

철계합금의 마찰교반 접합에 관한 기초적 연구

Fundamental Study on Friction Stir Welding of Steel

김홍주, 조현진, 장웅성
포항산업과학연구원(RIST) 용접센터

ABSTRACT *The metallurgical and mechanical properties of friction stir welded 304 austenitic stainless steel and AISI 1018 steel for fundamental study. Single-pass bead on plate weldments in the two steels were successfully achieved. The joints were evaluated by microscopy and hardness tests of the transverse cross section and transverse tensile tests.*

1. 서 론

마찰교반접합(Friction Stir Welding; FSW)에 1991년 TWI에 의해 개발되어진 새로운 기술이다.¹⁾ FSW는 비소모성 툴(tool)이 모재(substrate)에 접촉 회전하여 마찰열과 소성변형을 발생시켜 접합하는 접합방법으로, 접합재료의 용융이 일어나지 않으므로 고상접합에 분류되며 접합부의 우수한 특성을 얻을 수 있으며, 비철합금 및 철계합금까지 접합이 가능한 접합방법으로 알려져 있다. 특히 이 접합방법은 접합 특성상 용접 흠(fume) 및 유해 가스 등이 발생하지 않아서 친환경적이고, 다른 접합방법에 비해 간단한 접합 프로세스(process)를 가지고 있기에 특별한 기술을 필요로 하지 않는 등 많은 장점을 가지고 있다.^{2,3)}

현재의 FSW 기술에 대한 연구들은 Al 및 Mg 합금과 같은 저융점 재료들이 주류를 이루고 있고 수송기계 산업에서 Al 구조체에 실제로 적용되고 있는 실정이다. 최근에는 이러한 성공사례들을 바탕으로 고융점 재료에의 적용을 위한 연구가 진행되고 있다. FSW를 고융점 재료, 특히 철계합금에 적용 가능성에 관한 연구결과가 몇몇 발표되기 하였다. 이 연구결과들에 따르면 FSW를 강재에 적용 시 기존의 용융용접에 비해 미세한 결정립의 형성, 낮은 변형, 그리고 편석 등을 방지할 수 있는 이점이 있다고 알려져 있다.^{4,5)}

하지만 국내의 경우는 저융점 재료에 관한 연구는 이루어지고 있으나 이러한 고융점 재료, 특히 철계합금에 관한 연구가 전무한 실정이다. 따

라서 본 연구에서는 PCBN(Polycrystalline cubic boron nitride) 접합용 툴을 이용하여 304 스테인리스 강에 FSW 접합방법을 적용하기 위한 기초 연구를 실시하고자 하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

본 연구에서는 2mm 두께의 304 스테인리스 강판과 AISI 1018 저탄소 강판을 사용하였고 이 소재의 합금 조성 및 기계적 특성을 Table 1에 각각 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of STS 304 and AISI 1018

Chemical composition (weight)(%)								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Fe
STS 304	0.08	1.8	0.6	18	8	0.03	0.01	bal.
AISI 1018	0.16	0.7	-	-	-	0.015	0.01	bal.
Mechanical properties								
	Tensile Strength(MPa)		Elongation(%)		Yield Strength(MPa)			
STS 304	725		50		415			
AISI 1018	415		20		310			

본 실험에 사용된 툴은 상대적으로 간단한 형상을 지닌 PCBN으로 특수 제작된 툴을 사용하였다.⁶⁾ 접합은 두 판을 맞댄 후 전용 FSW 접합기기를 이용하여 회전속도 500rpm, 툴 이송속도 50mm/min의 변수에서 실시하였다. 접합 시 툴

주변에 보호가스 장막을 통해 Ar 가스를 주입해 접합 시 표면의 산화를 방지하였다.

마찰교반접합 후 접합부 조직을 관찰하기 위해 접합한 소재를 절단하여 마운팅 후 연마하여 STS 304의 경우 10% 옥살산(oxalic acid) + 90% 증류수(water)의 에칭액을 이용하여 30V의 전압으로 1분간 전해에칭을 실시하였고 AISI 1018의 경우 3% Natal 에칭액을 사용하여 에칭 후 광학현미경(OM)을 이용하여 관찰하였다. 또한 Image Analyzer를 사용하여 접합부의 결정립 크기를 측정하였으며, SEM/EDAX를 사용하여 고배율 사진 및 화합물 등을 관찰하였다.

기계적 특성을 평가하기 위해 비커스 경도기를 사용하여 (5kgf, 12sec) 접합부 중심에서 경도분포를 측정하였고, 5ton 인장/피로 시험기를 사용하여 인장시험을 실시하였다.

3. 실험 결과

3.1 접합부 조직관찰

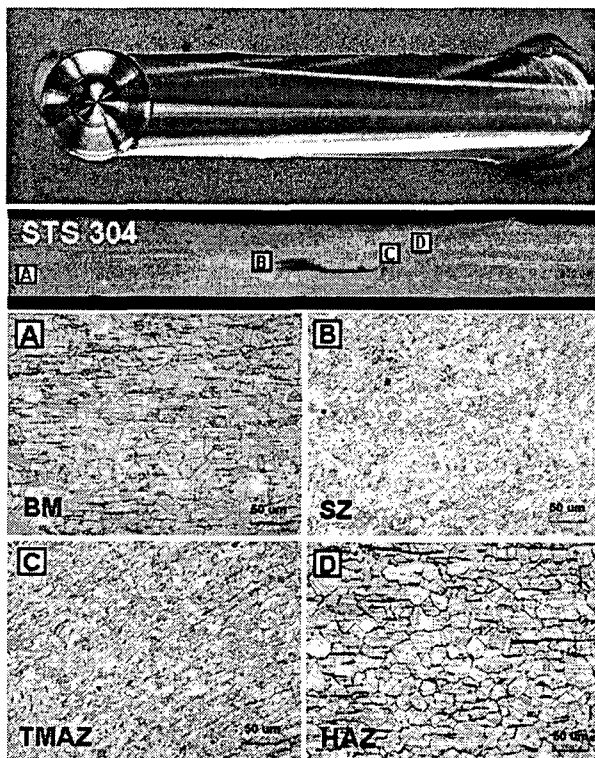


Fig. 1 Transverse section of FS weld in STS 304

Fig. 1과 Fig. 2는 각각 마찰교반 용접된 STS 304와 AISI 1018 강 접합부의 단면사진을 나타낸 것이다. 두 강종 모두 접합부 내에 결함이 존재하지 않는 건전한 접합부를 형성하였다. 하지

만 STS 304의 접합부에서는 onion ring이 관찰되었으나, AISI 1018의 경우에는 관찰되지 않았다. 또한 STS 304의 경우 SZ내에 검게 에칭된 부분이 발견되었으며, 이는 오스테나이트 입계를 따라 분산되어 있는 매우 미세한 페라이트 결정립으로 알려져 있다.⁷⁾

접합부의 미세조직은 일반적인 FSW 접합부에서 나타나는 기계적인 교반에 의해 동적 재결정이 발생하는 것으로 알려져 있는 SZ(stir zone)에서 미세해진 결정립을 관찰할 수 있었다. 또한 열 및 기계적인 영향을 동시에 받는 부분인 TMAZ(Thermo-mechanical affected zone) 조직 역시 연신되어진 조직을 지니고 있었다. 이는 접합 시 톨의 회전에 의한 기계적인 영향에 의해 일어나는 것으로 알려져 있다. 열영향을 받는 HAZ(Heat affected zone) 부분에서는 열영향에 의해 과도하게 결정립이 조대해지는 것들은 발견되지 않았다.

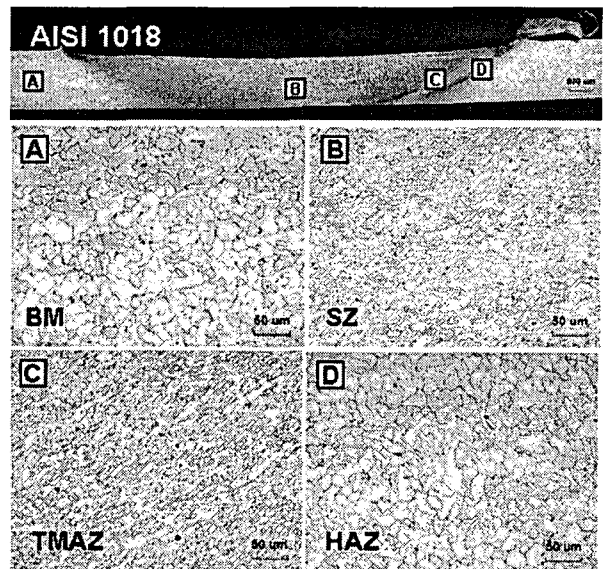


Fig. 2 Transverse section of FS weld in AISI 1018 steel

3.1 접합부 기계적 특성

Fig. 3은 두 강종의 접합부 중심에서 측정된 경도분포이다. 두 강종 모두 SZ와 TMAZ 부분에서 일부 경도값이 상승하나 거의 모재와 평행한 경도분포를 나타내었다. 이는 SZ에서의 동적 재결정에 의한 결정립 미세화와 TMAZ에서의 기계적인 변형에 의한 가공경화가 원인인 것으로 판단된다. 특히 304 스테인리스 강의 경우 접합

부 중앙부분에서 경도가 상승하는 것은 앞서 언급하였던 매우 미세한 페라이트 조직으로 상승하는 것으로 판단된다. 열영향부에서는 흔히 비철 합금의 FSW 접합부에서 나타나는 연화는 발견

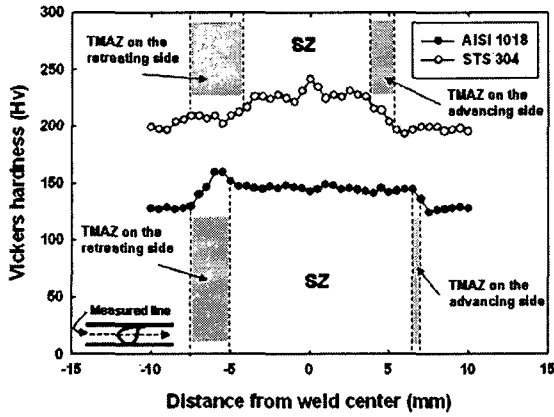


Fig. 3 Vickers hardness distribution as a function of distance from weld center in STS 304 and AISI 1018 steel

되지 않았다.

Fig. 4는 마찰교반 접합되어진 시편의 인장시험 결과를 나타낸 것이다. 인장시험 결과 인장강도는 모재와 거의 유사한 정도의 강도를 보였으나, 연신율이 일부 하강하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

철계 합금인 STS 304와 AISI 1018 강에 FSW를 적용해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 마찰교반 접합된 STS 304와 AISI 1018 강 모두 결함이 없는 건전한 접합부를 형성하고 있었다.
- 2) 두 강종 모두 교반에 의해 Stir zone에서는 모재에 비해 미세한 결정립을 지니고 있었다.
- 3) 경도분포는 두 강종 모두 모재 경도와 거의 평행한 분포를 지녔으나, SZ과 TMAZ에서 일부 상승하였으며 HAZ부의 연화는 발견되지 않았다.
- 4) 접합부의 인장시험 결과 인장특성은 모재와 거의 유사한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. W.M. Thomas, et al. : International Patent

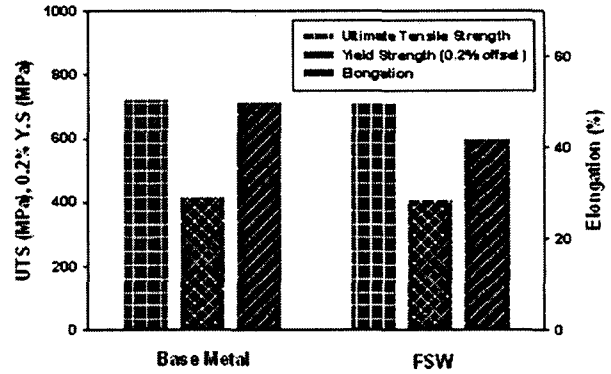
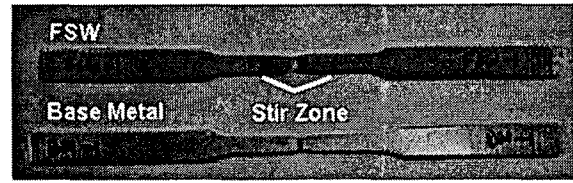


Fig. 4 Tensile properties of FSW weld in 304 steel and fractured tensile specimens of FSW weld in 304 steel and the base metal

Application No. PCT/GB92/02203 and GB Application No. 9125978.8

2. J.E. Gould, Z. Feng, and P. Ditzel : Preliminary Modelling of the Friction Stir Welding Process, Processing of ICAWT, EWI, Columbus, Ohio, pp. 297-310
3. H.S. Kong and M.F. Ashby : Friction heating maps and their applications, MRS bulletin 16(10), pp. 41-48
4. W.M. Thomas, P.L. Threadgill, and E.D. Nicholas : Feasible of Friction Stir Welding Steel, Science and Technology of Welding and Joining, 4(6), 1999, pp. 365-372
5. T.J. Lienert, W.L. Stellwag, Jr., B.B. Grimmett, and R.W. Warke : Friction Stir Welding Studies on Mild Steel, Welding Journal, 82(1), 2003, pp. 1S-9S
6. C.D. Sorensen, T.W. Nelson, and S.M. Packer : Tool Material Testing for FSW of High-Temperature Alloys, Proceeding of the 3rd International Symposium on Friction Stir Welding, Kobe, Japan, 2001
7. H. Kokawa, S.H.C. Park, Y.S. Sato, K. Okamoto, S. Hirano, M. Inagaki : Microstructures in Friction Stir Welded 304 Austenitic Stainless Steel, Welding in the World, 49(3/4), 2005, pp. 34-40