들 가운데 레이저출력, 용접속도, 레이저 빔 초점위치 및 조사위치등을 고려해야 하며, 그리고 이들은 서로 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에, 재료에 따른 체계적이고 통일된 조건설정이 필요하다.

본 연구에서는 두께가 1.0mm인 SPCC와 SK5M

판재의 동종재간 CO₂레이저 용접성을 평가하여 적절한 용접조건을 얻고자, 이상의 용접조건들 가운데, 특히 생산성과 용접품질에 관여하는 중요한자인 레이저출력과 용접속도를 변수로 하였다. 즉, SPCC의 초기용접조건은 레이저출력을 2.3~2.8kW, 용접속도를 4~10m/min로 하고, 고탄소강인 SK5M은 레이저출력을 2.0~2.8kW, 용접속도를 2~8m/min로 하였다.

레이저 빔 초점위치는 키-홀(key-hole)형성과 용입깊이(penetration depth)에 관계되나 박판 맞대기용접의 경우, 용접속도가 일정하고 레이저출력이 2.0-3.2kW와 초점위치 $f = -3.0 + 1.0$ mm에서는 용입깊이에 큰 차이가 없기 때문에⁴⁾, 본 연구에서는 초점위치를 용접하고자하는 재료표면($f=0.0$ mm)에 두고 용접하였으며, 단, 용접성이 좋지않은 고탄소강 SK5M을 용접함에 있어서는 초점의 위치를 재료표면과 표면하($f=-0.5$ mm)로 변화시켜 이들의 영향을 검토하였다. 그리고, 레이저 빔의 조사위치는 두 재료 공히 시편의 용접선 중앙에 두고 용접하였다.

이상의 초기용접조건에 의해 용접된 시편들에 대한 용접부의 조직관찰과 정적 인장시험을 통하여 적절한 용접조건을 얻고자 하였다.

2.3 정적 인장강도 평가

2.3.1 시편 및 실험장치

맞대기 레이저 용접한 박판재의 정적 인장강도 평가용 시편은 $300^L \times 300^W \times 1.0^T$ mm의 용접이음판재를 용접선에 수직인 방향으로 절단하여 KSB 0801-13호 규격에 의거 제작하였으며, 시편의 크기 및 형상은 Fig.1과 같다.

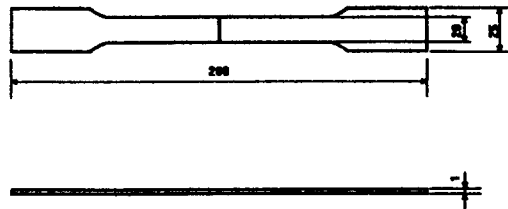


Fig. 1 Configuration of tensile strength test specimen

본 실험에 사용된 인장시험기는 경도정밀에서 제작한 2ton용량의 전자식 인장시험기를 사용하였으며, 부하속도는 용접이음부의 접합강도를 충분히 파악하기 위하여 5mm/min의 저속으로 하였다.

경도계는 Matsuzawa Seiki Co.에서 제작한 Micro Hardness Tester (DMH-II)로서, 하중 500g, 측정간격은 0.2mm로하여 실험하였다.

그리고 용접부의 용융부와 열영향부 및 모재부의 금속조직 관찰을 위해 배율 400배인 Microscope (Olympus)를 사용하였으며, 시편부식 용액은 SK5M, SPCC 공히 nital 2%로 하였다.

2.3.2 실험결과 및 고찰

1) 냉간압연 강판 (SPCC sheet)의 동종재간 용접 Photo.1은 두께 1.0mm인 SPCC 판재를 2.2절의 초기용접조건으로 맞대기 용접한 시편의 용접부 단면형상, 용융부, 열영향부 (HAZ) 및 모재부에 대한 미세조직사진이며, Fig.2는 각 시편에 대한 용접부의 경도측정 결과를 비교도시한 것이고, Fig.3은 정적인장시험결과이다.

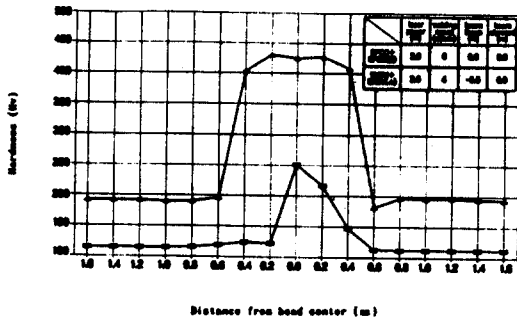


Fig. 2 Hardness profile of welded specimen

레이저출력이 2.3kW, 용접속도가 4~8m/min범위의 초기조건으로 용접한 경우, 용접불량에 의해 시편의 대부분이 비드부에서 파단되는, 즉, Fig.3에서 정적인장강도가 매우 낮은 결과를 보였다. 이러한 결과는 출력에 비해 용접속도가 크기 때문에 레이저빔과 재료간의 반응시간이 짧아 키-홀 (key-hole)형성이 늦어져 용입 (penetration)이 충분치 못했기 때문에 야기된 것으로 간주되어, 이

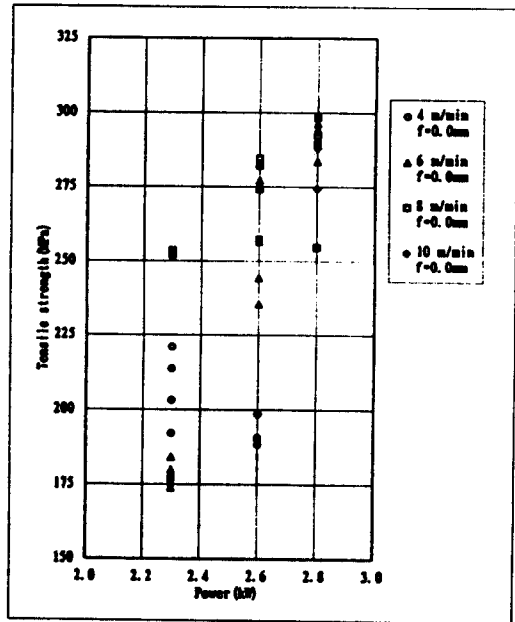


Fig. 3 Relation of tensile strength and laser power (SPCC+SPCC, position of beam focus f=0.0mm, beam alignment=0.0mm)

것을 개선하기 위해, 레이저출력을 2.6kW로 하여 용접한 결과, 용접속도가 8m/min의 일부를 제외하고는 상당수가 역시 비드부에서 파단되었다. 이것은 용접속도 4m/min가 레이저출력 2.6kW에 비해 저속이기 때문에, 전술한 레이저출력 2.3kW의 경우와는 반대로 레이저빔이 재료와 반응할 수 있는 시간이 충분하여 키-홀형성이 상대적으로 빨라지고, 빔의 다중반사에 의한 에너지흡수율도 급격히 증가하므로 충분한 용입이 예상될 수 있으나, Wall Focusing효과^{4,10} 등에 의해 빔의 발산이 억제됨으로서 용입의 깊이가 증가하지 않아 정상적인 용접비드가 생성되지 않았거나, 키-홀형성과 용입진행과정에서 온도상승에 의한 용융금속의 증발과 스패터 (spatter)의 발생으로 인한 용접불량으로 판단된다.

이상으로부터, 두께 1.0mm인 SPCC 판재의 신뢰할 만한 용접품질을 얻기 위해서는 레이저출력이 큰 경우에는 용접속도를 크게 해야 할 필요가 있으며, 이것은 Fig.3에서 용접속도가 6~8m/min인 경우, 레이저출력이 큰 범위에서 인장강도가 증

가하는, 즉 용접품질이 개선되는 결과로부터 잘 이해될 수 있음과 동시에, 레이저용접품질과 용접조건(레이저 출력, 용접속도)에 관련된 연구들에 의해서도 동일한 결과가 제시되고 있다.^{11,12,13)}

특히, 레이저출력이 2.8kW, 용접속도가 6~8m/min범위에서 용접된 시편은 모재부가 파단되어 인장강도의 차이가 크지 않았으며, 현미경 관찰과 경도분포측정결과로부터, 용접bead 폭은 약 0.9mm정도이고, 용접bead의 두께는 모재와 동일한 1.0mm 이었다.

그리고, Photo. 1(b)의 열영향부에는, 레이저 용

접시 급가열·급냉각으로 인해, 마르텐사이트(martensite) 조직이 비교적 적은 폭으로 형성되고, 모재에 비해 조직이 조대해지는 등 연강(mild steel)의 용접부에서 관찰되는 일반적인 경향을 나타내고 있다.

이상의 결과로부터, 두께가 1.0mm인 SPCC 판재의 표면($f=0.0mm$)에 레이저 빔 초점을 두고 용접하는 경우, 레이저출력 2.8kW, 용접속도 6~8m/min범위에서 비교적 양호한 용접성을 보이며, 이 때의 정적인장강도는 280~300MPa정도이다.

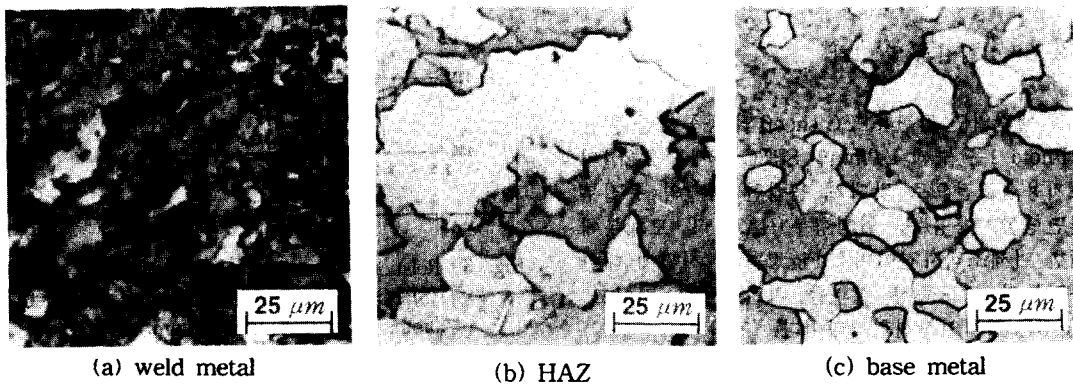


Photo. 1 Micrographs of base metal and butt weldment between SPCC and SPCC ($t=1.0mm$, laser power=2.8kW, welding speed=6m/min position of beam focus $f=0.0mm$, beam alignment=0.0mm)

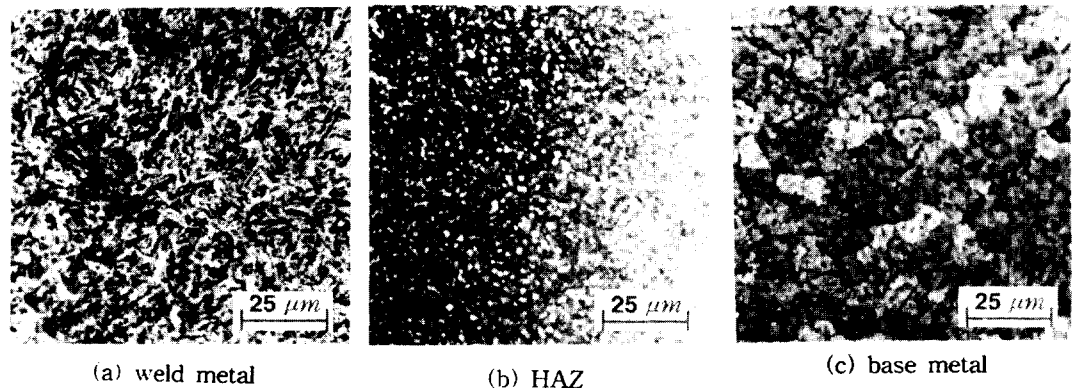


Photo. 2 Micrographs of base metal and butt weldment between SK5M and SK5M ($t=1.0mm$, laser power=2.0kW, welding speed=4m/min position of beam focus $f=0.5mm$, beam alignment=0.0mm)

2) 고탄소강판(SK5M sheet)의 동종재간 용접

Photo. 2는 두께 1.0mm인 고탄소강판 SK5M을 2.2절의 초기용접조건으로 맞대기 용접한 시편의 용융부, 열영향부(HAZ) 및 모재부의 미세조직이며, Fig. 4는 정적인장시험결과이고, 용접부의 경도분포 측정결과는 Fig. 2와 같다.

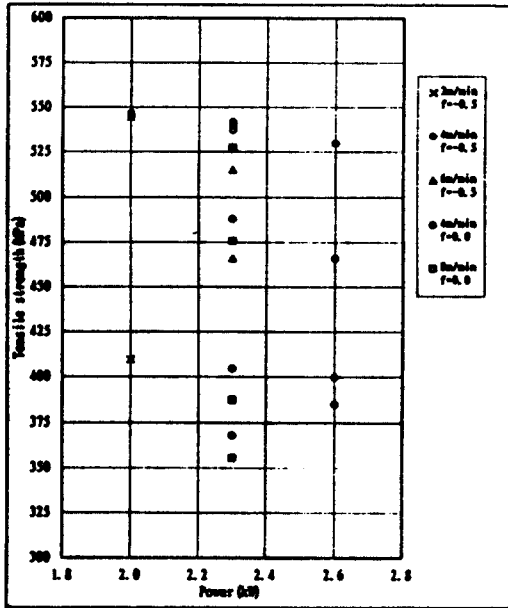


Fig. 4 Relation of tensile strength and laser power (SK5M+SK5M, position of beam focus f=0.0mm, beam alignment=0.0mm)

일반적으로, 고탄소강은 야금적 성질에 의해 용융부와 열영향부에서 마르텐사이트(martensite) 조직이 생성됨과 동시에 체적팽창이 일어나고, 용융부에서의 불균일한 국소적 체적변화에 의한 내부 변형장(inner strain field)은 용접균열의 원인이 된다.

따라서, 고탄소강을 용접하는 경우는 용접결합의 발생을 억제하기위해서 예열(preheating)이 필요하며, 특히, SK5M은 적당한 열처리에 의해 인장강도와 연성(ductility)이 증가하는 특성을 가지고 있다.^{14,15)}

이상과 같은 특성을 고려하여, SK5M의 용접부위를 레이저출력 500W, 이송속도 5m/min로 예열

한 후, 레이저 빔 초점위치를 재료표면하 0.5mm에 두고, 출력범위 2.0~2.6kW로 용접하였으며, 용접된 각 시편은 450~500℃에서 90분간 열처리 한 후 저속으로 인장시험하였다.

그 결과, Fig.4와 같은 정적인장강도를 얻을 수 있었고, 특히 레이저출력이 2.0~2.3kW, 용접속도가 4~6m/min범위에서 비교적 용접성이 양호하여 모재가 파단되었고, 인장강도는 약 550Mpa정도이다.

한편, 레이저 빔 초점위치를 재료표면에 두었을 경우에는, Fig. 4에서 알 수 있듯이 동일한 용접조건하에서도 인장강도의 차이가 매우 심하다. 이러한 결과는, 탄소강의 경우 용접열사이클 동안 용융부 및 열영향부에 마르텐사이트조직이 생성됨으로 인하여 경화됨과 동시에, 연성(ductility)이 저하하는등 기계적 성질이 저하되고, 특히, SK5M과 같이 탄소함유량(C;0.84%)이 많은 재료일 수록 마르텐사이트 생성온도가 낮으면서 고온에서 조대화되는 경향이 강하기 때문에¹⁵⁾, 레이저용접과 같이 고밀도에너지에 의한 가열과 실드가스에 의한 급속냉각의 영향이 민감하게 작용했기 때문으로 간주된다.

그리고, Photo. 2와 Fig.2로부터, 용접부는 마르텐사이트(martensite) 조직을 형성하고 있고, 용접 bead의 폭은 1.2mm이며, bead두께는 약 1.15mm 정도이다.

이상과 같이, 다양한 초기용접조건으로 용접한 시편들에 대한 미세조직관찰과 기계적 성질의 평가 및 고찰을 통하여, 두께가 1.0mm인 SPCC와 SK5M 판재의 CO₂ 레이저용접조건을 구하였다.

본 연구에서는 이상의 용접조건과 이로부터 제작된 시편들의 용접품질에 대한 신뢰성을 평가하고자 소재접합일체성형성 평가시험을 병행하였다.

3 소재접합일체성형성 평가

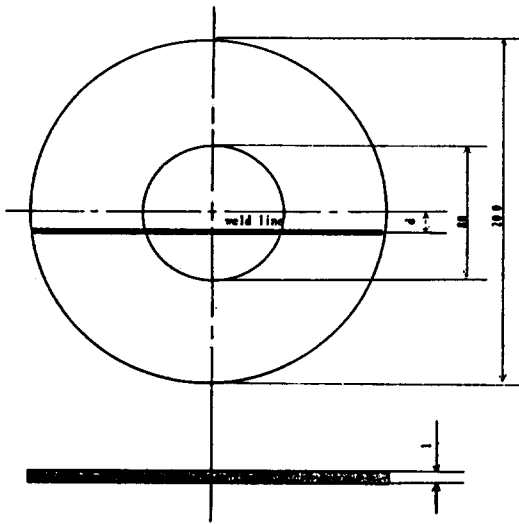
3.1 시편

소재접합일체성형을 위해 CO₂ 레이저 빔 용접한 시편재료는 2.1절과 같다.

용접조건은 초기용접조건으로 용접된 시편들의

Table 4. CO₂ laser welding condition for tailored welded blank

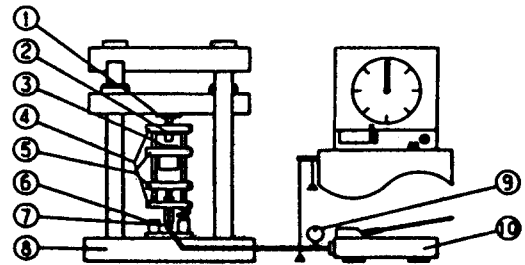
specimen	Welding condition				Limit forming depth of each specimen (mm)
	Laser power (kW)	Welding speed (m/min)	position of beam focus (mm)	Beam alignment (mm)	
SPCC+SPCC	2.8	8	0.0	0.0	25
SK5M+SK5M	2.0	4	-0.5	0.0	25

**Fig. 5** Configuration of deep drawing specimen and position of weld line

용접성과 정적인장시험결과에 대한 고찰을 통해 Table 4와 같이 설정하여 용접하였으며, 딥 드로잉 (deep drawing)을 위한 시편의 형상은 Fig. 5와 같다.

본 실험에서는 실린더형 딥 드로잉장치 (Fig. 6)의 Blanker holder와 Die 사이에 설치된 시편에 균일한 파악력 (gripping force)이 분포하도록 시편을 원형으로 절단 가공하였고, 특히, 딥 드로잉에 의한 용접부의 변형정도, 파단여부 및 시편의 성형성을 파악하기 위하여 용접선의 위치를 $d=0\text{mm}$ (center), $d=20\text{mm}$, $d=40\text{mm}$ (punch edge)로 하여 실험하였다.

3.2 실험장치 및 실험방법



Name list for test equipment

No	Name
1	Punch
2	Blank holder
3	Die
4	Blank holder supporter
5	Die supporter
6	Relax equipment
7	Ram (blank holder compressor)
8	Universal testing machine
9	Holding pressure gauge
10	Hand oil pump

Fig. 6 Schematic daigram of deep drawing test equipment

본 실험에 사용된 실험장치는 Fig. 6과 같이 만능 시험기 (Simadzu Co.)에 제작·설치된 것이며, 딥 드로잉을 위한 펀치 (punch)와 다이 (die)의 형상은 Fig. 7과 같다.

그리고, 가혹한 조건하에서 시편의 성형성을 평가할 목적으로 펀치와 다이간의 여유간격을 2.0mm로 하고, 윤활제는 사용하지 않았다.

실험방법은 먼저 유압재킷으로 다이에 놓인 시편을 9.8 MPa로 가압한 후, 만능재료 시험기에 설치된 펀치를 15m/min의 속도로 하강시켜 성형하

였다. 성형하중은 시편이 파단될 때까지 계속해서 가하였으며, 파단되기까지의 성형깊이는 dial gage를 이용하여 만능재료시험기 cross head 이동 거리로서 측정하였다.

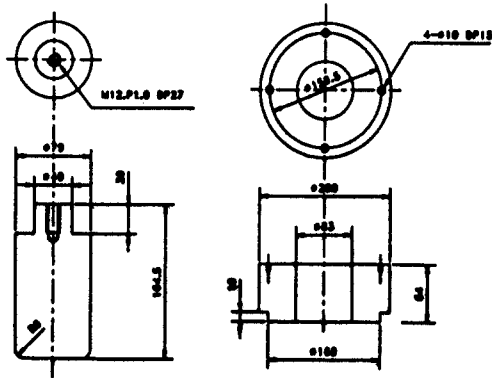


Fig. 7 Configuration of punch and die for deep drawing

3.3 실험결과 및 고찰

Photos. 3, 4는 이상의 실험장치와 실험방법으로 딥 드로잉이 완료된 후의 형상을 나타낸 것이며, Figs. 8, 9는 딥 드로잉 성형후 용접선에 수직한 방향으로 시편을 절단한 후, 판 두께를 point micrometer로 측정하여 성형부의 두께분포를 나타낸 것이다.

두께 (t)가 1.0mm인 SPCC, SK5M 판재를 동종 재간 CO₂ 레이저 빔 용접한 시편에 대해 용접선의 위치를 달리하여 딥 드로잉 성형한 결과, 용접부에 비해서 모재부의 변형이 크고, 특히 성형된 컵 (cup)의 하부 가장자리 (예; Fig. 8에서 5~6 또는 8의 위치)에서는 성형시 인장과 굽힘의 조합에 의해 변형이 크게 일어났다.

Photos. 3, 4와 같이 파단되기까지의 한계성형깊이는 Table 4와 같다. 용접선의 위치에 따라 차이는 있으나 대체로 SPCC+SPCC=25 (mm), SK5M+SK5M=25 (mm)의 성형한계를 보였으며, SK5M+SK5M의 경우는 용접선이 시편의 중앙 (d=0.0mm)에 위치했을 때의 한계성형깊이가 13.0mm로 SPCC+SPCC에 비해 성형성이 떨어졌다. 그 이유

는 고탄소강인 SK5M을 레이저용접한 후, 모재와 용접부의 연성을 향상시키기 위해 용접후열처리를 하더라도 Figs. 8, 9에 나타내어진 바와 같이 SPCC에 비해 변형률이 떨어지기 때문인 것으로 간주된다.

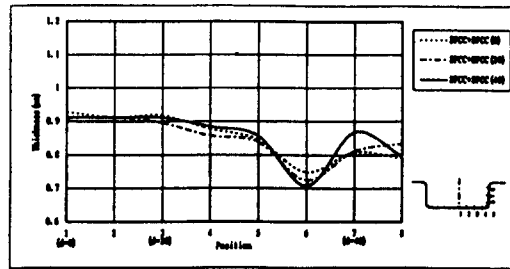


Fig. 8 Thickness of each position formed by deep drawing test (SPCC+SPCC)

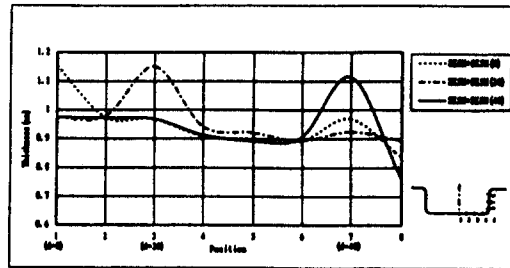


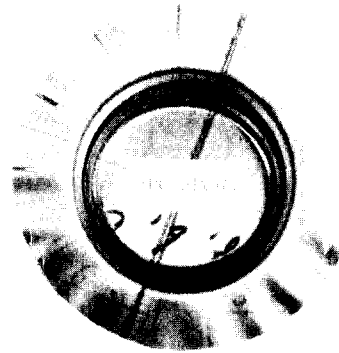
Fig. 9 Thickness of each position formed by deep drawing test (SK5M+SK5M)

그리고, 두가지 시편 모두 용접선의 위치가 시편의 중앙에서 가장자리, 즉, Fig. 5의 d=0.0mm에서 d=40.0mm로 이동함에 따라 성형깊이가 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 펀치에 의해 실질적으로 성형되는 $\phi 80$ mm범위 안에서 용접선이 가장자리로 이동할 수록 변형률이 모재에 비해 상대적으로 작은 용접부가 차지하는 면적이 감소함으로써, 결국 전체적인 변형률이 증가했기 때문인 것으로 판단된다.

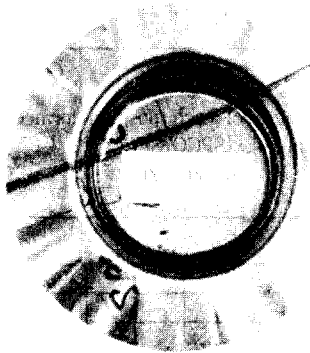
이상과 같이, 딥 드로잉에 의한 소재접합일체성형성 평가로부터, 2절에서 제시된 용접조건을 재평가한 결과, 두께 1.0mm인 SPCC와 SK5M 판재의 용접조건으로서 신뢰성은 있다고 판단되나, 경



(a) side view



(b) d=0.0mm(front view)



(c) d=20.0mm(front view)

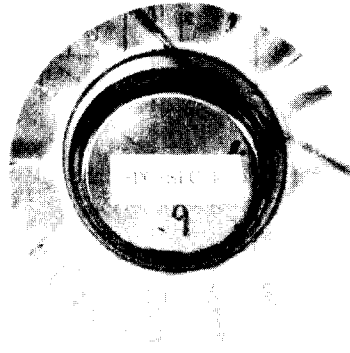


Photo. 3 Conditions after deep drawing test (SPCC+SPCC, drawing rate=15m/min)

제적인 레이저 용접과 소재접합일체성형을 위해서는, 본 연구에서 충분히 고려되지 않은 레이저 빔 초점위치와 조사위치 등의 용접조건과 용접방법에 대한 지속적인 연구가 필요하리라 생각된다.

4. 결 론

자동차, 철도차량등의 구조와 부품용 재료로서 많이 사용되고 있는 냉간압연강판 (SPCC)과 고탄소강판 (SK5M)의 동종재간 CO₂ 레이저용접기술개발 차원에서 적정 용접조건을 구하고, 설정된 용접조건 의 신뢰성을 평가하기 위해 소재접합일체성형 시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 두께t=1.0mm인 냉간압연강판 (SPCC)의 동종 재간 레이저용접에 있어서, 레이저 빔 초점위치가 재료표면이고, 빔 조사위치가 용접선 중앙인 경

우, 레이저출력 2.8kW, 용접속도 6~8m/min범위 에서, 인장강도는 약 280~300MPa 정도이다.

2) 두께t=1.0mm인 고탄소강판 (SK5M)의 동종재 간 레이저용접은 용접전 예열과 용접후열처리가 필요하며, 레이저 빔 초점위치가 재료표면하 0.5mm이고, 빔 조사위치가 용접선 중앙인 경우, 레이저출력 2.0~2.3kW, 용접속도 4~6m/min범위 에서, 인장강도는 550MPa정도이다.

3) 소재접합일체 성형에 의한 한계성형깊이는 SPCC+SPCC=22-25mm, SK5M+SK5M=13-25mm 이다.

References

1. 宮崎, 宮澤, 村川, 吉岡, “レ-ザ加工技術”, 産業圖書, 1992, PP. 95-124

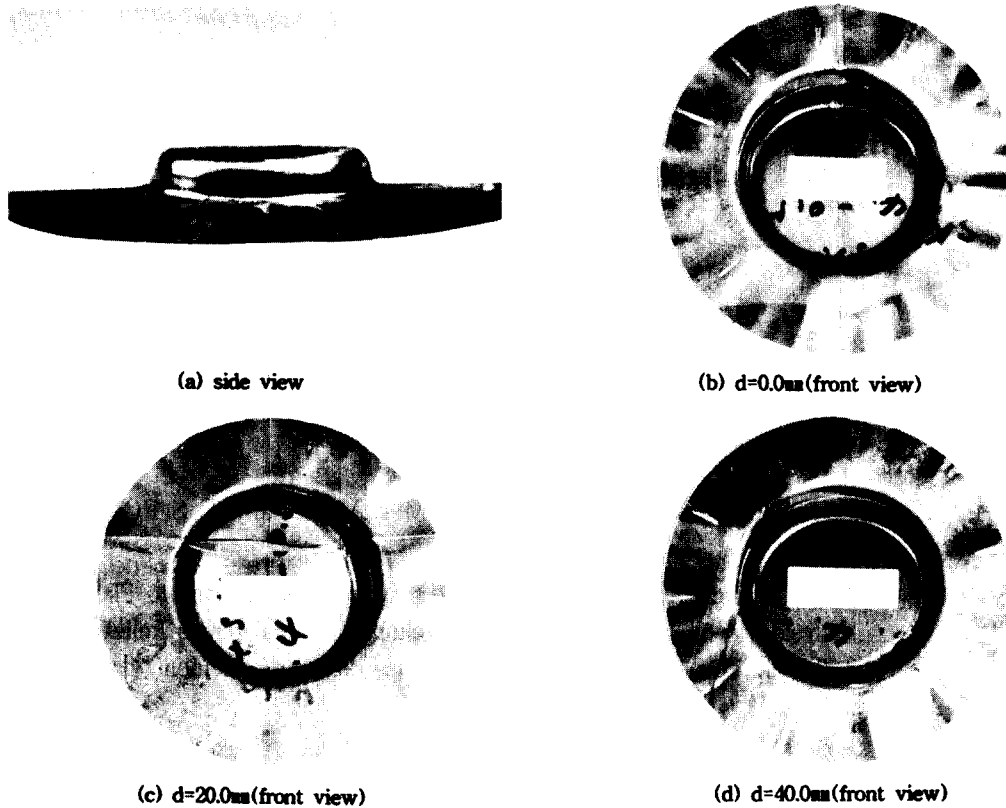


Photo. 4 Conditions after deep drawing test (SK5M+SK5M, drawing rate=15m/min)

2. 難波, "レーザと加工", 共立出版, 1987, PP. 81-100
3. F. Brind, L. sabatier, D. kechemair and D. Gerbet, "Plasma Studies CO₂ Laser-Material Interaction Applications to Laser Welding" Proc. of the 7th ICALEO'88, 1988, PP. 214~222
4. 佐藤, 石井, 八木, "CO₂レーザ加工技術" 日刊工業新聞社, 1992, PP. 135-147
5. Frederick F. Ling, "laser machining-Theory and Practice", Springer-Verlag, 1991, PP. 17-86
6. C. Albright, "High speed Laser Welding Discontinuities", Procs. of the 7th ICALEO'88, 1988, PP. 207~213
7. G. Velarde, E. Minguez and J. Manuel Perlado, "Laser Interaction with Matter", World Scientific, 1989
8. I. A. Weeter, "Conference-Laser Welding, Machining and Materials Processing", USA, 1985, P. 81
9. "溶接技術", 日本溶接協會誌, Vol. 42, 1994, PP. 69-74
10. J. C. Mombo-Cristan, V. Lohring, W. Prange and A. Frings, "Tailored Welded Blanks: A new alternative in automobile body design", The Industrial Laser Handbook, 1992-1993 Edition, 1993, PP. 89-102
11. Baardsen E. V., "Welding Journal", Vol. 52, No. 4, 1973, P. 227
12. 丸尾, "日本溶接學會誌", 第50卷, 第4號, 1981, P. 88
13. 김기철, 박사학위 논문, 한양대학교, 1992, PP. 33-88
14. "溶接·接合便覽", 日本溶接學會, 丸善, 1990, PP. 848-859
15. 橋口隆吉, "金屬工學ハンドブック", 朝倉書店, 1974, PP. 602-606