

60 kg급 냉연강판의 Flash Butt 용접특성 연구

Characteristics of Flash Butt Welding of 60 kg High Strength Cold Steel Sheet

김동환, 박현철, 이용진
현대 하이스코 기술연구소

1. 서론

Flash Butt 용접은 비교적 큰 접합 단면적을 가진 부재를 저항가열 및 아크열로 압접하는 방법이다. 냉간압연 공정의 flash butt 용접은 라인의 연속성을 유지하기 위하여 라인 입측부에 코일과 코일을 연결하는 전단&용접기가 기본적 설비로 구성되어 있으며 용접과정은 예열과정, 플래쉬 과정, 업셋과정의 3단계로 구성된다. Flash butt 용접은 전·후 코일의 두께, 강종, 폭에 따라서 PLC 자동용접 및 반자동 용접을 실시하게 된다.

Flash butt 용접에 있어서 파단을 일으키게 하는 주요인으로 metal flow와 마주침 조건, 입열 조건 및 소재내 개재물에 의한 Hook crack 및 penetrator등이 있으며 본 고에서는 이러한 문제점을 바탕으로 60 kg급 냉연강판의 flash butt 용접특성에 대하여 연구를 수행하였다.

2. 시험편과 실험방법

2.1 시험편

본 연구에서 사용된 시험편은 인장강도 35 kg급과 인장강도 60 kg급 냉연강판의 flash butt 용접부분이었다. 재질 35R급과 60C 용접 테스트를 실시하였고 이때 사용된 코일의 dimension은 다음과 같다.

Table 1. 코일의 dimension

선행 Coil			후행 Coil		
강 종	두께 (mm)	폭 (mm)	강 종	두께 (mm)	폭 (mm)
35R	3.5	1220	60C	3.0	1220

또한 사용된 코일의 화학성분은 아래와 같다.

Table 2. 실험재료의 화학성분

구 분	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Ti	V	Al	N
35R	0.060	0.011	0.233	0.0065	0.0059	0.007	0.012	0.02	0.002	0.0035	0.038	0.0023
60C	0.073	0.008	1.55	0.0039	0.0042	0.016	0.011	0.02	0.0165	0.011	0.048	0.0019

2.2 시험방법

시험은 독일 Miebach 사의 2000KVA flash butt 용접기를 이용하였으며 이때의 용접조건은 다음과 같다.

Table 3. Flash butt 용접 조건

Upset speed	Upset pressure	Tap switch	Out Length	절단면 각도
4.77 mm/sec	49 bar	3단계 사용	18 (mm)	90° ~ 60°
5.96 mm/sec	98 bar			

시험 실시후 매 조건마다 용접부분의 미세조직 및 성분분석을 실시하여 용접특성을 평가하였다. 매크로 에칭방법은 피크릴산 4%를 사용하였다.

용접은 가압력 및 마주침 조건을 변화시키면서 테스트를 하였다.

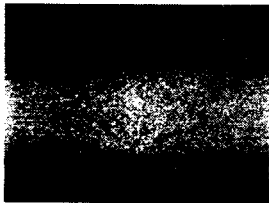
용접이 끝난 시험편은 용접부의 비드를 제거한 후에 절단하여 현미경 조직 관찰 및 EPMA로 성분분석을

실시하였고 특히 크랙이 발생한 부분을 집중적으로 조사하여 크랙의 원인이 되는 요인에 대하여 분석하였다.

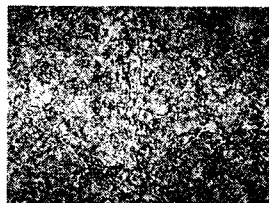
3. 실험결과 및 고찰

3.1 Bond부의 탈탄현상

Flash butt 용접에서는 사진 1-a 에서와 같이 용접 Bond부에 탈탄층이 존재하게 된다. 이 현상은 flash butt 용접시 flash가 끝나는 시점에서 양 edge면에 얇은 고용체(액상 및 고상)가 존재하게 되고 flash가 끝남과 동시에 가압되는 과정에서 액상은 비드로 빠져나가게 되고 고상만이 존재하여 접합하게 된다. 고상은 지렛대 법칙에 의하여 보다 적은 탄소량을 갖게 되는데 응고후 etching을 하게 되면 모재보다도 하얗게 보이게 된다. 백색 bond zone을 확대해 보면 조직의 결합이 아니라 견고한 접합면을 가지는 것을 볼 수 있으며 모재에 비하여 탄소가 적기 때문에 pearlite 변태시 탄화물이 상대적으로 적기 때문이라는 것을 쉽게 알 수 있다(사진 1-b). 이러한 탈탄층은 flash butt 용접부가 건전하게 형성되었을 때 나타나며 good weld의 기준이 된다. 이와 같은 조직의 존재는 인장강도, 굽힘강도 등에는 거의 영향이 없고 피로강도도 문제가 되지 않는다. 입열이 적은 경우는 사진 2-a에서 보여지는 바와 같으며 검은 라인을 확대해 보면 pearlite 탄화물이거나 크랙이 존재한다(사진 2-b). 이러한 검은 라인은 전기적 에너지 전달과정에서의 부적절에 기인한 용접조건과 특히 기계적으로 마주침 조건등이 개선되지 않을 시 쉽게 발생한다.

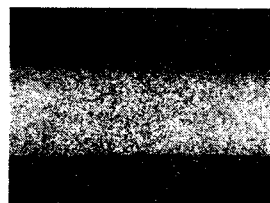


(a)

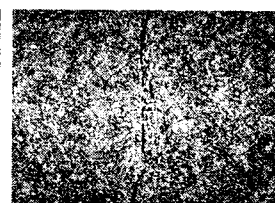


(b)

사진 1. Flash butt 용접부의 백색층



(a)

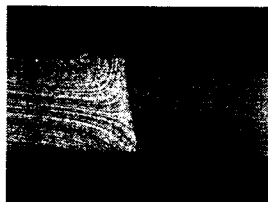


(b)

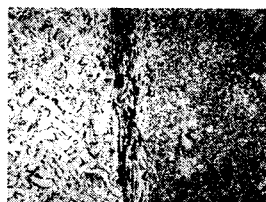
사진 2. Flash butt 용접부의 black line

3.2 마주침 조건의 영향

Flash butt 용접에서 가장 중요한 기계적 요소는 정교한 마주침에 있다. 마주침 조건은 전기적으로 아무리 정밀하게 control이 되어 있어도 전기적으로 불안정하게 만들어 궁극적으로 냉접으로 이끌기 쉽다. 사진 3-a와 사진 4-a에서 보는바와 같이 마주침 조건이 좋지 못한 경우 냉접상태를 보이고 있고 사진 3-b 및 사진 4-b에서 냉접부를 확대해 보면 pearlite 탄화물이 많이 존재하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 탄화물은 쉽게 압연과정에서 크랙으로 전파할 가능성이 높다. 또한 마주침 조건은 metal flow 각도를 크게 만들기 때문에 파단의 위험성은 그만큼 더 커지게 된다. 사진 4-c에서는 사진 4-b 부분을 SEM 확대사진분석과 그림 1과 같이 성분분석을 실시한 결과 기공성 및 일부산화물이 관찰되고 있다.

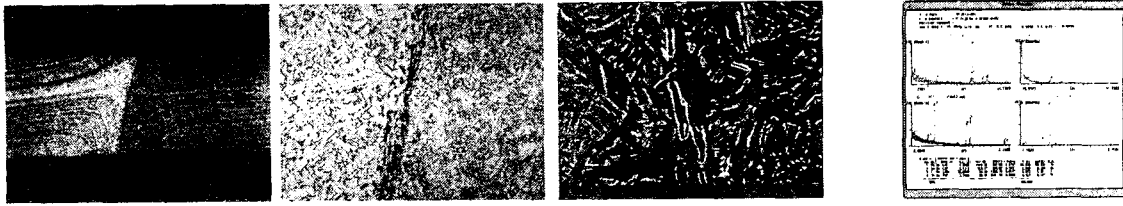


(a)



(b)

사진 3. 마주침 조건의 열악한 냉접부의 미세조직



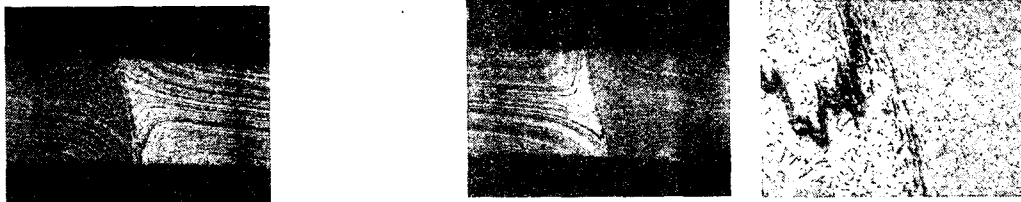
(a) (b) (c)
 사진 4. 마주침 조건이 열악한 냉접부의 미세조직

그림 1. Weld부 성분분석

3.3 Metal flow 및 개재물의 영향

대부분의 압접용접에서는 metal flow가 형성되게 된다. Metal flow는 압연조직중 pearlite band와 같이 층상으로 존재하는 조직들이 압접용접과정의 squeezing에 의해 외부로 노출되게 된다. Flash butt 용접 후 bead cut을 하게되고 역시 노출 metal flow의 일부가 절단됨으로서 그 부분에 개재물 여부와 관계하여 파단이 일어날 수 있는 요인이 된다. 사진 5의 경우 우하단부를 보면 metal flow를 따라 편석대가 나타나 있으며 이 편석대는 높은 metal flow 각도로 말미암아 외부로 노출된 것이 보인다. 비드를 제거하기 때문에 외부로 노출된 편석대는 쉽게 파단에 이르는 기점 역할을 한다.

사진 6의 경우 좌하부의 편석대는 metal flow 각도가 완만함으로 인하여 내부에 존재하고 있다.



(a) (b)

사진 5. Metal flow상에 나타난 편석대

사진 6. Metal flow상에 나타난 편석대

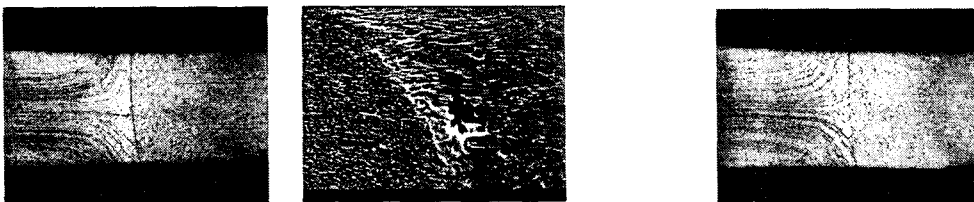
3.4 용접 크랙부의 관찰

3.4.1 크랙부 조사 위치

Flash butt 용접부 육안 관찰에 의하여 발견된 크랙부를 단면 macro test 실시하였고 크랙 발생위치 바로 앞 부분에서도 Macro test를 실시하여 그 영향을 파악하였다.

3.4.2 관찰결과

사진 7에서 보는 바와 같이 크랙 노출부 a는 Macro test 결과 냉접이 발견되었다. 일부 편석대의 노출이 보이긴 하였지만 직접적인 크랙의 원인을 냉접부의 존재와 접합계면의 취약으로 말미암은 크랙 발생이라 보여진다. 사진 7-b의 경우 크랙부를 SEM관찰한 것으로 크랙부를 따라 많은 기공이 형성된 것을 알수 있었다. 크랙 앞 부분에서 채취한 시편(사진 8)에서도 냉접현상을 보이고 있어 크랙으로 쉽게 전파될 수 있는 소지를 가지고 있다.



(a) (b)

사진 7. 크랙 노출부 미세조직

사진 8. 크랙 앞부분 미세조직

3.5 산세, 압연후 크랙 발생부의 관찰

3.5.1 크랙부 조사위치

사진 9는 산세 및 압연이 끝난 용접부의 사진이다. 비록 파단이 나지는 않았으나 좀 더 심한 경우 파단이 올수도 있었을 것이다. 크랙이 발생한 2번 및 3번에 대해 macro 사진 관찰하였고 크랙이 발생하지 않는 1번 부위도 조사하여 연관성을 살펴보았다.

사진 10은 크랙발생이 없는 부위로서 그림에서 보논바와 같이 냉접 라인이 보이고 압연에 의하여 압하된 흔적이 보인다. 사진 10-b는 냉접 라인의 확대한 모습이다. 사진 11-a는 사진 9의 2번에 대한 macro 사진으로 용접부는 냉접되었으며 냉접된 용접 라인은 크랙 및 탄화물로 존재하는 것을 알 수 있었다(사진 11-b)(그림 2). 전체적으로 압연에 의하여 크게 조직이 압하되고 있다. 사진 12는 크랙부 3을 확대하였다. 이미 크랙이 많이 진전되어 서로 분리된 것을 볼 수 있었다. 본 크랙은 냉접부에 의한 크랙의 발생으로 볼 수 있다.

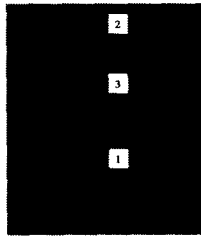
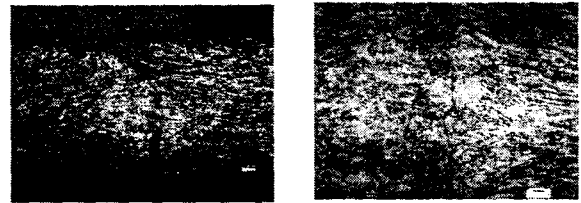
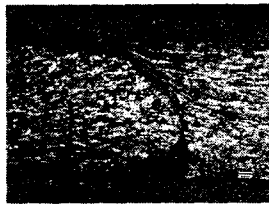


사진 9. 용접부의 사진



(a) (b)

사진 10. 압연된 용접부의 미세조직



(a)

사진 11. 사진 9-(2)의 미세조직



(b)

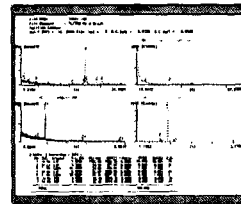


그림 2. 용접 크랙부의 성분분석

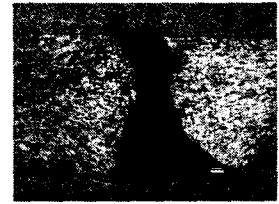


사진 12. 사진 9-(3)의 미세조직

4. 결론

Flash butt 용접 특성을 평가하기 위하여 35 kg급 소재 및 60 kg급 소재를 가지고 여러 flash 조건에 따른 용접특성을 평가하였다.

조건별 테스트 및 크랙부의 조사결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 건전한 용접부에는 white line이 있으며 이는 용접하려는 양 계면이 액상까지 도달후 용접되었음을 나타내어 준다.
- 2) 냉접부는 black line이 존재하며 이 black line의 존재는 전기적 흐름에 따라 발생한다. 이의 개선을 위하여 전기 흐름에 악영향을 미치는 요소를 제거하고 주기적으로 전극의 청결 상태를 유지하고 기계적으로는 단차 및 마주침 조건이 개선등이 요구된다.
- 3) up set과정에서의 압하력은 metal flow를 증가시키고 metal flaw의 증가는 용접부 파단에 악영향을 미친다.
- 4) 크랙 발생부위에 대한 조사결과 크랙은 대부분 냉접으로부터 발생하였고 냉접부의 기공성 크랙 및 탄화물의 존재는 쉽게 압연과정에서 크랙 발생의 기점으로 작용할 수가 있는 것으로 파악되었다.