

Stainless 강과 Al 합금의 마찰용접 특성연구

Study on Fraction Weldability Stainless Steel-Al Alloy

김의환* 강성보** 민택기**

*한국전력 전력연구원 **충남대학교 기계공학과

1. 서론

마찰용접은 두 재료에 압력을 가한 상태에서 상대운동을 주어 발생하는 마찰열을 이용하여 고상태(solid state)로 접합하는 방법이다¹⁾. 마찰용접은 동종재료는 물론이고 이종재료의 접합에도 용이한 용접법으로 열영향부(HAZ)의 범위가 좁고 접합 성능이 우수한 장점이 있어 자동차, 전기, 조선, 화학, 원자력, 기타 공학분야와 건축산업에서 광범위하게 사용되고 있다.

본 연구에서는 내식성, 내산화성이 우수한 STS304 오오스테나이트 스테인리스강과 내식성과 인성이 풍부한 A6351 합금의 마찰용접 특성을 평가하였다. 스테인리스강과 순알루미늄의 마찰용접에 관한 연구는 지금까지 몇몇 연구가 수행되어 왔으며, Yashan 등²⁾과 Chernenco 등³⁾의 연구결과는 훌륭한 기계적 이음을 얻을 수 있음을 보여준다. 그러나 스테인리스강과 알루미늄 합금의 마찰용접에 관한 연구는 드물고, Okawa 등⁴⁾의 연구에 의하면 만족할만한 강도를 얻기 어려운 것으로 알려진다. 본 연구의 목적은 STS304와 알루미늄 합금의 마찰용접 특성에 대해 고찰하고 기계적 강도를 향상시키는 용접조건을 선정하여, 극저온용, 원자력 분야, 인쇄용 Copy roller 등⁵⁾에 적용시킴에 있다.

2. 실험재료 및 실험기기

2.1 실험재료

본 실험에 사용된 재료는 STS304 오오스테나이트 스테인리스강과 Al-Si-Mg계열의 합금인 A6351이다. 두 재료 모두 직경 20mm, 길이 100mm의 환봉형태로서 용접 이전에 모든 시험편의 용접면을 선삭가공하였고, 기름과 같은 이물질의 영향을 배제하기 위하여 용접면을 아세톤으로 세척하였다. 이들 재료의 화학조성과 기계적 성질을 Table 1,2에 각각 나타내었다.

Table 1. Chemical Composition of Materials (%)

Material	C	Cr	Ni	Mn	P	S	Si	Mg	Cu	Zn	Fe	Al
STS304	0.08	18.7	9.2	2.1	0.04	0.03	0.9	-	-	-	Bal.	-
A6351	-	-	-	0.57	-	-	0.91	0.69	0.48	0.13	0.16	Bal.

Table 2. Mechanical Properties of Materials

Material	Tensile strength σ_t (MPa)	Yield strength σ_v (MPa)	Vickers hardness (Hv)
STS304	690	407	281
A6351	216	158	65

2.2 실험기기

본 실험에서 사용한 마찰용접기는 NSF-30H의 브레이크 타입(Brake type)으로서 회전축과 고정축, 업셋압력이 작용하기 이전에 회전을 급정지시키기 위한 브레이크 장치, 가압력을 얻기 위한 유압장치 등으로 구성되어 있다.

마찰용접부의 인장시험은 인장시험기(Model : INSTRON, UK)로 하였으며, 인장시험편은 Yashan 등³⁾이 사용했던 방법과 같이 용접경계면에서 멀리 떨어진 알루미늄 모재에서 파단이 일

어나는 것을 방지하고, 접합면에 인접한 AI의 소성변형을 제한하여 정확한 인장강도를 얻어내도록 설계하였다.

경도시험은 마이크로비커스 경도시험기(Model : MVK-H1, Mitutoyo, Japan)로 하였으며, STS304 측은 하중 300g으로, A6351 측은 하중 100g으로 측정하였다. 측정위치는 용접시험편의 중심의 원주의 중간(R/2)이었으며, 용접계면에 수직인 방향이었다.

2.3 실험방법

본 실험에서는 용접부의 강도를 향상시키기 위하여 최적조건을 찾을 수 있는 시간규제법을 사용하였다. 예비실험을 통해서 적정한 용접조건을 선정하고, Table 3에서 보여주는 바와 같이 마찰시간 t_1 을 0.5초에서 2.5초까지 0.5초 간격으로 변화시키고, 또한 업셋압력 P_2 를 25MPa에서 150MPa까지 25MPa 간격으로 증가시키면서 회전수 2000rpm에서 마찰용접을 실시하였다. 회전축에는 스테인리스강을, 고정축에는 알루미늄 합금을 물리고, 양 척으로부터 돌출된 재료들의 길이는 30mm가 되도록 하였다.

Table 3. Friction Welding Conditions

Items	Conditions	Items	Conditions
Friction pressure P_1 (MPa)	25	Upset pressure P_2 (MPa)	25~150
Friction time t_1 (sec)	0.5~2.5	Upset time t_2 (sec)	3

3. 실험결과 및 고찰

3.1 접합면의 형상

업셋압력의 변화에 따른 접합면 부근의 플래시의 형상을 비교한 결과, 업셋압력이 증가함에 따라 플래시의 양이 급격히 증가하였다. 용접 시험편을 부식한 결과 알루미늄 측에서 중앙의 일부분을 제외하고는 볼록렌즈형(중심부가 볼록한 형태)의 열영향부가 형성되었으며, 업셋압력이 증가함에 따라 열영향부가 플래시로 배출되어 폭이 얇아지고 균일하게 분포되었다.

3.2 마찰용접부의 인장시험

Fig. 1 은 업셋압력을 25MPa에서 150MPa까지 증가시키면서 마찰용접 후에 업셋압력과 인장강도와의 관계를 나타낸 것이다. 또한, 마찰시간은 각각의 업셋압력에 대해 0.5초에서 2.5초까지 변화시켰다.

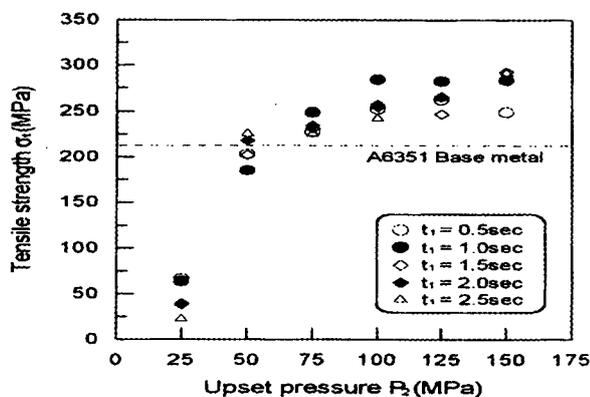


Fig. 1 Tensile Strength of STS304-AI 6351 Weld Interface

그림에서 알 수 있는 것처럼 접합부의 인장강도가 업셋압력의 증가와 더불어 증가하다가 업셋 압력이 100MPa 이상에서는 증가 폭이 둔화되었다. 특히, 업셋압력이 75MPa 이상인 경우에는 적용된 마찰시간에 관계 없이 접합부의 인장강도가 A6351 모재(216MPa)를 능가하였다. 마찰시간 1.0초, 업셋압력이 100MPa 이상인 조건에서는 접합부의 인장강도가 A6351 모재 인장강도의 약 130% 수준이었다. 또한, 접합부의 인장강도가 A6351 모재의 인장강도를 능가했던 모든 시험편들은 인장시험 후 접합면에서 균열(Crack)이 발생되지 않았다.

스테인리스강과 알루미늄 합금은 용융점의 차이가 매우 크고, Potapov 등⁶⁾에 의하면 접합부의 온도는 일반적으로 두 재료 중 연한 재료의 용융점 온도 이하이므로 마찰열에 의해 스테인리스강이 변형되기는 어렵다. Chernenco 등³⁾에 의한 강과 알루미늄의 마찰용접에 관한 연구에서는 접합을 용이하게 하기 위해 취성의 금속간 화합물의 생성을 방지하거나 줄이기 위한 단시간 내의 용접과 강의 표면이 최소한의 미소체적 정도는 변형이 되어야 함을 보여주고 있다.

따라서 스테인리스강과 알루미늄 합금의 마찰용접 과정 중 업셋압력의 증가는 그 온도에서 스테인리스강 표면을 미소하게 변형시켜 소성유동과 함께 물리적 접촉을 활발하게 하여 금속간 확산을 용이하게 하기 때문으로 생각된다.

3.2 접합부 부근의 경도분포

Fig. 2는 마찰시간 1.0초, 업셋압력 150MPa인 조건으로 마찰용접한 시험편의 중심축으로부터 원주방향으로 R/2만큼 떨어진 위치에서 접합부를 가로질러 측정된 경도를 나타내고 있다.

알루미늄 모재(Hv65)와 비교할 때, 알루미늄 열영향부의 경도는 접합면쪽으로 갈수록 상승하여 Hv90까지 경도가 증가하였다. 또한 스테인리스강 측의 접합면에 인접한 곳에서도 모재 경도(Hv281)보다 훨씬 높은 경도(Hv388)를 나타내었다. 접합면에 인접한 알루미늄에서 경도가 증가하는 것은 높은 업셋압력에 의한 재료의 열간단조 효과로 생각되며, 스테인리스강은 가공경화성이 크기 때문에 용접계면에 인접한 영역에서 경도가 예리하게 상승되었음을 알 수 있다.

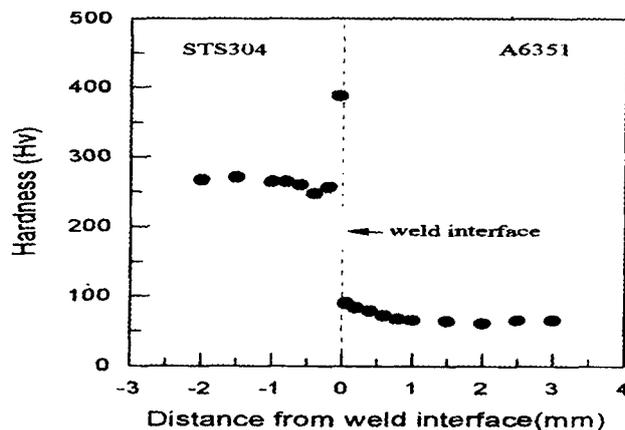


Fig. 2 Hardness Distribution in Weld Interface

3.3 현미경 금속조직

Photo 1은 마찰시간 1.0초, 업셋압력 100MPa인 조건으로 마찰용접한 STS304/A6351 현미경 조직(200배율)이다. 이 사진에서 알 수 있는 바와 같이 용접계면을 중심으로 조직이 미세화된 현상을 관찰할 수 있으며, 용점이 훨씬 높고, 경한 STS304는 소성변형이 일어난 영역의 폭이 50 μ m 정도로 A6351측보다 훨씬 좁다. 특히 A6361의 소성변형은 스테인리스강보다 용이하기 때문에 광범위한 영역에 걸쳐 변형이 이루어졌다.

한편, 이종재의 마찰용접에서 자주 발생되는 혼합층(Mixed layer)은 본 연구의 범위 내에서 발견되지 않았다.

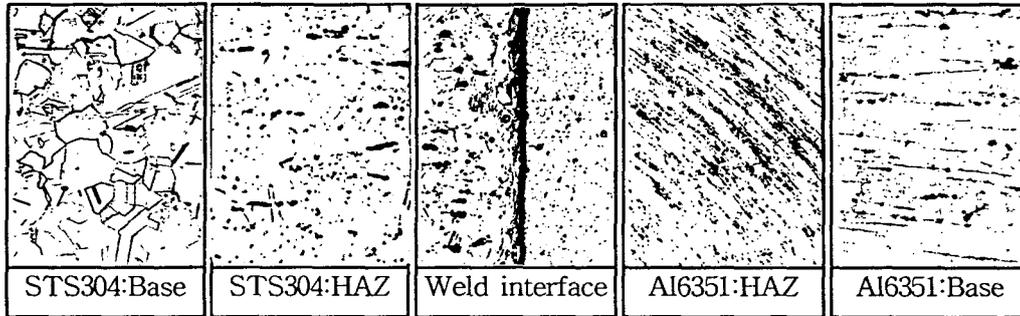


Photo 1 Macrostructures of STS304-Al 6351 Weld Interface ×200

4. 결 론

본 연구에서는 STS304 스테인리스강과 알루미늄 합금(AI6351)을 마찰용접하여 접합부의 기계적 특성을 고찰하였으며, 주요 결론은 다음과 같다.

1. STS304-AI6351 접합부의 최고 인장강도는 업셋압력에 비례하여 증가하였으며, 업셋압력 75MPa 이상에서는 접합부의 인장강도가 모재의 인장강도보다 매우 높았다. 또한 업셋압력 150MPa에서는 인장강도가 293MPa로 최고치에 달했다.
3. 실험에 사용된 두 재료는 모두 접합면 부근에서 경도가 가장 높았는데, 접합면에 인접한 스테인리스강에서 경도의 예리한 상승은 미소체적의 변형과 접합강도와의 상관성을 잘보여주고 있다.
4. STS304-AI6351 마찰용접부의 현미경 조직은 두 재료 모두 용접계면 근처에서 미세화된 현상을 관찰할 수 있으며, 혼합층은 형성되지 않았다.

참 고 문 헌

1. D. E. Spindler, "What Industry Needs to Know about Friction Welding", *Welding Journal*, March, pp. 37-42, 1994.
2. Yashan D., Tsang S., Johns W. L. and Doughty M. W., "Inertia Friction Welding of 1100 Aluminum to Type 316 Stainless Steel", *Welding Journal*, pp. 27-37, August, 1987.
3. I. A. Chernenco, "Friction welding AD1 aluminium to 12Kh18N10T steel", *Welding International*, No. 7, pp. 586-590, 1989.
4. K Ogawa, H Ochi, Y Yamamoto, M Habe, T Iwamoto, Y Suga : Friction welding of 2017 aluminium alloy and S45C carbon steel using an insert, *Welding International*, Vol. 8, No. 6, 1994, pp. 445-451
5. 박화순, 김우열, 강정운, "강/비철금속 이종금속 간의 용접 및 접합", *대한용접학회지*, 第14卷, 第6號, 1996.
6. Yu. D. Potapov et al., "Scope for Temperature Regulation in the Friction Welding of Dissimilar Materials", *Svar. Proiz.*, No. 2, pp. 1-3, 1971.