

금속표면처리

Journal of the Metal Finishing Society of Korea
Vol. 20, No. 3, Sept., 1987

〈연구논문〉

Inconel 600에 있어서 Al 및 Al-Cr擴散浸透 被覆處理에
따른 被覆層의 特性和 耐蝕性

鄭 濤相, 朴 景采, 朴 秀湖*

慶北大學校工科大学金屬工學科

Microstructure and Hot Corrosion Resistance of Aluminide
and Chromium-Aluminide Coatings for Inconel 600

In-Sang Chung, Kyeong-Chae Park, Soo-Ho Park*

Dept. of Metall. Engng., Kyungpook National University, Taegu, 635 Korea.

ABSTRACT

For the purpose of improving the hot corrosion resistance of Ni-base superalloy, Inconel 600, aluminide and chromium-aluminide coatings by pack cementation process were studied. The morphology of these coatings is dependent on the type of process employed. And their overall composition depends on the composition of the base alloy and on the nature of the cement.

Therefore the different aluminide and chromium-aluminide coatings obtained on a superalloy do not possess the same resistance to oxidation and hot corrosion.

The mechanisms governing the formation of the coatings and the composition of the coatings were varied by pack composition and temperature, and cyclic hot corrosion resistance of the aluminide coating formed by one-step process was inferior to that of the coating formed by two-step process. And Cr-Al composite coating showed good resistance for cyclic hot corrosion.

1. 서 론

가스터빈 재료로 사용되는 우수한 내열합금의 개발은 고성능의 엔진개발에 있어서 매우 중요한 비중을 차지한다. 가스터빈이나 제트엔진의 열효율을 높이기 위한 가장 좋은 방법은 사용가스의 온도를 높이는 것이다. 이 때문에 터빈 재료로 사용되는 Ni基 超合金이나 Co基 超合金은 더욱더 가혹한 분위기에서 사용되므로 고온강도와 고온내식성을 필요로 하게 된다. 그런데 합금설계상 양자를 겸

비하는 합금의 개발은 어려운 상황이므로 고온강도와 고온내식성을 개선하는 방법이 효과적이다.

Ni기 초합금은 Ni에다 10여종의 합금원소를 첨가하여 고온강도 및 고온내식성을 향상시키고 있다. Ni기 초합금의 몇가지 강화기구중에서 가장 중요한 강화기구는 γ 에 의한 석출강화인데¹⁾ 고온강도를 개선시키기 위한 방법으로 γ 상의 석출을 조장하는 Mo, W 등의 함량을 높이고 석출을 억제하는 Cr 함량을 저하시킨다. 그 결과 고온강도는 증가되나 고온내

* Present; Research Institute of Industrial Science & Technology, Pohang 680

식성에 기여하는 Cr의 감소로 인하여 내식성의 저하를 초래한다. 그러므로 이러한 결점을 개선하여 내식성을 부여하는 방법의 하나로 초합금에 표면 피복을 실시하는 것이 일반화되고 있다.⁷⁾

前報⁷⁾에서 언급한 바와 같이 Ni기 초합금에 대한 Al화산침투 피복법은 산화와 고온부식방지에 효과적인 방법이고 피복처리조건에 따라 여러가지 상이 나타나게 된다. Al화산침투피복시 Al이 피복되는 기구를 Goward⁸⁾ 등이 두가지로 분류했다. 하나는 Al 농도가 높고 처리온도가 낮을 때 Al 피복소재 내부로 확산해 들어가 피복층이 형성되는 경우이고, 다른 하나는 Al농도가 낮고 처리온도가 높을 때 Ni이외부로 확산해 나와 Al과 결합하여 피복층이 형성되는 경우이다. 전자에서는 먼저 불안정상인 Ni_2Al_3 가 형성되고 이것을 다시 고온에서 확산처리함으로써 안정상인 NiAl이 형성되는 이른바 두단계과정이고, 후자의 경우는 단 한번의 처리로써 안정상인 NiAl이 형성되는 한단계과정이다. 가스터어빈 재료가 받는 부식환경은 고온산화와 동시에 연료중에 함유된 V, Na 등의 화합물의 부착에 의한 고온부식을 받는 분위기이다. 즉 연료중 S의 연소에 의해 생성된 SO_2 와 공기중에 함유된 미량의 NaCl과 반응하여 생긴 Na_2SO_4 에 V_2O_5 등이 혼입된 용융염 부착에 의해 대단히 복잡한 고온부식거동을 나타내고 있다. 이러한 Al 화산침투피복법에 있어서 피복처리조건에 따라 두가지형태의 피복기구로 분류할 수 있으며, 피복층의 성상 및 조성이 달라지게 된다. 그 결과 부식거동도 다른 경향을 보인다.

Pichior⁹⁾에 따르면 IN100을 피복소재로 하여 두단계로 피복처리했을 때의 산화거동은 한단계로 피복처리했을 때 보다 나쁘다고 하였다. 그리고 近岐¹⁰⁾ 등은 IN738LC에서 두단계로 처리했을 때 耐黃化腐蝕이 한단계로 처리했을 때 보다 더 좋다고 보고하였다. 이와 같이 상이한 결과가 나타나는 이유로는 피복소재의 화학조성과 피복층내에 존재하는 탄화물과 같은 석출물의 존재유무 등이 있다.

본 연구에서는 석출물이 없고 Cr함량이 비교적 많은 고용강화합금인 Inconel 600을 피복소재로 하여

화산침투처리를 하였을 때, 보다 양호한 내식성을 얻기 위해서는 어떠한 피복기구로 처리하는 것이 좋은가를 알아보기 위해서 앞의 두가지 Al화산침투피복법에 기초를 두고 혼합분말조성과 처리온도를 변화시키면서 피복처리를 실시하여 반복용융염 도포 시험에 의해 내식성을 평가하였다. 또한 고온내식성을 향상시킬 목적으로 Cr-Al단독피복처리 및 Cr-Al두단계 복합피복처리를 실시하여 피복처리조건에 따른 피복층의 성상 및 조성에 대해 검토하였다. 그리고 이때 형성된 Al 및 Cr-Al화산침투피복시료의 내식성을 조사하기 위하여 80% Na_2SO_4 -20% NaCl 혼합용융염도포에 의한 반복 용융염 도포시험을 실시함으로써 피복층의 성상 및 조성에 따른 고온부식특성을 규명하여 Inconel 600의 Al 및 Cr-Al화산침투피복에 관한 기초자료를 얻는데 목적을 두었다.

2. 실험방법

2-1. 피복처리

피복제로 사용한 Ni기 초합금의 소재는 前報⁷⁾와 같이 Inconel 600으로 그 화학조성을 Table.1에 나

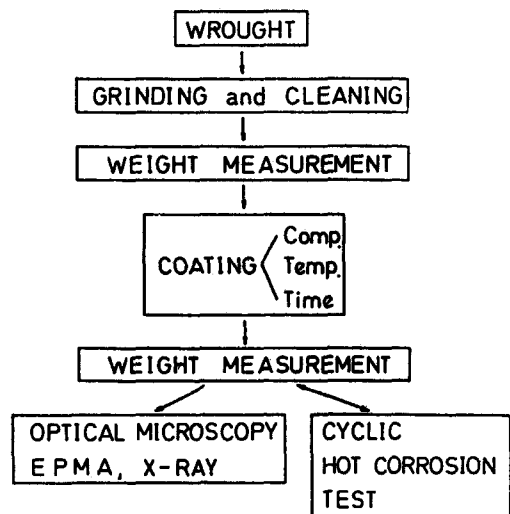


Fig. 1 Schematic diagram of experimental procedure.

Table. 1 Chemical composition of Inconel 600 (wt%).

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Fe	Co	Nb	Ti	Al
0.03	0.39	1.25	0.025	0.001	bal.	15.33	7.77	0.5	0.5	0.7	0.2

타내었다. 전반적인 실험과정은 Fig. 1에 나타낸 대로이며, 시료의 준비과정은 전보⁷⁾와 같다.

Al확산침투피복처리는 서론에서 언급한 2 가지 분류에 기초를 두고 800~1100°C 사이에서 분말조성을 변화시키면서 실시하였다. 혼합분말은 금속분말인 Al, 황성제인 NH_4Cl 및 소결방지제인 Al_2O_3 를 일정한 비율로 하여 혼련기에 의해 60rpm×30분간 혼련하여 준비하였다. 시료는 혼합분말과 함께 스테인레스관에 넣어 봉입한 후 Ar분위기에서 고온으로 가열하여 피복하였다.

Al-Cr 피복처리는 Al과 Cr, NH_4Cl 및 Al_2O_3 를 일정한 비율로 섞은 분말중에 시료를 넣은 다음 1100°C에서 H_2 분위기하에서 실시하였다.

2 - 2. 고온부식실험

피복층의 내식성을 조사하기 위하여 반복 용융염 도포시험을 하였다. 이 시험은 800°C에서 80% Na_2SO_4 -20%NaCl 용융염에 시료를 1분 동안 침지한 후 꺼내서 20시간 유지하는 것을 1회로 하여 7회까지 반복하였으며, 매 회마다 시료를 꺼내서 스케일을 제거한 후 무게의 변화량을 측정하였다.

스케일은 18%NaOH+3%KMnO₄ 수용액중에서 1시간 끓인 다음 10% 구연산 암모늄($(NH_4)_2HC_6H_5O_7 \cdot H_2O$) 수용액 중에서 30분 끓인 후 철술을 사용하여 제거하였다.

3. 결과 및 고찰

3 - 1. Al확산침투피복층의 특성

Goward⁸⁾ 등이 분류한 두 가지 피복기구에 대한 혼합분말조성과 온도의존성을 알아보기 위해 피복처리조건을 변화시키면서 피복을 실시하였다.

Fig. 2는 혼합분말조성을 3~20%Al로 변화시키면서 800~1100°C 사이에서 2시간 피복처리를 할 때

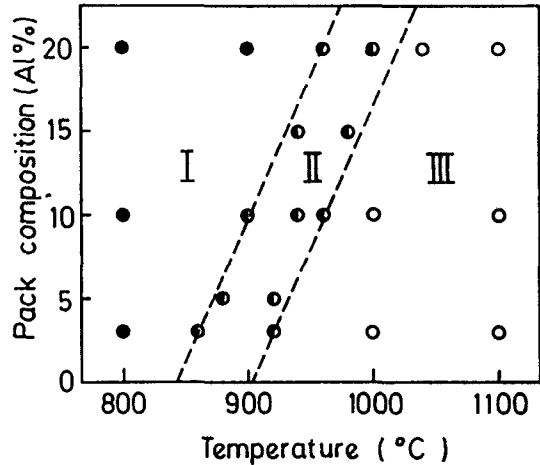


Fig. 2 Schematic plot of the dependence of the layer structure in aluminized alloy as a function of pack composition and temperature.

나타나는 피복층구조(coating layer morphology)를 광학현미경 관찰과 X-회절분석에 의해 조사한 결과이다. 여기서 피복층구조는 크게 세 구역으로 나눌 수 있는데, I구역은 두단계처리조건에 해당되는 구역으로 Photo. 1에서 보는 바와 같이 피복층은 석출물이 미세하게 분산되어 있는 단일층으로 되어 있으며, Fig. 3에 나타낸 X-선회절분석에 의하면 이 피복층은 $\delta(Ni_2Al_3)$ 상을 주체로 하여 석출상을 포함하고 있음을 알 수 있다. III구역은 한단계처리조건에 해당되는 구역으로 피복층은 X-선회절분석결과 $\beta(NiAl)$ 상으로 확인되었으며, Photo. 1에서 보는 바와 같이 피복층은 두층으로 구분형성 되어 있는데 외층은 $\beta(NiAl)$ 단일상으로 되어 있고 내층은 β 상에 석출물이 석출되어 있는 것을 알 수 있다. 그리고 II 구역은 I과 III의 전이구역이다. 각각의 분말조성에서 처리온도를 변화시킴으로써 피복층 구조가 달라졌으며 Al량이 증가함에 따라서 피복층구조가 달라지는 온도가 높아진다는 것을 알 수 있다.

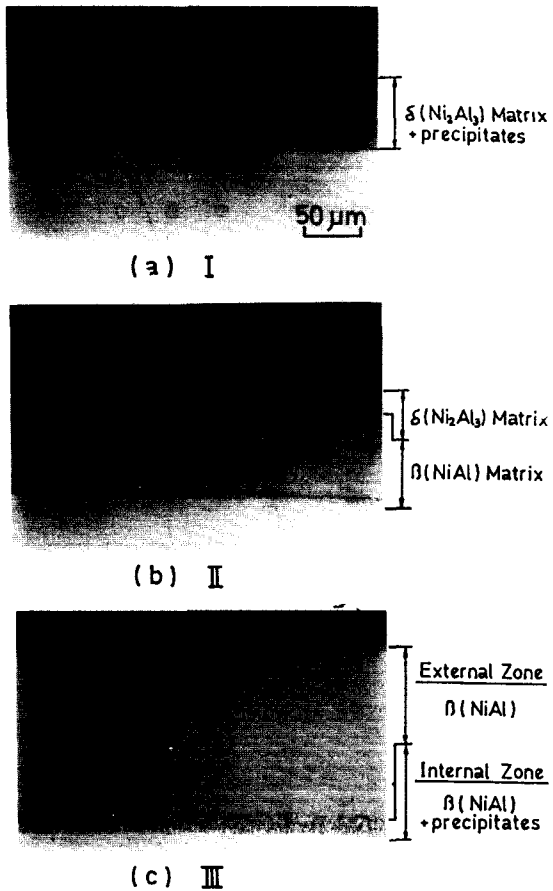


Photo. 1 Microstructures of the cross section of aluminide coating layer on Inconel 600 formed at the three zone of Fig. 2.

Photo. 1은 Fig. 2에서 표시한 세구역에 대한 대표적인 조직사진이다. (a)는 I구역의 조직사진으로 Al 농도가 높고 처리온도가 낮을 때 Al이 우세하게 피복소재 내부로 들어가 $\delta(Ni_2Al_3)$ 상을 형성한 경우의 조직사진으로 초합금에 고용되어 있던 Cr등의 합금원소들이 δ 상에서는 미처 고용되지 못하고 석출된 것을 나타내고 있다. (c)는 III구역의 조직사진으로 Ni의 우세한 외부로의 확산에 의해 형성된 $\beta(NiAl)$ 상의 조직사진이다. 이 조직은 크게 두층으로 나눌 수 있는데, 외층에서는 기지금속내의 합금원소들이 확산해 나와 고용되어 석출상이 없어 깨끗하게 보인

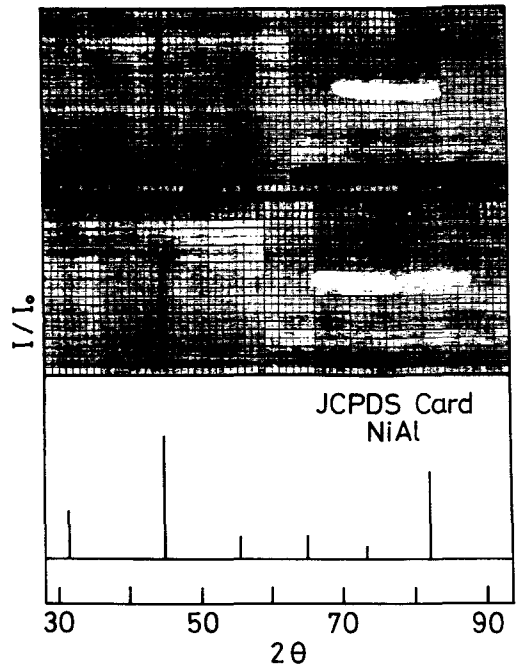


Fig. 3. X-ray diffraction pattern of Al coating layers, aluminized for 2h at 1100°C by using a mixture consisting of 2%Al, 2%NH₄Cl, 96%Al₂O₃.

다. 한편 내층에서는 기지금속내의 Ni이 바깥쪽으로 빠져나감으로 인하여 형성된 β 상에 합금원소들이 미처 고용되지 못하고 석출물의 형태로 존재하고 있는 것을 보이고 있다. (b)는 (a)의 조직사진과 유사한 바깥층과 (c)의 조직사진과 유사한 안쪽층이 혼합된 (a)와 (c)의 중간형태를 나타내고 있다.

Al확산침투피복층의 구조를 조사하기 위하여 X-선회절을 분석한 결과가 Fig. 3과 Fig. 4이다. 앞서도 언급한 바와같이 한단계처리조건에 의해 형성된 피복층의 X-선회절 결과와 $\beta(NiAl)$ 상의 JCPDS card를 비교해 본 결과, 피복층의 구조가 β 상이라는 것을 확인할 수 있었다. 또한 두단계처리조건에 의해 형성된 피복층의 구조는 $\delta(Ni_2Al_3)$ 상이라는 것도 알 수 있었다.

Photo. 1의 (c)는 한단계처리조건으로 피복하였을 때의 조직사진으로 Inconel 600을 피복소재로하여 피복처리를 했을 때의 내층의 두께가 다른 Ni기 조합

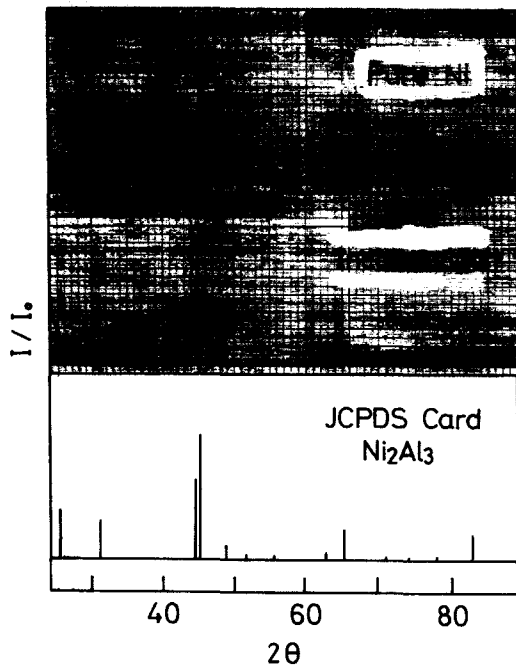
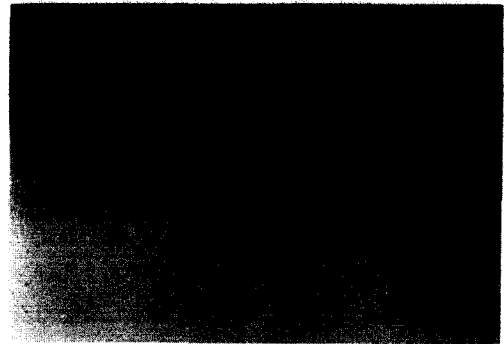
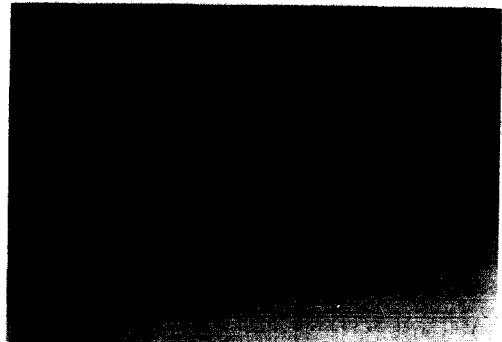


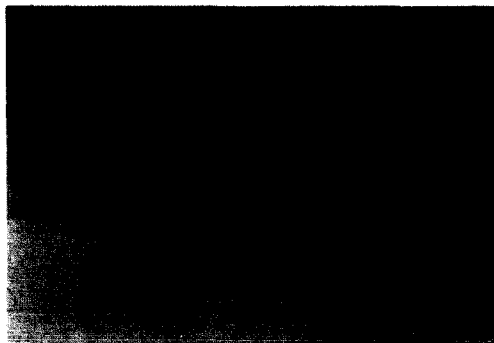
Fig. 4 X-ray diffraction pattern of Al coating layers, aluminized for 2h at 800°C by using a mixture consisting of 30%Al, 3%NH₄Cl, and 67%Al₂O₃.



(b) René 80
(3.0%Al)

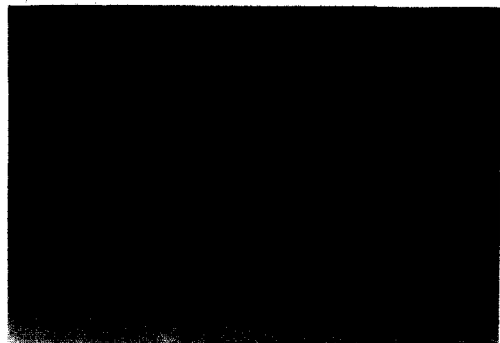


(c) Inconel 600
(0.2%Al)



(a) Inconel 713C
(6.1%Al)

50 μm



(d) Pure Ni

Photo. 2 Effect of Al contents of matrix, aluminized for 2h at 1100°C by using a mixture consisting of 2%Al, 2%NH₄Cl, and 96%Al₂O₃.

금을 사용하여 피복하였을 때 보다 상당히 얇게 나타났다. 이러한 원인을 밝혀보기 위해 Al함량이 다른 몇가지 Ni기 초합금을 사용하여 한단계처리조건으로 피복처리하였다. 그 결과가 Photo. 2이다. Photo. 2는 기지금속내의 Al함량이 한단계 처리조건으로 피복된 피복층중의 내층의 두께에 미치는 영향을 알아보기 위해 Al함량이 다른 Inconel 713C (6.1%Al), Rene 80 (3.0%Al), Inconel 600 (0.2%Al), 그리고 pure Ni을 피복소재로 하여 1100°C, Ar분위기에서 2%Al-2%NH₄Cl-96%Al₂O₃ 혼합분말을 사용하여 2시간 피복처리 하였을 때 형성되는 조직사진이다. 여기서 초합금내의 Al함량이 낮아짐에 따라서 전체 피복층의 두께는 거의 변화가 없었으나, 피복층중의 내층의 두께는 감소하였다.

한단계과정에서 피복층이 형성될 때의 확산기구는 Ni의 우세한 외부로의 확산에 의한 것이다⁹⁾. Ni이 외부로 확산되어 나감으로 인해 기지금속내에서 상대적으로 Ni이 감소하게 되어 기지금속내의 Al과 반응하여 NiAl을 형성하게 되고, 이때 내층에서 합금원소들이 미처 고용되지 못하고 Cr을 주체로 하는 석출물 형태로 존재하게 된다. 그런데 초합금내의 Al함량이 낮아지게 되면 Ni이 외부로 빠져나감에 따라서 Ni의 상대적인 감소로 인해 Al과 반응하여 NiAl을 형성할 여지가 줄어들게 되므로 석출량이 나타나는 Ni-rich NiAl층의 두께가 줄어들게 된다. 또한 pure Ni에서는 피복층과 기지금속과의 계면에 void가 생긴다는 사실로 미루어 보아 한단계과정에서 Ni이 바깥쪽으로 확산해 나가서 피복층을 형성한다는 사실을 직접적으로 증명할 수 있다.

Fitzer¹¹⁾ 등은 피복층중의 내층에 형성된 석출물들이 고온에서 장시간 사용시 피복층을 형성하고 있는 Al, Ni 등의 확산에 의해 피복층이 열화(evolve) 되는 것을 막는 확산장벽 역할을 한다고 보고하였다. 그리고 Smialek¹²⁾ 등은 고온에서 장시간 사용시 피복층과 기지금속사이에 상당한 상호작용이 일어나게 되어 내산화성이 나빠진다고 하는 모델을 제시하였다. 또한 Redden¹³⁾ 등은 피복처리 동안과 고온에서 사용시 기지금속과 피복층과의 상호작용에

의해 피복층구조가 달라진다는 것을 보이고 있으며 이러한 상호작용을 알므로서 피복층의 수명과 신뢰성을 개선시킬 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서 사용한 Inconel 600에서는 다른 Ni기 초합금과는 달리 한단계과정에서 피복층중의 석출물층이 얇게 형성되어 있기 때문에 장시간 사용시 다른 Ni기 초합금에 대한 피복층 보다 내식성이 다소 떨어질 것으로 생각된다.

3 - 2. Al-Cr 확산침투피복층의 특성

Fig. 5는 1100°C, H₂분위기하에서 Cr/Al 금속분말 조성비를 다르게 하여 처리시간을 변화시키면서 被覆處理를 하였을 때 처리시간과 무게변화량과의 관계를 나타낸 것이다. 처리시간이 3시간에서 5시간으로 늘어남에 따라 무게증가는 비교적 현저히 증가하였으나 5시간에서 7시간으로 늘어난 경우에는 그 변화가 완만하였다.

Fig. 6은 Fig. 5와 같은 처리조건으로 被覆處理하

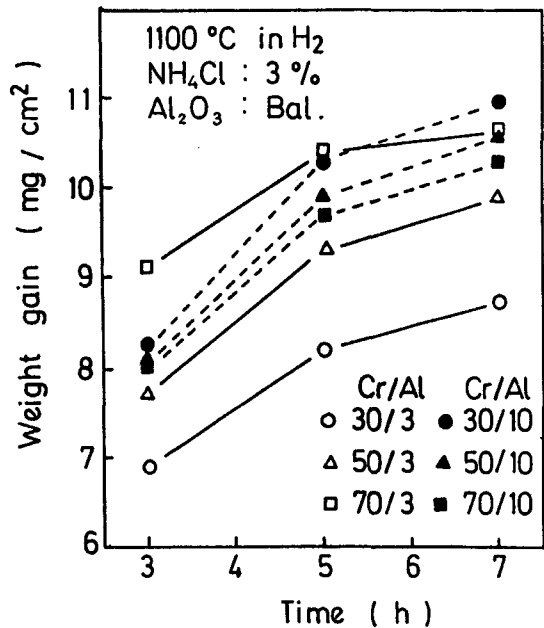


Fig. 5 Weight gain by chromium-aluminide coating on Inconel 600 as a function of time at 1100°C.

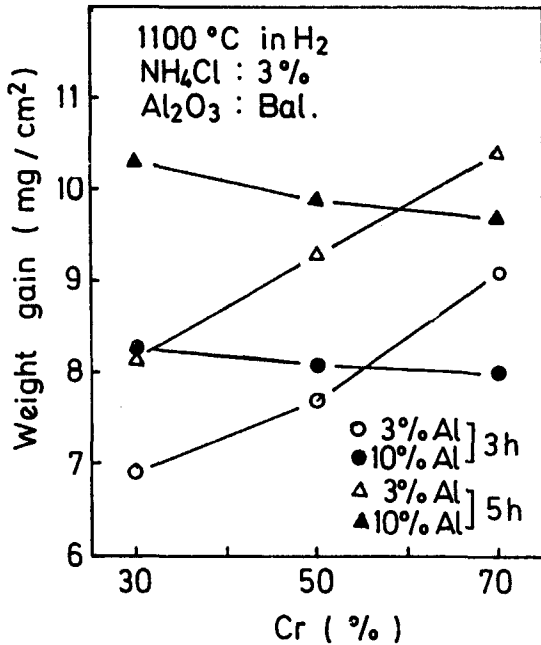


Fig. 6 Weight gain by chromium-aluminide coating on Inconel 600 as a function of Cr contents at 1100°C.

였을 때 Cr 분말량과 무게변화량과의 관계를 나타낸 것이다. Al량이 3%일 때 Cr량이 증가함에 따라 무게는 증가하였으나 Al량이 10%일 때는 Cr량을 증가시키면 무게가 감소하였다.

Fig. 7은 Fig. 5의 처리조건으로 被覆處理하였을 때 Cr분말량과 두께변화와의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 6과 같이 무게변화 향으로 나타내었을 때 각각의 직선의 기울기가 다르게 나타났다.

Cr-Al 被覆處理에 있어서 혼합분말중의 Al량을 3%, 10%로 일정하게 하고 Cr량을 30~70%로 변화시키면서 被覆處理를 했을 때 Al이 3%일 때와 10%일 때 피복정도가 달랐다. Al과 Cr의 원자량이 다르므로 피복평가방법에 있어서 무게증가로 했을 때와 두께증가로 했을 때 서로 일치하지 않는다. 즉 Fig. 6, Fig. 7에서처럼 Cr-Al피복한 시료의 피복정도의 평가에 있어서 무게는 증가하여도 두께는 같은 정도로 증가하지 않을 수도 있다. Fi. 6, Fig. 7의 결과로 미루어 보아 Al을 비교적 적은 양인 3%

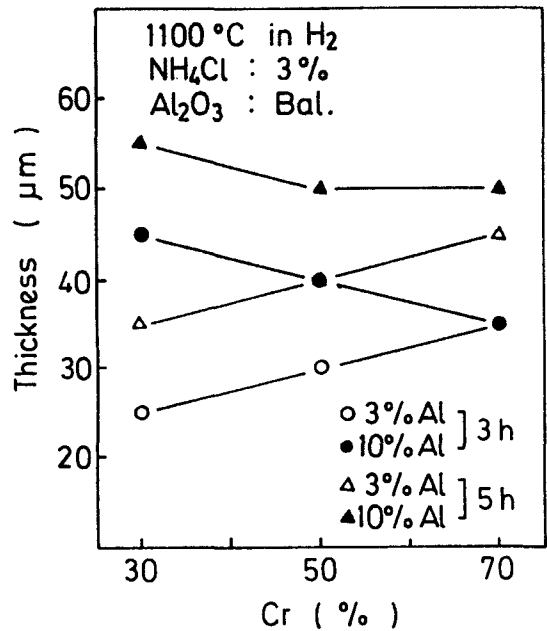


Fig. 7 Thickness by chromium-aluminide coating on Inconel 600 as a function of Cr contents at 1100°C.

로 고정하고 Cr량을 증가시키면서 被覆處理했을 때 무게증가에 대한 두께증가가 작은 것으로 부터 피복층내에 Cr이 많이 고용되어 있고 이러한 사실은 피복층 형성에 Al과 더불어 Cr이 함께 기여한다는 것을 알 수 있다. 또한 Al량을 10% 했을 때 무게변화에 대한 두께변화율, 즉 무게감소 정도보다 두께감소정도가 더 컸다. 이는 Cr의 피복능이 Al의 피복능보다 낮으므로 Al에 Cr과 같은 다른 금속분말을 넣어 동시에 처리하면 오히려 Al의 활동도를 낮추게 되어¹⁴ 피복능을 감소시키는 효과가 있기 때문이라고 생각된다. 그러므로 Cr은 피복층 형성에 거의 기여하지 않게 되어 Fig. 8의 EPM-A 결과에서와 같이 피복층 내의 Cr함량은 아주 낮았다.

Fig. 8은 1100°C, H₂분위기하에서 10%Al-30%Cr-3%NH₄Cl-57%Al₂O₃분말을 5시간 被覆處理 하였을 때의 조직사진과 EPMA결과이다. Ni강도는 one-step의 결과와 유사하였고 Al강도는 외층에서 내층

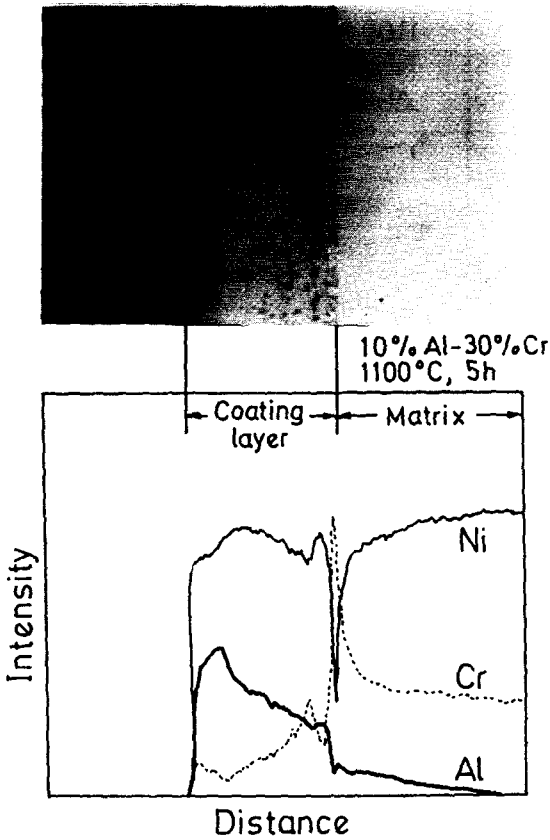


Fig. 8 Microstructure and composition profile of chromium-aluminide coating, chromium-aluminized for 5h at 1100°C by using a mixture consisting of 10%Al, 30%Cr, 3%NH₄Cl, 57%Al₂O₃.

으로 갈수록 점점 낮아졌다. Cr강도는 외층에서는 낮았고 내층으로 갈수록 Cr피크가 많이 존재했으며 피복층과 기지금속 경계에서 강한 피크가 나타났다.

Fig. 9는 1100°C, H₂ 분위기하에서 3%Al-50%Cr-3%NH₄Cl-44%Al₂O₃분말을 5시간 被覆處理하였을 때의 조직사진과 EPMA결과이다. Fig. 8에서 보다 Cr강도가 상당히 높게 나타났다.

Fig. 10은 Cr→Al 2단계처리한 시료의 조직사진과 EPMA결과이다. 외층부에 Cr강도가 매우 높게 나타났으며 피크도 많이 보이고 있는 반면 내층에서

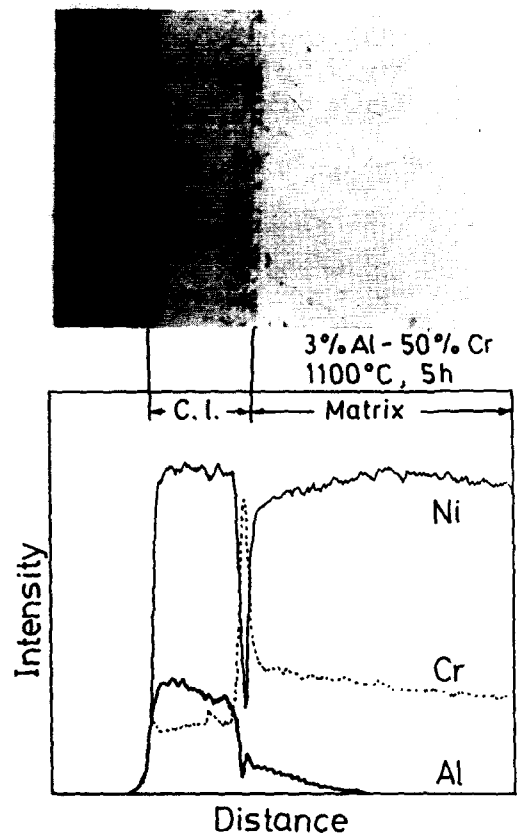


Fig. 9 Microstructure and composition profile of chromium-aluminide coating, chromium-aluminized for 5h at 1100°C by using a mixture consisting of 3%Al, 50%Cr, 3%NH₄Cl, 44%Al₂O₃.

는 Cr이 상당히 낮게 나타났다. 또한 Ni은 Cr과 잘 대응되고 있음을 보이고 있다.

3-3. 고온부식시험

고온부식시험법으로는 연소가스시험(Burner Rig Test), 용융염 침지시험, 용융염 도포시험 등이 있다. 본 연구에서는 실제 환경과는 다소 차이가 있지만 용융염에 의한 고온부식을 비교적 단순하게 실현할 수 있고 단시간에 평가가 가능한 반복 용융염 도포시험을 실시했다.

여러조건의 예비실험으로 얻어진 피복처리조건 중

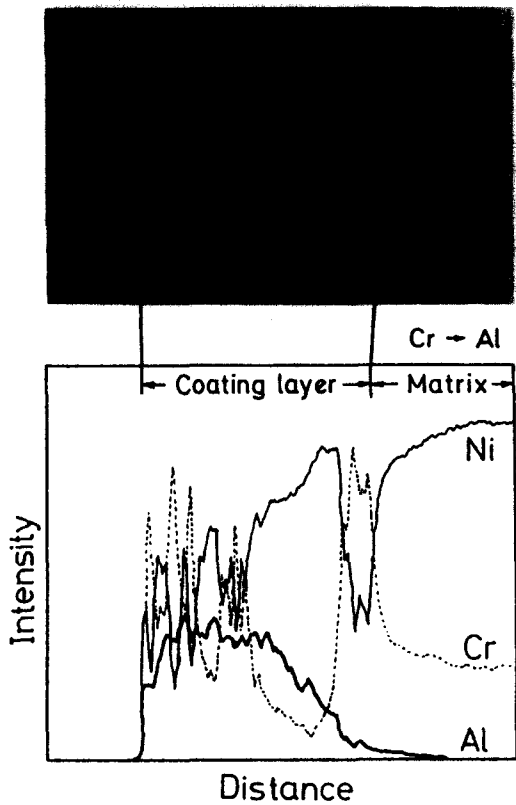


Fig. 10 Microstructure and composition profile of chromium-aluminide coating, 50%Cr, 5%NH₄Cl, 45%Al₂O₃, 1100°C, 5h-8%Al, 3%NH₄Cl, 94%Al₂O₃, 1100°C, 2h.

에서 Al피복시료는 피복층의 두께가 약 100 μ m인 시료를 부식시료로 택하였으며 부식시료로 사용할 被覆處理條件을 Table. 2에 나타내었다. 한편 Cr-Al 피복에 있어서 피복층내의 Cr조성을 변화시키기 위해 處理條件 즉 Cr/Al비를 다르게 하면 Cr은 피복능을 저하시키는 효과가 있기 때문에 각각 달라지게 되어 피복층의 두께를 일정하게 할 處理條件을 정하기가 어려웠다. Table. 2에서 A는 한단계과정에 해당되고 B와 C는 두단계과정에 해당되며 B와 C의 차이는 확산처리시간의 차이이다. D와 E는 Al-Cr피복시료이고 F는 Cr을 被覆處理한 다음 Al被覆處理를 행한 시료이다.

Fig. 11은 80%Na₂SO₄-20%NaCl용융염을 약 10mg

Table. 2. Pack composition and aluminizing process.

	Pack Comp.(wt%)				Al,Al-Cr,Cr-Al		Diff. Treat.
	Al	Cr	NH ₄ Cl	Al ₂ O ₃	Temp(°C)	Time	
A	3	-	3	94	1100	2h	-
B	30	-	3	67	800	3h	1100°C, 2h
C	30	-	3	67	800	3h	1100°C, 20h
D	10	30	3	57	1100	5h	-
E	3	50	3	44	1100	5h	-
F	-	50	3	45	1100	5h	-
	3	-	3	94	→1100, 2h		-

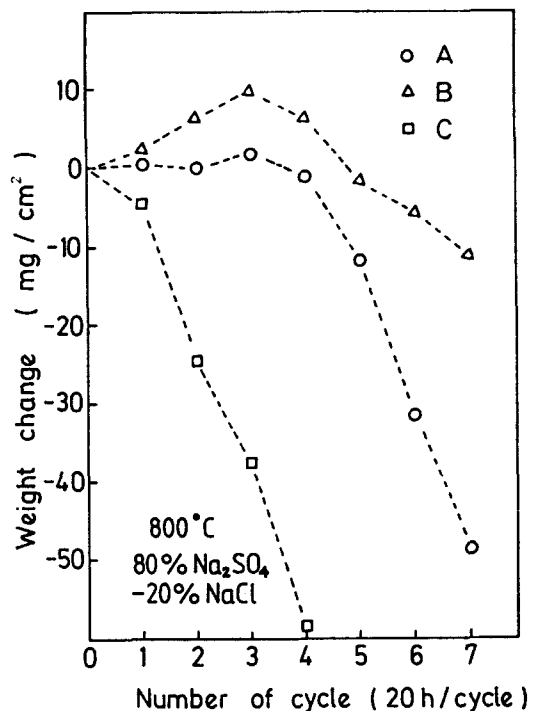


Fig. 11. Cyclic hot corrosion behaviors of various aluminide coating at 800°C.

/cm²으로 도포한 시료를 800°C에서 20시간 유지하는 것을 1회로 하여 매 1회 마다 무게변화를 측정하여 총 7회까지 반복 용융염 도포시험을 실시한 결과이다. 두단계과정에 의한 피복시료 중에서 확산 처리 시간이 비교적 짧은 B는 한단계과정에 의한 A시료보다 무게 감소량이 적었다. C시료는 1회 이후부터

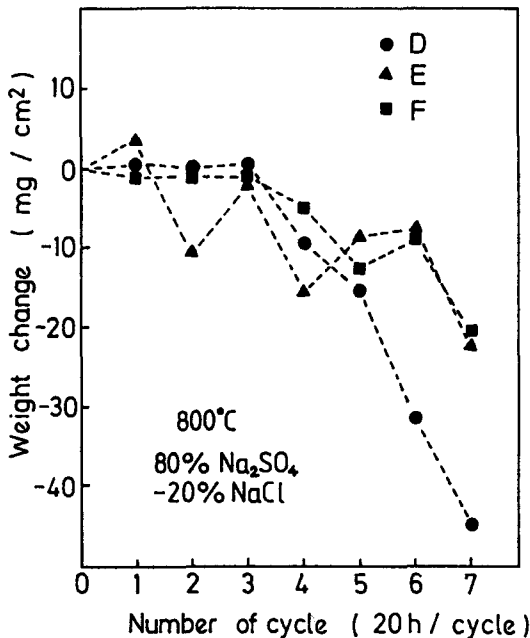


Fig. 12. Cyclic hot corrosion behaviors of various chromium-aluminide coating at 800°C.

무게가 급격하게 감소하였다.

Fig. 12는 Cr-Al被覆處理한 D, E 그리고 F시료에 대해 Fig. 11과 같은 부식조건에서의 부식거동을 나타낸 결과이다. D시료는 A시료와 유사한 부식거동을 나타내고 있고 Cr → Al 2단계처리한 F시료는 내식성이 다소 향상되었다.

被覆處理條件을 달리하면서 피복된 시료는 다른 부식거동을 나타내게 된다. 處理條件에 따라서 피복층의 구조와 피복층내의 조성이 달라지게 된다. Pichior⁹와 近岐¹⁰등에 의하면 한단계과정, 두단계과정 및 Cr-Al 被覆處理에 있어서 피복층 두께가 일정하다고 가정할 때 어느 被覆處理가 유리한가 하는 것은 피복소재의 화학조성(특히 Cr, Al, Ti), 피복소재내에 존재하는 탄화물 등의 석출물 존재유무, 혼합분말조성 그리고 처리온도등을 복합적으로 고려해야만 결정지을 수 있다. 본 연구에서 사용한 Inconel 600은 다른 Ni기 초합금에 비해 Cr농도가 비교적 높고, 고용강화형 합금이기 때문에 석출물이 존재하지 않는

다. 따라서 위의 여러가지 인자를 고려해 볼 때 被覆處理條件에 따라서 다르게 나타나는 피복층내의 Cr농도분포 및 Cr을 주체로 하는 석출물의 존재유무 등이 부식거동에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다. 앞의 EPMA결과에서 본 바와 같이 한단계과정으로 被覆處理했을 때와 두단계과정으로 했을 때 그리고 Cr-Al被覆處理했을 때 피복층내에 존재하는 Al 및 Cr의 조성이 다르게 나타났다. Fig. 8과 Fig. 9에서 알 수 있듯이 Cr-Al被覆處理에서 Al을 10%로 고정시킨 경우보다 3%로 고정시킨 경우가 Cr함량이 높게 나타났다. 그리고 Fig. 10에서 Cr → Al被覆處理 했을 때에는 Cr의 농도가 다른 피복시료에 비해 상당히 높았다. 그러므로 반복 고온부식 시험에서는 피복층내의 Cr함량이 높아질수록 내식성이 향상된 것을 보이고 있다. 前報⁷의 결과와 비교해 볼 때 한단계과정일 때와 두단계과정일 때 부식거동이 다르게 나타났다. 전보⁷의 결과에 의하면 한단계과정으로 被覆處理한 시료가 두단계과정으로 처리한 시료보다 耐反復酸化性이 우수하였다. 본 연구결과와 위의 결과가 다르게 나타난다는 사실은 내산화성에는 Al이 기여하고 耐高溫腐蝕性에는 Cr이 담당한다고 보고한 武井¹¹등의 연구결과로 설명될 수 있다. 또한 피복층내에 존재하는 Cr을 주체로 하는 석출물들이 耐高溫腐蝕性에 기여를 해 좋은 영향을 준다고 한 近岐¹⁰등의 연구결과와 본 연구 결과와는 잘 일치하고 있음을 보이고 있다.

4. 결 론

Inconel 600을 사용하여 Al 및 Cr-Al 확산침투피복처리에서 혼합분말조성과 처리온도 및 처리시간을 달리하여 조직변화를 관찰하고, 또 피복된 시료의 내식성을 조사하기 위하여 반복 고온부식시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 혼합분말중의 Al량이 증가함에 따라서 피복층 구조가 달라지는 온도가 높아졌다.
- 2) 기지금속내의 Al함량이 적어질수록 피복층중의 내층의 두께가 감소하였다.
- 3) Cr-Al被覆處理에서 Al을 10%로 고정하고, Cr

을 증가시킴에 따라서 피복층의 두께는 감소하였으나 Al이 3%일 때에는 Cr의 증가와 함께 피복층의 두께는 증가하였다.

4) 두단계과정으로 被覆處理한 시료가 한단계과정으로 처리한 시료보다 내식성이 우수하였다. 이는 두단계과정으로 被覆處理했을 때 피복층 외층에 존재하는 Cr을 주체로 하는 석출물에 기인한 것으로 생각된다.

5) Cr-Al피복시료보다 Cr→Al으로 2단처리한 시료가 피복층 내에 Cr의 함량이 더 높게 나타났으며, 이와 더불어 Cr→Al 2단처리한 시료가 내식성이 다소 향상된 것을 보이고 있다.

5 참고문헌

1. 山口正治, 馬越右吉: 金屬間化合物, 日刊工業新聞社, 京東(1984), p. 153.
2. S. J. Grisaffee: The Superalloys, ed. by C. T. Sims and W. C. Hagel, Jone Wiley and Sons Inc, New York(1972), p. 341.
3. E. Lang: Coatings for High Temperature Application, Applied Sic. Pub., London, (1983) p.33.
4. G. W. Goward: J. Metals, 22(1980) 31.
5. 原田良夫: 防食技術, 31(1982) 281.
6. 霜鳥一三, 逢切達吉: 鐵と鋼, 69(1983) 1229.
7. 鄭濟相, 卞昌錫: 금속표면처리, 20(1987) 60.
8. G. W. Goward and D. H. Boone: Oxidation Metals, 3(1971) 475.
9. Pichior: "High Temperature Alloys for Gas Turbine", Proceedings of a Conference held in Liege, (1978), p. 191.
10. 近岐充夫, 添野浩, 福井寛: 鐵と鋼, 68(1982) 130.
11. E. Fitzer and H. J. Maurer: Materials and Coatings to Resist High Temperature Corrosion, Applied Sic. Pub., London, (1978), p. 253.
12. L. Smialek and E. Lowell: J. Electrochem. Soc., 121(1974) 800.
13. T. K. Redden: Trans. AIME, 242(1968) 1695.
14. A. Steiner and K. L. Komarek: Trans. AIME, 23(1964) 768.
15. 武井厚, 内野勉, 新居和嘉, 山岐道天: 防食技術, 31(1982) 218.