

주철/페라이트계 스테인리스강 이종용접부 균열 발생에 대한 연구 (Cracking behavior in the Cast iron/Ferritic STS dissimilar welds)

김상훈*, 이상철*, 문준오*, 안상곤**, 이종봉***, 이창희*

* 한양대학교 신소재공학부

** POSCO 기술연구소 STS연구그룹

*** POSCO 기술연구소 집합연구그룹

1. 서 론

자동차 배기계의 경우, 높은 사용 온도와 배출되는 강한 산성의 응축수로 인해 재료의 선택에 많은 제한점이 따른다. 또한 배기매니폴드부터 머플러까지 다양한 온도 구간 및 다양한 산성 조건하에서 사용되고 있기 때문에 각 부분별로 경제성 및 안정성을 고려하여 재료를 선정하여 사용하고 있다. 이러한 이유로 배기매니폴드의 경우 주철이 많이 사용되어 왔으며, 최근에는 높은 함량의 Si를 가지는 구상흑연주철이 사용되고 있다. 또한 자동차 경량화 및 배기가스 오염물질의 감소를 위해 페라이트계 스테인리스강이 함께 사용되고 있다¹⁻³⁾.

이러한 이유로 인해 주철과 페라이트계 스테인리스강의 이종용접이 필연적으로 이루어지고 있다. 그에 따라 동종금속간 용접 시에는 발생하지 않는 미혼합역(UMZ: Unmixed Zone) 및 부분혼합역(PUMZ: Partially Unmixed Zone)이 발생하게 되며, 이러한 미혼합역과 부분혼합역은 모재에 비해 기계적/화학적 특성이 떨어진다⁴⁻⁸⁾. 또한 모재에 포함된 석출물과 같은 제 2상에 의해 용접시 발생하는 고온균열에 의해 용접부의 안정성에 문제가 발생하게 된다⁹⁻¹⁰⁾.

따라서 본 연구에서는 자동차 배기계에 적용되고 있는 HiSiMo와 페라이트계 스테인리스강의 이종용접부의 미세조직 및 기계적 특성 평가를 통해 이종용접부에서 발생하는 균열 현상에 대해 연구하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구를 위해서 실제 배기매니폴드에 사용되는 주물 HiSiMo와 STS409L을 Y309 용접금속을 이용하여 용접하였다. 사용된 모재와 용접금속의

성분은 표 1과 같다.

표1 Chemical compositions of experimental materials (wt%)

성분	C	Si	Mn	Mo	Mg
HiSiMo	2.9~3.8	4.0~4.7	0.3↓	0.8~1.2	0.025↑
성분	C	Cr	Si	Mn	Ti
STS409L	0.01	11.26	0.56	0.29	0.19
구분	C	Ni	Cr	Mn	Si
Y309	0.03	13.00	24.2	1.57	0.46

이때 용접방법은 MIG용접을 이용하였으며 용접 조건은 전류 110A, 전압 11~12V, 입열량은 1.7kJ/cm, 보호가스로 Ar-2%O₂를 이용하였다.

용접된 시험시편의 미세조직 및 균열 발생 여부를 확인하기 위해 OM, SEM 및 TEM을 사용하였으며, 합금성분의 분포 및 제 2상의 생성 여부를 확인하기 위해서 EPMA 및 EDS를 이용하였다. 또한 경도측정을 위해 비커스 경도계를 사용하였으며, 미소영역에 대한 경도측정을 위해서는 나노인덴테이션을 사용하였다.

3. 실험결과

본 연구에 사용된 주물 HiSiMo의 경우 다량의 Si가 첨가됨에 따라 페라이트 기지와 구상흑연으로 이루어진 미세조직을 가졌고, STS409L의 경우는 전형적인 페라이트 조직을 가졌다.

이러한 HiSiMo와 STS409L을 Y309 용접금속을 이용하여 용접하였을 때, HiSiMo와 Y309 사이 계면과 STS409L과 Y309 사이 계면 모두에서 경화층이 발생하였으며, 이는 경도측정을 통해 확인할 수 있었다. 그러나 두 계면에서 경화층이 형성되는 원인은 다른 것으로 생각된다. HiSiMo와 Y309 사이의 계면의 경우에는 미혼합역과 부분용융역(PMZ)에서 구상흑연의 완전용융,

부분용융 및 확산에 의해 높아진 탄소함량에 의한 것으로 판단되며, STS409L과 Y309 사이 계면의 경우에는 탄소의 이동에 의해 계면의 탄소함량이 높아지게 되고 이에 따라 발생하는 마르텐사이트에 의해 경화층이 생성되는 것으로 판단된다.

특별히 두 계면 중 HiSiMo와 Y309사이 계면에서는 균열이 발생한 것을 관찰할 수 있었는데, 균열이 발생하고 성장하는 영역이 미혼합역과 부분용융역 임을 알 수 있었다. HiSiMo와 Y309 사이 계면에서 발생한 균열의 모습을 그림 1에 나타내었다.

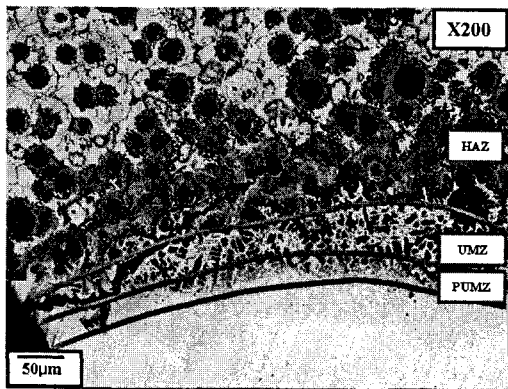


Fig.1 Crack occurred at the HiSiMo/Y309 weld joints.

또한 이러한 균열은 SEM관찰을 통해서 용접 시 고온균열에 의해 발생된 것을 알 수 있었다. 우선 균열의 파단면을 관찰하여 균열 시작 부근에서 용융 후 다시 응고한 조직을 관찰할 수 있었는데, 이를 통해 고온균열임을 알 수 있었다.

이러한 고온균열의 원인은 크게 두 가지로 생각할 수 있는데, 첫째는 용접금속과 모재의 용융점 차이에 의한 균열 발생이다. 본 연구에서 사용한 용접금속의 경우 1439℃의 높은 용융온도를 갖는다. 이에 비해 HiSiMo의 경우 그보다 상당히 낮은 용융온도를 갖는데, 이러한 용융점의 차이에 의해 응고 시 용접금속이 응고한 후에도 HiSiMo의 미혼합역은 액상을 가지게 된다. 따라서 용접 시 발생하는 응력에 의해 응고되지 않고 남아있는 미혼합역에서 균열이 발생할 수 있다.

둘째는 흑연 및 laves 상과 오스테나이트 상간의 조성적 액화에 의한 균열 발생이다. 조성적 액화는 그림 2와 3에 나타나 있듯이 흑연 주변의 액화조직과 열영향부 결정립계에 발생한 공정상을 통해 판단할 수 있다.

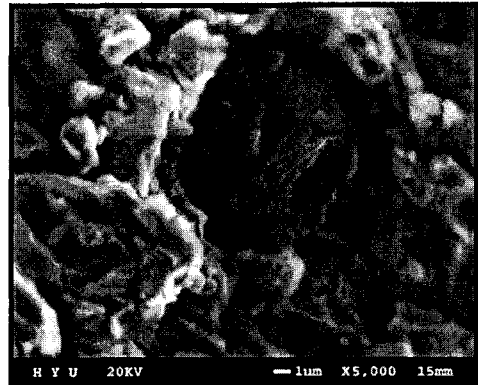


Fig.2 Liquation occurred around nodular graphite.

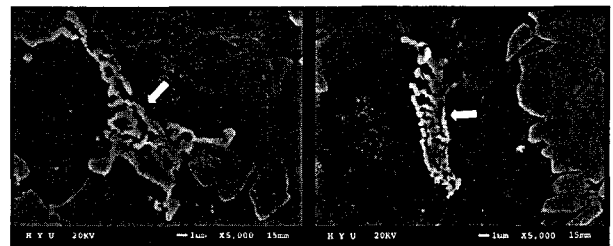


Fig.3 Eutectic phases at the HAZ grain boundary near the graphite.

특히 본 연구에 사용된 HiSiMo의 경우 SEM, EPMA, TEM 및 EDS 분석 결과 $Fe_2(Mo,Si)$ 형태의 laves 상이 존재하고 있음을 확인할 수 있었다¹¹⁾. SEM 및 EPMA 분석 결과 Laves 상은 주로 결정립계에 분포함을 알 수 있었고, TEM 및 EDS 분석을 통해 Laves 상의 존재를 정확하게 판단할 수 있었다. 이때 Laves 상은 평균적으로 100~300nm의 크기를 가지고 있었다. Laves 상에 대한 TEM 및 EDS 분석 결과를 다음 그림 4와 5에 나타내었다.



Fig.4 TEM image of $Fe_2(Mo,Si)$ laves phase.

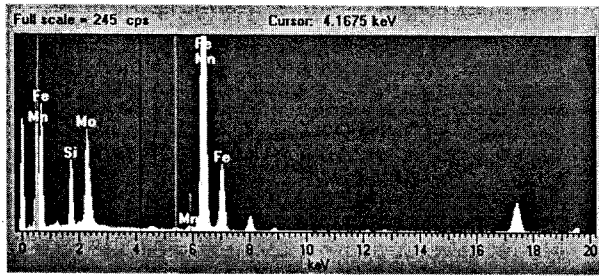


Fig.5 EDS data of $Fe_2(Mo,Si)$ laves phase.

high molybdenum stainless steels, WRC Bulletin 428, (1998)

9. J. J. Pepe and W. F. Savage : Welding Journal, 46(1967), 411s
10. Byoung Hyun Yoon, Yong Soo Ahn and Chang Hee Lee : ISIJ International, 42(2002), 178
11. T. F. Andrade, A. M. Kliauga, R. L. Plaut and A. F. Padilha, Materials Characterization, In press, (2007)

4. 결 론

본 연구에서는 자동차 배기계에 적용되고 있는 주철/페라이트계 스테인리스강 이종용접부 균열 발생에 대해 연구하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 용접 후 HiSiMo와 Y309 사이 계면과 STS409L과 Y309 사이 계면 모두에서 경화층이 발생하였으나, 전자의 경우에는 구상흑연의 용융 및 확산에 의해 경화가 일어났으며 후자의 경우에는 STS409L로부터의 탄소 이동에 의해 경화가 일어났다.

2) 특별히 HiSiMo와 Y309 사이 계면에서 균열이 발생하였으며, 이는 미혼합역과 부분용융역에서 생성되고 성장한 것으로 판단된다. 이러한 고온균열은 용접금속과 모재의 용융점 차이 및 흑연 및 laves 상과 오스테나이트 상간의 조성적 액화에 의해 발생하는 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 포스코 기술연구소로부터 재정적인 지원을 받아서 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. M. Takanezawa, Y. Tomota and Y. Kobayashi : ISIJ International, 38(1998), 106
2. 김석원, 우기도, 한상원, 김정규, 김대영 : 주조, 18(1998), 167
3. 이용득, 박수호 : 대한금속학회회보, 6(1993), 41
4. Sindo Kou : Welding metallurgy 2nd edition, Wiley-Interscience (2003)
5. 용접·접합편람, 대한용접학회, (1998)
6. W. A. Baeslack, III, J. C. Lippold, W. F. Savage : Welding Journal, 58(1979), 168s
7. M. D. Rowe, T. W. Nelson, J. C. Lippold : Welding Journal, 78(1999), 31s
8. C. D. Lundin, W. Liu, G. Zhou, C. Y. P. Qiao : Unmixed zone in arc welds: Significance on corrosion resistance of