

## 소재접합 일체성형 판재의 플래시 용접성과 성형성에 관한 연구

최문일\* · 민경복\*\* · 강성수\*\*\*

(1998년 6월 13일 접수)

### Study on Flash Weldability and Formability in Steel Sheets by Tailor Welded Blank

M. I. Choi, K. B. Min and S. S. Kang

#### Abstract

The press formability analysis of welding parts was studied in the current work by the tailor welded blank. The press formability was tested by means of the flash weldability and the formability for two kinds of materials (SPCC & S35C). The results indicate that SPCC & S35C steel sheets showed good weldability and formability after an optimum welding conditions. The independent operation variables were characterized by strength of welding parts, deformation after the welding, press formability of welding parts and productibility of welding. The weldability and the quality of welding parts of the flashed SPCC steel sheet was superior to those of the S35C steel sheet, since a higher carbon content in steel sheet led to a higher hardness. The experimental results were discussed by the evaluation of the results obtained from tensile test, hardness test, micro-structure and V bending test.

**Key Words** : Tailor Welded Blank, Press Formability, Flash Weldability, Hardness Distribution, Carbon Alloy

#### 1. 서 론

최근 가격 경쟁력 향상을 위한 재료회수율 증대의 일환으로 소재접합 일체성형(Tailor Welded Blank, TWB) 공법을 이용한 소성가공 기술에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다.<sup>(1-5)</sup> 용접블랭크(Tailored Blank)는 분리 성형했던 부품을 일체화 성형함으로써 금형수, 프레스 공정수를 줄일수 있고, 또한 차체조립 공정이 단순화 됨에 따라 조립정도가 향상되는 이점이 있다. 이러한 용접블랭크 제조에 사용되는 레이저, 매시 심, 아크, 플래시 버트, 전자빔, 고주파 용접등을 실제 적용한 결과, 실용화에 도

달한 것은 레이저 용접과 매시 심 용접등이다.<sup>(6-13)</sup>

따라서 최근들어 국내 뿐만아니라 일본, 미국, 유럽 등에서는 레이저 용접과<sup>(6-13)</sup> 플래시 용접<sup>(14-17)</sup>, 업셋 용접<sup>(16-17)</sup>등을 이용한 소재접합 일체성형 공법이 많이 적용되고 있는 추세이다. 실제로 플래시 용접을 적용한 예를보면, 자동차 휠 림(Wheel Rim) 제조<sup>(16-17)</sup>에 고속 용접을 적용한 소재접합 일체성형 공법을 사용하고 있는데, 이전에는 용접 이동대의 제어가 단순히 전진하는 캠 방식(용접방식에서는 세미 플래시 방식에 속함)이었지만 최근에는 이동대의 전진·후진 제어기능을 모두 가진 전기유압식 서보 제어방식의 용접기 도입으로 보다 고속으로 용접

\* 창원전문대학 자동차과

\*\* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

\*\*\* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터

이 가능해졌다.<sup>(4-8)</sup> 그러나 국내의 사례들을 살펴보면 아직까지 플래시 용접기술을 소재접합성형에 도입하는 것은 극히 초보적인 단계이다. 왜냐하면 용접방법과 재질에 따른 보다 합리적인 용접조건들이 표준화 되어 있지 않고 플래시 용접품질에 중요한 영향을 미치는 용접결합과 변형 등에 대해서도 개선되어야 할 과제가 많기 때문에 앞으로 플래시 용접 기술개발과 용접품질향상을 위해 많은 연구들이 행하여지고 있다. 즉 자동차나 항공기 분야에서 생산성 향상을 위해 플래시 용접된 소재를 목적에 맞추어 프레스 성형하는 소재접합일체성형(tailor welded blank, TWB) 기술을 도입함으로써 보다 나은 생산성을 얻고자 하는 노력이 다방면으로 시도되고 있다.<sup>(1-5)</sup>

소재접합 일체성형은 재료의 회수율면에서 아주 유리하며 비교적 두꺼운 판재의 굽힘 특성 및 스프링 백의 정확한 예측을 통한 최적의 신공법 및 공정 개발은 프레스 제품 생산업체의 생산성 향상과 재료비 절감의 이중효과를 기대할 수 있다. 그러나 소재접합 일체성형에 있어서는 프레스 성형중에 용접부가 파단되면 재료가 과다하게 소모될 뿐만 아니라, 프레스 가공기의 가동률을 떨어뜨리기 때문에 확실한 용접품질이 보장 되어야 하고 프레스 다이 형상에 따른 최적의 소재형상설계 및 성형기구에 대한 이해가 선행되어야 한다. 또한 용접된 시편의 성형가공은 재료 절약, 공정감소등으로 연구의 필요성은 크나 생산성 있는 시편 가공법과 신빙성있는 용접법의 개발이 전제되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 이러한 점들에 유의하여 자동차 차체와 부품재료로 많이 이용되고 있는 SPCC(냉간압연강판)와 S35C(기계구조용탄소강판) 박판의 플래시 용접성과 성형성을 평가하고자 한다. 이를 위해 플래시 용접시편의 인장시험 및 경도측정을 통하여 용접성을 평가하였고, 굽힘시험을 통해 용접부의 성형성을 평가하였다.

## 2. 플래시 용접의 원리 및 특징

플래시 용접은 저항용접 분야에 속하는 맞대기 접합법이다. 그러나 용접열원으로서 저항발열만을 이용하는 것이 아니라 용접부 형성 과정에서 피용접부재의 맞대기 단면을 플라싱 시켜서 그 단면의 온도를 상승시키는 것이 다른 저항 용접법과 다른 특징이다.

두 금속 표면사이에 전류를 흘려 여기서 저항에 의해 발생된 열과 가열 완료후의 가압력으로 인접표면 전체를 동시에 이음하는 용접법으로 맞대기 양단부에 저전압을

걸은 상태로 한쪽 단을 이동축으로 천천히 전진시켜 양 단면이 접촉하면 그 부분에서 플래시가 발생한다. 그때의 단락은 아크(Arc) 열에 의해 가열되고 충분히 온도가 올라가는 곳에서 급가압을 걸어 이동축을 급속히 전진시켜 용접을 종료한다. 그런데 플래시 용접에서 불꽃이 연속적으로 유지되기 위해서는 이동축을 적당한 속도로 전진시켜야 하는데, 이때 이 플래시 속도가 너무 빠르면 플래시는 단락이 발생되어 원하는 만큼의 가열이 충분하지 못하게 된다. 반대로 플래시 속도가 너무 느리면 피용접물은 접근만 하게 될 뿐 불꽃작용은 초기에 중단되어 부적절한 용접이 된다. 또한 플래시 시간은 불꽃이 발생하는 동안의 총 시간을 가리키는데, 이 시간이 너무 길면 용접부는 과열되어 과다한 용융금속을 방출할 뿐 아니라 적절한 단조 압력을 유지하기가 어렵다. 반대로 플래시 시간이 너무 짧으면 피용접물에 열이 불충분하여 적절한 입셋을 형성하기가 어렵다. 이러한 플래시 과정에 있어서 단락과 아크의 적절한 가열에 따라 기본적으로는 전체 단면에 비교적 균일한 용융층을 형성하는 시점에서 급속히 부재에 가압과 변형을 가하여 용접부를 형성시켜 압접하는 입셋과정으로, 이 과정은 용접부 품질을 크게 좌우하는 과정이기도 하다.

즉, 초기에 있어서 플래시 과정중에 생성된 산화개재물 등을 포함한 용융층은 외부로 빼내야한다. 그리고 중~후기에서 가열된 영역을 가압·변형시킴에 따라 용접부, 특히 접합면과 열영향부의 조직을 미세화 하고 용접부의 기계적성질을 향상시킬 필요가 있다.

## 3. 실험재료

본 연구에 사용된 실험재료는 자동차 및 철도차량 등에 많이 이용되고 있는 냉간압연 강판(SPCC)과 기계구조용탄소강판(S35C)으로 두께는 각각  $t=1.8\text{ mm}$ ,  $2.0\text{ mm}$ 이며, 각 재료의 화학적 조성과 기계적 성질은 Table 1, 2와 같다.

주어진 소재의 특징은 S35C의 경우 탄소함량이 SPCC에 비해 상당히 많으나 항복응력이 비슷한 것으로 보아 SPCC 재료는 가공경화가 많이 되어 있음을 알 수 있다.

맞대기 용접을 위한 판재의 크기는 JIS Z 3121 1 규격에 의거하여  $250L \times 40W \times 1.8t$  (SPCC)와  $250L \times 40W \times 2.0t$  (S35C)으로 각각 정하여 판재의 이방성을 고려하지 않고 재료의 압연방향과 일치하도록 각각 절단하였다. 그리고 용접시 플래시 속도와 시간 조절이 용접

**Table 1 Chemical compositions of materials**

Material	Chemical composition (%)						
	C	Mn	Ni	P	S	Si	Fe
SPCC	0.12	0.5	0.026	0.04	0.045	-	Rem.
S35C	0.35	0.75	-	≤0.03	≤0.035	0.25	

**Table 2 Mechanical properties of materials**

Material	Thickness (mm)	YS (MPa)	TS (MPa)	Elongation (%)
SPCC	1.8	260	322	54.6
S35C	2.0	280	491	53.0

불량에 미치는 영향이 크므로, 이러한 용접불량 현상을 방지하기 위해서 여러번 실험을 통한 적정 용접조건을 찾는 것이 필요하고 용접시, 용접부의 표면 거칠기나 비드 폭도 강도에 큰 영향을 미치기 때문에 간단한 드레싱 작업으로 표면을 수평이 되도록 하였다.

#### 4. 실험방법

플래시한 각 박판재의 정적 인장강도 평가용 시편은 250L×40W×1.8t (SPCC), 250L×40W×2.0t (S35C)의 용접이음 판재를 용접선에 수직한 방향으로 절단하여 제작한 시편의 크기 및 형상을 Fig. 1에 나타냈다.

그리고 각 시험편의 인장강도는 Instron model No. 8501을 이용하여 인장속도를 10 mm/min으로 하여 SPCC(1.8t), S35C(2.0t)에 대해 각각 인장시험을 실시하여 측정하였다.

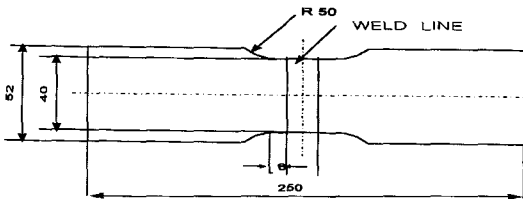
플래시 용접후 각 시험편의 단면을 채취하기위해 절단기

를 사용하여 원하는 단면을 절단하고 폴리싱 한 후 2% 나이트랄 용액으로 약 5초간 에칭하여 용접부의 용융부(weld metal)와 열영향부(HAZ) 및 모재부의 금속조직 관찰을 위해 광학 현미경 Olympus B201을 이용하여 단면의 미시 조직을 200배로 확대하여 촬영하였다.

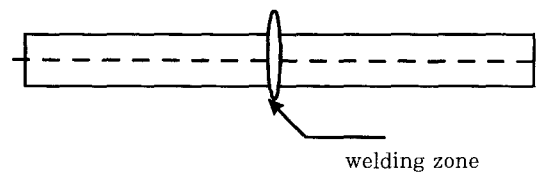
경도 측정은 마이크로 비커스 경도기를 이용하여 측정하였으며 경도 측정위치는 Fig. 2에 나타내었고 판 간의 경계면에서 0.5 mm 떨어진 위치에서 0.5 mm 간격으로 측정을 하였으며 측정하중은 1 kgf로 하였다.

굽힘 시험은 JIS Z 2204(금속재료 굽힘시험편), JIS Z 2248(금속재료 굽힘시험편)에 의거하여 시험편을 제작하였고 성형성 평가시험은 V 굽힘 시험을 실시했다.

이 시험에서 용접비드에 평행하게 시험을 하는 경우와 수직하게 시험하는 두가지의 경우를 생각해 볼수 있는데, 여기서는 용접부의 특성상 성형성에 민감하다는 사실을 고려하여 용접부에 수직한 굽힘시험을 실시하였다.



**Fig. 1 Configuration of tension test specimen (SPCC & S35C)**



**Fig. 2 The position of hardness measurement (SPCC & S35C)**

## 5. 실험결과 및 고찰

### 5.1 플래시 용접의 인장시험 결과

플래시 용접부 특성 평가를 위해 두께(1.8 mm, 2.0 mm)에 대해 각각 인장시험한 결과를 이용하여 용접부의 응력-변형을 관계를 Fig. 3에 나타냈다. 용접부는 냉간압연강판(SPCC)과 기계구조용탄소강판(S35C)의 경우 짧은시간에 급열급냉되어 조직이 미세하게 되기 때문에 일반적으로 양호한 인장강도를 얻을 수 있다.

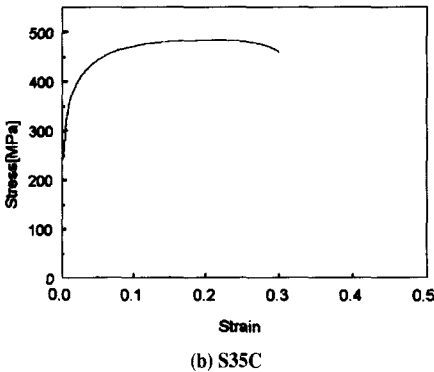
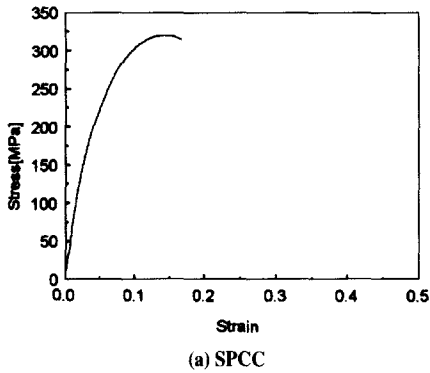
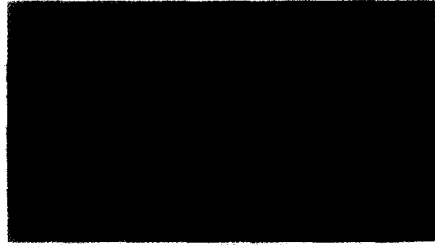


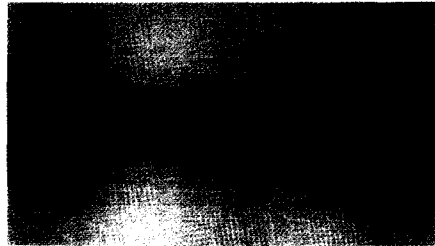
Fig. 3 The tension test of flash welding specimen (SPCC & S35C)

Fig.4에서는 용접시편(SPCC 1.8 mm & S35C 2.0 mm)의 인장시험 전·후 시편의 형상을 각각 나타내 보이고 있다.

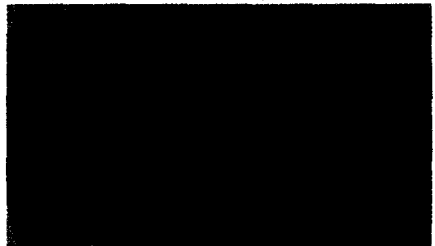
위 그림에서 보는 바와같이 용접부의 경도가 모재보다 높고 인장강도도 모재보다 약 20~30%정도로 높게 나타나기 때문에 모재측에서 파단한다는 사실을 알 수 있다. 그러므로 플래시 용접으로도 자동차나 철도차량 등에서 충분한 강도를 확보 할 수 있을 것으로 판단된다.



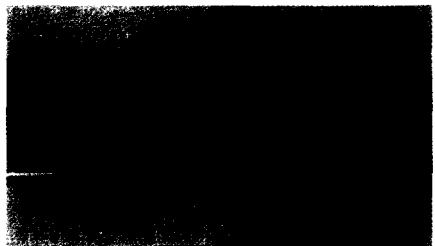
a) Before test



(b) After test



(c) Before test



(d) After test

Fig. 4 The shape of welding specimen (SPCC 1.8mm a, b & S35C 2.0mm c, d)

### 5.2 용접부위의 조직 관찰과 경도 측정 결과

Fig.5, 6에는 SPCC(1.8 mm)와 S35C(2.0 mm) 시편에 대한 용접부 단면의 조직사진 및 경도 측정 결과를 나타내었다. SPCC의 경우 모재의 조직은 냉간압연 조직으로 결정입자가 길게 압연된 조직을 보여주고 있으며 열영향부에서는 재결정이 일어나 결정이 미세하게 되어 경도가 상승하였음을 확인할 수 있으며, 용착 금속부는 급냉에 의

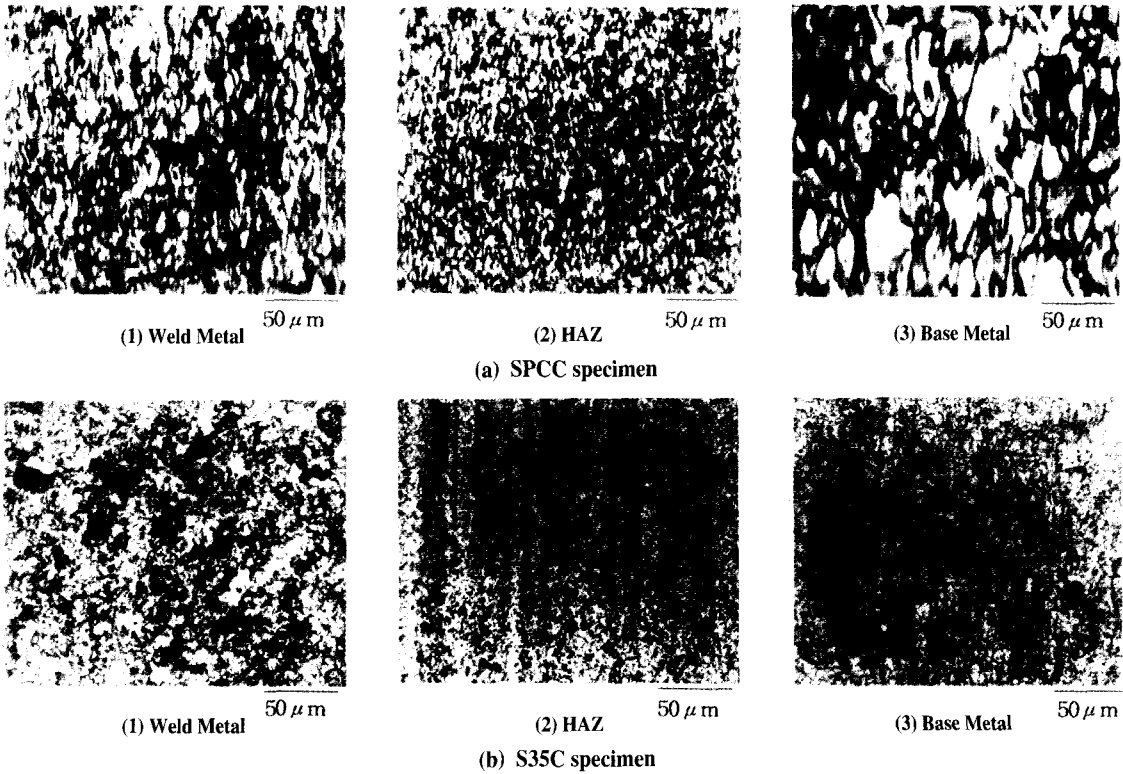


Fig. 5 The microstructure of weld metal and HAZ and base metal in flash welding specimen [(a), (b)]

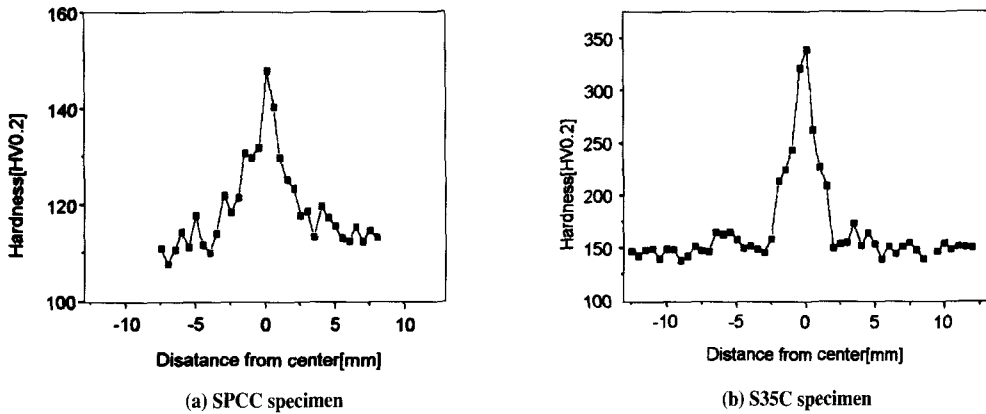


Fig. 6 The Vicker's hardness distribution of flash welding specimen (SPC,S35C)

해 조직이 미세할 뿐만 아니라 경우에 따라서 경화조직 (마르텐사이트, 미세석출탄화물)에 의해 경화되었음을 알 수 있다.

S35C강의 경우는 모재에서 입내에서도 탄화물이 미세하게 석출되었음을 알 수 있고 용착부와 열영향부는 급열

급냉에 의한 결정미세화와 경화조직의 출현으로 경도가 2 배 정도 상승하였음을 알 수 있다.

위 그림에서 보면 SPCC 시험편의 경도분포는 모재의 경도가 가공경화에 의해 상당 수준 높아져 있었기 때문에 용접부 경도상승 정도가 그다지 높게 나타나지 않고 있

며(50%정도 상승), 경도상승 폭도 비교적 높게 나타나고 있다. 반면 S35C의 경우는 탄소함량이 비교적 크기 때문에 경도상승 정도가 높고(110%정도 상승), 경화부도 비교적 좁게 분포함을 알 수 있다. 이러한 이유는 또한 레이저 용접과 매시 심용접의 경우에서도 좋은 예로 설명되어지고 있다.<sup>(11)</sup> 매시 심 용접의 경우가 레이저 용접보다 경도분포가 낮고 연성이 높아 성형성 측면에서 유리하게 나타난다. 그러나 매시 심용접은 용접 결침부가 성형 후에도 잔류할 가능성이 높기 때문에 외관이 좋아야 하는 부위에 적용하기에는 곤란하고 또한 매시 심 용접이 레이저 용접보다 설비비는 저렴하나 조건이나 관리상의 어려움으로 인해 그 우월성이 떨어진다는 지적도 있다.

이상과 같이 레이저 용접과 매시 심 용접은 다른 특징이 있기 때문에 적용부품이나 생산량등에 따라 구분해서 사용되고 있으며 일반적으로 용접블랭크 가공용으로 가장 각광을 받고 있는 레이저 용접의 경우 경도 상승이 120% 정도 됨을 확인할수 있는데 이는 플래시 용접도 용접조건만 잘 잡으면 별도의 소둔(annealing)처리 없이도 가공이 가능할 것으로 판단된다.

### 5.3 굽힘시험 결과

플래시 용접된 SPCC 1.8 mm 시편(250L×40W×1.8t)과 S35C 2.0 mm 시편(250×40W×2.0t)을 가지고 간단한 V 굽힘 시험을 한 결과를 Fig.7에 나타냈다.

플래시 용접은 국부가열에 의해 급열 급냉 사이클을 반복기 때문에 용접부의 경도 상승에 따른 연성의 저하가 염려된다. 그러나 종래의 용접방법과 마찬가지로 용접시험편 굽힘시험 결과 용접부에서는 파단되지 않았으나 스프

링 백 현상이 모재보다 약간 크게 일어 남을 알 수 있다.

또한, 실질적으로 플래시용접이 업셋용접보다 경도가 낮아서 굽힘 성형성이 우수할 것으로 기대된다.<sup>(16)</sup> 따라서 플래시 용접 후에도 실용상 문제가 없는 연성을 보유하고 있다는 사실을 알 수 있으나 업셋 용접에서는 비드 폭이 넓고 단단한 용접부가 형성되며 플래시 용접에서는 비드 폭이 좁고 비교적 유연한, 연성이 큰 용접부가 형성된다.<sup>(17)</sup> 그렇기 때문에 어느쪽의 용접법이 성형 입장에서 유리한가는 여러 성형시험들을 해보지 않고서는 명확한 결론을 내리기에 아직 미흡한 실정이다.

반면, 레이저 용접에서는 비드 폭이 좁지만 단단한 용접부가 형성되는데 비해 매시 심 용접에서는 경화부의 폭은 넓으나 유연한 용접부가 형성된다.<sup>(11)</sup> 그래서 이 경우 구두 스트레칭 시험에서는 매시 심 용접이, 구멍확장 시험에서는 레이저 용접이 각각 좋은 성형성을 얻는 것으로 보고되고 있다. 이와같이 레이저나 매시 심 용접에 대한 성형성을 평가한 실제 예들은 여러 논문에 많이 나와 있으나, 플래시 용접이나 업셋 용접재(材)에 대해 성형성을 평가한 예들은 거의 없다. 따라서 본 연구에서 살펴본 바에 의하면 대체적으로 플래시 용접부의 신뢰성은 상당히 높기 때문에 그다지 무리없이 성형될 수 있음을 알 수 있다. 그래서 이러한 점들을 고려해 볼 때 플래시 용접은 아주 좋은 연구의 한 분야라고 생각되며, 실용상으로 생산성 및 원가절감의 측면에서 아주 유용한 연구로 생각된다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 자동차, 철도차량용으로 많이 이용되고 있는 냉간압연강판(SPCC)과 기계구조용 탄소강판(S35C)의 플래시 용접성 및 성형성에 관해 연구하였다. 즉, 적절한 플래시 용접조건으로 제작된 SPCC와 S35C 시험편들의 플래시 용접성과 용접품질에 대한 신뢰성을 평가하기 위해 인장시험, 조직검사 및 경도측정 등을 통해 용접성을 평가하였고 굽힘시험을 통해 용접부의 성형성을 평가하였다.

본 연구에서 얻어진 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 본 연구 결과와 같이 접합단면이 작은 경우에는 레이저나 매시 심용접 보다 플래시 용접이 유리함을 확인할 수 있었다.

(2) 경도분포는 레이저 용접의 경우 보다 심하게 상승하지 않았음을 알 수 있다.

(3) 용접 시험편(SPCC 1.8 mm & S35C 2.0 mm)의

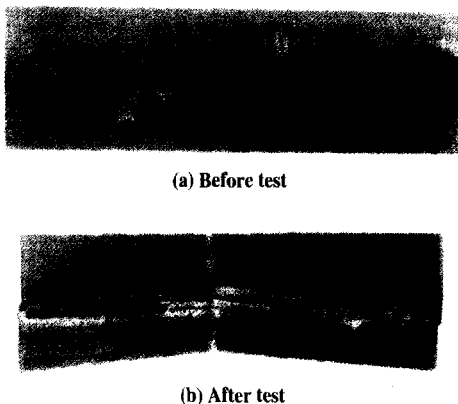


Fig. 7 The shape of after V bending test (SPCC & S35C)

V 굽힘시험결과(90°) 용접부에서는 파단이 일어나지 않았으나, 용접 안된 시험편보다 약간 심한 스프링 백 현상이 일어남을 알 수 있다.

(4) 본 제품(SPCC 1.8 mm & S35C 2.0 mm)보다 훨씬 나쁜 반복 하중 하에서 사용되는 휠 림 용접에 이 공법이 적용되는 것으로 보아 자동차에 장착된 이후에도 아무런 문제가 없을 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소(ERC/NSDM)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Natsumi. et al : 맞춤 블랭크, 프레스 기술, September (1996).
- (2) Hashimoto. et al : 맞춤 블랭크 성형성, 프레스 기술, September (1996).
- (3) Westgate, S. A, and Kimchi, M., "A new process for tailored blank production", *Welding Journal* 174(5), (1995), pp. 45~48.
- (4) 최이천, 유동진, 전기찬, "테일러드 블랭크를 이용한 도어인너 개발에 관한 연구", 한국자동차공학회 추계학술대회 (1996).
- (5) F. Natsumi, M. Ohara, "테-라-드 블랭크의 프레스成形", *日本塑性加工學會誌* 第 38卷 第 432 (1997-1), pp. 45~51.
- (6) K. SADAMURA, "레-자-용접薄板의 프레스成形", *日本塑性加工學會誌* 第 34卷 第 391 (1993-8), pp. 917~924.
- (7) J. K. Baysore, "Laser Beam Welding and Formability of Tailored Blanks", *Welding Research Supplement* (1995), pp. 345-s ~ 352-s.
- (8) Kimikazu IkEMOTO, Hiroaki SUGIURA, Kazuo AZUMA, "レ-ザ 용접による結合素材のプレス加工", *日本塑性加工學會誌* 第 32卷 第 370 (1991-11), pp. 1384~1390.
- (9) Tatsuya Hirosaki, "薄板材料のレ-ザ 용접", *溶接學會誌* 第 63卷 第 4 (1994), pp. 57~64.
- (10) 이희석, 배동호, "박판의 Co<sub>2</sub> 레이저 빔용접과 소재 접합일체성형성에 관한 연구", *대한용접학회지* 제 15권 제 12호 (1997), pp. 54~63.
- (11) Ream, S. I, "Mash and Laser tailored blank welding", *Industrial Laser Review* (1995), pp. 21~23.
- (12) 김정오, 서정, 한유희, 김하영, "자동차용 강판의 레이저 용접 및 成形성에 관한 연구", *한국자동차공학회지* 논문집 제 4권 제 5호 (1996), pp. 59~69.
- (13) 서정, 한유희, 김정오, 이영선, "이종두께 강판의 Co<sub>2</sub> 레이저 용접 및 성형성", *대한용접학회지* 제 14권 제 1호 (1996), pp. 45~53.
- (14) Shigeru Suzuki, Kazuyoshi Hasegawa, "抵抗溶接の實際(その2) - フラッシュ溶接とアブセット溶接", *溶接學會誌* 第 64卷 第 2 (1995), pp. 14~17.
- (15) Tohru Saito, Yasutomo Ichiyama, "薄鋼板における溶接缺陷と溶接品質評", *溶接學會論文集* 第 13卷 第 3 (1995), pp. 365~370.
- (16) Takao Taka, "自動車用 ホイ-ルの接合技術", *溶接學會誌* 第 60卷 第 6 (1991), pp. 47~51.
- (17) Makoto Kabasawa, "自動車ホイ-ルリムにおける鋼板の アブセットバット溶接", *溶接學會誌* 第 56卷 第 3 (1987), pp. 33~39.