SS400 마찰교반접합부의 미세조직과 기계적 특성

Microstructure and mechanical properties of friction stir welds using SS400

*이광진[1], 김상혁[1,2], 우기도[2]

*K. J. Lee(kjlee@kitech.re.kr)[1], S. H. Kim[1,2] , K.D.Woo[2]

[1]한국생산기술연구원 친환경부품소재센터, [2]전북대학교 금속공학과

Key words : FSW, SS400, welding, mechanical properties

1. 서론

1991년 영국의 TWI (The Welding Institute)에 의해 개발된 마찰교반접합(Friction Stir Welding)은 Probe와 Shoulder로 구성되는 Tool을 고속으로 회전시키면서 용접하고자 하는 재료에 삽입하여 재료의 Tabla면과 내부에서 발생하는 마찰열을 이용하여 접합부를 연화함과 동시에 고온 소성 유동을 일으켜 tool의 좌우에 배치된 재료의 일부를 상호간에 맞은편 영역에 교반 혼입시켜 접합을 실현하는 고상접합 방법이다[1-2]. 이 접합 방법은 기존의 용융용접 방법들과 달리 발열이 최소한으로 억제되어, 접합 후 열에 의한 변형이 현저히 감소할 뿐 아니라, 접합 후의 결함도 거의 발생하지 않으며, 강력한 소성 변형에 의해 접합부 조직이 모재보다 미세화 하는 등의 이점이 많아 개발된 지 십 수 년 밖에 지나지 않았음에도 불구하고, 이미 알루미늄 합금을 적용한 자동차, 철도 차량, 선박 및 항공 우주 분야 등의 구조용 부품에 적용되고 있으며, 최근에는 구조용 연강, 고장력강, 타이타늄 및 초합금 등의 고온재료에 까지 그 적용을 확대하기 위한 연구가 진행되고 있다. 하지만 고온재료인 강이나 Ti에 적용하기 위해서는 높은 강도, 경도, 인성, 내마모성 및 비반응성 등의 고성능이 요구되는 tool이 필요하다. 하지만 현재 고온용 마찰교반접합용 tool로 널리 사용되고 있는 Megastir Technolgy사의 PCBN소결재를 사용한 tool의 경우 고가이며 수명 대비 경제성이 낮은 편이기 때문에 대체재의 개발이 시급한 실정이다.[3]

이와 같은 대체제의 개발을 위하여 SPS공정을 통하여 WC besed tool을 제조하였으며 저가형 고온재료용 마찰교반접합 tool을 개발하였다. 이에 본 연구는 제조된 tool을 이용하여 널리 사용되고 있는 구조용 강판인 SS400을 이용하여 마찰교반접합을 실시하였으며 tool의 수명과 각 접합거리에 따른 기계적 성질을 평가하고 미세조직을 관찰하였다.

2. 실험과정

개발된 tool의 수명을 안정적으로 평가하기 위하여 BOP(Bead on Plate) 방식으로 마찰교반접합을 실시하였다. 그리고 마찰교반접합 공정의 주요 인자는 마찰열의 발생과 재료의 소성유동에 직접적으로 영향을 끼치는 tool의 회전속도(Tool Rotation Speed, RPM), 진행속도(Tool Travel Speed, mm/min)로 설정하였으며, tool의 삽입깊이(Plunge Depth, mm)는 1.6mm로, tool의 틸팅각(Tilting angle)은 3° 로 고정하였다. 공정 범위는 tool의 회전속도를 400～600RPM, tool의 진행속도를 180～600mm/min로 하였다.

각 공정 조건에서 마찰교반접합을 실시한 시험편의 비드형상 및 미세조직의 관찰에는 각각 실체현미경과 광학현미경(OM, Nikon Epihot 200)을 사용하였으며, 접합부의 각 영역에 대한 정밀한 관찰을 위하여 전계방사형주사전자현미경(FE-SEM,JEOL JSM-700F 30KV)을 사용하였다. 접합부 경도 측정에는 마이크로비커스 경도계(Mithutoyo, AAV-502) 를 사용하였으며, 접합부 인장강도의 측정은 상온에서 크로스헤드 속도 1mm/min의 속도로 인장시험기(SHIMADZU, AG-IS, 5ton)를 사용하여 인장시험을 실시하였다.

3. 결과

각 시험편에 대한 외관 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 모든 시험편에서 Tunnel 결함과 같은 매크로 결함은 발견되지 않았으며, 접합거리에 관계없이 거의 유사한 양상을 나타내었다. 다만, 시험편에 따라 Advancing side에서 Burr가 관찰되었으나, 이는 시험편의 국부적인 변형에 기인하는 것으로 tool 수명의 평가에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단되었다.Fig. 2는 각 마찰교반접합 시험편에

대한 접합부 경도분포를 나타낸 것이다. SZ와 TMAZ 등 접합부의 경도가 모재보다 높은 것으로 확인되었으며, 특히 SZ의 경도는 170HV 수준으로 모재대비 약 60HV 이상 상승한 결과를 나타내었다. 이러한 경도의 상승은 결정립의 미세화와 A3변태점 이상으로 가열되었다가 대기에 의한 급냉 과정을 거치면서 강화상이 마르텐사이트가 형성된 것으로 사료된다. Fig. 3는 인장강도의 결과를 보여주고 있으며 모든 시편은 모재에서 파단이 발생하였다. 이와 같은 결과로 보아 접합에 의한 기계적 성질의 저하는 발견되지 않았다.

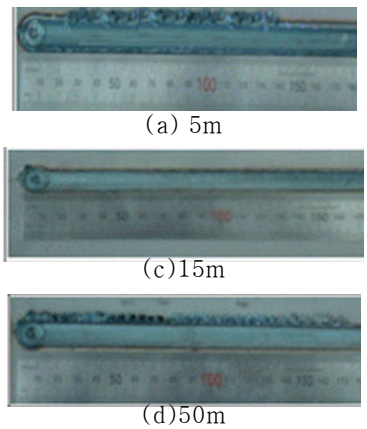

Fig.1 Bead appearance of each welding distances.

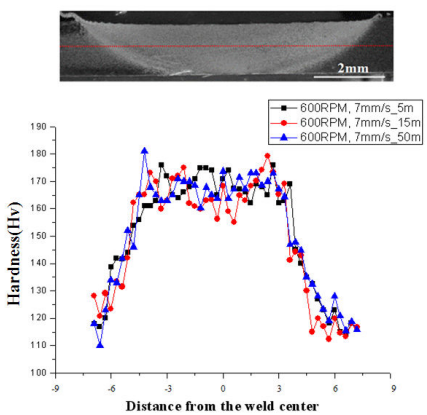

Fig. 2 The hardness profiles of BM-welding Zone of joints.

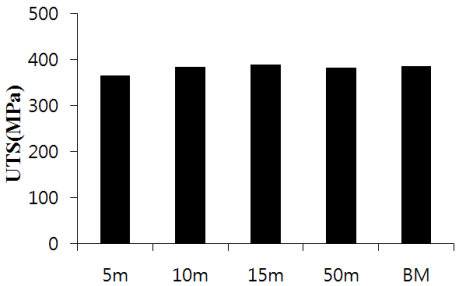

Fig. 3 The UTS pursuant to welding distance.

4. 결론

회전속도 600RPM, 접합속도 420mm/min 접합조건에서 50m까지 용접부에서 모재보다 높은 경도 값의 분포와 측정한 모든 시편이 모재의 인장강도와 동등한 인장강도를 가지고 있는 것으로 보아 접합이 성공적으로 이루어 졌다는 것을 알 수 있었다. 제작된 WC besed tool은 mild steel이나 mild steel과 유사한 기계적 성질을 가지는 재료에 적용이 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Y.D. Chung, H.Fujii, R.Ueji, N, Tsuji, "Friction stir welding of high carbon steel with excellent thughness and ductility", Scripta materilia, **63**, 223-226, 2010
2. H.H. Cho, S.H. Kang, S.H. Kim, K.H. Oh, H.J. Kim, W.S. Chang, H.N. Han, "Microstructural evolution in Friction stir welding of high-strength linepipe steel", Materals and Design, **34**, 258-267, 2012
3. Yasuyuki Miyano, Hidetoshi Fujii, Yufeng Sun, Yasuyuki Katada, Shuji Kureda, Osamu Kamiya, "Mechnical properties of friction stir welds of high nitrogen-containing austenitic stainless steel", Mat. Sci. Eng .A, **528**, 2917-2921, 2011