

Al 7075의 마찰교반 용접부 특성에 관한 연구

장석기† · 전정일*

(원고접수일 : 2005년 7월 14일, 심사완료일 : 2005년 11월 7일)

Weldability of Al 7075 Alloy according to different tools and welding conditions by F.S.W

Seok-Ki Jang† · Jeong-Il Jeon*

Abstract : This paper shows mechanical properties and behaviors of macrostructures for specimens welded by F.S.W according to welding conditions and tool dimensions with 6.35mm_t aluminum 7075-T651 alloy plate. It apparently results in defect-free weld zone in case transition speed was changed to 15mm/min, 61mm/min and 124mm/min under conditions of tool rotation speed such as 800rpm, 1250rpm and 1600rpm respectively with tool's pin diameter 4φmm and 6φmm. The optimum mechanical property, ultimate stress, $\sigma_y=470\text{Mpa}$ is obtained at the condition of 124mm/min of travel speed with 800rpm of tool rotation speed using full screw type pin, shoulder dia. 20φmm, pin dia. 6φmm and pin length 6mm. The full-screw type and the half-screw type pin shows the similar behaviors of weldability. It is found that the size of nugget is depended on tool transition speed and tool dimension by macrostructures of the cross section of weld zone.

Key words : Friction stir welding(FSW; 마찰교반 용접), Heat affect zone(HAZ; 열영향부), Thermo-mechanically affected zone(TMAZ; 열-기계적 영향부), Stir-zone(교반부), Half screw type pin(반나사형 핀), Full screw type pin(전나사형 핀)

1. 서 론

고강도 알루미늄 합금은 중량이 가벼우면서 인장 강도와 항복강도가 높고 가공성, 성형성, 내식성이 좋아 항공기, 자동차, 선박 등의 제작 재료로 각광

받고 있다. 특히 이들 고강도 알루미늄 합금 중에서 Zn과 Mg를 주성분으로 하는 7000계열 알루미늄 합금은 높은 강도와 함께 열처리 작업을 통해 최적의 기계적 성질이 얻어지도록 합금설계가 되어 있다. 7000계열의 알루미늄 합금은 구조물 제작시

† 책임저자(목포해양대학교 기관시스템공학부), E-mail : jangsk@mmu.ac.kr, Tel : 061)240-7093

* 목포해양대학교 대학원

MIG나 TIG와 같은 용접에 의한 아크열을 받게 되면 열이력(thermal cycle)에 의해 모재의 미세 조직이 변화되고 용접균열이 발생하여 강도의 약화와 함께 내식성 등이 저하된다^[1]. 용접열에 의한 용접균열의 발생, 변형 등의 결점을 보완하고 저렴하며 환경에 유해하지 않는 모재를 용접 이하에서 접합하고 용융·응고에 따른 용접부의 결함을 방지할 수 있는 마찰교반용접(Friction stir welding, FSW)을 적용할 필요가 있다. 이 논문에서는 두께 6.35mm인 알루미늄 7075-T651에 마찰교반용접법을 적용하기 위하여 공구치수^[2] 및 공구의 형상^[3]에 따라 용접용 공구를 제작하고, 용접회전속도, 용접이송속도 등의 용접조건에 변화를 주어 맞대기 이음을 실시한다. 마찰교반용접성과 최적의 용접조건 및 공구치수를 선정하기 위하여 용접부의 비커스 경도, 인장강도, 항복점 및 연신율을 비교한다. 또한 용접부의 형틀 굽힘시험(guided bending test)후 변형결과 및 파단상태를 고찰 하고, 각각의 용접조건에 대한 용접접합부 횡단면 용접거동을 비교하기 위하여 용접부 단면에 대한 마크로 조직 관찰을 실시하여 최적의 공구치수와 용접조건을 규명하고자 한다.

2. 실험재료 및 실험방법

2.1 시험 재료 및 용접방법

이 실험에 사용된 재료는 두께가 6.35mm인 알루미늄 Al7075-T651 열처리 되어진 판재를 사용하였으며, 재료의 화학성분과 기계적 성질은 각각 Table 1과 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical composition (wt%) of Al7075-T651 alloy

Element wt(%)	Cu	Si	Mg	Zn	Mn	Fe	Ti	Al
Test Result	1.7	0.4	2.4	5.4	0.1	0.2	0.04	Bal.
Cert.	1.9	0.4	2.1	5.1	0.9	0.5	0.09	Bal.

Table 2 Mechanical properties of Al7075 - T651 aluminum alloy

Rolling Direction	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HMV)
L	529.2	591.92	16.3	158
T	493.92	607.6	14.4	156

※ (L) : Longitudinal(rolling direction)

(T) : Transverse

Fig. 1은 마찰교반용접용 공구명칭, 용접재, 전진각 및 용접방향 등을 표현한 그림이다. 여기서 마찰교반용접용 공구는 공구강(SK)을 선반으로 가공하여 공구어깨의 치수를 15φmm와 20φmm로, 공구핀의 직경은 4φmm와 6φmm로 하고 공구핀의 길이는 시편의 두께보다 약간 작은 6mm로 제작하였다. 교반마찰용접에는 80mm(W) × 270mm(L)로 절단한 두 개의 판재를 평평한 후판(Back plate)에 판재의 길이방향 즉 롤링방향(L)으로 맞대어[Fig.3 참조] 클램프(Cramp)로 고정하고^{[2][4]}, 밀링에 장착된 공구는 2°의 전진각(tilt angle)으로, 용접방향은 두개의 판재가 맞대진 롤링방향(L)으로, 용접공구의 회전방향은 핀에 가공되어진 나선선의 방향과는 반대방향인 반시계방향으로, 공구의 회전속도는 800~1600rpm범위에서, 용접속도는 15~124mm/min범위에서 각 공구의 치수, 형상 및 조건에 따른 24가지의 경우의 수로 Table 3과 같이 용접을 시행하였다.

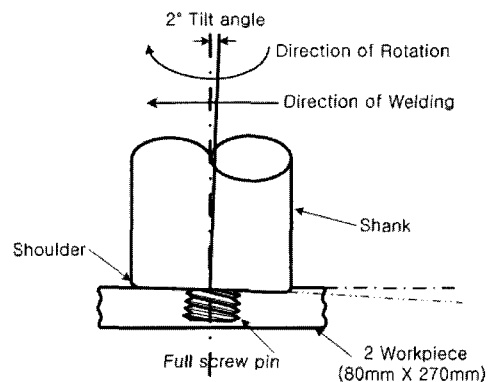


Fig. 1 A typical tool, tilt angle and direction of rotation and welding for FSW

Table 3은 구체적인 맞대기용접에 사용된 공구의 명칭, 공구 형상, 치수 및 용접조건을 나타내었다. 'H3'는 용접 공구의 치수와 용접조건을 나타내는 명칭의 예로서 반나사형 공구로 공구어깨 직경 20φmm, 핀 직경 4φmm, 핀 길이 6mm를 사용하여 용접 회전속도 800rpm, 용접이송속도 124mm/min의 조건으로 용접한 것을 나타낸다.

2.2 시험방법

2.2.1 경도시험

이 시험에 사용된 마이크로 비커스 경도시험기는 SHIMADZU사의 HVM-2 시험기로서 배율은 X 40으로, 135°의 다이아몬드 피라미드 압자를 사용하여 하중 1.98N과 하중시간 10sec으로 각각 측정하였다.

Table 3 Friction stir welding conditions of different tool dimensions & shapes

Name of pin	Tool shapes	Tool dimension			FSW conditions	
		Shoulder dia. (φ)	Pin dia (φ)	Pin length (mm)	Rotation speeds (rpm)	Transition speeds (mm/min)
H1~H3	Half-screw type	20	4	6	800	15
H4~H6					1250	61
H7~H9					1600	124
H10		20	6	6	800	15
H11					61	
H12					124	
H13					15	61
H14	6	6	800	124		
H15	15	6	6	800	124	
F1~F3	Full-screw type	20	6	6	800	15
F4~F6					1250	61
F7~F9					1600	124

Fig. 2는 맞대기 이음 마찰교반용접된 용접부 횡단면의 마이크로경도 측정 위치를 나타낸 그림이다. 공구핀의 반나선형(Half-screw type)과 핀의 전나선형(Full-screw type)으로 접합된 시험편의 교반부(Stir zone)내의 너깃(Nugget) 중심을 기준점으로 열영향(Heat affect zone: HAZ)

부와 열-기계적 영향부(Thermo-mechanically affected zone: TMAZ)를 순차적으로, 측정간격은 1mm로 각 25개소를 측정하였다.

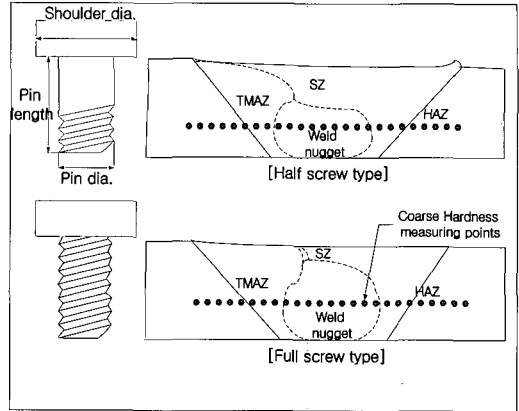


Fig. 2 Vickers hardness measuring position of welding zone on Butt-jointed specimen by pin of full screw type and half screw type

2.2.2 인장시험

마찰교반용접된 판재 및 시험편 채취방향과 인장 시험편의 치수를 Fig. 3에 나타내었다.

이 시험에 사용된 인장시험기는 유압식 (INSTRON 8516)이며, IX series 프로그램을 이용하여 컴퓨터 제어하에 인장 속도가 0.2mm/min으로 시험하여 하중-변위 선도 및 응력-변형을 선도를 구했다.

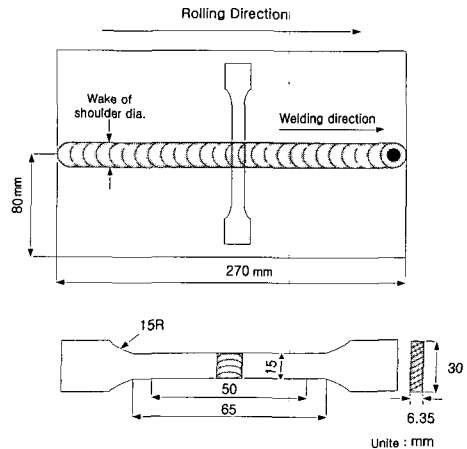


Fig. 3 Schematic of F.S. Welding direction and tensile test specimens.

2.2.3 형틀 굽힘시험

용접부 결합 유·무 및 파단거동을 확인하기 위하여 형틀굽힘 시험(DYHU-100TC-A/D)을 실시하였다. 3점굽힘용 U자형 형틀 폭을 50mm로 고정하고 형틀위에 각각의 시편을 올려놓은 후 15φ mm 형 굽힘 지그를 사용하여 5.0mm/min의 속도로 하중을 가하였다.

2.2.4 용접부 횡단면 마크로 조직시험

마찰교반용접된 시편 접합부에서의 기공이나 용접균열과 같은 결함, 그리고 단면의 용접거동을 관찰하기 위하여 외관검사 및 용접부 횡단면의 마크로 조직 관찰을 실시하였다. 용접부 거동의 거시적 관찰을 위한 에칭액은 수산화나트륨 5.8g, 증류수 100ml로 실온에서 55sec동안 에칭한 후 광학현미경(X100)을 사용하여 관찰하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 용접부 횡단면의 경도거동

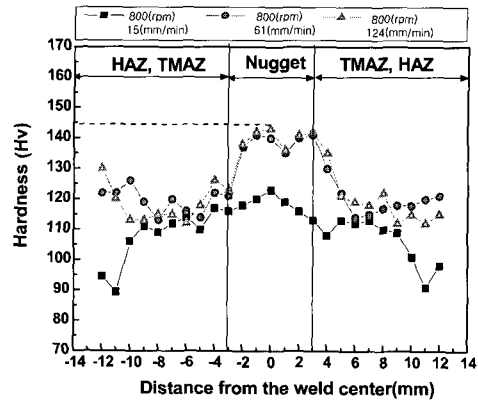
3.1.1 반나사형 공구로 용접된 용접부 횡단면의 경도거동

1) 공구치수가 핀길이 6φmm, 어깨직경 20φmm, 핀 직경 4φmm인 경우

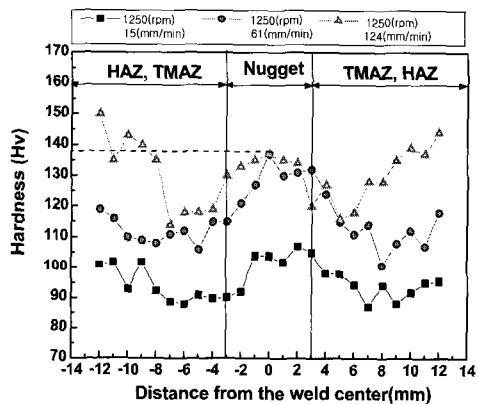
용접이송속도, 용접회전속도를 달리하면서 접합된 4개의 시편의 용접부 횡단면에 대해 측정된 평균 경도값을 비교하였다.

각 회전속도 800rpm, 1250rpm 및 1600rpm 조건에서 용접 이송속도를 15mm/min, 61mm/min 및 124mm/min로 변화시켰을때 마찰교반용접된 시편의 접합부 횡단면 경도값을 나타낸 것이다.

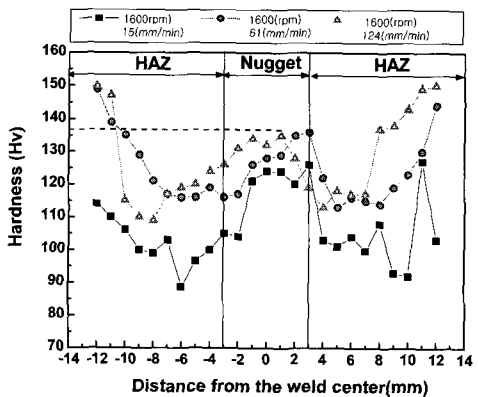
경도값은 대체로 교반부의 너깃부에서 경도값이 가장 크게 나타났으며, 이는 모재의 경도값 156Hv의 약89%를 보였다. Fig. 4의 (a)에 보인바와 같이 회전속도가 800rpm일때 너깃부에서의 경도값은 이송속도가 가장 빠른 124mm/min에서 145Hv로 가장높게 나타났으며, 이송속도가 61mm/min일때와 유사한 거동을 보였다. 반면, 용접이송속도가 15mm/min인 경우는 너깃부에서의 경도값이 120Hv로 낮은 경도값을 보였다. 한편, 이송



(a) Rotation speed 800rpm



(b) Rotation speed 1250rpm



(c) Rotation speed 1600rpm

Fig. 4 Comparison of micro vickers hardness profiles on the cross-section of the welded zone according to welding conditions using pin of half screw type (tool's dimension : shoulder dia. 20φmm; pin dia. 4φmm; pin length 6mm).

속도에 따른 세조건 모두 열영향부(Heat affected zone: HAZ)에서의 경도값은 너깃부에서의 경도 값 보다는 낮으나 유사한 크기거동을 보였다.

Fig. 4의 (b)에서 회전속도가 1250rpm일때 너깃부에서의 경도값도 이송속도가 가장 빠른 124mm/min에서 가장 높은 값을 보였다.

Fig. 4의 (c)도 회전속도가 1600rpm으로 이송 속도에 따라 경도를 측정된 것으로, 너깃부에서는 800rpm과 1250rpm에서의 경우처럼 용접 이송속도가 빠를수록 경도 값이 크게 나타났다.

반면, 용접 이송속도가 가장 낮은 15mm/min일 때, 800rpm과 1600rpm일 때의 경도 값은 120Hv로서 1250rpm에서의 경도 값 105Hv 보다 높게 나타났다.

따라서, 반나사형(H1-H9)공구조건 중 너깃부에서 경도값이 가장 높은 용접공구는 'H3'공구로서 용접회전속도 800rpm, 용접이송속도 124mm/min일때였다.

2) 공구치수가 핀길이 6φmm, 어깨직경 20φmm, 핀 직경 6φmm인 경우

용접회전속도 800rpm일정으로 용접 이송속도가 15mm/min, 61mm/min, 124mm/min로 변화시켰을때 마찰교반용접 된 시편의 횡단면 경도값의 분포 경향을 나타내었다.

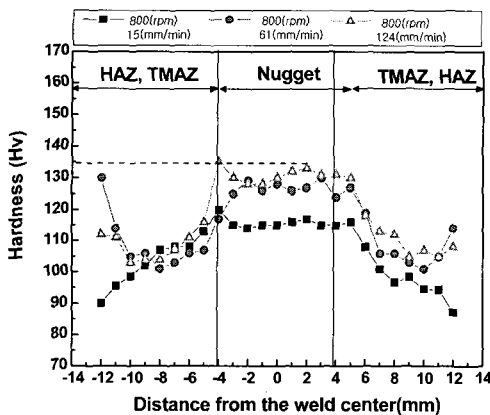


Fig. 5 Comparison of micro vickers hardness profiles on the cross-section of the welded zone according to welding conditions using pin of half screw type (shoulder dia. 20φmm; pin dia. 6φmm; pin length 6mm) and rotation speed 800rpm

너깃에서의 경도값은 용접이송속도가 가장 빠른 124mm/min에서 가장높은 경도값인 130Hv를 나타내었으며, 용접이송속도가 가장느린 15mm/min에서 경도값 115Hv인 낮은 값을 나타내었다. 또한, 열영향부에서는 세가지 이송속도 모두 동일한 경도 거동을 보였다.

3) 공구치수가 핀길이 6φmm, 어깨직경 15φmm, 핀 직경 6φmm인 경우

용접회전속도 800rpm일정으로 용접이송속도가 15mm/min, 61mm/min, 124mm/min로 변화시켰을때 마찰교반용접 되어진 시편의 횡단면 경도값의 경향을 나타내었다. 너깃에서의 경도값은 용접이송속도 124mm/min일때와 61mm/min일때가 동일한 경도크기를 보였다. Fig. 5와 Fig. 6인 공구어깨 20φmm일때와 15φmm일때의 거동을 비교하면, 너깃부에서의 경도값은 유사한 크기의 거동을 보였으나, 열영향부에서는 서로 다른 크기의 거동을 보였다. 따라서 반나사형 (H10~H15)공구조건 중 용접회전속도가 800rpm으로 일정할 때 공구어깨직경의 차이는 너깃의 경도값에 큰 영향을 주지는 않는 것으로 사료된다.

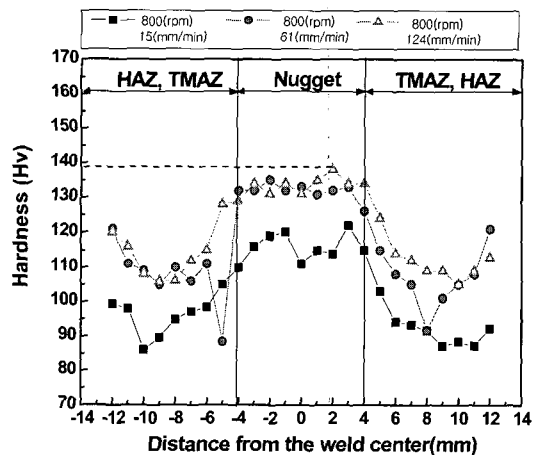


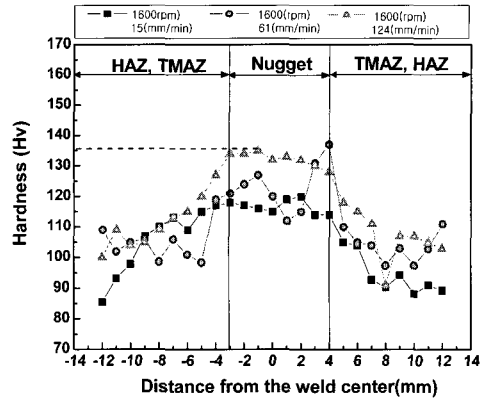
Fig. 6 Comparison of micro vickers hardness profiles on the cross-section of the welded zone according to welding conditions using pin of half screw type (shoulder dia. 15φmm; pin dia. 6φmm; pin length 6mm) and rotation speed 800rpm

3.1.2 전나사형 공구로 용접된 용접부 횡단면의 경도 거동

1) 공구치수가 핀길이 6φmm, 어깨직경 20φmm, 핀 직경 6φmm인 경우

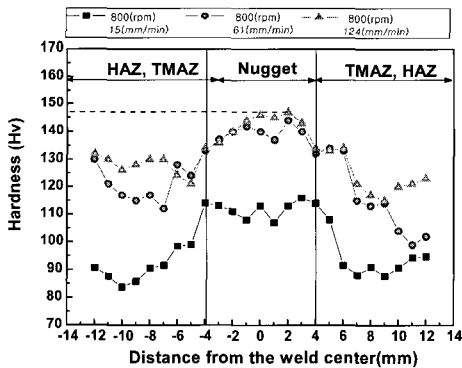
Fig. 7의 (a), (b), (c)에서는 전나사형(Full screw type)공구로 회전속도 800rpm, 1250rpm 및 1600rpm일때 이송속도를 15mm/min, 61mm/min 및 124mm/min로 변화 시키면서 마찰교반용접 된 시편의 용접부 횡단면 경도값의 크기 경향을 나타내었다.

회전속도 800rpm일때 너깃에서의 경도 경향은 용접 이송속도가 124mm/min일때가 가장 높은 경도값 146Hv를 나타내었으며, 61mm/min의 용접이송속도와 근소한 차이의 경도값을 보였다. 반면, 용접이송속도 15mm/min일때는 경도값 110Hv로 용접이송속도 124mm/min과 61mm/min과는 상당한 차이를 나타내었다.

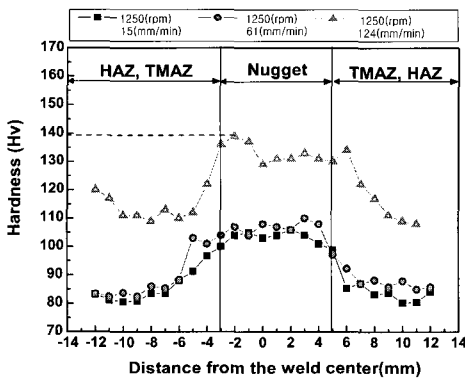


(c) Rotation speed 1600rpm

Fig. 7 Comparison of micro vickers hardness profiles on the cross-section of the welded zone according to welding conditions using pin of full screw type (shoulder dia. 20φmm; pin dia. 6φmm; pin length 6mm).



(a) Rotation speed 800rpm



(b) Rotation speed 1250rpm

회전속도 1250rpm일때 너깃에서의 경도경향은 용접이송속도가 가장빠른 124mm/min일때 가장 높은 경도값 135Hv를 나타내었으며, 용접이송속도 61mm/min과 15mm/min일때는 낮은경도값 105Hv를 나타내었다.

1600rpm 일때 너깃에서의 경도경향은 위의 800rpm가 1250rpm과 같이 용접이송속도가 가장 빠른 124mm/min에서 가장 높은 경도값 130Hv를 나타내었으며, 61mm/min과 15mm/min에서는 대략 비슷한 경도값 115Hv를 나타내었다.

이와 같이 이송속도가 124mm/min일 때는 회전수 변화에 따른 경도값은 대체로 높게 나타났으며 너깃, HAZ 및 TMAZ에서 비슷한 경향을 나타냈으나 이송속도가 61mm/min일 때는 회전수의 변화에 따른 경도변화가 크게 다르다는 것을 알 수 있다. 전나사형(F1~F9)공구중 너깃부, 열영향부 및 열-기계적 영향부 에서 경도가 가장 높게 나온 용접공구는 'F3'로서 용접회전속도 800rpm, 용접이송속도 124mm/min일때 었다.

최적공구치수와 용접조건은 반나사형 공구에서는 공구어깨 20φmm, 공구핀 직경 4φmm, 공구핀 길이 6mm로 공구회전속도 800rpm, 용접이송속도 124mm/min일때 너깃, 열영향부 및 열-기계적 영향부에서의 경도 값이 가장 높게 나타났다.

반면에 전나사형 공구에서는 공구어깨 20φmm, 공구핀 직경 6φmm, 공구핀 길이 6mm로 공구회전속도 800rpm, 용접이송속도 124mm/min로 용접 되었을때 너깃, 열영향부 및 열-기계적 영향부의 경도값이 대체적으로 높게 나타났다.

3.2 마찰교반용접부의 기계적 성질

Fig. 8은 Table. 3의 반나사형 공구치수 및 조건(H1~H9)으로 마찰교반용접 된 시편의 인장응력 및 항복점 그리고 연신율을 나타내었다.

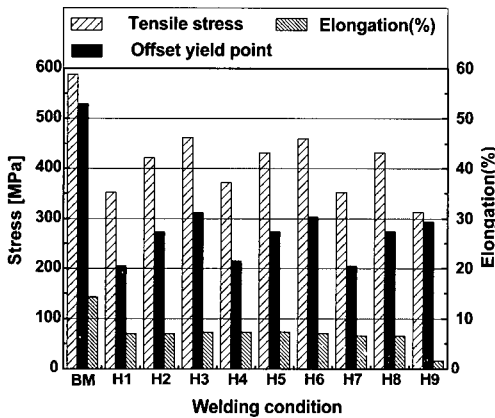


Fig. 8 Comparison of tensile stress, 0.2% offset yield point and elongation(%) of the weld joints according to the welding speeds and the transition speeds with half screw type tool of shoulder dia. 20φmm, pin dia. 4φmm, pin length 6mm.

Fig. 8에서 'H3'반나사형 공구로 용접회전속도 800 rpm, 용접이송속도 124mm/min로 용접된 인장시험편의 인장응력 462MPa은 모재의 인장응력 588MPa의 79%를 나타내었으며, 'H3'의 항복점 312MPa는 모재의 항복점 529MPa의 59%를 나타내었다. 또한 'H3'의 연신율 7.3%는 모재의 연신율 16%의 51%로 낮은 연신율을 보였다.

J.C Lippold[5]의 7075-T651 알루미늄 합금의 인장시험결과 즉, 인장응력 (467MPa)과 항복점 (311MPa) 그리고 연신율 7.5%과 거의 유사한 값을 나타내었다.

Fig.9은 Table. 3의 반나사형 공구(H10~

H12)로 마찰교반용접 된 시편의 인장응력 및 항복점 그리고 연신율을 나타내었다. Fig. 9에서 공구어깨 치수가 20φmm인 'H12'공구로 용접된 인장시험편의 인장응력은 458MPa을, 항복점은 284MPa로 가장 좋은 기계적 특성을 보였으며, 공구어깨 치수가 15φmm인 'H14'그리고 'H15'공구로 용접된 인장시험편의 인장응력은 431MPa을, 항복점은 264MPa로 같은 인장응력 및 항복점을 보였다.

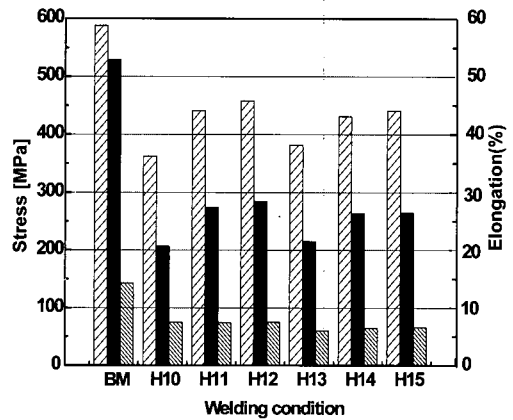


Fig. 9 Comparison of tensile stress, 0.2% offset yield point and elongation(%) of the weld joints according to the welding speeds and the transition speeds with half screw type tool of shoulder dia. 20φmm, pin dia. 6φmm, pin length 6mm and shoulder dia. 15φmm, pin dia. 6φmm, pin length 6mm.

연신율은 공구어깨 직경이 20φmm의 공구로 용접된 인장시험편이 15φmm의 공구로 용접된 인장시험편 보다 약간 높은 연신율을 보였다.

Fig. 10는 Table. 3의 전나사형 공구 (F1~F9)로 마찰교반용접 된 시편의 인장응력 및 항복점 그리고 연신율을 나타내었다.

'F3'은 전나사형으로서 공구로 용접회전속도 800rpm 용접이송속도 124mm/min로 용접된 인장시험편의 인장응력은 470MPa로 모재의 인장응력 588MPa의 80%를 나타내었으며 항복점은 323MPa로 모재의 항복점 529MPa의 55%를 나타내었다. 연신율 7.2%는 모재의 연신율 16%의 51%로 낮은 연신율을 보였다.

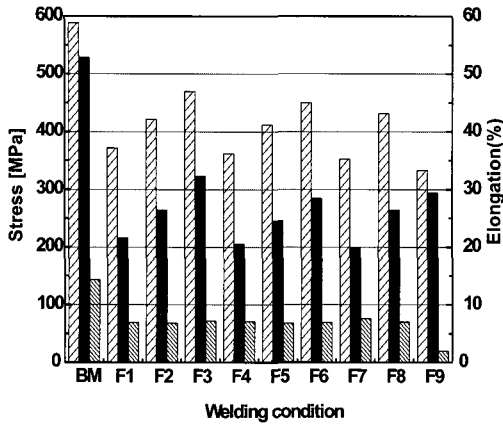


Fig. 10 Comparison of tensile stress, 0.2% offset yield point and elongation(%) of the weld joints according to the welding speeds and the transition speeds with full screw type tool of shoulder dia. 20φmm, pin dia. 6φmm, pin length 6mm.

핀의 반나사형 공구 및 전나사형 공구를 사용하여 각각의 조건에서의 기계적 특성을 비교한 결과 반나사형 공구에서는 공구어깨 20φmm, 공구핀 직경 4φmm, 공구핀 길이 6mm로 공구회전속도 800rpm, 용접이송속도 124mm/min일때 인장응력은 462MPa을, 항복점은 312MPa로 가장 높게 나타났다. 반면에 전나사형 공구에서는 공구어깨 20φmm, 공구핀 직경 6φmm, 공구핀 길이 6mm로 공구회전속도 800rpm, 용접이송속도 124mm/min일때 가장 높은 인장응력 470MPa과 항복점 323MPa을 보였다.

대체적으로 각각의 용접조건에 의한 기계적 특성은 용접이송속도가 빠를수록 너깃, 열영향부 및 열-기계적 영향부의 정도값이 높게 나타났으며, 인장강도 역시 높게 나타났다. 그러나, 용접회전속도에는 큰 영향을 받지 않았다.

3.3 형틀굽힘 시험에 의한 파단

Fig. 11과 Fig. 12은 15φmm의 지그를 사용하여 형틀굽힘시험 후 시편의 파단 모양을 나타낸 사진이다.

시편에 용접결함이 없는 경우 하중1200kgf까지 시편이 견디었으며, 변위는25mm까지 변화한 후

열영향부에서 파단이 일어났다. 반면 시편에 용접결함이 있는 경우 하중1000kgf까지 시편이 견디었고, 변위는10mm였으며, 파단은 교반부에서 일어났다.

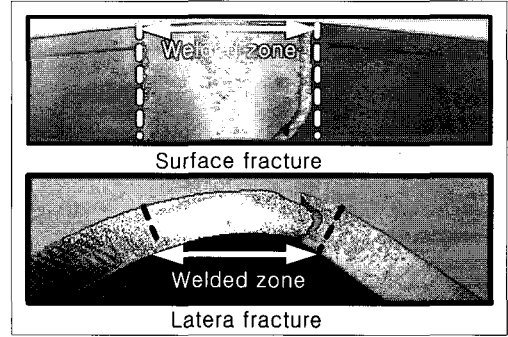


Fig. 11 Fracture surface and lateral face of the defect-free guided bending test specimen by FSW

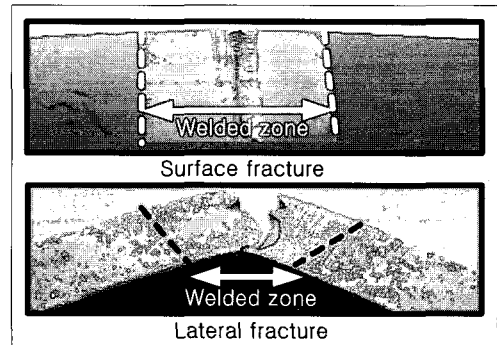


Fig. 12 Fracture surface and lateral face of the defect guided bending test specimen by FSW

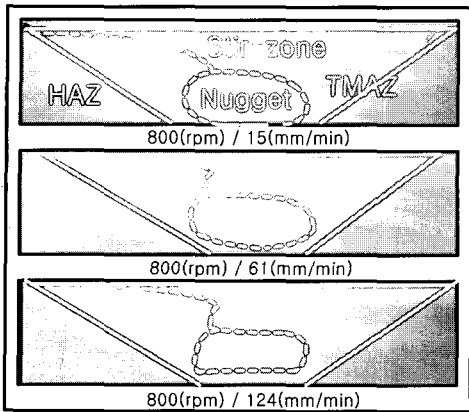
마찰교반용접된 7000계열의 알루미늄 합금은 적은 굽힘변형에서 가장 취약한 부분에서 파단이 발생했으나, 2000계열이나 5000계열^[6] 합금은 굽힘변형이 대단히 큰 것으로 보고 되고 있다.

3.4 용접부 횡단면의 마크로적 거동

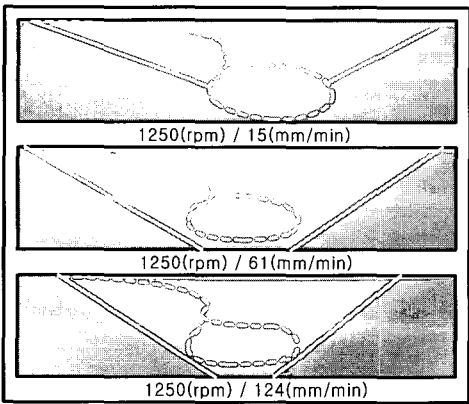
3.4.1 반나사형 공구로 용접된 용접부 횡단면의 용접거동

1) 공구치수가 핀길이 6φmm, 어깨직경 20φmm, 핀 직경 4φmm인 경우

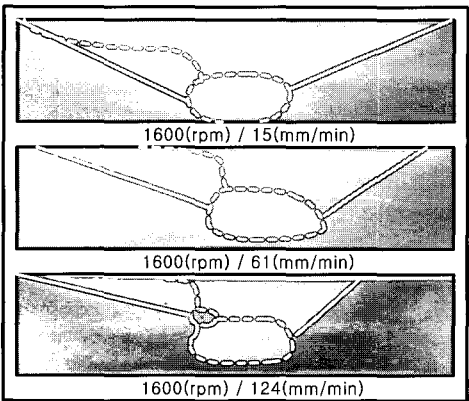
Fig. 13의(a),(b),(c)는 반나사형 공구(H1~



(a) Rotation speed 800rpm



(b) Rotation speed 1250rpm



(c) Rotation speed 1600rpm

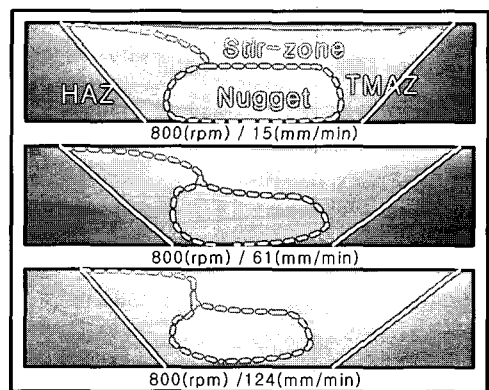
Fig. 13 Welded transverse cross-section macrostructures according to the welding speeds and the transition speeds with half screw type tool(H1-H9) of shoulder dia. 20φ mm, pin dia. 4φmm, pin length 6mm.

H9)로 마찰교반 용접된 용접부 횡단면의 매크로적 거동을 관찰한 것이다. Fig. 14의 (a)는 공구회전 속도 800rpm 일때 공구 이송속도를 15mm/min, 61mm/min 및 124mm/min으로 각각 용접한 시험편의 횡단면 사진으로 용접이송속도가 빨라질수록 교반부의 너깃의 치수가 작아지고 횡단면 하단으로부터 너깃이 조금씩 상승하였다. 공구 회전속도를 1250rpm인 경우(b)에서 너깃이 800rpm과 같은 거동을 보였으나, 이송속도가 15mm/min인 경우에는 교반부가 너깃을 전부 포함하지 않음을 볼 수 있다.

공구회전 속도가 1600rpm인(c)의 경우 세가지 이송속도 모두 교반부가 너깃을 완전히 포함하지 않고 있으며, 회전속도와 이송속도가 가장 큰 1600rpm과 124mm/min에서, 너깃과 열-기계적 영향부 사이에서 결함이 발생하였다.

2) 공구치수가 편길이 6φmm, 어깨직경 20φ mm, 핀 직경 6φmm인 경우

Fig. 14의(a)는 반나사형 공구(H10~H12)로써 공구어깨 치수 20φmm로 마찰교반 용접된 용접부 횡단면 거동으로서 핀 직경 4φmm인 반나사형 공구보다 너깃의 크기가 커진 것을 볼 수 있다. 또한, 용접이송속도가 빨라질수록 너깃의 직경이 감소하였다.



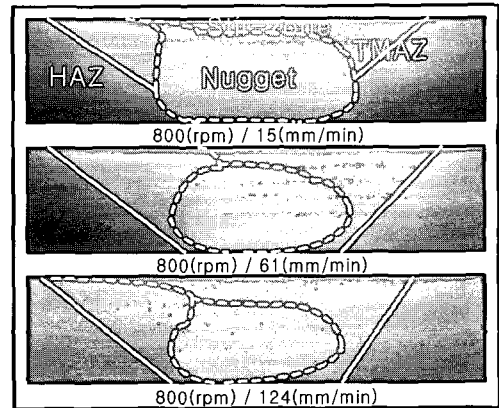
(a) Rotation speed 800rpm

Fig. 14 Welded transverse cross-section macrostructures according to the welding speed 800rpm and the transition speeds with half screw type tool(H10-H13) of shoulder dia. 20φmm, pin dia. 6φmm, pin length 6mm.

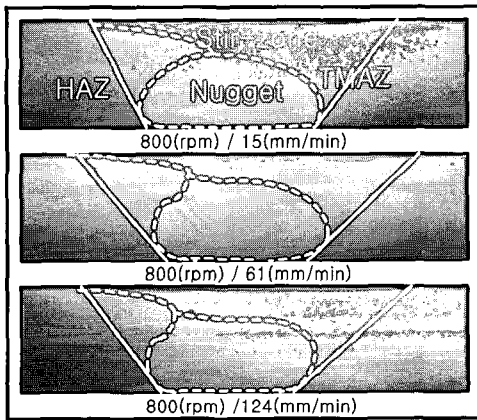
3) 공구치수가 편길이 6φmm, 어깨직경 15φmm, 핀 직경 6φmm인 경우

Fig. 15의(a)는 반나사형 공구(H13~H15)로써 공구어깨 치수 15φmm의 조건으로 용접된 용접부 횡단면 거동으로서, 교반부의 면적이 어깨지름 20φmm일때 보다 적게 나타났으며, 너깃의 크기는 이송속도가 변함에 따라 큰 차이를 나타내지는 않았다.

Fig. 14(a), Fig. 15(a) 두 조건모두에서 결합은 나타나지 않았으며, 너깃의 분포는 안정적으로 나타났다.



(a) Rotation speed 800rpm



(a) Rotation speed 800rpm

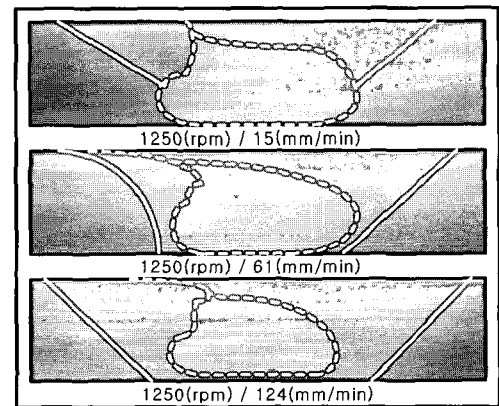
Fig. 15 Welded transverse cross-section macrostructures according to the welding speed 800rpm and the transition speeds with half screw type tool(H13-H15) of shoulder dia. 15φmm, pin dia. 6φmm, pin length 6mm.

3.4.2 전나사형 공구로 용접된 용접부 횡단면의 용접거동

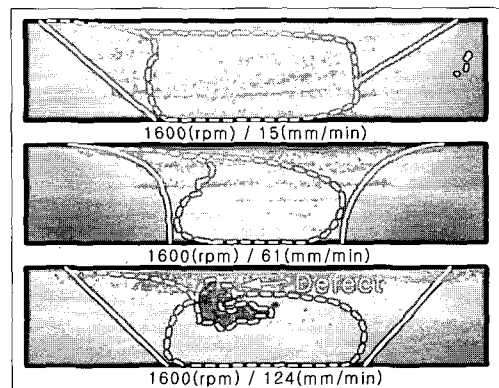
1) 공구치수가 편길이 6φmm, 어깨직경 20φmm, 핀 직경 6φmm인 경우

Fig. 16의(a),(b),(c)는 전나사형 공구(F1~F9)로 회전속도에 따라 이송속도를 달리한 용접부 횡단면의 거동을 나타내었다.

그림에서 보이는 것 같이 반나사형 공구를 사용했을 때와는 달리 교반부내의 너깃의 크기가 횡단면 하부에서 상부까지 거대하게 존재함을 알 수 있다. 또한 이동속도가 빨라짐에 따라 너깃의 치수가



(b) Rotation speed 1250rpm



(c) Rotation speed 1600rpm

Fig. 16 Welded transverse cross-section macrostructures according to the welding speeds and the transition speeds with full screw type tool of shoulder dia. 20φmm, pin dia. 6φmm, pin length 6mm.

작아짐을 알 수 있다. 주목할 만한 것은 회전속도가 증가하고 이송속도가 증가할수록 너깃의 형상이 불안정하게 변하다가 회전속도와 이송속도가 가장 큰 조건에서 Fig. 16(c)와 같이 거대한 결함이 발생함을 알 수 있다.

4. 결 론

마찰교반용접된 Al 7075-T651 합금 판재의 최적용접 공구 및 용접 접합성을 횡단면 경도시험, 인장시험, 형틀굽힘시험 및 횡단면의 마크로 조직 관찰을 통해 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 용접회전속도의 변화에 따른 너깃 부 경도 값은 이송속도가 124mm/min 일 때는 큰 차이가 없었으나 이송속도가 61mm/min일 때는 회전수에 따른 경도 변화가 크게 나타났다. 한편 용접공구의 이송속도가 가장 빠른 124mm/min에서 너깃, 열영향부 및 열기계적 영향부에서의 경도 값이 대체로 높게 나타났다.
- 2) 공구어깨 20φmm, 공구핀 직경 6φmm, 공구핀 길이 6mm인 전나사형(Full screw type) 공구로 용접회전속도 800rpm, 용접이송속도 124mm/min일때 너깃부 중 가장 높은 경도값 147Hv를 나타냈다.
- 3) 너깃, 열영향부 및 열-기계적 영향부의 경도값이 큰 조건에서 가장 높은 인장강도인 470MPa와 항복점 323MPa을 나타냈다.
- 4) 공구들로 접합된 판재로 제작한 시험편에 대한 형틀굽힘 결과 용접부 내에 결함이 발생하지 않는 경우 열영향부에서 시편이 파단 하는 경향을 나타냈다.
- 5) 용접부 횡단면의 마크로 조직 관찰의 결과에서 반나사형 공구와 전나사형 공구 모두에서 회전속도와 이송속도가 커지면 너깃의 형상이 불안정해졌으며, 회전속도와 이송속도가 가장 큰 1600rpm, 124mm/min로 용접된 시험편에서 두 조건 모두 너깃부 상부에서 결함이 발생하였다.
- 6) 상기 시험결과 7075-T651 알루미늄 6.36mm의 판재를 마찰교반용접 할 경우 용접공구치수가 공구어깨 20φmm, 공구핀 직경 6φmm, 공구핀 길이 6mm인 전나사형 공구로 용접회전속도 800rpm, 용접이송속도 124mm/min의 조건을 권장한다.

참고문헌

- [1] H.T.Kim, S.H.Hwang, S.W.Nam, 1992, "Weldability of High Strength Aluminum Alloy", Proc. of the KWS-KIM symposium' 92 on advanced processing and mechanical properties of aluminum alloys.
- [2] S.K.Jang and S.H.Shin, 2001, "A Development of Optimizing Tools for Friction Stir Welding with 2tmm Thick Aluminum Alloy using a Milling Machine", Journal of The Korean Society of Marine Engineers, Vol.25, No.4, pp.791-796.
- [3] David G. Kinchen and Esmā Aldahir, 2002, "NDE of Friction Stir Welds in Aerospace Applications", American Welding Society Inspection Trends.
- [4] 장석기, 2003, "2mm알루미늄합금재의 접치기 이음을 위한 마찰교반용접의 실험적 연구", 한국박용기관학회지, 제27권 6호, pp728-735
- [5] J.C.Lippold and P.J.Ditzel, 2003, "Microstructure and Properties of Aluminum Friction Stir Welding", Materials science forum, Vols 426-432, PP.4597-4602
- [6] C.J.Dawes and W.M.Thomas, "Development of Improved Tool Designs for Friction Stir Welding of Aluminum"

저 자 소 개



장석기 (張石基)

1973년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 1988년 전남대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사), 1998. 1~1999년 2 University of South Carolina 연수 현재 목포해양대학교 기관시스템 공학부 교수



전정일 (全正一)

2002년 목포해양대학교 기관시스템공학과 졸업, 2005년 동 대학원 대학원 기관공학과 졸업(석사)