

산화촉진원소에 의한 고온용 스테인리스 강의 내산화성 향상을 위한 연구

김 대 환 · 김 길 무

충남대학교 공과대학 재료공학과

A Study on the Improvement of Oxidation Resistance of OAE-added Stainless Steels for High Temperature Applications

Dae Hwan Kim, Gil Moo Kim

Dept. of Materials Engineering, Chungnam National University, Taejon, 305-764, KOREA

Since the manufacturing temperature of stainless steels is relatively high, oxidation at the elevated temperature becomes important. The chemical and physical properties of the protective oxide film which was formed on the stainless steels at high temperature for the oxidation resistance are important in determining the rate of oxidation and the life of equipment exposed to high temperature oxidizing environments.

In this study, the oxidation behavior of STS 309S and STS 409L added by a small amount of oxygen active elements(each +0.5wt% Hf and Y) was studied to improve oxidation resistance. In the cyclic oxidation, while OAE-free specimens showed relatively poor oxidation resistance due to spallations and cracks of Cr-rich oxide layer, OAE-added specimens improved cyclic oxidation resistance assumably due to constant oxidation rate with stable oxide layers at high temperature. Especially Hf improved cyclic oxidation resistance by forming Cr-rich oxide layer preventing internal oxidation in STS 309S.

1. 서 론

스테인레스강은 높은 부식 저항성을 가진 철 합금의 일종으로^{1,2)} 고온에서의 사용을 목적으로한 내열스테인레스강의 공업적인 사용이 증가하고 있으며 고온에서의 사용수명을 연장시키기 위하여 보호산화피막의 형성과 첨가원소에 의한 내산화성 향상을 위한 연구가 계속적으로 진행되고³⁻⁵⁾ 있다.

산화반응의 메카니즘은 초기에 산소가 금속

모재에 흡착하여 산화물을 형성하기 위한 화학 반응을 일으켜서 산화막(oxide film)으로 덮이게 되며, 연속적으로 형성된 산화막은 결정학적 중심(crystallographic centres)을 가지고 금속 표면에 축적되는데 결정학적 중심의 평균수는 주어진 결정 구조의 방향(orientation)에 따라 금속과 산소의 표면 확산과 온도, 압력에 의해 결정된다. 또한, 산화막은 산화물핵(oxide nuclei)의 성장에 의해 생성되는데 이 산화물핵은 금속 표면을 완전히 덮을 때까지 측면(laterally)으로

연속적으로 성장하여 연속적인 산화막을 형성하며 모재(underlying metal)를 보호하는 작용을⁶⁾ 하게 된다. 금속의 산화 반응을 다음의 세 단계로⁷⁾ 구분하여 나타낼 수 있다.

(1) 육안 판별이 어려운 수십 옴스트롱(Å) 단위의 산화막(oxide film)형성

(2) 결정학적 중심에서의 핵 생성

(3) 연속적인 산화층형성

또한, 형성된 보호적인 산화피막은 공동(cavities), 미세 균열(microcracks)과 공극(porosity)을 포함하는 다양한 결함(defects)을 가진 비보호적인 피막(nonprotective scale)으로 두껍게 변해가며⁶⁾ 금속 표면 위에 형성된 M_xO_y 산화층은 산화환경과 금속의 계면(substrate metal) 사이에서 금속의 산화방지에 대한 장벽(barrier)으로 작용하게 된다. 따라서 형성된 산화층은 오랫동안 결함이 없이 혹은, 최소한의 결함을 함유하는 피막으로서 표면에 잘 부착되어 있는 것이 중요하다.

산화반응에 의해 형성된 산화피막의 화학적, 물리적인 성질은 고온산화 환경에 노출되어 있는 기계의 수명과 산화속도를 결정하는 중요한 인자로 작용하므로 본 연구에서는 스테인레스강이 고온의 열악한 환경하의 공정(process)중에 적용될 때 기지의 금속성분과 가스성분의 반응에 의해 강의 표면에 형성된 산화피막과 내부에 생성된 다양한 결함들에 의한 내식성과 내산화성의 저하가 나타나는 것에 주목하였다. 금속의 산화반응은 주로 합금을 구성하는 원소들에 의해서 결정되며 합금에 Hf, Y, Ce 같은 적은 양의 산화촉진원소(oxygen active elements)의 첨가는 Cr_2O_3 를 형성하는 합금의 산화 현상을 변화시켜서 산화저항성을 향상시키는⁸⁻¹⁰⁾ 것으로 알려져 있으므로 고온용 스테인레스강에 고온산화에 대한 저항성을 향상시키기 위하여 Hf과 Y과 같은 OAE를 미량 첨가하여 형성된 산화피막이 내산화성에 미치는 영향을 검토하였다.

본 연구에서는 국내에서 생산되어 노부품, ra-

diant tube, muffle liner 등에 사용되는 내열 오스테나이트계 스테인레스강인 309S와 페라이트계인 409L 스테인레스강을 선택하여 OAE를 첨가하였을 때, OAE를 첨가하지 않은 스테인레스강의 고온산화거동과 차이를 규명하였는데 각각의 첨가원소들에 의한 고온에서의 내산화성과 내열성을 향상시켜 고온산화에 대한 저항성을 향상시키는 방안을 강구하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 실험방법

본 연구에 사용한 시편은 포함제철에서 생산한 STS 309S와 STS 409L에 분말 상태인 Hf과 Y을 각각 0.5wt%씩 첨가하여 진공 아크용해로(Nonconsumable Arc Melting Furnace)를 이용하여 10^{-6} torr의 진공도를 유지하면서 주조하였으며 제조한 시편의 균질화처리를 위해 아르곤가스를 주입시키면서 고온 튜브로(High Temperature Tube Furnace)에서 1200°C 로 각 시편당 24시간씩 열처리를 실시하였다.

시편의 산화거동과 산화속도를 관찰하기 위해 일정 온도에서 시간의 증가에 따른 시편의 중량 변화를 나타내 주는 CAHN사 제품의 TGA(Thermogravimetric Analyzer)를 이용하여 등온산화 실험을 실시하였는데 각 시편당 1000°C 와 1100°C 인 온도에서 각각 100시간 동안 산화 실험 후 시간에 따른 반응속도가 시간 대 무게 증가의 그래프로 기록된 데이터를 단위 면적당의 무게 변화로 산출하여 시간에 따른 반응속도를 구하였는데 전에 사용된 장치와 같다.⁴⁾

주기산화실험은 고온에서 시편에 형성된 산화피막이 상온으로 냉각시에 모재와 산화피막 사이에는 온도의 변화에 따른 열적인 응력(thermal stress)과 피막의 성장에 따른 성장응력(growth stress)의 집중에 의해 산화피막의 균열 및 파괴가 일어나고 산화피막의 모재에 대한 접착력이 감소하여 시편의 내산화성과 내열성을 감소시키

는 효과를 검토할 수 있다. 본 실험에서는 900℃, 1000℃, 1100℃에서 전에 발표된 실험장치와 같은 관상로에⁴⁾ 온도를 유지시킨 반응구역(hot zone)에서 45분, 상온의 냉각 구역(cool zone)에서 15분씩을 한 주기로 하여 시편을 왕복시켰으며 실험 도중의 시편은 매 10시간마다 전자 저울을 이용하여 실험 주기에 따른 단위면적당 무게 변화를 측정하였다. 실험은 단위면적당 중량변화가 급격하게 많아지거나 줄어드는 시간까지 계속되었다.

주조된 각 합금의 미세조직을 알아보기 위해 실험 전의 시편을 에칭(etching) 후에 광학현미경으로 미세조직을 관찰하였고 습식분석(ICPAES)하였으며 각 합금의 구성 물질의 종류와 상대적인 양을 파악하기 위해 XRD(x-ray diffractometer)로 분석하였다. 산화반응 후의 시편의 표면 분석은 XRD를 이용하여 형성된 산화물을 파악하였으며 SEM(scanning electron microscope)으로 표면의 미세구조를 관찰하였고 EDX(energy dispersive x-ray analysis)를 이용하여 표면 각 부분의 산화물을 분석하였다. 또한, 시편표면의 산화물과 계면의 관찰을 위해 시편을 마운팅(mounting)한 다음 알루미늄 파우더 연마지로 0.05 μm 까지 연마 후에 SEM으로 단면의 산화물과 산화층의 두께를 관찰하고 EDX로 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실험 시편의 분석

실험시편의 화학 조성을 알아보기 위하여 주조시편을 습식분석한 결과가 Table 1이다. STS 309S의 경우 Cr의 함량이 22.5%로 STS 409L의 11.2%에 비해 높게 나타났으며 각 시편모두 Ni, Mn, Fe, C 등의 각 성분의 함량이 OAE를 첨가하지 않은 시편과 비슷하게 나타났다.

시편의 XRD 분석 결과 STS 309+0.5wt% Hf과 Y의 경우는 오스테나이트인 γ -Fe 구조를

Table 1. Chemical compositions of stainless steels used (wt%)

(1) STS 309S

Component Sample	Fe	Cr	Ni	Mn	C	Hf	Y
STS 309S	61.8	22.4	12.4	1.5	0.089	-	-
+Hf 0.5wt%	61.6	22.5	12.4	1.4	0.043	0.39	-
+Y 0.5wt%	61.4	22.5	12.4	1.4	0.068	-	0.63

(2) STS 409L

Component Sample	Fe	Cr	Ni	Mn	C	Hf	Y
STS 309S	84.2	11.3	0.17	0.39	0.047	-	-
+Hf 0.5wt%	83.7	11.2	0.17	0.39	0.026	0.48	-
+Y 0.5wt%	83.6	11.2	0.17	0.38	0.088	-	0.39

나타냈고 STS 409S+0.5wt% Hf과 Y의 경우는 페라이트인 α -Fe 구조를 이루고 있었다.

3.2 등온산화거동

STS 309S의 등온산화실험에서 OAE를 첨가하지 않은 STS 309S와 OAE를 첨가한 각 시편의 각 온도에서 산화반응에 의한 시편의 무게 변화를 시간의 함수로 나타낸 그래프가 Fig. 1이다. OAE를 첨가하지 않은 시편의 경우 1000℃에서는 초기의 시편 무게를 일정하게 유지하고 1100℃에서는 급격한 무게증가를 나타내고 있으나 초기에 증가한 시편의 무게를 일정하게 유지하는 안정한 산화거동을 나타내고 있다. OAE를 첨가한 시편의 경우에는 OAE의 첨가에 의해 산화속도가 증가하였는데 1000℃에서 Hf을 첨가한 경우 약 0.45mg/cm², Y을 첨가한 경우는 0.35mg/cm²의 무게증가를 나타내었지만 증가된 시편의 무게증가율은 적은 양이며 Hf과 Y을 첨가함으로써 산소와의 친화력이 강한 Hf과 Y의 산화에 의해 중량변화가 OAE를 첨가하지 않은 것보다 크게 나타나지만 그 양은 비교적 크지 않았다. 그러나 1100℃에서는 OAE를 첨가함으로써 Cr₂O₃층의 조속한 생성에 의해 산화속도가 감소한 것으로 보인다.

Fig. 2는 OAE를 첨가한 시편의 등온산화실험

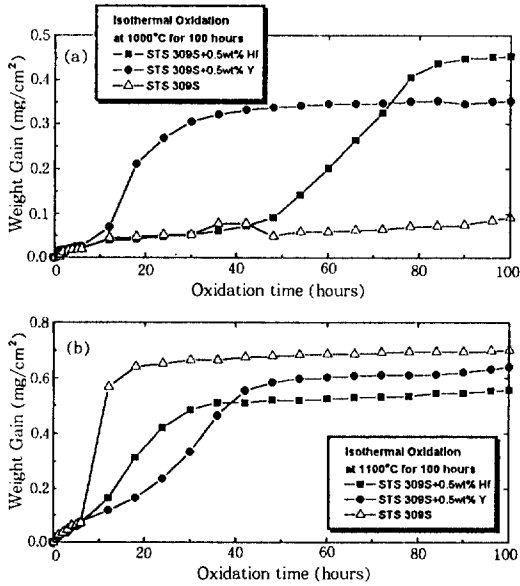


Fig. 1. Isothermal oxidation results of STS 309S for 100 hours (a) at 1000 °C (b) at 1100 °C.

후 XRD로 분석한 결과인데 Hf을 첨가한 시편의 경우 Fe_2O_3 와 HfO_2 가 주종을 이루고 1100 °C에서는 Fe_3O_4 의 피크도 나타나고 있는 반면에, Y을 첨가한 시편의 경우에는 1000 °C에서는 Fe_2O_3 가 주종을 이루고 온도가 증가할수록 Fe_2O_3 와 Fe_3O_4 그리고 Mn과 Cr의 복합산화물도 나타나고 있다.

Fig. 3과 Fig. 4는 OAE를 첨가한 시편의 표면과 단면을 SEM으로 촬영한 결과인데 시편 표면 위에 균열(cracks) 등이 보이지 않고 균일한 산화층이 미세하게 생성된 것을 알 수 있는데 온도가 증가할수록 시편에 생성된 산화층의 입자가 더 크게 성장하였으며 산화층과 모재간의 접착력도 우수하고 산화층의 두께도 거의 비슷하게 나타났다. EDX 분석 결과 Hf을 첨가한 시편의 경우 시편표면에 Fe_2O_3 와 Cr_2O_3 의 분율이 1000 °C에서는 83.6%와 1.77%이고 1100 °C에서도 72.23%와 8.53%로 Fe_2O_3 가 지배적으로 우세하게 나타나고 있으며, Y을 첨가한 경우에는 Fe_2O_3 와 Cr_2O_3 의 분율이 1000 °C에서는 2.77%와

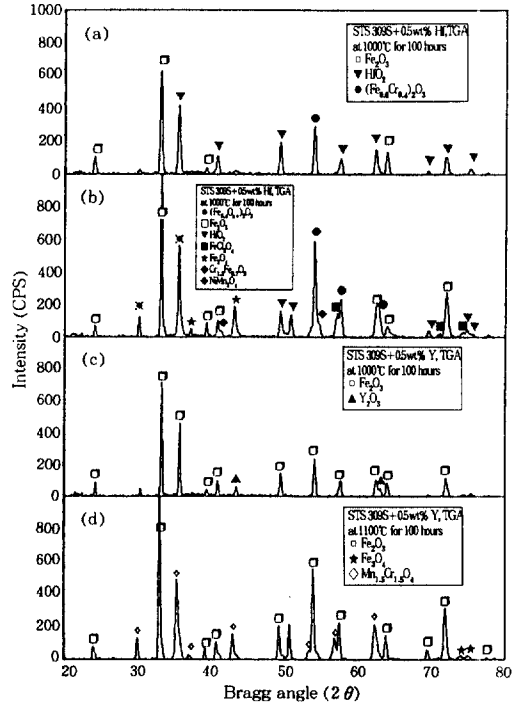


Fig. 2. XRD patterns after isothermal oxidation of STS 309S+0.5wt% Hf for 100 hours (a) at 1000 °C (b) at 1100 °C and +0.5wt% Y for 100 hours (c) at 1000 °C (d) at 1100 °C.

86.57%로 Cr_2O_3 가 우세하지만 1100 °C에서는 73.86%와 6.57%로 Fe_2O_3 가 우세하게 나타나고 있다. 따라서 Hf을 첨가한 경우에 OAE에 의해 1100 °C에서는 1000 °C에서 보다 급속하게 Cr_2O_3 가 형성되어 산화속도가 빠른 Fe_2O_3 의 형성을 억제하여 두 온도에서 거의 유사한 산화속도를 보였다.

Fig. 5는 STS 409L의 1000 °C에서의 등온산화 실험 결과인데 OAE를 첨가하지 않은 시편의 경우에는 무게증가비가 약 7mg/cm²로 실험 초기부터 포물선적 산화거동으로 일정한 무게증가가 나타난 반면, OAE를 첨가한 시편의 경우에는 포물선적인 산화거동을 보이며 9mg/cm²의 무게증가를 나타내고 있는데 시간에 따른 무게증가가 STS 309S와 비교하여 크게 나타나는 이

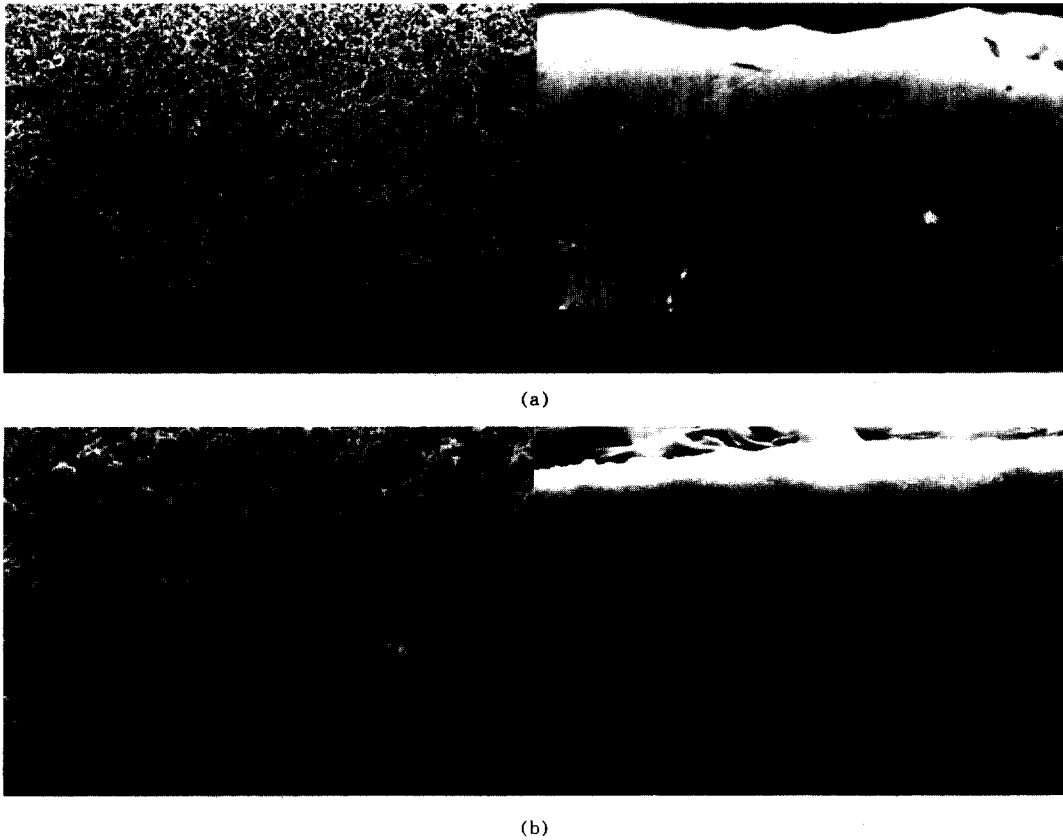


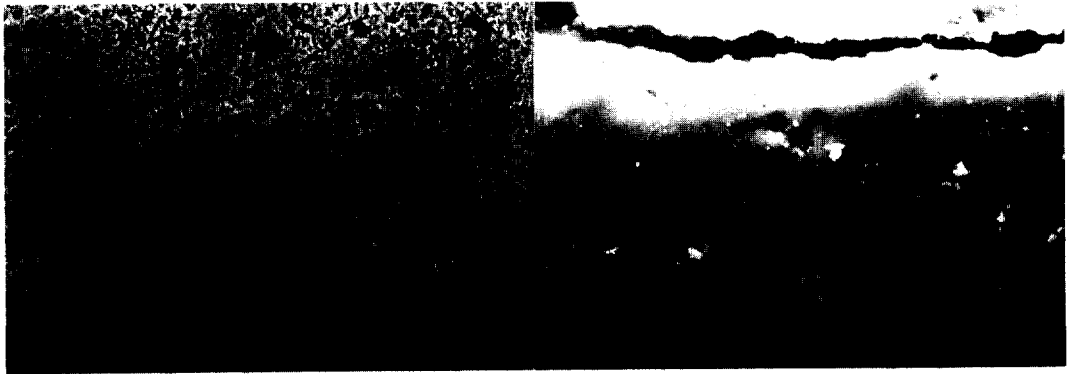
Fig. 3. SEM surface and cross-section morphologies after isothermal oxidation of STS 309S+0.5wt% Hf (a) at 1000°C (b) at 1100°C.

유는 Table 1에서 시편에 함유된 Cr의 함량이 STS 309S보다 적게 함유되어 STS 409L의 시편에 보호피막으로 작용하는 Cr_2O_3 가 적게 형성되어 보호적인 역할을 하지 못하기 때문이며, EDX 결과 Hf과 Y을 첨가한 시편표면에 Fe_2O_3 산화물 입자가 크게 생성되었고 그 분율도 96.57%와 96.07%로 시편 내부까지 산소가 침투하여 내부산화되어 균열이 크게 발생하였다.

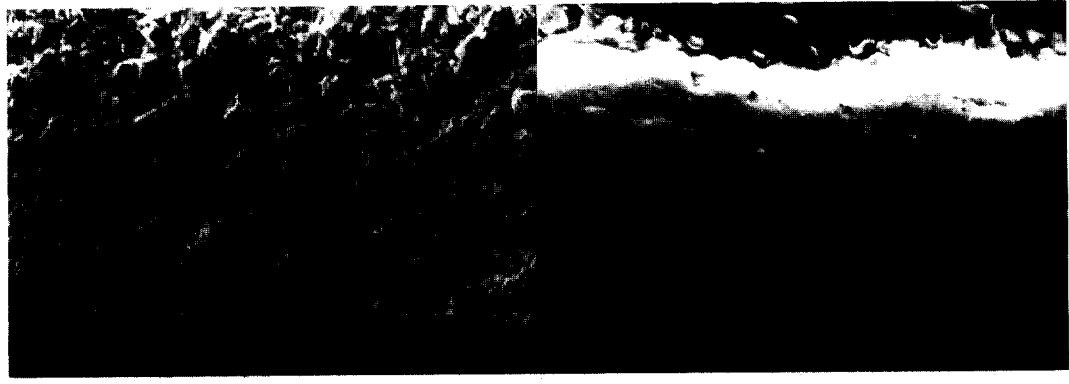
3.3 주기산화거동

STS 309S의 주기산화실험 결과를 나타낸 그래프가 Fig. 6인데 OAE를 첨가하지 않은 STS 309S는 900°C에서 초기 100시간까지는 시편의 무게증가가 적게 일어나지만 시간이 증가할수록

시편의 무게가 감소하며 1000°C에서는 시편 위에 생성된 산화층이 주위의 열응력에 견디지 못하고 실험시간이 증가함에 따라 파괴되어 초기부터 시편의 무게가 급격하게 감소하는데 온도가 증가할수록 시편에 생성된 산화층의 수명(life time)이 짧아지고 스케일의 박리에 의해 무게감소가 일어났다. Hf을 첨가한 시편의 경우에 900°C에서는 OAE를 첨가하지 않은 시편과 비슷한 무게증가를 보이며 비교적 강한 주기산화에 대한 저항성을 나타냈고 1000°C에서는 초기 100시간까지는 $7\text{mg}/\text{cm}^2$ 의 무게감소를 보이다가 200시간 이후부터는 다른 시편에 비해 산화속도가 둔화되는데 이는 실험 초기에 생성된 Cr_2O_3 의 산화층이 시편 내부의 Fe가 시편 표면



(a)



(b)

Fig. 4. SEM surface and cross-section morphologies after isothermal oxidation of STS 309S+0.5wt% Hf (a) at 1000°C (b) at 1100°C.

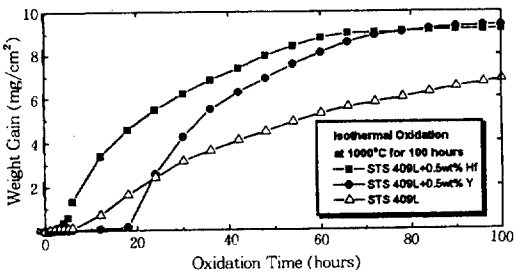


Fig. 5. Isothermal oxidation results of STS 409L for 100 hours at 1000°C.

으로의 확산을 차단시키는 장벽으로 작용하기 때문이다. 1100°C에서도 OAE를 첨가하지 않은 시편에 비해 시편의 무게 감소 속도가 느리고 무게감소도 적게 나타나서 시편에 생성된 산화

물이 보호적인 산화피막으로 작용하는 것을 알 수 있다. Y을 첨가한 경우에는 상대적으로 낮은 온도인 900°C에서는 시편에 생성된 산화물이 안정적인 산화물로 존재하지만 온도가 증가할수록 무게감소 속도가 가장 빠르게 나타나는 산화거동을 보이고 있다.

Fig. 7은 주기산화실험후의 Hf을 첨가한 시편을 XRD로 분석한 결과인데 900°C에서는 Cr 산화물이 더 많이 검출되지만 온도가 증가할수록 Fe 산화물의 분율이 증가하고 Fe와 Cr의 복합 산화물도 나타나며 Fe₂O₄의 산화물도 발견되는데 이는 실험온도가 증가할수록 보호피막인 Cr₂O₃의 산화층이 주위의 열응력에 견디지 못하여 파괴되고 내부의 Fe가 표면으로 확산해 나와 산

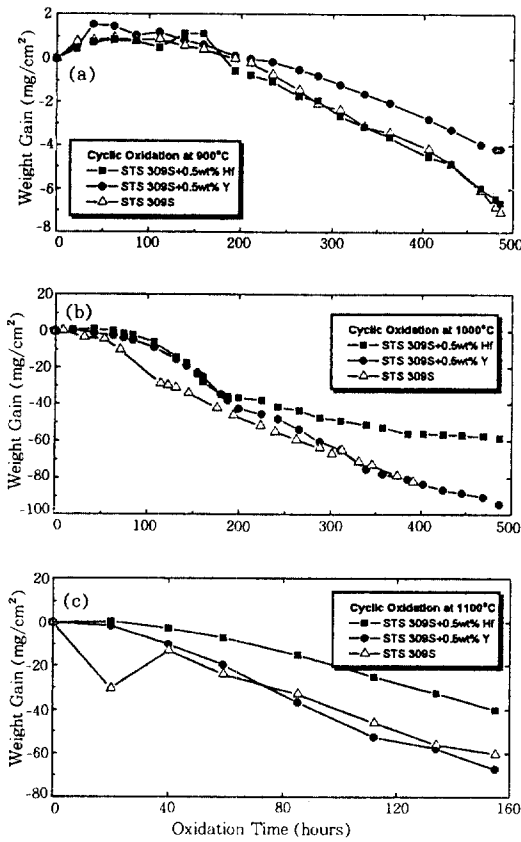


Fig. 6. Cyclic oxidation results of STS 309S (a) at 900°C (b) 1000°C (c) at 1100°C.

소와 결합하여 Fe 산화물을 형성하기 때문이다.

Fig. 8은 Hf을 첨가한 시편의 산화실험 후 표면과 단면사진인데 표면사진에서 온도가 증가할수록 시편 표면에 산화물의 균열과 스펠링(spalling)이 발견되고 있으며 EDX 분석 결과 Fig. 8의 (b)와 (c)의 시편의 표면사진의 A점은 Fe 산화물의 분율이 높고 B점은 Cr 산화물의 분율이 높게 나타났는데 이는 시편 표면에 1차로 생성된 Cr₂O₃ 산화층이 떨어져 나간 자리에 시편 내부의 Fe가 표면으로 확산해 나와서 산소와 결합하여 Fe₂O₃를 형성한 것을 알 수 있다. 단면사진을 보면 900°C에서 비교적 접착력이 우수한 산화층이 유지된 반면에 온도가 증가할수록 불규칙하고 불균일한 산화층이 형성되어

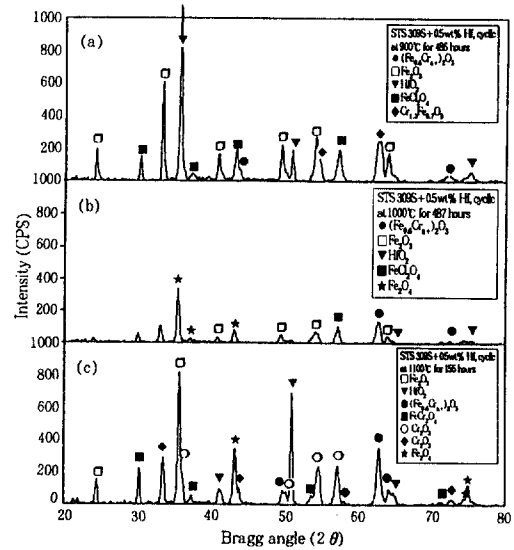


Fig. 7. XRD patterns after cyclic oxidation of STS 309S+0.5wt% Hf (a) at 900°C for 486 hours (b) at 1000°C for 487 hours (c) at 1100°C for 155 hours.

Fig. 6의 실험결과와 일치한다.

Fig. 9는 STS 409L의 주기산화실험 결과인데 OAE를 첨가하지 않은 STS 409L의 경우 900°C에서는 적은 양의 무게증가를 보이며 안정된 형태를 나타내다가 실험온도가 증가할수록 시편의 무게가 급격하게 증가하고 열응력에 견디는 내성이 감소하여 시편의 파괴가 발생하였지만, Hf을 첨가한 시편의 경우 900°C에서는 500시간 후의 시편의 무게증가가 1.6mg/cm²으로 OAE를 첨가하지 않은 시편에 비해 약간 적게 나타났으며 1000°C에서는 초기에 급격한 무게증가를 나타내고 산화가 진행됨에 따라 무게증가 속도가 감소하여 더 이상의 무게증가가 나타나지 않는데 600시간이 지난 후에는 산화피막의 성장응력으로 인하여 산화피막의 박리가 발생하여 시편의 파괴가 발생했다. 1100°C에서는 온도가 증가함에 따른 열응력에 견디는 내성이 감소하여 시편의 수명이 짧아진 것을 알 수 있다. Hf을 첨가한 시편의 경우 주기산화실험에서 내산화성이 향상되었지만 STS 309S에 비해 무게변화가 현

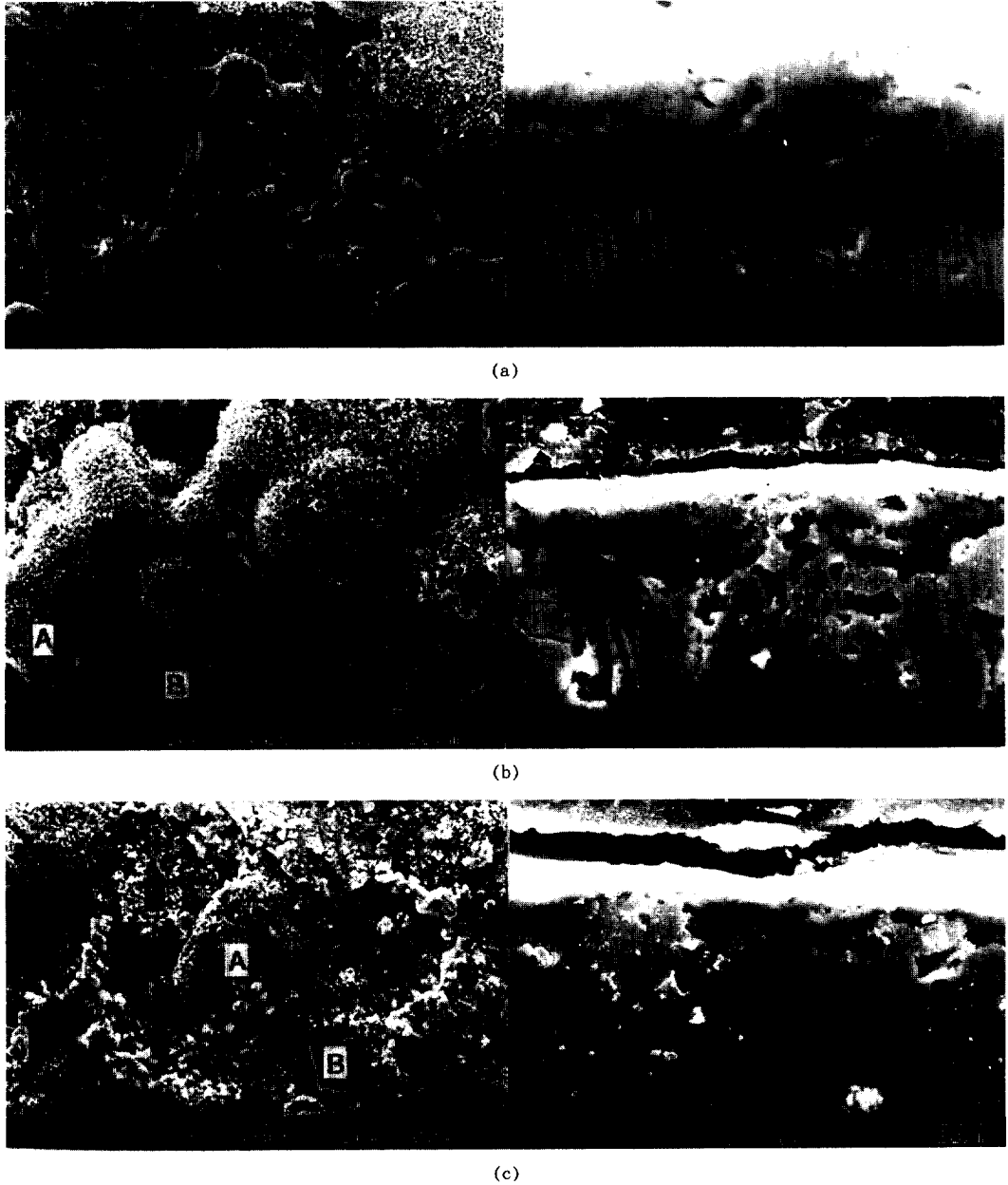


Fig. 8. SEM surface and cross-section morphologies after cyclic oxidation of STS 309S+0.5wt% Hf (a) at 900°C for 486 hours (b) at 1000°C for 487 hours (c) at 1100°C for 155 hours.

격하게 많이 일어나기 때문에 STS 309S의 주기 산화에 대한 저항성에는 크게 못 미친다. Y을 첨가한 시편의 경우 900°C에서 초기에는 포물선적인 산화거동을 보이며 무게증가가 다른 시편

에 비해 가장 크게 나타났고 1000°C의 경우에는 Hf을 첨가한 시편과 마찬가지로 급격한 시편의 무게증가를 나타내지만 증가된 시편의 무게를 그대로 일정하게 유지하는 안정된 산화거동을

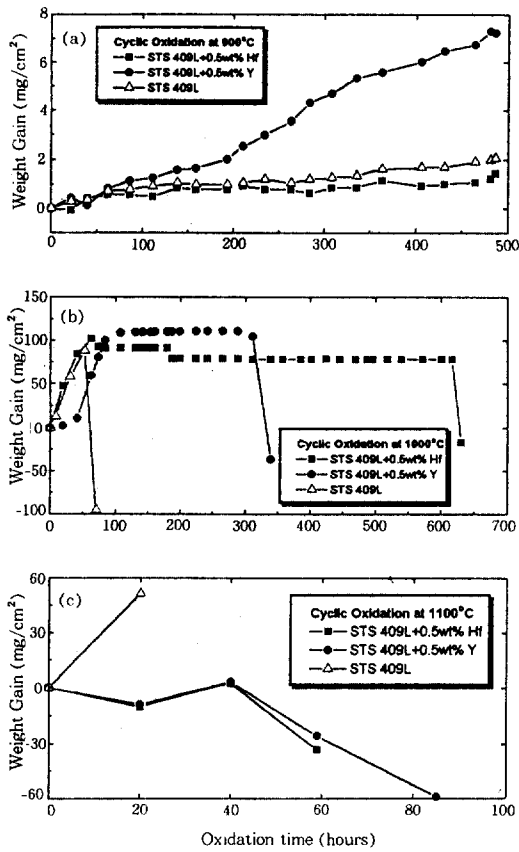


Fig. 9. Cyclic oxidation results of STS 409L (a) at 900°C (b) 1000°C (c) 1100°C.

보이다가 열응력에 견디지 못하고 시편의 파괴가 발생하였는데 온도가 증가함에 따라 Hf을 첨가한 시편보다 주기산화에 대한 저항성이 적게 나타났다.

Fig. 10은 각 온도범위에서 주기산화실험 후 Hf을 첨가한 시편들의 표면과 산화층 단면을 SEM으로 촬영한 사진인데 900°C에서는 Fig. 9의 결과에서 적은 양의 무게증가를 나타낸 것처럼 시편 표면이 균일한 Cr₂O₃와 MnO 산화물층으로 이루어져 있고 산화층과 모재와의 접착성도 우수하며 산화층 두께도 얇게 생성되었지만 실험 온도가 증가할수록 시편 표면에 Fe₂O₃의 분율이 95% 정도로 증가하고 시편의 내부산화도 발생하였는데 이는 시편이 주위의 열응력에

견디지 못하고 표면에 Fe₂O₃이 생성되어 보호피막으로 작용하는 Cr₂O₃의 산화층이 박리되고 모재에 있는 Fe가 산소와 결합하여 산화되었기 때문이다.

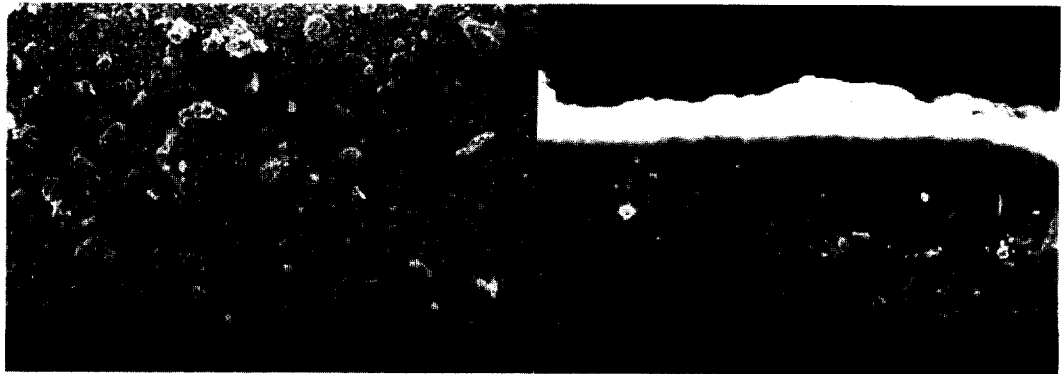
OAE를 첨가한 각 시편의 시간당 무게증가가 STS 309S와는 달리 급격하게 발생하고 시편의 박리가 나타났듯이 EDX 분석결과 OAE를 첨가한 시편의 경우 900°C에서는 내부산화가 일어나지 않았지만 1000°C와 1100°C에서는 시편의 내부산화가 발생하였는데, 이는 STS 309S에 비해서 STS 409L에 함유된 Cr의 함량이 낮음으로 인해 보호피막으로 작용하는 Cr 산화물의 구동력이 떨어지고 열응력에 견디는 내성도 감소하기 때문이다. 또한, 기지 합금에 존재하는 Cr의 함량이 많은 STS 309S보다 두꺼운 Fe 산화층이 관찰되었다.

4. 결 론

국내에서 생산되는 내열 스테인레스강인 오스테나이트계의 309S와 페라이트계의 409L 스테인레스에 OAE인 Hf과 Y을 첨가하여 900°C, 1000°C, 1100°C의 공기중에서 등온 및 주기산화 실험에 의해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 등온산화실험 결과 OAE를 첨가하지 않은 STS 309S는 실험 초기의 시편의 무게를 그대로 유지하는 산화거동을 나타내는 반면, OAE를 첨가한 시편들은 OAE의 첨가에 의해 산화속도가 증가하였지만 무게증가가 0.5mg/cm² 정도의 적은 양이었으며 특히, Y을 첨가한 시편은 초기에 증가한 시편의 무게가 일정하게 유지되는 안정한 산화거동을 나타냈으며 시편 표면에 균일한 산화층이 미세하게 생성되고 산화층과 모재간의 접착력도 양호하게 나타났다.

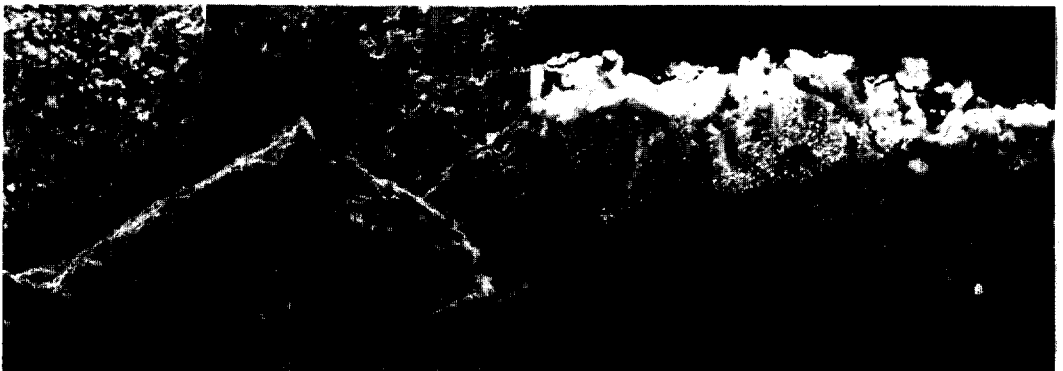
2. STS 409L의 등온산화실험의 경우에 OAE를 첨가하지 않은 시편은 포물선적인 산화거동으로 일정한 무게증가를 나타낸 반면, OAE를 첨가한 시편들은 OAE의 첨가에 의해 산화속도



(a)



(b)



(c)

Fig. 10. SEM surface and cross-section morphologies after cyclic oxidation of STS 409L+0.5wt% Hf (a) at 900°C for 486 hours (b) at 1000°C for 631 hours (c) at 1100°C for 59 hours.

가 증가하였는데 STS 309S와 마찬가지로 한번 증가된 시편의 무게를 일정하게 유지하는 산화 거동을 나타내었지만 높은 무게증가로 시편의 내부산화가 발생하여 내산화성의 향상은 나타나

지 않았다.

3. 주기산화실험 결과 STS 309S는 실험 온도가 증가할수록 시편이 급격하게 무게 감소가 일어나서 열응력에 견디지 못하는 재료로 밝혀졌

지만, OAE를 첨가한 시편의 경우에는 OAE의 첨가에 의해 무게감소속도가 감소하였는데 특히, Hf을 첨가한 시편의 경우에는 실험 온도가 증가할수록 시간에 따른 시편의 무게 감소 속도가 느리고 다른 시편에 비해 시편의 무게 감소도 적게 나타났으며 시편 표면에 생성된 Cr 산화물이 모재 내부의 Fe의 표면 확산을 방지하는 장벽으로 작용하여 시편의 내부산화를 방지하고 있다.

4. OAE를 첨가하지 않은 STS 409L의 경우 초기부터 급격한 무게증가로 박리현상이 나타나서 시편의 파괴가 발생하였는데 Hf을 첨가한 시편은 1000℃에서 초기에 증가한 시편의 무게를 600시간이 지나도록 일정하게 유지하는 산화거동을 나타내어 OAE의 첨가에 의해 시편에 생성된 산화피막의 성장속도를 감소시키는 보호피막의 작용을 하는 재료로 내산화성이 향상되었다. Y을 첨가한 시편의 경우에도 Hf보다 수명은 짧지만 OAE를 첨가하지 않은 시편에 비해 내산화성이 향상되었다. 그러나 STS 309S 시편에 비해 현격하게 무게변화가 일어나서 STS 309S에 비해서 내산화성이 떨어진다.

5. STS 309S와 STS 409L의 주기산화실험 결과를 비교하면 STS 309S에 OAE를 첨가함으로써 소량의 무게증가를 나타내어 주기산화에 대한 저항성이 향상되었으나 STS 409L에서는 무게증가가 현격하게 일어나서 STS 309S보다는 저항성이 향상되지 않았다. 이는 모재에 존재하는 Cr함량이 많기 때문에 보호피막의 기능을 더 제공하는 것으로 보인다.

5. 후 기

본 연구는 1995년도 충남대학교 공과대학 국책사업 학·연·산 공동계획에 의하여 시행되었으며 이에 감사드립니다.

5. 참 고 문 헌

1. W. F. Smith : Structure and Properties of Engineering Alloys, McGraw Hill, (1993) 288.
2. R. M. Bricks, A. W. Pense and R. B. Gordon : Structure and Properties of Engineering Materials, McGraw Hill, (1977) 337.
3. I. R. Son and G. M. Kim : Journal of The Korean Institute of Surface Engineering, 27 (1994) 123.
4. D. H. Kim and G. M. Kim : Journal of The Korean Institute of Surface Engineering, 28 (1995) 333.
5. E. Bullock, C. Lea and M. McLean : Metal Science, June (1979) 373.
6. D. A. Jones : Principles and Prevention of Corrosion, MacMillan, (1992) 407.
7. L. L. Shreir : Corrosion Vol. 1, Newes-Butterworths, (1979).
8. C. T. Sims, N. S. Stoloff and W. C. Hagel : Superalloys II, John Wiley and Sons, (1987) 553.
9. H. H. Uhlig and R. W. Revie : Corrosion and Corrosion Control, 3rd Ed., John Wiley & Sons, (1985) 205.
10. M. J. Bennett and D. P. Moon : Effect of Active Elements on the Oxidation Behaviour of Cr₂O₃-Formers, Elsevier Applied Science, (1988).