

초변형 전단 접합부의 미세조직 및 성능 Microstructural Evolution and Integrity of solid-state joints (Super-Deformation Joining)

이 종섭*, 이 종봉*, 김 기철**, K. Horii***

* POSCO 기술연구소

** RIST

*** Mitsubishi-Hitachi Metals Machinery Inc.

1. 서 론

연연속 압연이란 1980년대에 열연제품의 생산성 향상을 위하여 도입된 개념으로서 조압연(rough rolling)이 끝난 판재를 서로 접합하여 연속적으로 사상압연(finish rolling)하는 방법을 말한다. 연연속 압연의 장점으로서는 약 20% 정도의 생산성 향상, 제품의 size 정도 향상 및 다양화등을 들 수 있다.

조압연이 끝난 판재는 두께가 25 ~ 40mm 정도이며(sheet bar로 부름) roller table 상에서 50 ~ 70mpm 정도의 속도로 이동하기 때문에 이들을 접합하는 기술 개발의 관건은 여하히 이동중인 후물의 판재를 신뢰성있게 신속하게 접합하는가이다. 2003년 말 현재, 일본의 JFE(Chiba 3열연), NSC(Oita)는 연연속 압연을 실기화 적용 중이며 sheet bar 접합방법으로서 각각 용융접합법인 유도가열방식과 레이저 용접방식을 채택하고 있다.

연연속 압연기술을 구현하기 위하여 POSCO에서는 Int' l Welding Conference 2002에서 발표한 바와 같이 고상접합개념을 이용한 초변형전단방식이란 신기술을 개발하였으며 본 발표에서는 초변형 전단방식의 접합기구, 접합부의 미세조직적인 특성 및 기계적 성능에 대하여 소개하고자 한다.

2. 실험방법

시험에 이용한 재료는 일반강인 SS400과 오스테나이트계 스테인리스강인 STS304 이었으며 시험재의 화학조성은 Table 1과 같다. 접합 시험편의 size는 SS400이 28mm(T) x 450mm(W) x 325(L)이었으며 STS304는 27mm(T) x 200mm(W)

Table 1 Chemical composition of SS400 and STS 304

Type	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
SS400	0.21	0.15	0.54	170	30	0.01	0.05
304	0.05	0.49	1.11	270	10	18.4	8.27

P, S: ppm

x 325(L)이었다. 이 같은 시험편을 이용하여 시험편 가열 - scale 생성 - 부분 descaling - 중첩 - 접합 - crop 제거의 순으로 접합을 실시하였다(Fig. 1, 2). 접합된 시험편에서 채취된 시험편을 이용하여 미세조직 특성을 조사하였으며 접합부의 상온 및 고온 기계적 성능도 평가하였다

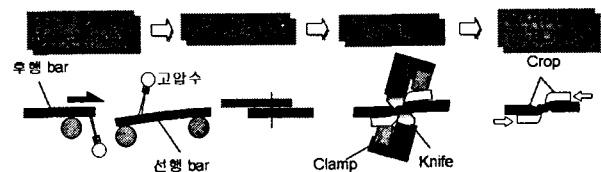


Fig.1 Super-deformation joining process

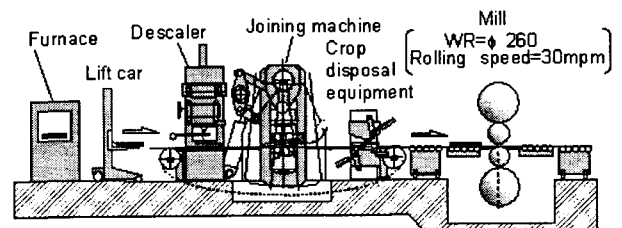


Fig. 2 Pilot plant joining equipment

3. 실험결과 및 고찰

3.1 접합기구

본 연구에서 개발된 초변형 전단 접합방식의 접합력은 knife의 절단력 중 접합면에 수직인 분력과 절단에 의해서 생성되는 scale-free 신생면간의 마찰력이다. 이 방식의 주된 접합기구가 확산 인지의 여부를 조사해보기 위하여 열처리 시간, 접합 후 인장시험시까지의 경과시간의 영향을 조사해 본 결과, 열처리 여부 및 조건변화가 접합 강도에는 감지할 만한 영향을 주지 않았다. 따라서 초변형 전단방식의 주 접합기구는 양 판재 신생면 표면의 원자들이 원자간 인력이 작용하는 지근거리로 접근하여 순간적으로 접합되는 atomic bonding으로 판단되었다.

3.2 접합부 조직

Fig. 3은 SS400과 STS304의 접합부 조직을 관찰한 사진이다. 두 강종 모두 접합부의 조직은 모재의 조직과 동일하였으며 (SS400: 페라이트 + 펄라이트 조직, STS304: 오스테나이트 입자조직) 접합선을 따라서 동적 재결정에 의해서 생성된 미세한 입자들이 관찰되고 있었다.

Fig. 4는 접합부에 혼입된 scale을 보여주는 사진으로서 탄소강에서는 국부적으로 두꺼운 scale이 혼입되어 있었으며 STS304에서는 얇고 긴 scale이 혼입되어 있는 양상을 보여주고 있었다. 이처럼 scale의 형태가 다르게 나타나는 것은 두 소재의 표면 scale 특성 차이에 기인하며 scale 혼입은 접합온도가 소재가 오스테나이트상을 나타내는 1000 ~ 1100℃ 정도의 고온이기 때

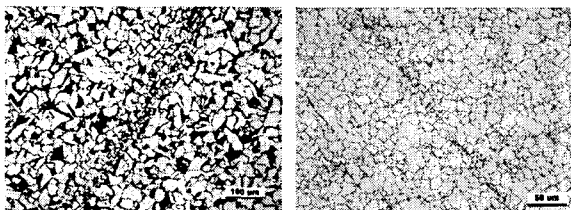


Fig. 3 Microstructures of SS400 (A) and STS304 (B) joint

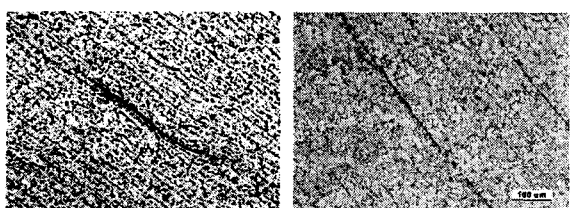


Fig. 4 Scale along SS400 (A) and STS304 (B) joint

문에 소재의 연성이 좋아 일어나게 되며 이 같은 scale 혼입이 접합강도를 저하시키게 된다.

3.3 기계적 성질

Fig. 5는 SS400강 접합부 강도를 평가한 결과이다. 접합부 강도는 edge부가 중앙부에 비해 다소 낮게 떨어지나 부위에 관계없이 350MPa 이상의 값을 보였으며 이음부 효율(접합부 강도/모재강도)로는 80 ~ 90%이었다. STS304는 65% ~ 80% 수준을 나타냈다.

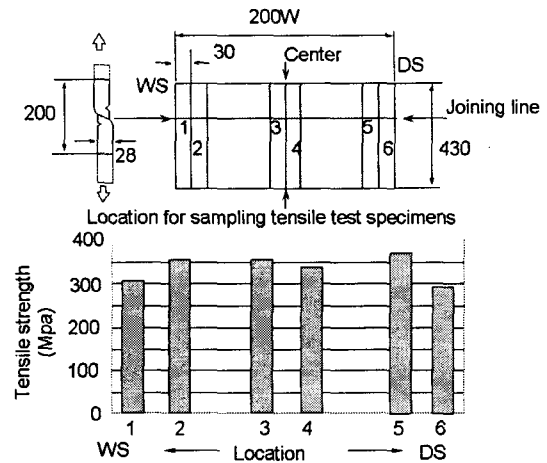


Fig. 5 Bonding strength of SS400 joint

Fig. 6은 압연에 의해서 생성되는 edge 균열의 성장거동을 조사한 결과이다. Edge 균열은 압연 schedule에 따라 다소 차이는 있지만 초기 3 pass까지는 급격하게 성장하지만 3 pass 이후에는 거의 포화하는 특성을 나타내고 있었다.

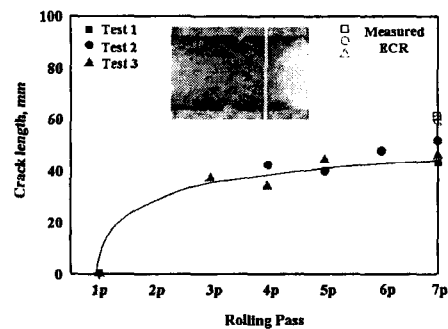


Fig. 6 Edge crack growth behavior of SS400 joint

이상의 결과에서 알 수 있듯이 접합재는 강종에 관계없이 중앙부에 비해 edge부의 접합강도가 다소 낮게 나타나고 있고 또 압연 시에는 edge부에 tension이 걸려 Fig 6에서와 같이 edge부에서 균열이 발생하기 때문에 edge부의 notch effect에 의해 접합부 조기 파단이 일어날 우려가 있다.

이 같은 edge부의 notch effect가 어느 정도인지를 조사해 보기 위하여 SS400에 비해 이음부 효율이 낮은 STS304를 대상으로 3,000ton 대형 인장시험기를 이용하여 notch effect를 조사하였다. 접합강도 평가는 전술한 바와 같이(Fig. 5) 폭 30mm의 시험편으로 절단해 인장강도를 평가하였으나 대형 인장시험에서는 접합재를 절단하지 않고 전폭 그대로를 시험편으로 이용하였다. Fig. 7은 시험결과이며 Table 2는 시험결과를 이용하여 NSR(Notch-strength ratio)을 계산한 결과이다. NSR은 as-joined재가 가장 작고 1 pass 압연재가 가장 컸으나 1 pass재의 NSR도 1.54로서 사상 압연시 판 파단 여부 예측 계산에서 판 파단의 우려가 없는 것으로 나타났다.

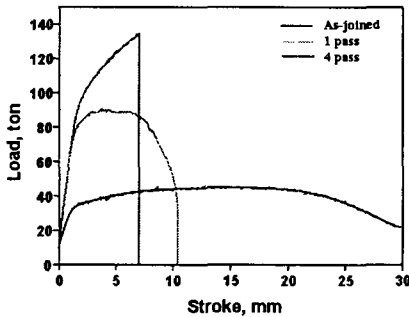


Fig. 7 Wide plate test results on STS304 joints

Table 2 Notch effects of hot rolled joints

Specimen	Max. Load, ton	Max. stress, MPa	BM strength, MPa	Notch Effect
As-joined	134.33	433	503	1.16
1 pass	89.8	326	503	1.54
4 pass	44.9	502	674	1.34

4. 요약

연연속 압연을 구현하기 위하여 후물의 판재를 절단함과 동시에 접합하는 신 개념의 고상접합법인 초변형 전단 접합법이 개발되었다. 개발방식의 접합기구는 두 판재 표면의 원자를 순간적으로 강 변형에 의해서 원자간 인력이 작용하는 지근거리로 가깝게 위치시킴으로서 접합이 일어나는 atomic bonding이다. 접합부의 조직은 모재와 동일하나 동적 재결정에 의해서 미세 입자들이 접합선을 따라서 생성되고 있었고 국부적으로 접합선을 따라 표면 scale이 혼입되어 있었으며 그 양상은 강종에 따라 다르게 나타났다.

접합부의 강도는 edge부가 다소 낮게 나타났으며 이음부 효율은 부위에 관계없이 SS400이 80 ~ 90%, STS304가 65 ~ 80%의 값을 나타내었고 edge부에 의한 NSR은 모든 조건에서 1.55 이하로 사상 압연 통판성에는 문제가 없음이 확인되었다.