

SAW의 HAZ 부위에서 석출물 생성거동에 관한 연구

Investigation of Precipitation Mechanism in the HAZ of SAW

조용준*, 이세현**, 엄기원**, 한재광***, 주응용***

* 한양대학교 정밀기계공학과 대학원

** 한양대학교 정밀기계공학과

*** 포항제철종합주식회사

1. 서론

국내에서 제조되고 있는 대입열용접강종 인장강도 50kgf/mm²급 강은 TMCP법으로 제조하고, Ti등을 첨가하고 N을 억제하여 기지의 인성을 향상시키는 방법을 병행하고 있으며, 근래에는 페라이트와 격자간 불일치도가 비교적 작고 고온에서 안정한 TiO₂ 등의 산화물을 형성시켜 페라이트의 불균일 핵생성을 촉진시켜 용접부 및 열영향부의 인성을 더욱 향상시키려 하고 있으나 대입열용접시 최고가열온도와 냉각속도에 따른 시편 각 부위에서의 온도변화에 대한 연구가 부족하고 이에 의한 Ti산화물등의 산화물의 크기, 분포, 결정구조의 변화와 이들 변화에 의한 페라이트의 형상변화에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 여러 최고가열온도 및 냉각속도에 따른 열영향부에서의 온도 변화 거동과 이에 따른 Ti산화물, MnS 등의 석출물의 변화와 이들이 기지조직의 변화에 미치는 영향을 조사하고 이들이 용접열영향부의 인성에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

대입열용접에서는 최고가열온도 및 냉각속도에 따라 여러 종류의 취약한 조직이 나타나게 되며, 여기서의 석출물 생성 및 변태는 용접부의 기계적 성질에 많은 영향을 미치게 된다. 용접부나 열영향부의 상변태 및 석출물 생성에 따른 용접금속 미세조직변화, 기계적 성질의 변화등을 알아내기 위해서는 먼저 용접금속과 용접 열영향부의 온도분포 및 냉각속도등을 알아야 한다. 용접부의 온도분포와 냉각속도를 알게 되면 그에 따른 용접부 크기, 형상 및 열영향부의 크기와 형상도 알 수 있게 된다. 따라서 본 연구에서는 Ti산화물강을 대상으로 다음의 3가지 사항에 목표를 두었다.

2. 실험방법

1) 용접 및 온도측정

용접은 100×310×15 [mm] 크기의 시편과 90×250×40, 105×300×40 크기의 시편을 900A급 SAW 용접기를 사용하여 용접하였다.

시편에 적절한 깊이의 구멍을 뚫어 HAZ 부위로 예상되는 부분의 thermal cycle을 PR type thermocouple [Pt vs. Pt+Ph(13%)]을 이용하여 측정하였다. thermocouple은 지름 0.5 mm의 것을 사용하였고, thermocouple junction과 용접 모재와의 절연을 위한 지름 3 mm의 고온용 애자에 끼워 thermal cycle을 측정하였다.

용접이 진행됨에 따라, HAZ부위의 온도 상승으로 인한 thermocouple에서의 [mV]단위 전압을 signal isolate transformer를 이용하여 증폭(×100), filtering(low-pass)한 후, DAQ

board를 통하여 personal computer로 전송하였다. 이때 전송된 전압을 software를 이용하여 온도로 변환한 후 monitor에 출력하고 post processing을 위하여 disk에 저장하였다.

2) 모사열처리 및 미세조직 관찰

대입열용접에 따른 열영향부의 모사는 MTCS(metallurgical thermal cycle simulator) 장치를 이용하여 135℃/sec로 승온하여 최고가열온도 1300, 1400, 1450℃에서 각각 5초간 유지한 후 냉각속도($\Delta t_{900-500}$)를 10, 20, 40, 100sec로 하여 모사열처리를 하였다.

시편의 AF와 AGS 등의 미세조직을 광학현미경을 이용하여 관찰하였다. AGS의 측정에는 침후 표면을 약간 polishing한 후 초점을 흐리게 하여 촬영한 저배율사진에서 120개 결정립을 대상으로 image analyzer를 이용하여 AGS의 분포와 평균크기를 구하였고, TEM을 이용하여 AF의 미세조직을 관찰하였다.

inclusion이 AF의 생성에 미치는 영향을 광학현미경과 SEM을 이용하여 관찰하였다. SEM의 EDS를 이용하여 inclusion의 성분을 분석하였으며 inclusion의 종류와 모사열처리에 따른 inclusion의 상변화를 관찰하기 위해 시편을 전해추출하여 X-선회절시험을 하였다.

3) 파괴인성 평가

파괴인성평가에 있어서 고강도재료에서는 선형파괴역학에 의한 평면변형을 파괴인성치 K_{IC} 가 적용되지만 대규모항복이 발생하는 재료에서는 탄소성파괴인성 CTOD, J_{IC} 의 평가가 필요하므로, 본 실험에 사용된 Ti산화물강은 후자에 의한 평가를 K의 상대값으로부터 비교평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

1) Thermal Cycle

heating cycle은 상대적으로 급격한 기울기를 가지고 있었으며, heating 속도가 결정립성장도에 영향을 주는 여러 인자에 중요한 의미를 갖는다는 사실을 볼 때 결코 소홀히할 수 없는 부분이다.

각 측정점의 peak temperature는 peak 부근에서 불안정한 cycle을 나타내는데, 이는 fusion line부근의 thermocouple 접촉부가 용융금속등에 의해 불안정한 기전력을 발생시키기 때문인 것으로 보인다.

용접부 thermal cycle 중에서 가장 중요한 의미를 지니고 있는 cooling cycle은 측정 부위에 따라 온도의 정량적인 차이는 있으나, 시간에 의한 rate는 어느 정도 일치함을 볼 수 있었다. 측정점들에서 $\Delta t_{800-500}$ 를 관찰해보면, 20 sec내외의 값을 보이고 있다. 이 값들이 정확하게 일치하지 않는 이유는 thermocouple 부착위치에 따른 변수와 시편 크기의 제약에서 오는 용접공정상의 실험오차에 기인한 것으로 보인다.

2) AF 생성거동

MTCS 장치를 이용하여 HAZ 모사열처리한 시편들의 광학현미경 사진으로 1300℃의 최고 가열온도에서는 AF가 생성되지 않고 1400℃ 이상에서 AF가 생성된 것을 볼 수 있었다. 1400℃에서 냉각속도에 따른 AF의 생성을 비교하여 보면 10sec, 20sec는 상당량(거의 100%)의 AF가 생성되었으나 40sec부터 AF의 생성이 둔화되기 시작하여 100sec에서는 AF의 생성이 거의 나타나지 않고 있으므로 냉각속도가 느려짐에 따라 AF의 생성이 불리해지는 것을 알 수 있다. 1300℃의 경우는 1400℃, 1450℃와 동일한 20sec의 냉각속도를 가지면

서도 AF가 생성되지 않았는데, 이는 AF의 생성에 필요한 크기까지 austenite 결정립의 조대화가 일어나지 않았기 때문으로 생각된다. 또한 실험계획서 1300℃와 동일한 AGS를 갖는 것으로 예상했던 1450℃의 경우에는 같이 다량의 AF가 생성된 것을 볼 수 있는데 이는 예상과 달리 austenite 결정립이 크게 조대화되어 AF의 생성에 유리했기 때문으로 생각된다.

이러한 AF는 최고가열온도와 냉각속도에 관계없이 방사형으로 성장한 primary ferrite plate와 이들의 사이에 형성된 secondary ferrite plate의 형태를 하고 있었다. Primary ferrite plate는 생성중심에 inclusion이 존재하는 경우가 많이 발견되었다. 따라서 이러한 inclusion들이 AF의 핵생성 site로 작용하는 것으로 확인되었다. 그러나 secondary ferrite plate 경우에는 핵생성 site가 되는 inclusion이 존재하지 않았는데 이들은 primary ferrite plate의 계면에서 sympathetic하게 성장한 것으로 보여진다. 각 시편에서 대부분의 AF는 4-fold 또는 6-fold symmetry로 나타나고 있는데 이는 AF가 어떠한 crystallographic orientation relationship을 갖기 때문으로 알려져 있다.

3) 파괴인성

파괴인성에 미치는 최고가열온도의 영향에 대하여 파괴역학적 관점에서 검토한 결과, 냉각속도가 일정한 경우($\Delta T_{800-500^\circ\text{C}}=20\text{sec}$) 최고가열온도와 파괴인성과의 관계가 1350℃~1400℃영역에서 최소값을 보이고 있다.

파괴인성은 최고가열온도 1400℃전후에서 낮은 값을 나타내므로 인성값에 미치는 냉각속도의 영향을 검토하였다. 파괴인성은 냉각속도 40sec영역까지는 거의 일정한 값을 나타내지만 40sec이상의 냉각속도에서부터는 파괴인성이 저하하는 경향을 보이고 있다. 최고가열온도 1400℃에서 흡수에너지는 파괴인성의 결과와 마찬가지로 냉각속도 40sec까지는 거의 일정하다고 할 수 있었다.

4. 결 론

1) Ti산화물강의 대입열 SAW에서 HAZ 부위의 정상상태 최고치 온도분포와 용접부의 냉각속도 및 HAZ 부위의 크기와 형상등을 실험적방법으로 구하였다.

2) 위에서 얻은 열 사이클을 기초로 MTCS 처리에 의한 Ti산화물강의 대입열 SAW에서의 미세 조직변화 및 석출물의 형성거동을 관찰하였다.

3) Ti산화물강에서 석출물의 크기, 분포 및 결정구조 변화와 기지조직의 변화에 미치는 최고가열온도 및 냉각속도의 영향과 HAZ 부위의 파괴 인성을 평가, 검토하였다.

참고문헌

1. Rosenthal, D., "Mathematical Theory of Heat Distribution during Welding and Cutting." Welding Journal, 20 (1941)
2. Tekriwal, P., M. Stitt and J. Mazumder, "Finite Element Modeling of Heat Transfer for Gas Tungsten Arc Welding." Metal Construction, 19 (1987)
3. F.J. Babaro et al. : Mat. Sci. and Tech. 5 (1989) p1057
4. 百合岡信孝, 1992, "TMCP鋼의 銲接", 銲接學會誌, vol.61, No.4, pp.288~304
5. 신민근, 윤중근, 김희진, 1986, "TMCP강의 용접 열영향부 인성에 관한 연구", 대한용접학회, vol.4, No.3, pp.43~49

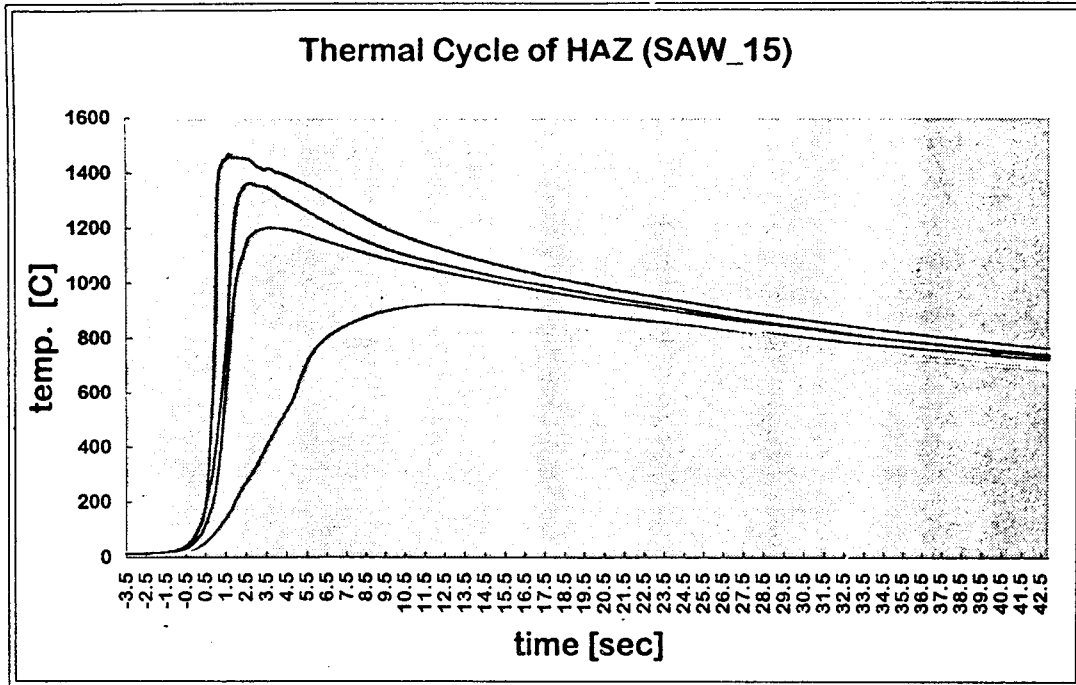


Fig.1 Thermal Cycle of HAZ

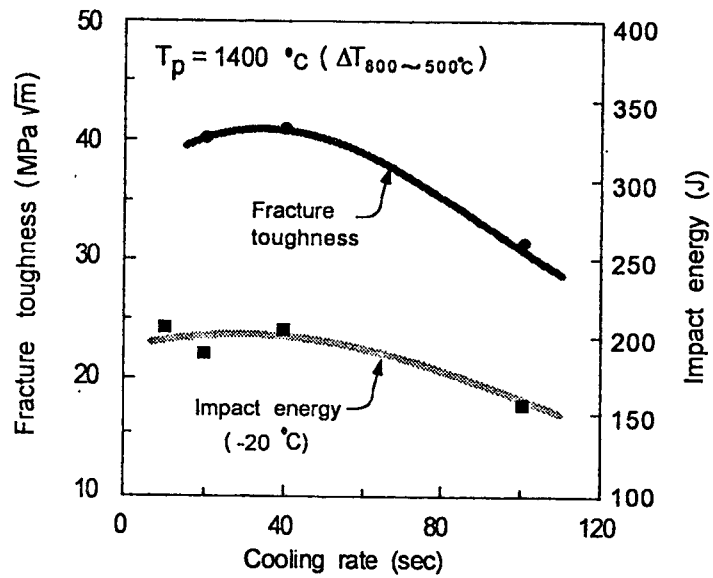


Fig.2 Effect of Cooling Rate on the Fracture Toughness and Impact Energy