

연연속 열간 압연을 위한 초변형 전단 접합방식의 접합기구 해석

Joining mechanism of super deformation shear joining method for endless hot strip rolling

강윤희*, 엄상호*, 이종섭*, 이종봉*, 공영배**, K.Horii***,

* POSCO 기술연구소

** POSCO 열연부

*** Mitsubishi-Hitachi Metals Machinery, Technical Developing Dept.

1. 서론

연연속 열간 압연은 소비자의 다양한 열연강판 요구 및 생산자의 생산원가 저감을 만족시키기 위하여 도입된 개념으로서 다듬질압연(finishing mill) 전단에서 선/후행 sheet bar를 접합하여 연속적으로 열간압연을 실시하고 권취기 전단에서 분할절단하여 권취하는 기술로 정의된다. 정의에서 알 수 있듯이 다듬질압연 전의 선행 bar 후단과 후행 bar 선단을 접합하는 기술은 연연속 열간 압연에서 가장 중요한 핵심 기술이다. 이와 같은 방법으로 bar를 연속해서 접합시켜 다듬질압연기에 공급함으로써 열간 압연의 연연속화가 이루어진다. 기존의 batch 압연과 비교하여 연연속 압연의 장점은 다음과 같다.

1. 제품 제조범위 확대: 박물화 및 광폭화
2. 제품품질 개선: 등속/등온 압연으로 두께, 폭, crown 등의 품질 균일성 및 정확성 향상
3. 생산성 향상: 압연 휴지시간 단축 및 가/감속 시간 단축
4. 수율 증가: Bar 전장에 대해 균일한 장력을 인가하여 박물재 및 난압연재 불량률 최소화
5. 에너지 절감: 가/감속 주기 감소

현재 일본의 JFE(지바제철소)와 NSC(오이다제철소)는 연연속 열간 압연을 실기화 적용 중이며 sheet bar 접합방법으로 각각 용융접합법인 유도 가열방식과 레이저용접방식을 채택하고 있다.

최근 POSCO와 MH사는 접합시간이 매우 짧은(1초이하) 초변형 전단 접합방식을 공동 개발하여 연연속 압연 실기화를 성공하였다. 이 접합방식은 앞서 언급한 유도가열, 레이저 등의 용융용접방식과 비교하여 제어 용이성, 적용강종 제

한성, 설비 간편성, 유지보수 용이성, 경제성 등의 관점에서 장점을 가지고 있으나, 고상접합의 한계인 접합강도가 낮다는 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 초변형 전단 접합기구를 분석하여 접합부 성능에 영향을 미치는 인자를 도출하였고 접합부 성능평가를 통하여 영향인자의 유의성을 검증하였다.

2. 초변형 전단 접합공정

2.1 공정의 구성

Fig.1은 초변형 전단 접합공정의 개략도를 나타낸 것으로, 부분 scale 제거공정, 중첩공정, 접합공정, crop 제거공정으로 크게 4단계로 나누어진다. 각 공정별 자세한 내용은 아래와 같다.

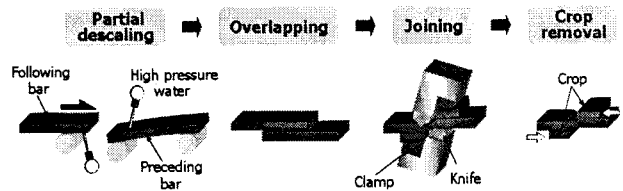


Fig.1 Super-deformation shear joining process

1. 부분 scale 제거공정: 접합부를 형성할 중첩면의 표면에 존재하는 scale을 고압수를 이용하여 제거하는 공정
2. 중첩공정: 후행 bar를 가속시켜 후행 bar 선단을 선행 bar 후단부 위쪽으로 겹치는 공정
3. 접합공정: 접합 knife가 중첩된 영역을 전단하면서 선행 bar와 후행 bar를 접합시키는 공정
4. Crop 제거공정: 전단접합과정에서 접합부 상/하부에 발생한 crop를 제거시키는 공정

Fig.2는 전단과 동시에 접합이 일어나는 공정을 나타낸 것이다. 접합 knife는 edge와 wedge로 구성되는데, 접합 knife의 edge는 중첩된 bar를 절단하는 역할을 하며, wedge는 clamp와 함께 접합에 충분한 접합력을 인가할 수 있도록 bar를 고정시키는 역할을 한다.

Fig.3은 접합부 측면 형상으로 선행재와 후행재간에 단차가 있으며 사선으로 접합되어 있음을 알 수 있다.

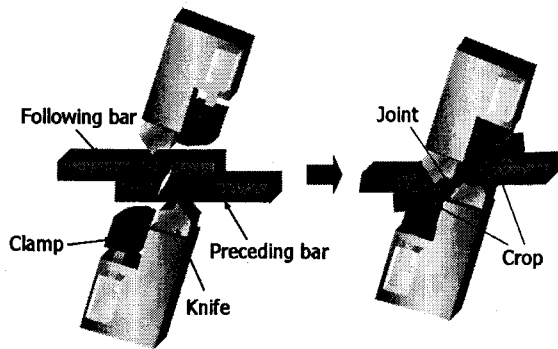


Fig.2 Schematic of joining by shearing

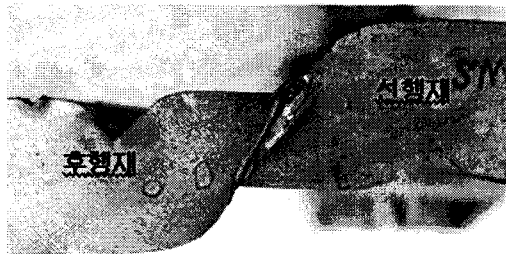


Fig.3 Side view of joint shape

2.2 접합기구

개발된 초변형 전단 접합방식은 고상접합의 일종으로 접합원리는 두 재료표면에 있는 금속원자를 원자간 인력이 작용하는 거리까지 접근시켜 접합시키는 atomic bonding이다.

고상접합의 주요접합기구는 표면변형기구, 계면구조 균일화기구, 확산기구 등으로 나뉘어진다. 개발된 초변형 전단 접합이 1000℃의 고온에서 1000%의 대변형을 일으키며 접합되기 때문에 이들 접합기구 중에서 표면변형기구와 계면구조 균일화기구가 초변형 전단 접합의 주요기구인 것으로 판단된다. 확산에 의한 접합 정도를 조사하기 위하여 열처리 시간, 접합후 인장시험까지의 경과시간의 영향을 분석해 본 결과, 열처리 여부 및 조건변화가 접합강도에 영향을 주지 않았다. 표면변형기구는 Fig.4와 같이 크게 5단계로

나누어 지는데, 접합전의 표면은 요철과 산화 scale층이 존재한다. 이러한 표면을 중첩시킨후 압력을 가하면 표면요철이 감소하고 더욱 가압시키면 모재는 수평방향으로 변형을 일으키는데 반해 상대적으로 연신이 낮은 scale은 파괴가 일어난다. 더 진행되면 파괴된 scale층이 점점 더 벌어지고 그 사이로 신생면이 압출되고, 결국 신생면끼리 접합이 이루어지게 된다. 접합이 이루어지면서 접합경계면이 형성되는데, 그 접합경계면은 전위밀도가 매우 높은 경계면이다. Fig.5의 금속유동(metal flow)사진으로도 알 수 있듯이 접합선에 엄청난 strain이 집중되어 있는 것을 볼 수 있으며, 여기에 고온효과가 더해져 접합직후 접합경계면에 바로 동적 재결정이 일어나서 접합경계면이 사라진다(계면구조 균일화기구). Fig.6에서 전위밀도가 높은 접합선을 따라서 동적 재결정에 의해 생성된 새로운 결정립과 국부적으로 혼입된 scale을 볼 수 있다.

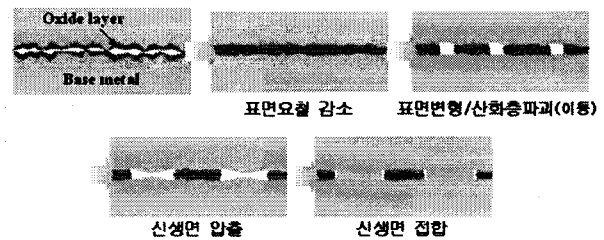


Fig.4 Schematic of surface deformation mechanism

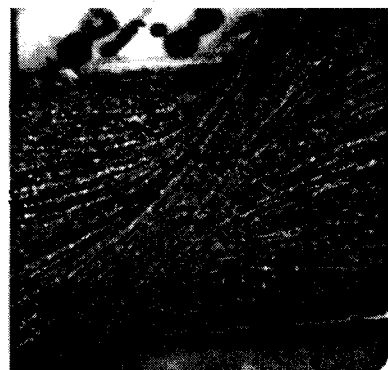


Fig.5 Metal flow of the joint

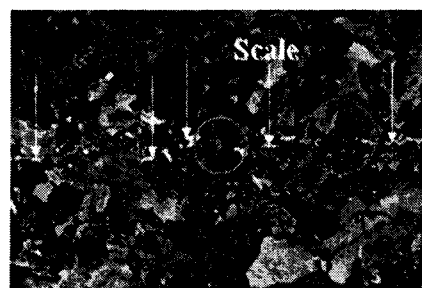


Fig.6 Microstructure of joint interface

이상을 정리하면, 상호 인력이 작용하는 원자의 수를 증가시키면 접합강도가 증가하므로 인력이 작용하는 원자의 수를 증가시키기 위해서는 접합계면에 큰 압력을 가해주면서 계면 사이에 존재하는 scale 등의 오염물질을 제거해야만 한다. 본 접합방식은 전단에 의해 scale-free한 신생면을 생성시키면서 동시에 그 면에 수직한 압력(접합면압)을 인가하여 신생면간 접합이 이루어 지도록 하는 방식이다. 또한 신생면사이의 마찰력은 접합계면을 국부적으로 승온시켜 접합을 가속시킨다.

3. 접합부 성능 영향인자

3.1 접합계면 scale

Fig.7은 접합계면에 혼입된 scale을 나타낸 것으로 이 경우는 scale이 매우 많이 혼입된 것을 볼 수 있으며, 그 양상은 접합조건 및 강중에 따라서 다르게 나타난다. Fig.8은 접합계면의 혼입된 scale율(=혼입scale길이/전체접합길이)과 접합강도의 관계를 나타낸 것으로 강한 음의 상관관계를 갖는다. 따라서, scale 혼입을 감소시키는 것이

접합부 성능 향상에 매우 중요하다.

3.2 접합면압

Fig.9는 접합과정 중 접합계면에 작용하는 수직면압의 변화를 나타낸 것으로, 접합이 진행되면서 계속 증가하여 접합종료 직전 포화되는 경향을 나타낸다. Fig.10은 접합면압과 접합강도의 관계를 나타낸 것으로 강한 양의 상관관계를 갖는 매우 중요한 인자임을 알 수 있다.

4. 결 론

개발된 초변형 전단 접합방식의 주요접합기구는 표면변형기구 및 계면구조 균일화기구이며, 확산기구의 영향은 미비한 것으로 판단되었다. 접합부 성능에 영향을 미치는 주요영향인자로는 접합계면에 혼입된 scale양과 계면에 수직한 접합면압인 것을 알 수 있었다.

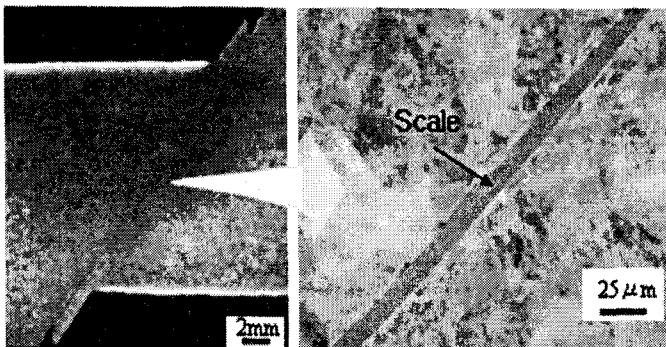


Fig.7 Scale inclusion in the joint interface

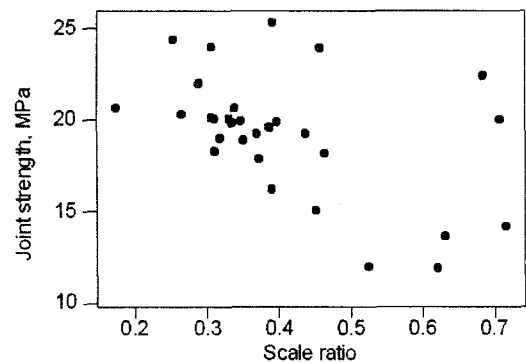


Fig.8 Scale ratio and joint strength(@950 °C)

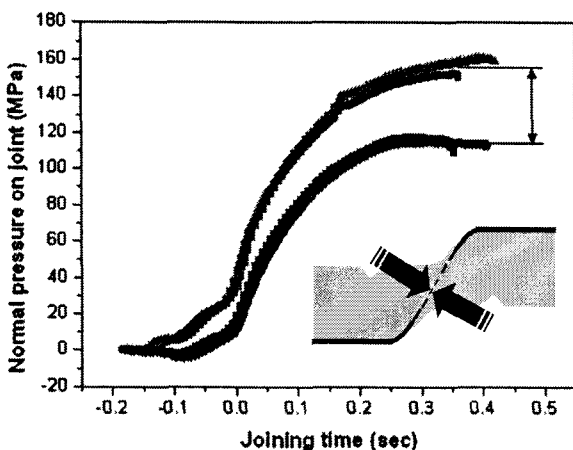


Fig.9 Variation of normal pressure on joint interface

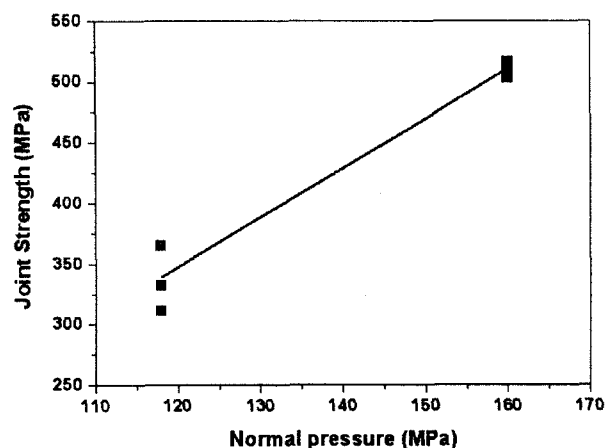


Fig.10 Normal pressure and joining strength(@room temp.)