

업셋 용접 테일러드 블랭크의 용접성 및 성형성 평가

민경복* · 장진호* · 강성수**

(1998년 9월 1일 접수)

Evaluation of Weldability and Formability of Tailor Welded Blank by Using Upset Weld

K.B. Min, J.H. Jang and S.S. Kang

Abstract

The press formability analysis of welding parts was studied in the current work by the tailor welded blank. As the body panel is used in the press forming of welding parts by a weld method of the tailor welded blank, the following conditions are demanded: 1) The strength of welding parts must be the higher than base metals, 2) After the welding, severe welding deformations must be avoided, 3) The press formability of welding parts is similar to that of many base metals, 4) The productibility of a welding has to be higher. There are many welding methods satisfying these conditions, but the purpose of this study is to investigate the upset weldability and formability of the material (SPCC). SPCC steel sheet showed good weldability and formability under some welding conditions. The experimental results were discussed by the evaluation of the results obtained from tensile tests, hardness tests, micro-structures and Erichsen cup tests(stretch dome test). The formability of upset welded SPCC steel sheet through Erichsen cup test was a little lower than that of parent material.

Key Words : Tailor Welded Blank, Upset Weldability, Press Formability, Hardness Distribution, Erichsen cup test(stretch dome test)

1. 서론

업셋용접은 용접속도가 빠르며, 용접부의 품질 및 생산성과 신뢰성에 있어 대량생산에 적합하다. 플래시 용접과 더불어 가격 경쟁력 향상을 위한 재료회수를 증대의 일환으로 소재접합일체성형(Tailor Welded Blank, TWB)⁽¹⁻¹⁷⁾ 공법을 이용한다. 자동차 생산기술의 선진화 대열에 있는 일본, 미국등에서 업셋 용접을 많이 응용하고 있으므로 국내의 자동차 업계에서도 플래시 용접⁽¹⁸⁻²⁰⁾과 더불어 업셋용접⁽²¹⁻²⁴⁾의 도입 및 그 응용기술에 대해 많은

관심을 보여야 할 것이다. 또한 최근 자동차 휠 링의 용접에 있어서 플래시 용접이 주로 사용되고 있지만 업셋 용접으로 차츰 변화하고 있는 추세이다.⁽¹⁹⁻²⁴⁾ 자동차 휠 링의 플래시 용접은 정전류 제어방식으로 용접되며, 캠 방식에 비해 불꽃의 발생은 감소하지만, 종전과 같이 불꽃이 발생하고 환경오염과 화재의 위험이 있다. 그래서 자동화를 촉진하기 위해서는 접동부 속으로 파고 들어가는 분진을 줄이지 않으면 안된다. 강의 링은 판두께가 약 3 mm, 판폭이 약 200 mm, 단면적 600 mm² 로 비교적 단면적이 크

* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원
** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터

기 때문에 업셋 용접으로는 불가능하다고 생각되어왔다. 그러나 단면형상이 단순한 구형에서는 대전류의 제어가 용이하게 되어왔기 때문에 업셋 용접으로도 가능하게 됐다.⁽²³⁻²⁴⁾ 이 방식에서 용접전류는 약 10만A의 단면적으로 대단히 큰 값을 채용하고 있기 때문에 교류 전류에서는 큰 전원 설비가 필요하고 입력은 3상평형 부하로 할 수 있는 3상 정류식을 사용하고 있다. 일본 공업 규격(JIS)에 따르면 직류업셋 용접(DC Upset Weld)이라고 표기되어 있지만, 미국에서 개발된 기술이기 때문에 직류 맞대기 용접의 명칭이 일반화되고 있으며 강제 링 뿐만아니라 알루미늄 합금 링도 직류 맞대기 용접이 가능하다. 알루미늄 합금의 링 채(材)는 플래시 용접으로 시행되고 있지만 플래시 값이 20 mm로 대단히 길기 때문에 용접기 주위에 다량의 흰 플래시 알(粒)이 축적되고 알루미늄 분진은 화학반응을 일으키기 때문에 위험하다. 따라서 불꽃이 발생하지않는 업셋 용접의 출현이 촉망되고 있다.⁽²⁰⁻²⁴⁾ 알루미늄 합금 링의 직류 맞대기 용접에서는 강의 경우보다도 대단히 높은 용접전류를 필요로 하고 전원설비가 방대한 것으로 인식되지만 실제로는 가압기구의 고안에 의하여 특별히 큰 설비를 필요로 하지 않더라도 용접이 가능하다. 테일러드 블랭크의 적용에 있어서 중요한 점은 용접성과 성형성이다.⁽¹⁻⁶⁾ 기존의 용접기술에서 벗어나 적용되고 있는 플래시(Flash) 용접과 업셋(Upset) 용접이 실용화 되고 있는 추세지만 2가지 방법상의 장, 단점이 있으므로 적용 부품과 가격 그리고 생산량을 고려한 신중한 선택이 요구된다.⁽¹⁹⁻²⁰⁾ 국내의 사례들을 살펴보면 아직까지 플래시 용접과 더불어 업셋 용접기술을 테일러드 블랭크에 도입하는 것은 극히 초보적인 단계이다. 용접방법과 재질에 따른 보다 합리적인 용접조건들이 표준화 되어 있지 않고 업셋 용접품질에 중요한 영향을 미치는 용접결합과 변형등에 대해서도 개선되어야 할 과제가 많기 때문이다. 앞으로는 플래시 용접 기술과 더불어 업셋 용접 기술개발이 용접품질 향상을 위해 많은 연구가 행해져야 한다. 즉 자동차나 항공기 분야등에서 생산성 향상을 위해 업셋 용접된 소재를 목적에 맞추어 업셋 성형하는 소재접합일체성형(tailor welded blank, TWB) 기술을 도입함으로써 보다 나은

생산성을 얻고자 하는 노력이 다방면으로 시도되어야 한다.⁽¹⁻¹⁷⁾

따라서 본 연구는 국내 자동차사에서 적용이 시작되어 급속하게 사용량이 증가할 것으로 예상되는 테일러드 블랭크의 기본 성형특성을 알아내는 데 목적이 있고 자동차 클러치 부품 펄크럼 링(Fulcrum ring)의 제조에 많이 이용되고 있는 SPCC(냉간압연강판) 박판의 업셋 용접성과 성형성을 평가하고자 한다. 이를 위해 업셋 용접 시편의 인장시험 및 경도측정을 통하여 용접성을 평가하였고 에릭션 시험을 통해 용접부의 성형성을 평가하였다.

2. 실험

2.1 실험재료

본 연구에 사용된 실험재료는 냉간압연강판(SPCC)이며 재료의 화학적 조성은 Table 1과 같다. 냉간압연강판은 자동차 클러치 부품 펄크럼 링 제조에 사용되는 재료이다.

기존 펄크럼 링(Fulcrum ring) 제조에 있어서는 블랭킹 및 스탬핑으로 성형을 하지만 재료손실이 매우 높다. 본 실험에서는 업셋용접을 적용함으로써 재료회수율과 생산성을 향상시킬수 있는 측면에서 대체하고자 하였으며 두께 2 mm의 강판을 사용하였다.

맞대기 용접을 위한 판재의 크기는 250L×40W×2.0t (SPCC)로 정하여 판재 이방성을 고려하지 않고 재료의 압연방향과 일치하도록 절단하였다. 또한 에릭션 컵 시험용 시편을 제작하기 위해 용접용 지그의 크기를 고려하여 시편을 폭40 mm× 길이80 mm로 하였다. 용접시 전류와 통전시간 조절이 용접불량에 미치는 영향이 크므로, 이러한 용접불량 현상을 방지하기 위해서 여러번의 실험을 통한 최적 용접조건을 찾는 것이 필요하고 용접시 용접부의 표면 거칠기나 비드 폭도 강도에 큰 영향을 미치기 때문에 간단한 드레싱 작업으로 표면을 수평이 되도록 하였다.

2.2 용접조건과 용접결합

플래시 용접법과는 장치구성상 유사하지만 일반적으로 플래시 용접법에 비해 대전기 용량을 필요로 하기 때문에

Table 1 Chemical compositions of material

Material	Chemical composition(%)						
	C	Mn	Ni	P	S	Si	Fe
SPCC	0.12	0.5	0.026	0.04	0.045	-	Rem.

소단면적의 접합에 적용되며, 불꽃발생이 없기 때문에 작업환경 및 설비보수의 점에서 우수하고 재료의 소모가 적어서 경제적이다. 업셋 용접에서는 용접시간이 1~1.5초로 매우 짧아 플래시 용접의 경우보다 생산성 측면에서 우수하다는 점이 가장 큰 특징이다.

업셋 용접법은 접합하는 2개의 소재를 서로 맞붙여 밀착시킨 다음 전류를 통하여 접합부가 용접온도에 도달하였을 때 가압하여 용착시키는 용접법으로 피용접재를 전극에서 클램프하고 접합단면을 소정의 가압력으로 가압한 다음 전극간에 소정의 전류를 흐르게 한다. 피용접재는 맞대기 계면에서의 접촉저항 및 고유저항에 의해 발생하며 승온에 따른 재료의 연화에 의해 접합단면은 면적 확대를 일으키고 압접을 진행한다. 소정의 시간후 통전이 정지되고 전극의 클램프를 해방하여 용접을 종료한다. 발열원리는 점용접과 동일하며 주울 열에 의한 저항용접이기 때문에 업셋 용접성에 영향을 미치는 인자는 전류, 통전시간, 초기 가압력등의 3요소로 들 수 있다. 이들은 서로 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에, 충분한 용입과 높은 접합강도를 얻기 위해서는 재료에 따른 체계적이고 적절한 용접조건 설정이 필요하다. 각 전류밀도들은 통전시간이 증가함에 따라 급속 냉접에 의한 균열 발생이 적고 전류밀도가 높은 낮은 통전시간으로 이동한다. 단 매우 높은 전류밀도의 조건에서는 냉접에 의한 균열이 발생하기 시작한다. 점용접에서는 통전시간의 증가는 너깃의 성장을 의미하고, 업셋 용접에서는 단면을 변형시키는 것을 의미한다. 또한 업셋 용접법은 플래시 용접법에 비해 입열이 적기 때문에 용접부의 경도가 약간 높게 나타난다. 특히 고탄소당량의

영역에서 그 경향이 강하며 휠 립 성형시 발생하는 접합부의 균열의 원인도 플래시 용접법과 다르다. 플래시 용접에서는 일반적으로 접합부에 잔존하는 규소-망간-알루미늄계의 산화물이 균열의 원인이지만⁽¹⁸⁻²⁰⁾ 업셋 용접에서는 산화물의 균열보다도는 입열부측에 의한 냉접, 입열과대 로 인한 업셋부측이 균열의 원인이다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 모든 점들을 고려하여 자동차 클러치 부품 펄 크럼 링(SPCC)에 대한 가장 적절한 업셋 용접조건을 Table 2에 제시 한다.

2.3 실험방법

업셋 용접한 박판재의 정적 인장강도 평가용 시편은 JIS Z 3121 1 규격에 의거하여 250L×40W×2.0t (SPCC)의 용접이음 판재를 용접선에 수직한 방향으로 절단하여 제작한다. 시편의 크기 및 형상은 Fig. 1에 나타낸다. 시험편의 인장강도는 인스트롱(Instron model No. 8501)을 이용하여 10 mm/min의 인장속도(load-ing speed)로 인장시험을 실시하여 측정 한다.

업셋 용접후 절단기(abrasive cutting machine)를 사용하여 원하는 단면을 채취하고 폴리싱 후 5% 나이탈(nital) 용액으로 약 5초간 에칭(etching)한다. 용접부의 결합유무 및 용융부(weld metal)와 열영향부(HAZ) 및 모재부(base metal)의 금속조직을 관찰하기 위해 광학 현미경(Optical Microscope) Olympus B201을 이용하여 단면의 미세 조직을 200배로 확대하여 촬영한다. 또한, 경도 측정은 마이크로 비커스 경도기(Micro Vickers Hardness Tester)를 이용하여 측정한다. 경도 측정 위치

Table 2 Welding condition

Items	Flucrum Ring (SPCC)
current type	DC
maximum short crrent [A]	20000
initial squeeze time [Cycle]	52
weld time [Cycle]	20
hold time [Cycle]	40
interval time [automatic type]	-
weld current [A]	3500
upset value [mm]	4~5
clamp pressure [kg/mm ²]	5
upset pressure [kg/mm ²]	2~3
electrode distance [mm]	20

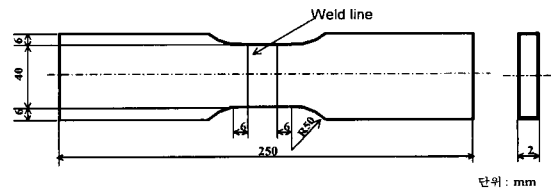


Fig. 1 Configuration of tension test specimen

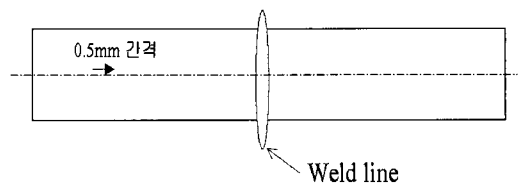


Fig. 2 The position of hardness measurement

는 Fig. 2에 나타나 있으며, 조직 사진 촬영 단면을 다시 연마하여 용접소재의 중심축을 따라서 0.5 mm 간격으로 측정을 하며 측정하중은 200gf로 한다.

에릭슨 컵 성형시험은 JIS Z 2247, JIS B 7729에 의거하여 원소재와 용접소재의 시편을 제작하여 실시한다. 에릭슨 컵 성형시험은 최대변형높이 시험을 통하여 테일러드 블랭크의 성형특성을 평가한다. 시험속도는 3mm/min으로 시험하고 시편은 밀링 가공된 상태로 준비하여 시험한다. 이때 파단은 육안으로 관찰하여 두께를 관통하는 크랙이 발생하는 순간에 성형을 중단하여 각각의 변형된 시험편에 대해 최대변형높이를 측정한다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 인장시험결과

용접재의 인장시험은 성형성에 직접적인 영향은 미치지 않으나 파단위치 확인, 용접 열영향부등에 의한 연신을 변화등을 확인하기 위하여 실시하였다. 저항 업셋 용접 특성상 인장 방향과 나란하게 용접된 시험편 제작이 불가능하므로 용접선과 수직방향으로만 인장시험을 실시하였다. 인장시험 결과 파단은 원소재에서 발생했고, 용접부의 경우에는 연신이 발생하지 않았다. 그러므로 자동차 클러치 부품인 풀크럼 링(Fulcrum ring)에 적용시에도 용접부가 충분한 강도를 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 원소재와 업셋 용접 소재의 인장시험 결과는 Fig. 3에 각각 나타내었다. 원소재와 업셋 용접 소재의 특성 평가를 위해 동일 두께에 대해 각각 인장시험한 결과를 이용하여 원소재와 용접소재의 응력-변형을 관계를 서로 비교하여 나타냈다. 그러나, 이와 같은 인장시험 방법으로는 용접부의

물성치를 정확하게 구할 수는 없지만 경도분포를 측정함으로써 용접부의 물성치를 예측할 수 있다. 재료마다 원자의 간격에 따라 포텐셜 에너지(Potential energy)를 나타내는 곡선은 각기 다르다. 탄성계수 및 가공 경화지수는 이러한 곡선의 형상과 관계되고, 항복응력 및 소성계수는 원자간격에 따른 포텐셜 에너지와 관계된다.

따라서, 저항용접의 경우 용접봉의 첨가없이 모재끼리만 접합이 되므로 포텐셜 우물(Potential well)의 형상에는 변화가 없고, 단지 그 곡선에서의 원자 간격만이 변화한다. 따라서 용접재의 경도분포를 측정하고, 모재와의 경도비를 이용하여 용접부의 물성치를 보상해 줄 수 있다. 즉 탄성계수(E) 및 가공경화지수(n)는 변화하지 않고, 모재의 항복응력 및 소성계수(K)에 경도비를 곱해줌으로써 용접부의 물성치를 구할 수 있다.⁽⁶⁾

3.2 용접부위의 조직관찰과 경도측정 결과

Fig. 4, 5는 냉간압연강판(2.0 mm) 시편에 대한 용접부 단면의 조직사진 및 경도 측정 결과를 나타낸다. 냉간압연강판의 경우 모재조직은 냉간압연조직으로 결정입자가 길게 압연된 조직을 보여주고 있다. 열영향부에서는 재결정이 일어나 결정이 미세하게 되어 경도가 상승하였음을 확인할 수 있으며, 용착 금속부는 급냉에 의해 조직이 미세하게 되었음을 알 수 있다.

업셋 용접에 있어서 용접부의 결정이 모재보다 미세하게 나타나는 이유는 업셋 과정에서 상당히 큰 가압력을 일정시간동안 가해주기 때문에 용접부는 연속적으로 변형이 발생하기 때문이다. 일반적으로 재결정도 이상에 있어서 가공을 방지하면 이 미세한 결정립은 성장하여 조대하게 된다. 업셋 용접에 있어서는 가공이 연속적으로 재결정

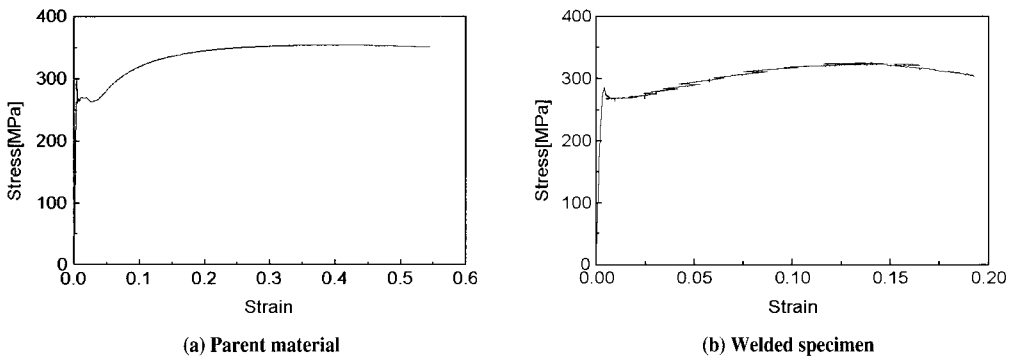


Fig. 3 Comparison of tension test between parent material and upset welded specimen

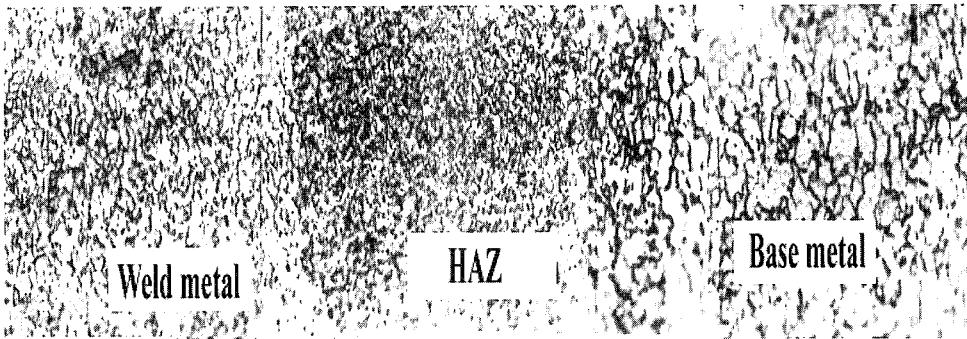


Fig. 4 The microstructure of weld metal, HAZ and base metal in upset welded specimen

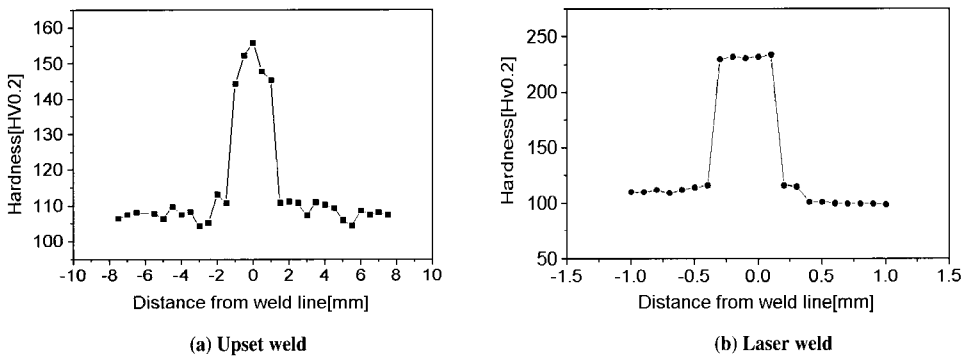


Fig. 5 Comparison of hardness distribution between upset and laser welded specimen (SPCC)

온도보다 약간 낮아질때까지 가해질때는 가공 종료후에 미세한 결정이 성장할 틈이 없이 그대로 용접부의 조직으로 남게된다.

Fig.5에서 보면 냉간압연강판 시험편의 경도분포는 모재의 경도가 가공경화에 의해 상당 수준 높아져 있었기 때문에 용접부 경도상승 정도가 높게 나타나지 않으며 (50%정도 상승), 경도상승 폭도 비교적 높게 나타나고 있지않다. 일반적으로 용접블랭크 가공용으로 가장 각광을 받고 있는 레이저 용접⁽⁹⁻¹⁷⁾의 경우 경도상승 정도가 120%정도 됨을 확인할수 있는데, 이러한 결과는 플래시 용접과 더불어 업셋 용접도 용접조건에 의해 별도의 소둔(annealing)처리 없이도 가공이 가능할 것으로 판단된다.

3.3 에릭슨 컵 성형시험

Fig. 6 과 Fig. 7은 업셋 용접시편과 모재의 성형성 비교를 나타낸다.

모재의 경우 중심으로부터 약간 벗어난 부위에서 최대 변형율을 나타내며, 이는 용접시편에서도 같은 형상을 보이고 있다. 용접시편에서는 용접비드에 평행하게 파단이 일어났으며 화살표 위치가 최대변형율을 나타내는 부위이다.

용접비드에서는 인장잔류응력이 존재함으로 성형시에 인장응력과 중첩되어 파단이 일어날 수 있으며 최대 변형율이 존재하는 영역에서 일어나며 실험에서도 관찰할 수 있다.

실제 용접소재는 용접부가 모재에 비해 매우 경하고 강한 조직이기 때문에 에릭슨 시험시 중심의 용접부보다 접해 있는 모재부에서 변형이 가장크게 나타난다. 즉 용접부의 항복응력보다 모재부의 항복응력이 1/2정도로 낮기 때문에 모재에서 인장변형이 현저하게 생기므로 용접부보다는 모재부에서 파단이 발생한다.

Fig. 6의 결과로부터 용접부위의 강도 및 경도가 증가한다고 판단되며, Fig. 7에서는 정확한 데이터를 얻기 위

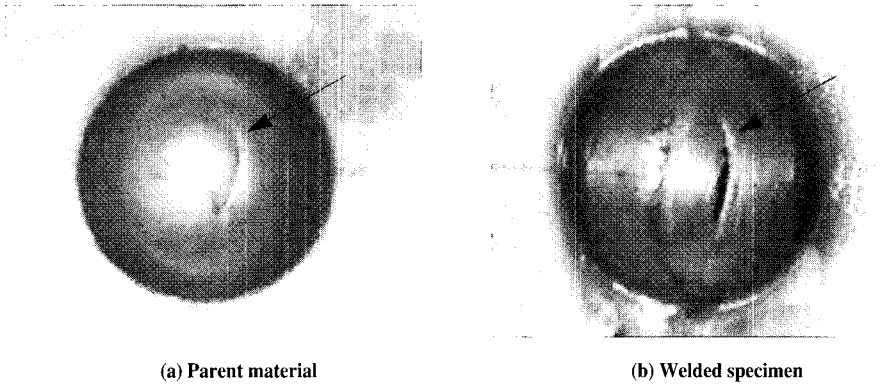


Fig. 6 The shape of after Erichsen Cup Test

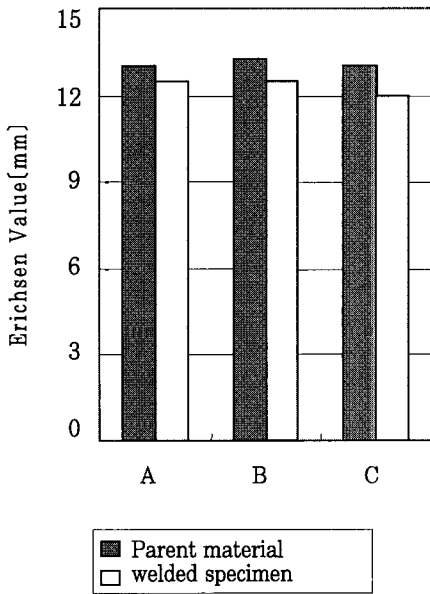


Fig. 7 Comparison of Erichsen Value between parent material and welded specimen

해 모재와 용접시편의 각각에 대해 동일조건으로 A,B,C 세차례에 걸쳐 실험한 결과를 나타낸다. Fig. 7에서의 결과로부터 용접시편의 성형성이 약간 낮음을 알 수 있다. 용접시편의 경우 용접부위의 강화작용에 의해 성형성이 저하될 수 있으므로 용접부위의 결함이 충분히 억제되고 용접부위의 경도를 어느정도 낮출 수 있는 용접시편의 성형성을 모재와 비슷한 값을 가지게 할 수도 있을 것이다.

일반적으로 강판 중의 탄소량이 적은 강재일수록, 고속으로 용접할수록 모재에 대한 성형성 열화분은 작아진다.

이는 용접재의 성형성이 용접 금속의 경도와 용접 비드 폭 양쪽에 의존하기 때문에 생기는 현상이다. 업셋 용접은 용접 속도가 빠르고 용융 금속량이 적기 때문에 용접부는 아주 짧은 시간에 실온부근까지 냉각된다. 철강재료에서는 단단한 재료일수록 신장이 작아지고 용접재의 신장도 용접부가 단단할수록 저하되는 경향을 나타낸다. 용접부가 단단해지지 않는 극저탄소강의 성형성은 모재에 대한 열화분이 작아도 된다. 판금가공에 널리 이용되는 금속재료는 재료의 선택과 용접시공 방법에 주의하면 용접한 재료로도 소재에 맞는 성형가공이 가능하다. 결과적으로 성형전의 단계에서 용접을 이용하여 그후 성형하여 제품화 하는 것이 우수한 기대 효과를 가질 수 있다.

따라서, 본 연구에서 살펴본 바에 의하면 대체적으로 업셋 용접법의 신뢰성은 상당히 높기 때문에 냉간압연강판의 성형성에 적용될 수 있음을 알 수 있다. 또한, 이러한 점들을 고려해 볼 때 업셋 용접은 아주 좋은 연구의 한 분야라고 생각되며 실용상으로 생산성 및 가격절감면에서 유용한 연구로 생각된다.

4. 결론

본 논문에서는 자동차 클러치 부품 펄크럼 링(Flucrum ring) 제조에 사용되고 있는 냉간압연강판(SPCC)의 업셋 용접성 및 성형성에 관해 연구하였다. 기초실험에 의해 최적 용접 조건을 도출하고 이에 근거하여 용접시편을 제작하여 에릭슨 컵 시험을 통해 용접부의 성형성을 평가하였다. 그 결과들은 다음과 같이 요약될 수 있다.

(1) 인장시험결과 용접부에 문제가 없는 경우 인장강도는 모재와 별 차이가 없었으며 항상 용접부가 아닌 변형저

항이 작은 소재에서 파단이 발생하였다.

(2) 용접부 결정립 미세화에 큰 영향을 미치는 요인으로는 가압과 온도인데 특히 업셋 용접에서는 용접부가 냉각중에 가압력하에서 결정립이 미세화되었기 때문에 양호한 기계적 성질을 얻을수 있었다.

(3) 경도분포는 플래시 용접과 거의 비슷하게 나타남을 알 수 있었다.

(4) 에릭슨 컵 시험결과 용접시편의 성형성은 모재에 비해 약간 낮게 나타났다. 성형성 향상은 용접부위의 결합이 충분히 억제되고 용접부위의 경도를 어느정도 낮출수 있는 용접시편의 성형성을 모재와 비슷한 값을 가지게 할 수도 있을 것이다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (1) Natsumi. et al : 맞춤 블랭크, 프레스 기술, September (1996).
- (2) Hashimoto. et al : 맞춤 블랭크 성형성, 프레스 기술, September (1996).
- (3) Westagat, S. A, and Kimchi, M., 1995, "A new process for tailored blank production", *Welding Journal* 174(5), pp. 45~48.
- (4) 최이천, 유동진, 전기찬, 1996, "테일러드 블랭크를 이용한 도어인너 개발에 관한 연구", 한국 자동차공학회 추계학술대회.
- (5) 夏見文章, "テ-ラ-ドブランクの魅力", *プレス技術*, Vol.34, No.8, pp.19~25.
- (6) 夏見文章, 小原昌弘, "テ-ラ-ドブランクのプレス成形", *日本塑性加工學會誌* 第 38卷 第432號 (1997-1), pp. 45~51.
- (7) A.P.Lee, E.Feltham and J.V.Deventer, 1996, "Tailor Welded Blank Technology for Automotive Applications", *SAE* 960817.
- (8) 하동호, 김영석, 1996, "레이저 용접강판의 프레스 성형성 해석I", 한국자동차공학회 '96추계학술대회 논문집, pp. 438~443.
- (9) K. SADAMURA, "レ-ザ-溶接薄板のプレス成形", *日本塑性加工學會誌* 第 34卷 第391號 (1993-8), pp. 917~924.
- (10) 박기철, 한수식, 김광선, 권오준, 1998, "레이저 용접 테일러드 블랭크의 기본 성형특성 II: 신장 플랜지 성형 특성", 한국소성가공학회 논문집, Vol.7, No.1, pp.23~35.
- (11) J. K. Baysore, 1995, "Laser Beam Welding and Formability of Tailored Blanks", *Welding Research Supplement*, pp. 345-s~352-s.
- (12) 김형목, 허영무, 양대호, 서대교, "메쉬-심 용접 판재의 성형한계", 한국소성가공학회 '97 추계학술대회 논문집, pp. 222~225.
- (13) Lee, A.P., Feltham, E.J. and Van Deventer, J.F., "Laser Versus Mash Seam Tailor Welded Blanks for Chrysler Corp", Internal Dofasco report, Aug.18, 1995.
- (14) Lee, A.P., Feltham, E.J. and Van Deventer, J.F., "Laser Versus Mash Seam Tailor Welded Blanks for General Motors Corp", Internal Dofasco report, Aug.18, 1995.
- (15) Kimikazu IkEMOTO, Hiroaki SUGIURA, Kazuo AZUMA, "レ-ザ-溶接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.
- (16) 이희석, 배동호, 1997, "박판의 CO₂ 레이저 빔용접과 소재접합일체성형성에 관한 연구", 대한 용접학회 지 제 15권 제12호, pp. 54~63.
- (17) 김정오, 서정, 한유희, 김하영, 1996, "자동차용 강판의 레이저 용접 및 성형성에 관한 연구", 한국자동차공학회 논문집 제 4권 제 5호, pp. 59~69.
- (18) Kohei Ando, Shuji Nakata, Ichiro Fukui, 1971, "鋼のフラッシュ溶接現象の研究(第3報)", -アブセツト溶接現象の研究, *溶接學會誌* 第 40卷 第 2號, pp. 59~73.
- (19) 최문일, 민경복, 강성수, 1998, "소재접합 일체성형 판재의 플래시 용접성과 성형성에 관한 연구", 한국소성가공학회 논문집, Vol.7, No.4, pp. 400~406.
- (20) Shigeru Suzuki, Kazuyoshi Hasegawa, 1995, "抵抗溶接の實際(その2)"-フラッシュ溶接とアブセツト溶接, *溶接學會誌* 第 64卷 第 2號, pp.14~17.

- (21) Tohru Saito, Yasutomo Ichiyama, 1995, “아프셋트現象의解析と溶接品質向上の아프셋트位相制御法の提案”, 溶接學會論文集 第 13卷 第 3號, pp. 378~383.
- (22) Tohru Saito, Yasutomo Ichiyama, 1995, “아프셋트開始前後の溶接現象と缺陷發生との相關性の考察”, 溶接學會論文集 第 13卷 第 3號, pp. 371~377.
- (23) Kohei Ando, Shuji Nakata, and Yoshinori Nishida, 1971, “아프셋트바ット溶接における溶接部の結晶の微細化”, 溶接學會誌 第 40卷 第 12號, pp. 1236~1241.
- (24) Takao Taka, 1991, “自動車用 ホイールの接合技術”, 溶接學會誌 第 60卷 第 6號, pp. 47~51.
- (25) Makoto Kabasawa, 1987, “自動車ホイールリムにおける鋼板の 아프셋트바ット溶接”, 溶接學會誌 第 56卷 第 3號, pp. 33~39.