

Fe-2.3%Cr-1.6%W합금의 고온산화 속도와 스케일 분석

High-temperature Oxidation Kinetics and Scales Formed on Fe-2.3%Cr-1.6%W Alloy

박상환^a, Zhao Chenguang, 이재호, 봉성준, 이동복
 성균관대학교 신소재공학부 (E-mail:sanghwan.bak@hanmail.net)

초 록 : The T23 steel, whose composition was Fe-2.3%Cr-1.6%W, was arc-melted, and oxidized between 600°C and 900°C in air for up to 7 months. The amount of precipitates in the arc-melted microstructure was as large as 11.4 vol.%. The precipitates increased the oxidation rate of the arc-melted T23 steel. Owing to the low amount of Cr in the T23 steel, breakaway oxidation occurred after a few hours during oxidation above 700°C in both arc-melted and as-received T23 steels. The scales that formed on arc-melted and as-received T23 steels were similar to each other. They consisted primarily of the outer Fe₂O₃ layer and the inner (Fe₂O₃, FeCr₂O₄)-mixed layer. The precipitates increased the microhardness and the oxidation rates.

1. 서론

전 세계적으로 발전소 효율 증대와 CO₂가스 배출량의 감소를 위해서 더욱 높은 온도와 압력에 견딜 수 있는 화력 발전 소용 내열합금의 개발이 요구되고 있다. 현재 사용되는 발전용 재료 중 오스테나이트계 강은 약 650°C까지 보일러와 터빈에 사용될 수 있을 정도의 높은 크리프 파단 강도, 우수한 산화 및 부식 저항성을 가지고 있으나, 열 피로강도가 낮기 때문에 사용이 제한되고 있으며, 고가의 합금원소 (Ni, Cr 등) 사용으로 비쌀 뿐만 아니라 터빈 로터 및 케이싱 등의 대형 주·단조품 제작을 하는데 기술상의 어려움이 있다. 따라서 보일러와 터빈 재료에는 열 피로강도가 우수하고 가격 경쟁력이 우수한 페라이트계 강이 사용되어 왔다.¹⁾ 그러나, 기존의 페라이트계 강은 아직까지 크리프 파단강도와 산화/부식 저항성이 낮아 사용이 제한되고 있다. 이런 문제점을 극복하기 위하여 국내외에서 페라이트계 내열합금개발을 추진하고 있으나,²⁻⁵⁾ 관련 연구는 주로 기계적 물성평가에 초점을 맞추고 있는데, 고온 내열성 평가도 정확히 이루어져야 하며 그렇지 못할 경우, 파손에 대한 우려가 당연히 증가하게 된다.

2. 본론

본 연구에서는 선진국에서 발전장비용 신소재로 개발되어 최근에 국내에 도입된 Fe-2.3%Cr-1.6%W(wt.%)조성의 T23 강의 미세조직에 따른 산화특성평가시험을 수행하였다. Fe-2.3%Cr-1%Mo(wt.%)Cr강의 경우, 결정립크기가 클수록 내산화성도 좋아지고, 냉간가공량에 따라 내산화성은 달라짐이 보고된 바 있으나,⁶⁻⁸⁾ T23강에 대한 각종 고온 물성데이터는 국내에서는 제대로 없음은 물론, 고온에 노출된 재료에서 발생하는 산화막의 특성과 이들의 정량적인 평가에 관한 체계적인 연구가 꾸준히 진행되지 못하고 있는 실정이다.⁹⁾ 발전설비용 신소재는 고가 부품으로서 앞으로 국내기술을 확보하여 국산화시켜야 하며, 고온에 노출된 재료에서 발생하는 미세조직의 변화, 산화막 형성 및 이들 인자들이 재료의 수명에 미치는 평가에 관한 체계적인 연구가 필요하다. 따라서, 본 연구의 목적은 T23 강의 미세조직변화에 따른 고온 산화특성을 조사하여 향후 발전소의 효율과 안전도를 향상시키는 데 필요한 재료 DB를 구축함이다.

표1에 나타낸 조성의 T23강을 아크용해한 후 급냉시켜 급냉된 미세조직을 갖는 시편과 상용조직 그대로의 미세조직을 갖는 시편을 (3g 피크릭산, 3ml 염산, 100 ml 에틸알코올)로 에칭한 후, 석출물의 크기와 분포 등의 미세조직을 field-emission SEM으로 조사하였다. 이 둘 두 시편의 고온열화에 따른 미소경도변화는 Vickers 미세경도기를 이용하

여 압입하중을 1kg, 부하시간은 10초로 하여 각 시편당 3회씩 측정하였다. 상기 두시편의 단시간 고온산화실험은 TGA(Thermogravimetric Analyzer)를 사용하여 대기 중, 600-900℃에서 30 시간동안 연속적으로 산화시키면서 단위면 적당 무게 증가량을 측정하여, 고온산화 속도를 정량화하였다. 실험온도까지 승온시 산화를 방지하기 위하여 TGA내로 Ar 가스를 주입하면서 40℃/분 속도로 가열하였다. 각 시편의 장기간 고온산화실험은 전기로를 이용하여 대기 중, 600-800℃에서 2 또는 7개월동안 연속적으로 산화시켜 산화량을 측정하였다. 900℃는 시편이 너무 많이 산화되어 장기간 고온산화실험에서 제외하였다. 실험에 의해 형성된 산화물은 X선회절 (XRD) 분석법으로 조사하였다. 산화물 표면과 단면의 미세구조를 관찰은 SEM, EPMA를 이용하였다.

Table 1. Chemical composition of T23 (wt.%)

C	Cr	W	Mn	V	Si	Mo	Nb
0.06	2.3	1.54	0.46	0.25	0.2	0.08	0.05

3. 결론

아크용융되거나 되지않은 T23강의 미세조직 변화가 고온 산화부식특성에 미치는 영향을 조사하기 위해 시편을 가열산화시키고 스케일을 분석하여 다음 결론을 얻었다.

아크용융되지않은 시편과 비교하여 아크용융된 시편이 석출 탄화물의 양이 4배정도 많아서 미세경도값이 1.5배정도 더 높았다. 고온가열함에 따라 모재가 뜨임(tempering)되고 석출물은 조대화되어 아크용융된 시편의 미세경도값은 아크용융되지않은 시편의 미세경도값으로 빨리 감소하였다. 미세조직은 산화속도에는 큰 영향을 미쳐 아크용융되지않은 시편과 비교하여 아크용융된 시편이 훨씬 빨리 산화되었다. 특히, 두 시편 모두에서 700℃ 이상에서는 석출탄화물 때문에 breakaway 산화가 발생하였다. 그러나, 미세조직은 산화물의 종류와 분포에는 영향을 미치지 않았으며, 항상 Fe₂O₃ 외부 산화막과 내부 (Fe₂O₃, FeCr₂O₄)-혼합산화막이 형성되었다.

참고문헌

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(인력양성 사업; 20101020300460)입니다.

참고문헌

1. J. C. Vaillant, Int. J. Pres. Ves. Pip., 85 (2008) 38.
2. S. Y. Bae, Mater. Sci. Eng. A., 499 (2009) 262.
3. B. J. Kim, Kor. J. Met. Mater., 48 (2010) 19.
4. B. H. Choe, J. Kor. Inst. Met. & Mater., 46 (2008) 276.
5. S. H. Kim, J. Kor. Inst. Met. & Mater., 38 (2000) 454.
6. V. B. Trindade, Mater. Res., 8 (2005) 365.
7. M. C. Tsai, J. Mater. Sci., 38 (2003) 2373.
8. R. K. S. Raman, Corros. Sci., 34 (1993) 1275.
9. R. K. S. Raman, Metall. Mater. Trans. A., 26 (1995) 1847.