

304 스테인레스 스틸의 마찰교반접합

Friciton stir welding of type 304 stainless steel

이 창용*, 최 돈현*, 표 성은*, 이 원배**, 이 종봉**, 연 윤모***, 정 승부*

* 성균관대학교 신소재공학부

** (주)포스코 기술 연구소

*** 수원과학대학 신소재응용과

ABSTRACT The butt and lap configurational friction stir welding of type 304 stainless steel was conducted in this study. The sound joints were obtained by WC tool. As the welding distance increased, tool deformation gradually increased at the pin edge. The discoloration by oxidation was observed at the top surface of the joint, a sufficient heat-input was required to avoid the welding defect owing to the lack of stirring at the welding start point. Very fine grains were observed in the stir zone, and the grain coarsening was not observed in the heat affected zone.

1. 서 론

마찰교반접합법은 특정한 회전수로 회전하는 용접 톨을 접합하고자하는 피접합재의 맞댄 면에 삽입시킨 후 톨이 이동하거나 시편을 견고하게 고정시킨 장치(backing plate)가 움직여 고상 상태에서 접합이 이루어진다. 알루미늄, 마그네슘 등 비교적 용점이 낮은 재료의 접합에서 더욱 장점이 부각되어 연구가 활발하였으나 최근에는 스틸 등 고 용점 재료의 접합에도 적용이 시도되고 있다.

마찰교반접합법을 이용하여 steel과 같은 강한 재료를 접합하기 위해서는 내구성이 갖추어진 톨, 톨과 피접합재의 마찰시 발생하는 열을 냉각시키는 방법 등 해결해야할 몇 가지 과제가 있지만 경제적 측면이나 접합부의 우수한 특성 등을 고려할 때 그 적용 및 발전 가능성이 매우 높다고 예측할 수 있다.[1]

본 연구에서 사용된 STS304 재료는 강도와 연성의 조합이 우수하고 뛰어난 내식성을 가지므로 그 사용 영역이 매우 넓다. 용접성도 기타 철계 합금에 비해 비교적 우수한 편으로 알려져 있다. 하지만 용융 용접 방식을 이용해서 접합을 실시할 경우 용착부 주변의 열영향부 형성은 피할 수

없는 부산물이고, 이러한 열영향부의 형성은 입계 부식, 고온 균열 현상 등 용접결함을 야기시키는 원인과 직접적으로 관련이 있으므로 후공정 등을 불가피하게 실시하는 경우도 있다.[2]

현재까지의 타 연구자들의 결과에 의하면 마찰교반접합을 이용해서 철계 합금을 접합할 경우 낮은 공정온도와 빠른 냉각속도 등의 이유로 인해 접합부에 열영향부 형성이 극히 미약하여 용융 용접에 비해 우수한 접합 특성을 나타낸다고 보고되고 있다.[3-4]

본 연구에서는 마찰교반접합을 이용하여 맞대기 및 겹치기 형태의 304 스테인레스강 접합을 실시하였고, 접합부의 미세조직 및 기계적 특성을 평가하였다. 또한 초경합금으로 제작된 톨의 마모 정도를 관찰하여 보다 실질적인 실용화 가능성을 조사하였다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 재료는 STS304이고, 자세한 화학조성을 Table. 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of STS304 alloy used in this study

Elements	C	Si	Mn	Ni	Cr	Fe
wt%	0.051	0.55	1.08	8.06	18.27	Bal.

재료는 70mm × 140 mm의 크기, 0.6 mm 두께의 판재로 가공되었으며, 용접속도와 톨 회전속도를 고정시킨 상태에서 접합을 실시하였다. 본 실험에서 사용된 자세한 변수를 아래의 Table 2에 나타내었다.

접합을 위해 사용된 톨은 WC-12wt%Co의 초경합금으로 제작하였으며 원형 shoulder 위에 나사산이 없는 직경 3mm의 원형 핀이 형성된 형상이다. 접합한 거리에 따른 톨 마모 정도를 관찰하였다.

접합은 맞대기와 겹치기의 두 가지 형태로 실시하였다. 겹치기 형태의 접합은 30mm 폭으로 겹쳐지게 시편을 위치시키고 접합하였다.

Table 2. Experimental Conditions

Variable	Range
Tool to work piece (°)	2
Tool rotating speed (rpm)	800
Pin inserting depth (mm)	1
Plate travel speed (mm/min.)	87

접합 후 광학현미경(OM:Optical Microscope)과 주사전자현미경 (SEM: Scanning Electron Microscope)을 사용하여 모재와 접합부의 미세조직을 관찰하였다. 용접부 내의 상 분석을 위하여 EDS(Energy Dispersive Spectroscopy)를 사용하였다.

접합부의 기계적 특성을 알아보기 위하여 접합시편 단면의 경도를 측정하였다. 이 때 하중은 300gf, 측정시간은 10초로 하였다. 또한 접합부의 인장특성을 측정하고자 일축인장시험을 실시하였다. 시편은 KS13B에 의해 준비되었고, cross head speed는 1mm/min.으로 하였다.

3. 실험 결과

Fig. 1은 접합 거리에 따른 톨의 형상변화를 나타낸 그림으로, Fig. 1(a), (b) 사진은 각각 접합 전과 720mm 접합 후의 실제 톨 형상이다. 초기 형상에 비해 240mm 까지 접합을 실시한 경우 톨의 형상 변화가 가장 큰 것으로 나타났다. 접합 시 공정 온도가 1200°C 내외의 고온이므로 소결된 초경 합금 톨이 마모되었기 때문에, 특히

접합 전 상태의 예리한 모서리 부분에서 극심한 마모가 발생한 것으로 나타났다. 이후 480, 720mm 까지 접합 후 형상 변화는 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

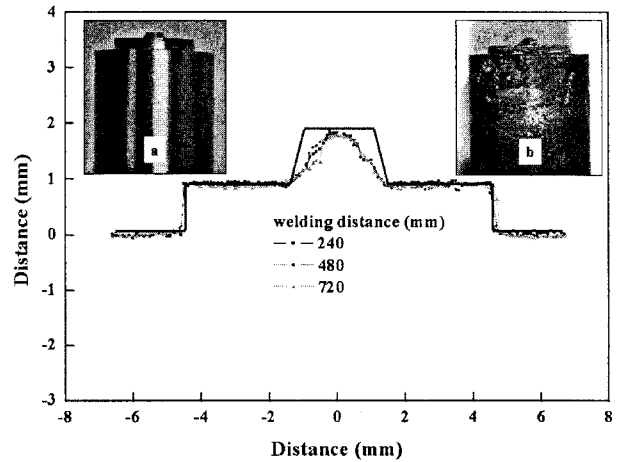


Fig. 1 Tool deformation with welding distance; a) before welding and b) after 720mm welding

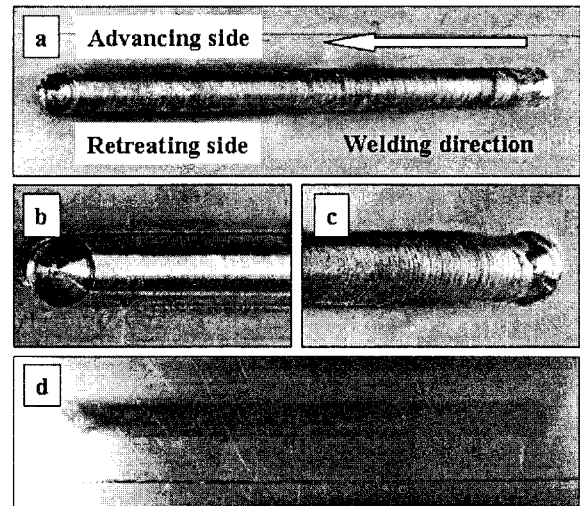


Fig. 2 External shape of lap joint after FSW; a) top surface, b) ending point, c) start point and d) rear surface.

Fig. 2는 접합 후 접합부의 표면을 관찰한 사진이다. 윗면과 밑면을 관찰한 사진에서 알 수 있는 바와 같이 외관상 큰 결함은 관찰되지 않았다. 다만 그림 Fig. 2(c)에서 관찰되는 바와 같이 접합 시작점에서 충분한 마찰열이 발생되기 전 상황에서 교반 부족으로 인한 결함이 발생한 것을 확인할 수 있었다. 또한 접합이 진행될수록 접합부 표면색이 푸르게 변하는 것을 관찰할 수

있었는데 이것은 마찰열에 의한 표면 산화의 정도가 달라지기 때문으로 사료되며, 기존의 경금속 재료의 접합과 비교해서 양호한 접합부를 얻기 위해 접합 변수의 세밀한 조절이 요구되는 것을 확인할 수 있었다.

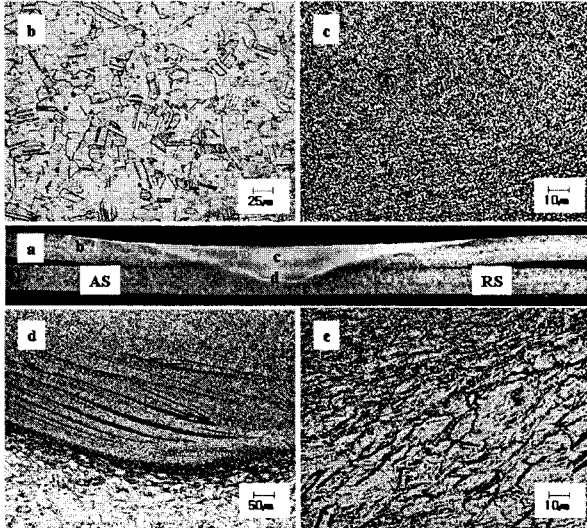


Fig. 3 Microstructures of each weld zone in the STS304 lap-FSW joint; a) cross-section, b) base metal, c) stir zone, d) kissing bond in the SZ and e) TMAZ and HAZ

Fig. 3에 겹치기 형태로 접합된 STS304 접합부 각 영역의 미세조직을 광학 현미경으로 관찰한 사진을 나타냈다. 마크로 단면 사진에서 알 수 있는 바와 같이 접합부 내부에서도 특이한 결합은 관찰되지 않았다. 모재는 쌍정을 포함한 다각형의 결정립으로 전형적인 오스테나이트 조직을 나타내고 있다. 교반 영역에서는 접합 시 발생한 틀의 기계적 가공 효과로 인해 모재에 비해 결정립이 매우 미세해진 것을 확인할 수 있었고, 검은 띠 형태의 키싱 본드(kissing bond)가 관찰되었다. 또한 모재에 비해 결정립이 조대해지는 특징을 가지는 열영향부 형성의 거의 이루어지지 않은 것으로 나타났고, 이것은 접합부 신뢰성 향상에 큰 영향을 미칠 것으로 추정된다.

4. 결 론

틀 회전속도, 접합 속도 등 공정 변수가 고정된 상태에서 STS304 합금의 마찰교반접합이 맞대기 및 겹치기 형태로 실시되었고, 동시에 초경합금으로 제작된 틀의 마모 정도를 관찰한 결과

다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 접합거리가 증가함에 따라 틀 마모 정도가 미세하게 증가하였으며, 모서리 부분에서 가장 심한 마모가 발생하였다.
- 2) 맞대기 및 겹치기 접합은 성공적으로 이루어졌으며, 다만 접합 초기 충분한 마찰열을 접합부에 제공하는 것이 양호한 접합부를 얻기 위해서 반드시 필요하였다.
- 3) 접합부의 결정립은 접합 시 틀의 가공 효과로 인해 모재에 비해 매우 미세해졌으며, 열영향부의 결정립 조대화 현상은 발생하지 않았다.

참 고 문 헌

1. S.H.C. Park, Y.S. Sato, H. Kokawa, K. Okamoto, S. Hirano and M. Inagaki : Rapid formation of the sigma phase in 304 stainless steel during friction stir welding, Scripta Materialia, 49 (2003) 1175-1180
2. A.P. Reynolds, W. Tang, G. Herold and H. Prask : Structure, properties, and residual stress of 304L stainless steel friction stir welds, Scripta Materialia, 48 (2003) 1289-1294
3. S.H.C. Park, Y.S. Sato, H. Kokawa, S. Hirano and M. Inagaki : Microstructural characterization of stir zone containing residual ferrite in friction stir welded 304 austenitic stainless steel, Science and technology of welding and joining, 10 (2005) 550-556
4. Y.S. Sato, T.W. Nelson and C.J. Sterling : Recrystallization in type 304L stainless steel during friction stirring, Acta Materialia, 53 (2005) 637-645