

고주파 전기 저항 용접부의 용접 결함 발생 빈도에 미치는 용접 입열 속도의 영향

Effect of Heat Input Rate on the Weld Defect Formation during High Frequency Electric Resistance Welding

조윤희, 김충명*, 김용석
홍익대학교 금속·재료 공학과
* 포항제철, 기술 연구소

ABSTRACT In this study, effect of welding parameters on the defect density in the weldments produced by high frequency electric resistance welding process. The defect density measured by X-ray radiography showed a W-type curve as a function of heat input rate. The mechanisms of the such behavior were discussed based on the chemical compositions of the oxides formed at the weldments.

1. 서 론

최근 석유 및 가스의 수송용, 유정 개발용에 적용 범위를 확대해나가고 있는 용접 강관의 대부분은 고주파 전기 저항 용접법으로 제조되고 있다. 고주파 전기 저항 용접법은 고주파의 전기적 특성인 표피 효과 및 근접 효과를 이용하여 대강 에지 표면에 전류를 집중시켜, 전기 저항열로 대강을 가열하고 스퀴즈롤에 의하여 압력을 인가하여 용접하는 방법이다. 이와같은 압접 특성을 가진 용접부는 주조 조직을 함유하고 있지 않기 때문에, 용융 용접법에 비하여 용접 결함이 작은 장점이 있으나, 용접부에 침입 결함, paste weld, 냉접등의 결함을 포함하고 있는 것이 일반적이다. 이와같은 결함은 대부분 그의 두께가 50 μ m 정도로 얇은 2차원적 결함이 대부분이다. 이에 따라서 이들 결함의 발생 빈도 및 형상에 대하여 정량적으로 측정할 수 있는 방법이 개발되어 있지 않은 상태인데, 이에 따라 각종 용접 조건의 변화가 결함의 발생 빈도 및 그의 크기에 미치는 영향이 정확하게 규명되지 않은 상태이다.

본 연구에서는 고주파 전기 저항 용접부를 X-ray 투과 시험에 의하여 결함 크기를 측정하고, 이 결함 검출 기법을 이용하여 용접부의 결함의 종류 및 발생 빈도에 미치는 용접 조건의 영향을 관찰하고자 하였다. 여기서 용접 변수로서는 용접 입열 속도, 용접 속도, 용접부의 Vee-angle, 용접 분위기를 변화시켰다. 또한 결함이 발행한 부위에서 시편을 채취하여, 시편내의 결함 크기가 용접부의 기계적 특성에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 실험 방법

고주파 전기 저항 용접은 (주)포항 제철에 설치되어 있는 고주파 전기 저항 용접 모사 장치를 이용하여 실시하였는데, 이 장치는 기 보고한 바와같이 용접 강관의 고주파 용접 특성을 잘 모사할 수 있는 장치이다. 10cm폭으로 slitting된 API X-65 급의 강대를 이 장치를 이용하여 고주파 전기 저항 용접을 맞대기 법으로 실시하였다. 이때 용접되는 현상을 고속 비디오 카메라를 이용하여 관찰하여 적정 용접 조건의 여부를 확인하였으며, 용접된 시편은 40cm길이로 절단하여 X-ray투과 시험을 실시하여, 용접부에 존재하는 용접 결함의 크기 및 발생 빈도를 측정하였다. 용접시 용접 속도는 6에서 20m/min까지 변화시켰으며, 용접 분위기는 질소, 산소, 아르곤, 공기로 변화시켰다. 이렇게 얻어진 시편을 X-ray 검사를 통하여 용접 결함이 검출되지 않는 시편은 용접 변수의 영향을 평가하기 위한 시편으로 사용하였고, 용접 결함이 검출된 시편은 용접 결함의 크기가 용접부의 기계적 성질에 미치는 영향을 평가하기 위한 시편으로 사용하였다.

3. 실험 결과

Fig. 1은 고주파 전기 저항 용접시 용접 입열 속도가 용접부의 결함 발생 길이에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 보면, 결함의 발생 빈도가 용접 입열이 증가함에 따라 W자형의 거동을 나타내는 것을 알 수 있다. 이들 세 부분 즉 저입열 조건, 중간 입열 조건, 대 입열 조건에서 나타나는 결함은 매우 특징적인 형태를 나타내는 것이 확인되었다. 저 입열의 경우에는 일반적으로 알려진 cold weld 결함으로서 결함이 Fe-oxide를 주성분으로 확인되었다. 중간 입열 조건에서는 용접 결함을 포함한 용접부의 파단면을 Fig. 2에 나타내었다. 이 결함은 용접선상에 직경이 100 μ m 이하의 미세한 산화물이 다량 분포되어 있는 것을 볼 수 있는데, 이들 산화물의 주요 성분을 분석한 결과 Fe-Mn을 주성분으로 하는 산화물인 것으로 밝혀졌다. 이러한 특성을 가진 용접 결함은 paste weld라 불리우는 결함인데, 용접부의 연성 및 파괴 인성을 급격하게 저하시킬 수 있는 가능성이 있는 결함이다. 이에 비하여 대 입열 조건에서는 침입 결함(penetrator)가 주로 관찰되었는데, 이들 용접 결함은 Fe-Mn-Si를 주성분으로 하는 산화물인 것으로 밝혀졌다.

이와같은 용접 입열 속도 변화에 따라 발생하는 결함의 종류가 변화하는 것은 용융된 금속의 산화 거동의 차이 때문에 발생하는 것으로 생각된다. 즉 용접 입열이 작을 경우에는 용융 금속의 표피만이 산화되고, 용접 입열 속도가 증가하여 용융량이 증가하면 산소에 대한 친화력이 높은 Mn이 선택적으로 산화되는 양이 증가하여 Fe-Mn 복합 산화물이 형성되며, 용융량이 더욱 증가하면 소량 첨가된 Si의 산화정도가 증가하여 Fe-Mn-Si 복합 산화물이 형성되는 것으로 판단된다. 한편 FeO-MnO-SiO₂ 삼원계 상태도는 Fig. 3와 같은데, 그림에서 보면 FeO산화물내에 MnO 산화물이 첨가됨에 따라 액상선의 온도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉 용접 입열량이 증가함에 따라서 Fe-Mn 복합 산화물이 형성되고, 이 복합 산화물의 점도가 증가하여 용접선밖으로 스퀴징시 배출되지 않기 때문에 용접 결함으로 용접선에 잔존하여 paste weld를 형성하는 것으로 판단된다. 이와같이 용접 결함의 발생 빈도가 용접 입열 속도에 따라 W-자형 거동을 보이는 현상은 기존에 보고된 용접 결함의 발생 거동과는 다른 현상으로, 이 결함의 발생을 방지할 수 있는 방법의 개발이 요구되고 있다.

Fig. 4에 용접 입열 속도에 따른 용접부의 기계적 특성에 미치는 영향을 나타내었다. 그림에서 보면 용접 입열 속도가 용접부의 인장 및 항복 강도에는 큰 영향을 미치지 않으나, 용접부의 파괴 인성에는 매우 큰 영향을 미치는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 용접부에 잔존하는 미세한 산화물 입자의 영향으로 판단된다. Fig. 5는 용접 분위기가 용접부의 인장 특성에 미치는 영향을 나타낸 것인데, 이 경우에도 용접 분위기는 용접부의 파단 연신률에 민감한 영향을 미치는 것을 볼 수 있다. 이와같은 결과는 X-ray투과 검사에 의하여 검출되지 않는 결함들의 경우는 용접부의 인장 및 항복 강도에는 큰 영향을 미치지 않으나, 용접부의 파괴 연신률에 영향을 미칠 수 있음을 나타내는 것이다.

Fig. 6은 X-ray 투과 검사시에 결함이 검출된 부분에서 인장 시편을 채취하여 용접부의 인장 특성을 평가한 결과이다. 그림에서 보면 용접부내의 결함의 크기가 2mm이하일 경우에는 용접부의 강도 및 파단 인성에 큰 영향을 미치지 않으나, 이보다 크게 되면 이들 특성에 매우 큰 영향을 미치는 것을 볼 수 있다.

3. 결 론

고주파 전기 저항 용접에서 용접 결함의 발생은 용접입열이 증가함에 따라서 cold weld, paste weld, penetrator로 변화하며, 이에 따라서 용접선에 계재되는 산화물의 조성도 Fe, Fe-Mn, Fe-Mn-Si로 변화되는 것이 관찰되었다.

후 기

본 연구는 포항 제철 기술 연구소의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

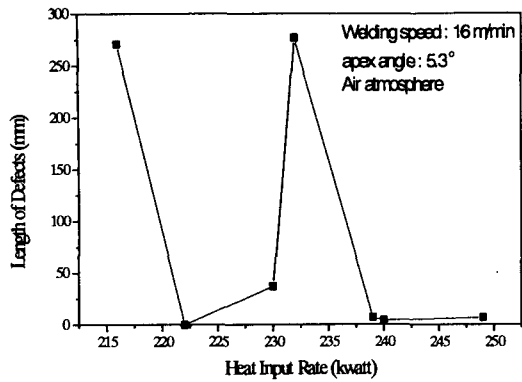


Fig. 2. SEM micrograph of fractured sample defect length in weldment.

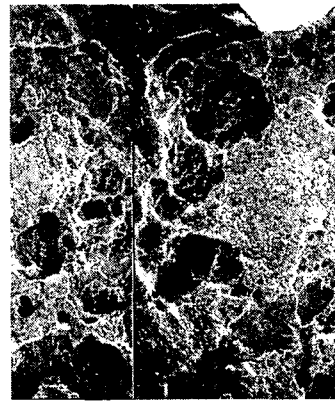


Fig. 1. Effect of heat input rate on the with paste weld defect.

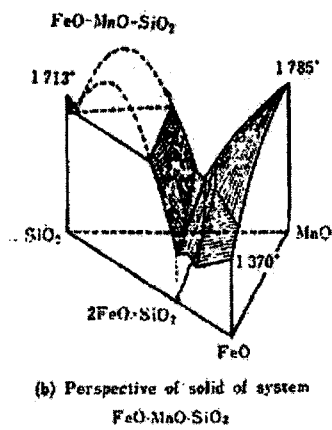


Fig. 3. Ternary phase diagram of FeO-MnO-SiO₂ system

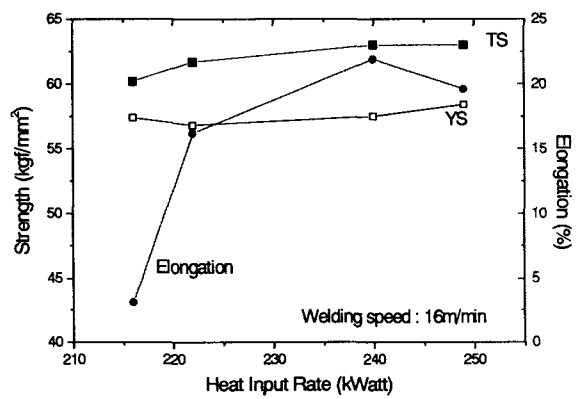


Fig. 4. Effect of heat input rate on the tensile properties of samples.

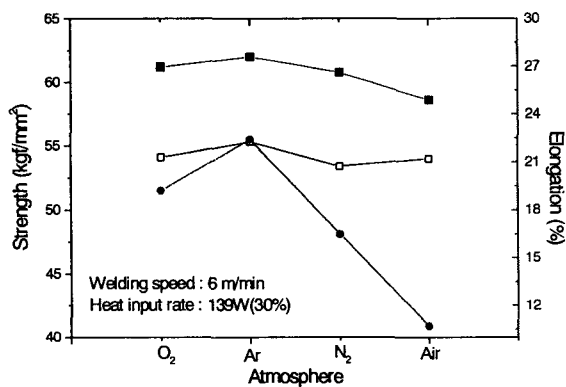


Fig. 5. Effect of welding atmosphere on the tensile properties of the sample.

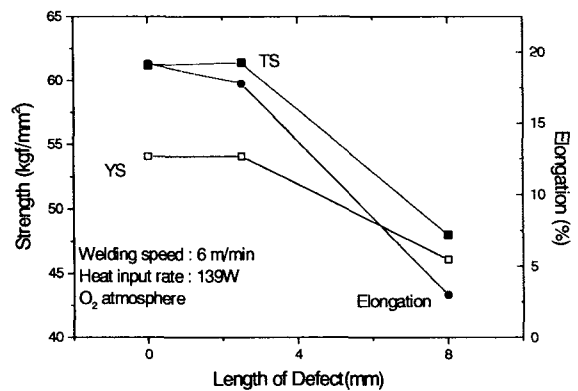


Fig. 6. Effect of defect length on the tensile properties of the sample