

《論 文》

## 화화증착법에 의한 알루미늄아이드 코팅층의 형성

손희식\* · 홍석호 · 김문일

연세대학교 공과대학 금속공학과

\*국방과학연구소

### Aluminide Coatings on IN713C by Chemical Vapor Deposition

H. S. Sohn\*, S. H. Hong and M. I. Kim

Dept. of Metallurgical Engineering, Yonsei University

\*Agency for Defence Development

### ABSTRACT

The purpose of this study is to clarify the influence of the reaction temperature and  $AlCl_3$  content on the aluminide coating formation on Ni-based superalloy IN713C in CVD process and to compare its throwing power with that of Pack Cementation process.

Aluminide coating was formed by CVD in hot-wall stainless tube reactor from an  $AlCl_3$ - $H_2$  mixture in the temperature range 850~1050°C.

At reaction temperature 850°C, the coating thickness and the content of aluminium at the surface were increased as  $AlCl_3$  heating temperature was raised. At reaction temperature 1050°C, they were not influenced by the variation of  $AlCl_3$  heating temperature. When  $AlCl_3$  heating temperature was fixed 125°C, the phases of the coatings were varied from  $Ni_2Al_3$  to Al-rich NiAl and to Ni-rich NiAl with the reaction temperature. Therefore, in this study the reaction temperature has been found to be a major factor in determining the phase formed in CVD process. The throwing power of CVD was superior to that of Pack Cementation.

### 1. 서 론

초내열합금의 내식성을 향상시키기 위하여 처음으로 널리 사용된 확산코팅은 합금표면에 보호성 산화막을 형성하는 원소(Al, Cr, Si)를 첨가시키는 코팅이다. Cr이나 Si을 확산시킨 코팅의 경우, 950°C 이상의 온

도에서 산화막이 분해, 휘발되므로, 사용온도가 1100°C에 달하는 터빈 블레이드와 같은 부품은 주로 Al을 확산시킨 알루미늄아이드 코팅이 사용된다.<sup>1)~3)</sup>

알루미늄아이드 코팅은 Hto-dipping, Slurry, Pack Cementation, CVD 등과 같은 다양한 방법으로 처리되어 왔으며, 그중 팩세멘테이션 공정이 가장 널리 사용

되어 왔다. 이것은 제조공정이 간단하고 비용이 저렴하다는 장점이 있다. 그러나 모재표면이 팩 분말과 접촉함으로써 팩 입자들로 인한 오염의 위험성과 작은 구멍이 있는 복잡한 형상에는 코팅층이 형성되지 않는다는 문제점들이 있다.

화학증착법은 코팅될 모재가 분말과 접촉하지 않는다는 점을 제외하고는 팩세멘테이션 공정과 같은 기본 반응을 이용한다. 화학증착법에서는 반응종들( $AlCl_3$ ,  $AlCl_2$ ,  $AlCl$ )이 반응용기 내에서 발생하여 모재에 흡착한 후 확산하여 코팅층을 형성한다. 이 기상증착과정은 팩세멘테이션 공정과 달리 코팅두께와 형상이 팩 분말과 표면적의 비에 의존하지 않으므로 복잡한 내부 구조를 갖는 재료에도 균일한 코팅층을 형성시킴으로써 코팅두께와 미세구조를 쉽게 조절할 수 있다.<sup>4, 5)</sup>

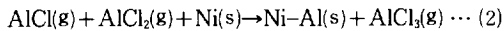
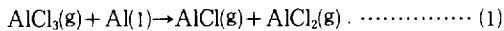
따라서 본 연구에서는 화학증착법에 의한 알루미늄아이드 코팅층의 형성시, 대표적인 공정변수인 반응온도와  $AlCl_3$  공급량을 변화시켜 Ni계 초내열합금인 IN713C에 알루미늄아이드 층을 형성시키고 각 변수가 알루미늄아이드 코팅층의 형성에 미치는 영향을 고찰하였으며, 최적 조건에서 화학증착법과 팩세멘테이션 공정의 균일증착성(Throwing Power)을 비교하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1. 화학증착법

시편은 Ni계 초내열합금 IN713C를 직경 10mm, 두께 3mm의 disk형으로 절단하고 연마한 후 트리클로로에틸렌으로 초음파 탈지, 세척하여 준비하였다. 실험에 사용한 장치는 Fig. 1과 같다.

알루미늄아이드 코팅은  $AlCl_3$ 의 안정성 때문에 수소환원반응에 의해서는 형성되기가 어렵다. 그러나, Al은 다음과 같은 반응식에 의해 빠른 속도로 증착될 수 있다.



따라서, 화학증착법에 의한 알루미늄아이드 코팅은 800~1,100°C의 온도에서 Al+ $Al_2O_3$  혼합분말 위로  $AlCl_3$ + $H_2$ 의 혼합가스를 통과시킴으로써 형성될 수 있으며,<sup>4)</sup> 이때 주입되는  $AlCl_3$  증기의 양은  $AlCl_3$  용기를 가열하여 조절할 수 있다.

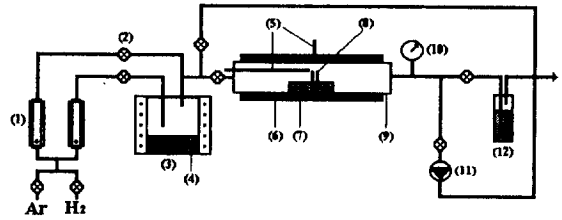


Fig. 1 Schematic diagram of the reaction apparatus.

- (1) flow meter
- (2) valve
- (3)  $AlCl_3$  bath and heating coil
- (4)  $AlCl_3$
- (5) thermocouple
- (6) mulite tube and heating coil
- (7)  $Al_2O_3$  + Al powder
- (8) specimen
- (9) stainless tube
- (10) bordon gauge
- (11) rotary pump
- (12) NaOH bubbler

팩세멘테이션 공정에서 나타나는 내향성확산코팅 및 외향성확산코팅을 화학증착법에 의해 재현하기 위하여 반응온도를 850°C와 1,050°C로 선택하였으며, 그때  $AlCl_3$ 의 양이 코팅층의 상에 미치는 영향을 분석하기 위해서  $AlCl_3$ 가열온도를 각각 90°C, 107.5°C, 125°C로 변화시켰고 반응시간은 4시간으로,  $H_2$  flow rate는 300sccm으로 일정하게 유지시켰다.

또한, 반응온도에 따른 코팅층의 미세구조 변화를 고찰하기 위하여  $AlCl_3$ 가열온도 125°C에서 반응온도를 850°C, 900°C, 950°C, 1,000°C, 1,050°C로 변화시켜 실험하였다.

### 2.2. 균일증착성

균일증착성을 비교하기 위하여 화학증착법의 경우,  $AlCl_3$ 가열온도 125°C에서 각각 반응온도와 시간을 850°C, 6시간과 1,050°C, 4시간으로 내향성 및 외향성확산코팅을 하였다. 팩세멘테이션 공정의 경우는 Ar분위기에서 내향성코팅은 850°C에서 15wt.% Al+3wt.%  $NH_4Cl$ +82wt.%  $Al_2O_3$  조성의 200g 팩을 사용하여 2시간 코팅하였으며, 외향성코팅은 1,050°C에서 15wt.%  $Ni_2Al_3$ +3wt.%  $NH_4Cl$ +82wt.%  $Al_2O_3$  조성의 200g 팩을 사용하여 4시간 코팅하였다. 이때 두께 100, 50 $\mu$ m로 압연한 스테인레스 판을 15°C×8mm×2mm의 육면체형 시편 2개 사이에 위치시켜서 틈을 만들어, 코팅 후 깊이에 따른 두께변화를 광학현미경으로 관찰하였다.

### 2. 3. 분석방법

화학증착된 알루미늄아이드 코팅층의 상을 분석하기 위해서 X선회절분석을 실시하였다. Cu-K $\alpha$ 선으로 관전압 40kV, 관전류 30mA, 주사속도 4°/min의 일정 조건 하에서 수행하였다.

단면구조는 광학현미경과 주사전자현미경을 사용하여, 최종연마한 상태와 에칭(HCl : HNO<sub>3</sub> : CH<sub>3</sub>COOH = 30 : 20 : 20의 에칭액)한 상태를 관찰하였으며, 코팅층의 성분분석은 EDS를 이용하면 단면과 표면을 분석하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3. 1. AlCl<sub>3</sub>가열온도의 영향

#### 3. 1. 1. 상 및 성분분석

AlCl<sub>3</sub>의 가열온도를 90, 107.5, 125°C로 각각 변화시켰을 때, 반응온도 850°C에서 AlCl<sub>3</sub>의 가열온도가 90°C와 107.5°C인 경우를 X선회절분석한 결과, 표면에 코팅층을 확인할 수 없었으나 125°C에서는 Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>상이 관찰되었다. 반응온도 1,050°C의 경우는 가열온도에 관계없이 NiAl 상만이 나타나, AlCl<sub>3</sub>가열온도의 변화가 코팅층의 형성상에는 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다.

반응온도 850°C와 1,050°C에서 AlCl<sub>3</sub>가열온도에 따른 표면조성의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 반응온도 850°C인 경우, AlCl<sub>3</sub>가열온도 90°C에서는 표면조성이 거의 모재(IN713C)의 조성보다 비슷하였으며, AlCl<sub>3</sub>가열온도가 증가함에 따라 Al의 분율이 증가하여 AlCl<sub>3</sub>가열온도 125°C에서는 화학정량적 Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> 조성보다 Al의 양이 약간 높게 나타났다. 1,050°C의 경우는 AlCl<sub>3</sub>가열온도의 변화와 관계없이 코팅층의 표면조성이 NiAl로 나타났다. 이러한 표면조성의 결과는 상술한 XRD 결과와 일치함을 알 수 있다.

#### 3. 1. 2. 단면미세구조의 변화

반응온도 1,050°C와 850°C에서, AlCl<sub>3</sub>가열온도의 변화에 따른 단면구조의 변화를 Photo. 1에 나타내었다. 앞 절의 XRD 및 표면조성분석에서 예측된 바와 같이 1,050°C의 경우 AlCl<sub>3</sub>가열온도에 관계없이 모두 전형적인 NiAl 외향성확산코팅 단면구조를 나타내고

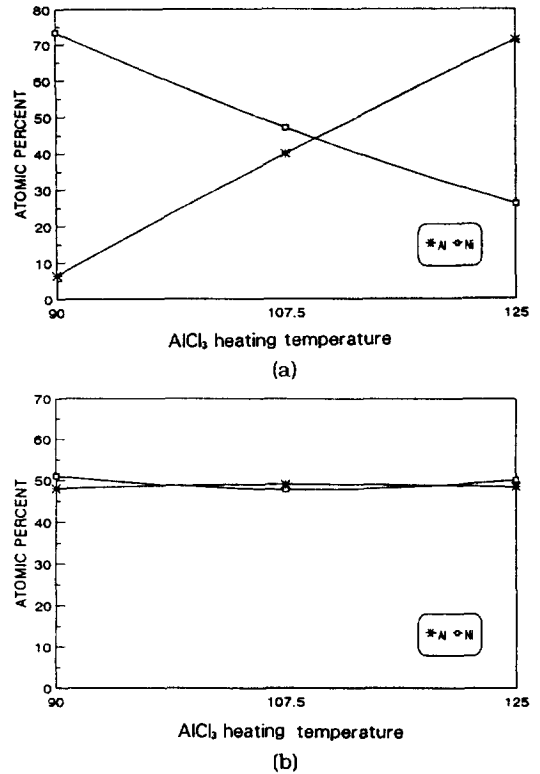


Fig. 2 Variation in surface composition(Ni and Al) of aluminide coatings with AlCl<sub>3</sub> heating temperature and reaction temperature.

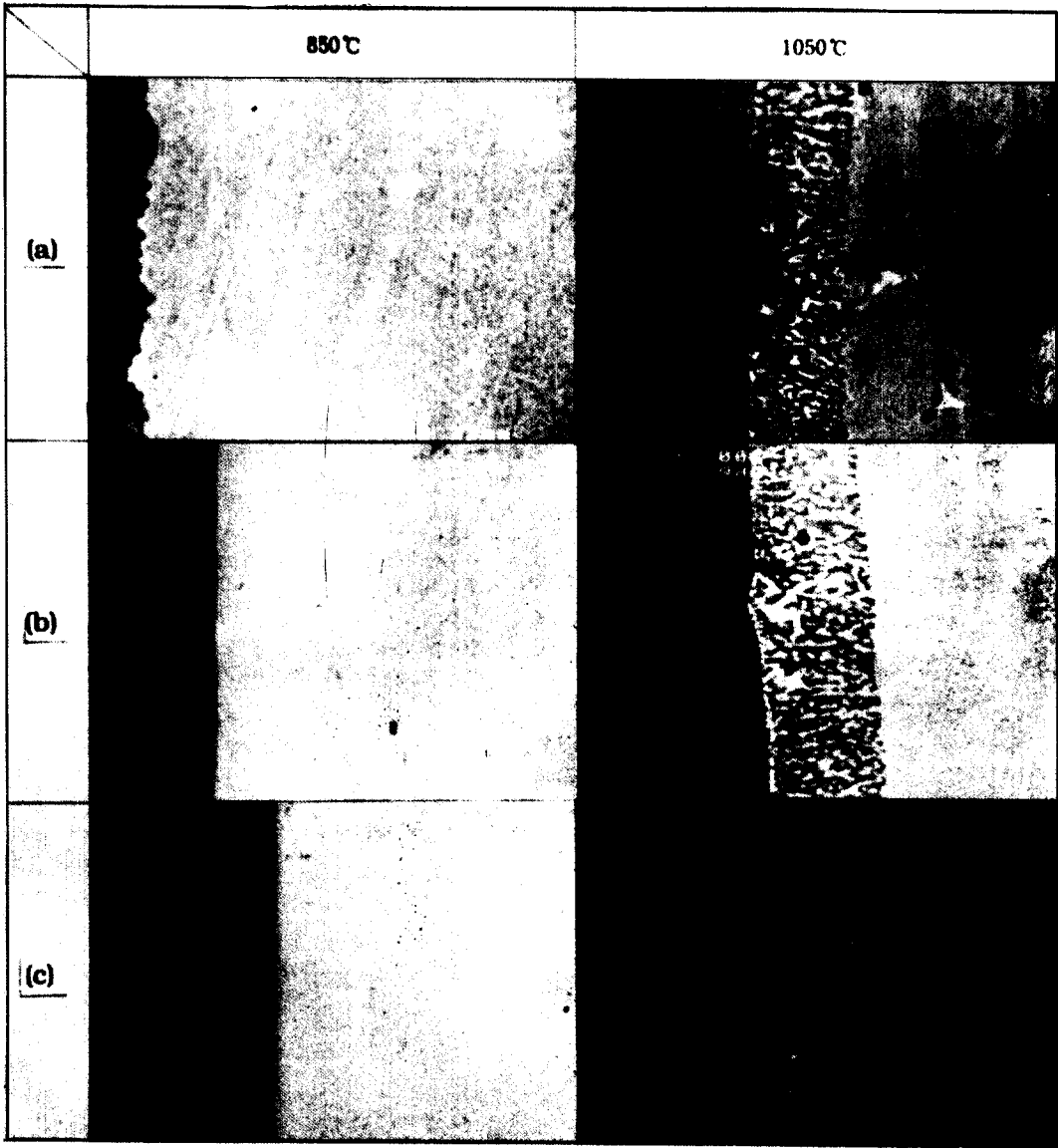
(a) reaction temperature 850°C  
(b) reaction temperature 1,050°C

있으며, AlCl<sub>3</sub>가열온도가 증가함에 따라 코팅층의 두께는 약간 증가하고 있다.

850°C에서는 AlCl<sub>3</sub>가열온도 90°C의 경우, 코팅층이 표면에 거의 형성되지 않았으며, AlCl<sub>3</sub>가열온도가 증가함에 따라 코팅층의 두께가 증가하여 125°C에서 전형적인 내향성확산코팅 구조가 형성됨을 알 수 있다.

따라서 화학증착법에 의한 알루미늄아이드 코팅층의 형성시 본 실험범위 내에서 펙세멘테이션 공정과 같은 내향성확산코팅 및 외향성확산코팅을 재현할 수 있음을 확인할 수 있다.

위에서 나타난 현상들을 보다 자세히 고찰하기 위하여 평형상태에서 각 기체 반응종들의 양을 계산하여 그에 따른 결과를 비교하여 보았다. 평형분압을 계산하기 위해서 Solgas-mix 프로그램을 사용하였다.



**Photo. 1** SEM cross-sectional micrographs of specimens coated at reaction temperature 850°C and 1,050°C.

- (a) AlCl<sub>3</sub> heating temperature 90°C
- (b) AlCl<sub>3</sub> heating temperature 107.5°C
- (c) AlCl<sub>3</sub> heating temperature 125°C

Table. 1은 2.2절의 실험조건에 따라 펙세멘테이션 공정에 의하여 내향성확산코팅 및 외향성확산코팅을 형성할 때 계산된 기체반응종들의 평형분압을 나타낸다. 계산에 사용된 열역학 자료는 I. Barin<sup>7)</sup>의 자료를 참고하였으며, 전체압력 1기압, 팩질량 200g 과 부피

는 직경 10cm, 길이 25cm의 노중앙 부위로 가정한 닫힌 계에 대하여 계산하였다. 결과 중 평형분압이 10<sup>-10</sup> atm이하의 가스종들은 제외 시켰다. Table. 1에 따르면, Al기체반응종들 중 AlCl<sub>3</sub>를 제외하고는 내향성확산코팅 조건이 외향성 확산코팅 조건보다 평형분압이

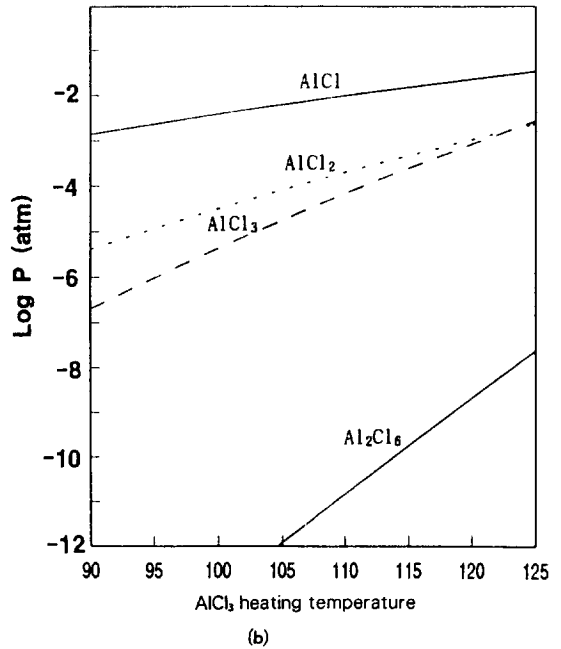
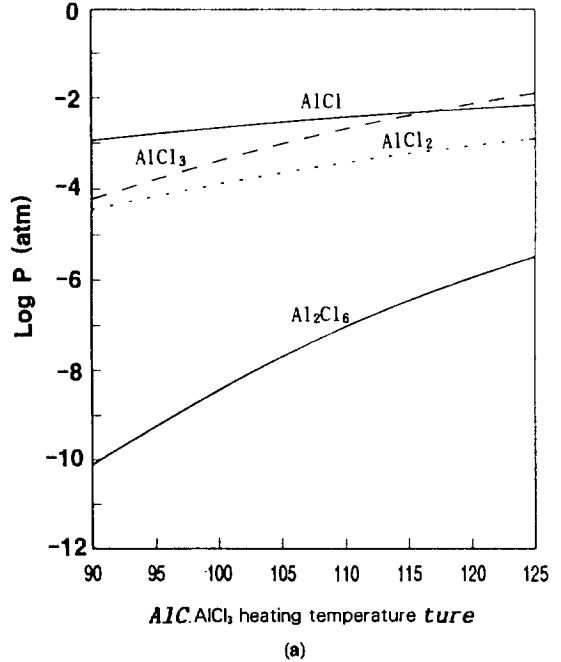
**Table 1.** Thermodynamic calculations of the equilibrium composition of a pack by SOLGAX-MIX under argon :  $P_{total} = 1 \text{ atm}$

Condition \ Type	Outward Type	Inward Type
Temperature(°C)	1050	850
Species	Pressure(atm)	Pressure(atm)
AlCl	.92423E-03	.13719E-01
AlCl <sub>2</sub>	.27220E-02	.50745E-02
AlCl <sub>3</sub>	.13229E+00	.99767E-01
AlCl <sub>6</sub>	.59220E-04	.21241E-03
Cl	.15784E-07	
Al	.32529E-09	.31188E-08
H <sub>2</sub>	.82351E+00	.64909E+00
Ar	.29624E-01	.23199E+00
HCl	.10865E-01	.13971E-03
AlH	.74753E-09	.20155E-07
H	.14267E-05	.34374E-07
NH <sub>3</sub>	.17838E-07	
N <sub>2</sub>	.42840E-07	
Ni	.57264E-09	
NiCl	.18076E-07	
NiCl <sub>2</sub>	.13283E-06	

높으며, 주요 기체반응종인 AlCl의 평형분압은 내향성확산코팅이 약 0.0137atm, 외향성확산코팅은 약 0.0009atm으로 내향성확산코팅의 경우가 약 15배정도 평형분압이 더 높게 나타났다.

Fig. 3은 화학중착법에 의하여 코팅을 하였을때, 반응온도 850°C와 1,050°C에서 AlCl<sub>3</sub>가열온도의 변화에 대한 각 기체반응종들의 평형분압 계산결과를 나타낸다. 이때, AlCl<sub>3</sub>와 H<sub>2</sub>의 입력 mole은 AlCl<sub>3</sub>포화 증기압의 값을 이용하였으며, 계산된 값들 중 Al 기체반응종들만 표시하였다.

Fig. 3에서 내향성확산코팅이 형성된 온도인 850°C의 경우를 살펴보면, AlCl<sub>3</sub>가열온도가 90°C일때 AlCl의 평형분압이 약 0.0012atm로써 펙세멘테이션 공정 (Table. 1 참조)보다 약 11배정도 적은 값이며, 다른 Al기체반응종들도 훨씬 더 낮은 값을 갖고 있다. 따라서, AlCl<sub>3</sub>가열온도 90°C에서 코팅층이 형성되지 않은 이유는 기체반응종들의 양이 부족하기 때문인 것



**Fig. 3** Variation in calculated equilibrium partial pressure of gaseous species with AlCl<sub>3</sub> heating temperature :  $P_{total} = 1 \text{ atm}$ , H<sub>2</sub> atmosphere.

- (a) reaction temperature 850°C
- (b) reaction temperature 1,050°C

으로 생각된다.

또한, Fig. 3a로부터 AlCl<sub>3</sub>가열온도의 변화에 대한 AlCl 및 AlCl<sub>2</sub>의 평형분압의 변화가 코팅층의 표면조성(Fig. 2b) 및 두께 변화(Photo. 1)에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 따라서 내향성화산코팅의 경우는 주요 기체반응종 즉, AlCl의 양이 코팅층의 형성 속도와 상 결정에 지배적인 인자라고 생각된다.

외향성화산코팅이 형성된 온도인 1,050°C의 경우를 살펴보면, AlCl의 평형분압은 팩세멘테이션 공정에서는 0.0009atm이고, 화학증착법(Fig. 3b)에서는 AlCl<sub>3</sub>의 가열온도가 90°C, 107.5°C, 125°C 일때, 각각 0.0014atm, 0.0079atm, 및 0.0333atm으로 팩세멘테이션 공정에서의 계산결과보다 모두 더 높은 평형분압이 발생하였으나, 다른 Al 기체반응종들은 더 낮은 평형분압을 나타내었다. 계산된 평형분압의 차이에도 불구하고 외향성화산코팅이 AlCl<sub>3</sub>가열온도의 변화에 따라 상이 변화하지 않고(Fig. 2b), 두께차이가 크게 나타나지 않은(photo. 1) 이유는 팩세멘테이션 공정에서의 연구결과<sup>9)</sup>와 마찬가지로 고체상태의 확산이 반응을 지배하기 때문인 것으로 생각된다.

### 3. 2. 반응온도의 영향

앞 절의 실험결과에 의하면 AlCl<sub>3</sub>의 가열온도 125°C에서 내향성 및 외향성화산코팅이 반응온도 850°C와 1,050°C에서 각각 형성되었다. 이로부터 적절한 AlCl<sub>3</sub>가열온도에서는 반응온도가 코팅층의 상 결정에 지배적인 인자로 작용할 것으로 판단할 수 있다. 따라서 반응온도가 코팅층의 상 결정에 미치는 영향을 고찰하기 위하여, AlCl<sub>3</sub>가열온도를 125°C로 고정하고, 반응온도를 변화시켜 그에 따른 영향을 분석 고찰하였다.

#### 3. 2. 1. 상 및 성분분석

AlCl<sub>3</sub>가열온도 125°C에서 반응온도에 따른 XRD 분석결과를 Fig. 4에 나타내었다. 반응온도 850, 900°C의 경우 Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>상이 관찰되었고, 반응온도 950, 1,000, 1,050°C의 경우는 모두 NiAl 상이 관찰되었다. 이로부터 AlCl<sub>3</sub>가열온도 125°C에서 코팅층의 상 결정은 주로 반응온도에 의해 결정되는 것을 알 수 있다.

Fig. 5은 AlCl<sub>3</sub>가열온도 125°C에서 반응온도에 따른 코팅층의 표면조성 변화를 나타낸 것이다. XRD결

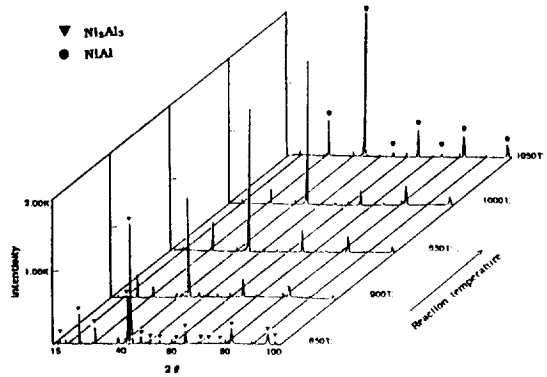


Fig. 4 Effect of reaction temperature on the X-ray diffraction patterns of specimens coated at AlCl<sub>3</sub> heating temperature 125°C.

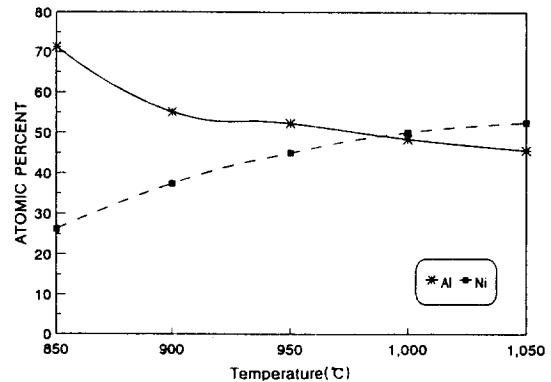


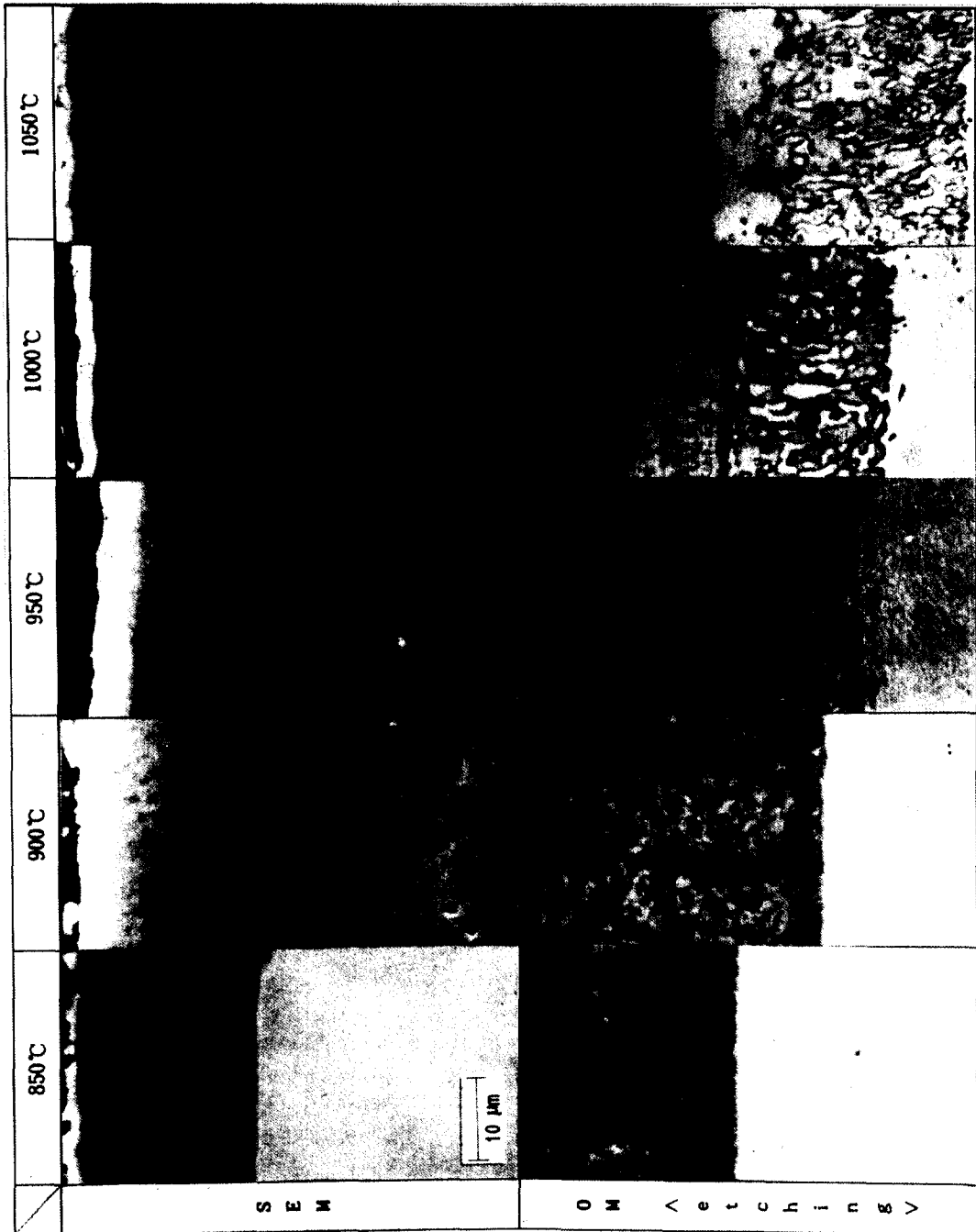
Fig. 5 Variation in surface composition(Ni and Al) of aluminide coatings with reaction temperature : AlCl<sub>3</sub> heating temperature 125°C.

과와 마찬가지로 반응온도 850, 900°C의 경우 Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>의 조성이 나타나고, 반응온도 950°C, 1,000, 1,050°C의 경우에는 NiAl의 조성이 나타났다. 반응온도 950°C의 경우, 표면조성이 Al-rich NiAl에 해당되며, 이러한 Al-rich NiAl상에서는 Ni보다 Al의 확산이 우세하므로 Al의 내향성 확산이 주로 일어났음을 추측할 수 있다.

#### 3. 2. 2. 단면미세구조의 변화

반응온도에 따른 단면구조의 변화를 Photo. 2에 나타내었으며, 이로부터 코팅층의 두께는 반응온도의 증가와 함께 증가하고 있음을 알 수 있다.

반응온도 850°C와 900°C의 코팅층을 예칭한 사진



**Photo. 2** SEM and OM cross-sectional micrographs of specimens coated at different reaction temperatures :  $\text{AlCl}_3$  heating temperature  $125^\circ\text{C}$ .

을 보면 코팅층 내부에 미세한 석출물들을 관찰할 수 있으며, 이러한 조직은 Goward와 Boone<sup>9)</sup>이 팩세멘테이션 공정에서 보고한 바와 잘 일치하고 있다. 그들의 보고에 의하면 내향성화산코팅의 형성층은 Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> 기지에 모재합금원소인 Cr과 Mo가 미세하게 석출하고 있으며, 또한 MC와 M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> 형태의 모재 탄화물들도 고루 분포한다고 하였다.

반응온도 1,000°C와 1,050°C에서의 단면구조는 코팅층과 상호화산층으로 이루어진 전형적인 외향성화산코팅의 구조를 갖고, 950°C에서는 외향성화산코팅과 내향성화산코팅의 중간적인 양상을 보이고 있다.

층상의 석출물은 반응온도 950°C 이상부터 나타나기 시작하여 온도가 증가함에 따라 석출물이 조대해지는 것을 관찰할 수 있다. 원형의 석출물은 반응온도 950°C에서 코팅층 중간에 나타나고 있으며, 온도가 증가함에 따라 감소하고 있다. Fig. 6에 나타낸 EDS 분석 결과로부터 이러한 층상 및 원형의 석출물은 모재에 존재하는 Cr과 Mo가 풍부한 상임을 확인할 수 있었다.

EDS 분석결과와 여러 연구자들<sup>10)~12)</sup>의 결과를 종합해 볼 때, 이 석출물들은 탄화물(Cr, Mo, C과 TiC)과 σ상((Cr, Mo)<sub>x</sub>(Ni)<sub>y</sub>)의 혼합조직으로 생각되며, 모재의 조성이 NiAl로 변화함에 따라 합금원소의 고용도가 낮아져서 석출하는 상이므로 원래의 모재표면을 구분할 수 있게 한다. 따라서, 반응온도 950°C에서 이러한 석출물들이 코팅층 중간에서 내부까지 전반적으로 분포하는 것으로부터, 이 코팅층은 Al의 내향성화산과 Ni의 외향성화산이 같은 정도로 일어나서 형성된 혼합조직인 것으로 생각할 수 있다.

이상의 결과로부터, AlCl<sub>3</sub>의 가열온도 125°C에서 나타나는 코팅층의 주요 상은 반응온도 850°C와 900°C의 경우, Al의 내향성화산에 의한 Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>이며, 반응온도 1,000°C와 1,050°C의 경우는 Ni의 외향성화산에 의한 Ni-rich NiAl이다. 그러나 950°C 부근에서는 Al의 내향성화산과 Ni의 외향성화산이 공존하여 Al-rich NiAl이 형성되었다고 판단된다.

일정한 반응온도에서 Al의 공급이 팩 분말의 Al활동도에 의해서 결정되는 팩세멘테이션 공정과는 달리, 화학증착법에서는 AlCl<sub>3</sub>의 가열온도를 변화시킴으로써 Al의 공급량을 조절할 수가 있다. 따라서, 본 연구

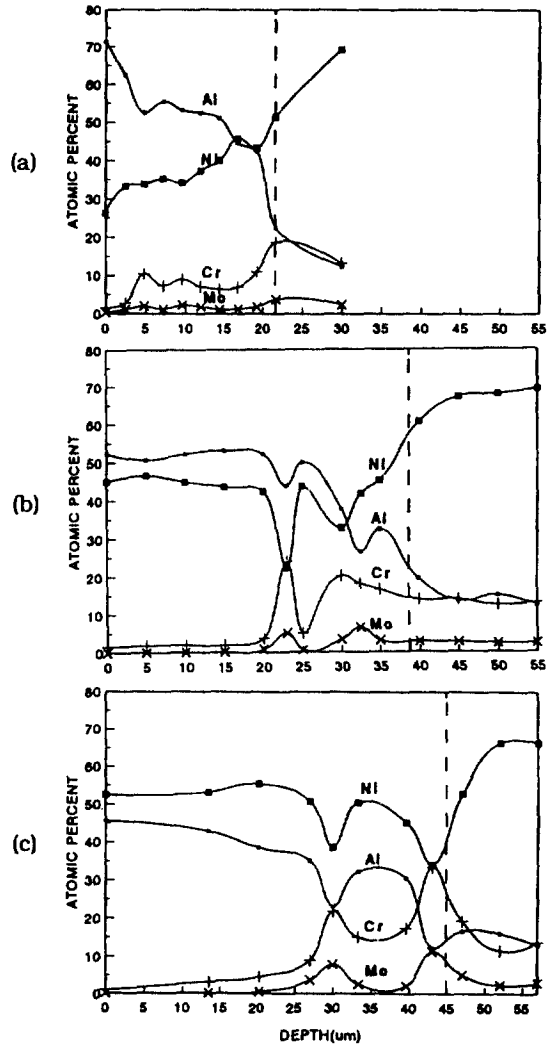
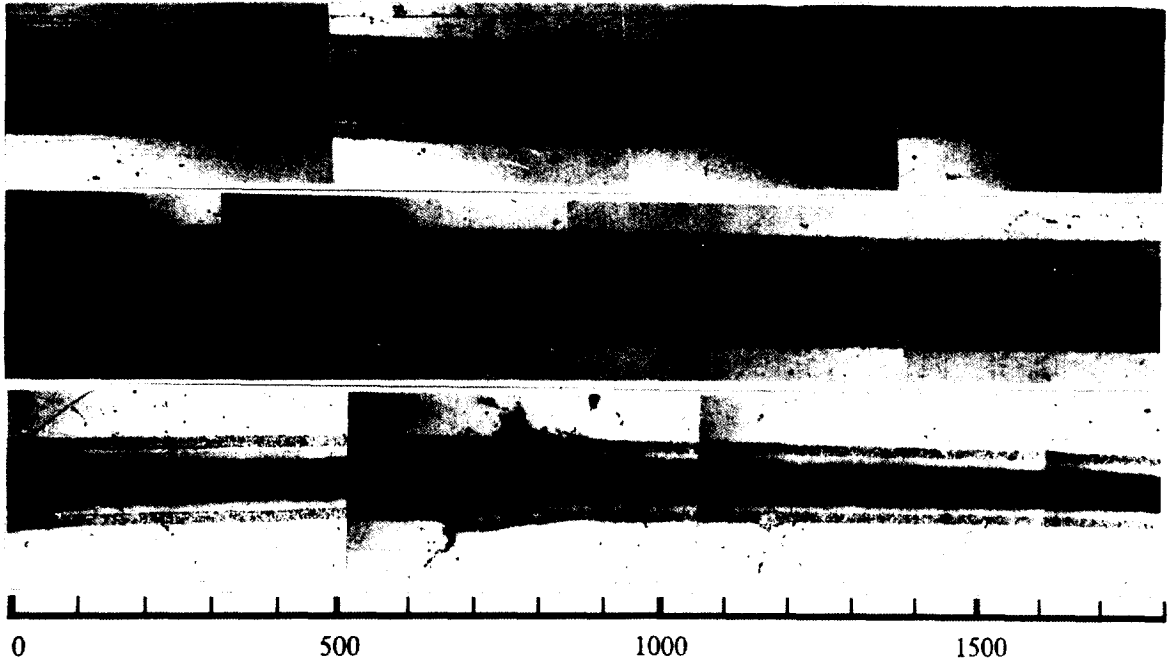


Fig. 6 Concentration profiles in specimens coated at different reaction temperatures : AlCl<sub>3</sub> heating temperature 125°C.

- (a) reaction temperature 850°C
- (b) reaction temperature 950°C
- (c) reaction temperature 1,050°C

에서 AlCl<sub>3</sub>가열온도를 125°C로 하였을 때, 기상에서의 Al의 공급량이, 팩세멘테이션 공정에서 순수 Al을 팩 분말로 사용한 경우보다는 적고, Ni<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>를 팩 분말로 사용한 경우보다는 많기 때문에 반응온도의 조절만으로 코팅층의 상을 변화시킬 수 있었던 것으로 판단된다.





**Photo. 3** Variation in coating thickness of aluminide coatings formed by CVD and Pack Cementation at reaction temperature 1,050°C.

- (a) Pack Cementation (gap distance : 100 $\mu$ m)  
 (b) CVD (gap distance : 100 $\mu$ m)  
 (c) CVD (gap distance : 50 $\mu$ m)

### 3. 3. 균일증착성

화학증착법은 모재가 팩 분말과 접촉하지 않으므로 복잡한 내부구조를 갖는 재료에 균일한 두께의 코팅층을 형성할 수 있는 것으로 보고되고 있다. 따라서 미세한 틈에 코팅층을 형성시켜 그 양상을 팩세멘테이션 공정과 비교하여 보았다.

100, 50 $\mu$ m의 틈에 외향성확산코팅을 팩세멘테이션 공정과 화학증착법으로 실시한 후 그 단면형상을 Photo. 3에 비교하여 나타내었다. 팩세멘테이션 공정의 경우(a), 100 $\mu$ m 틈에서 면으로부터 약 900 $\mu$ m까지 균일하게 코팅층이 형성되었으며, 그후 점점 감소하여 1,600 $\mu$ m 정도에서부터 코팅층이 형성되지 않았다. 화학증착법은 100 $\mu$ m 틈의 경우(b), 틈입구로부터 틈중앙까지 균일하게 코팅층이 형성되었으며, 50 $\mu$ m 틈의 경우(c)도 중앙까지 코팅이 형성되었으나, 코팅두께가 1/3로 감소하였다. 따라서, 외향성확산코팅의 경우에는 화학증착법이 팩세멘테이션 공정보다 균일증착성

이 월등히 우수함을 알 수 있으며, 코팅에 소요되는 반응기체가 틈내부까지 충분히 전달된다고 사료된다. 이는 외향성확산코팅의 경우 3. 1. 2절에서와 같이 반응속도가 고체확산에 의해 지배되어 반응기체의 양은 큰 영향을 미치지 못한다는 것과 밀접한 관계가 있다.

사진에는 나타나 있지 않으나, 내향성확산코팅의 경우도 화학증착법이 팩세멘테이션 공정보다 균일증착성이 더 우수하였다. 그러나, 화학증착법에 의하여 100 $\mu$ m 틈에 형성된 코팅의 경우에도 깊이 약 600 $\mu$ m 정도까지만 코팅층이 형성되었으므로 틈내부에 균일하게 코팅층이 형성된다고 볼 수는 없다. 이와 같이 내향성확산코팅의 경우 외향성확산코팅에 비해 균일증착성이 떨어지는 이유는 틈내부표면에서 코팅층이 형성됨에 따라 주요 반응기체인 AlCl<sub>3</sub>이 소모되어 평형분압의 감소를 가져오기 때문인 것으로 사료된다. 즉 3. 1. 2절에서 고찰한 바와 같이 내향성확산코팅에서는 코팅층의 형성이 AlCl<sub>3</sub>의 평형분압 변화에 민감

하게 반응한다는 것으로 설명할 수 있다.

## 참고문헌

### 4. 결 론

화학증착법에 의한 알루미늄아이드 코팅층의 형성시, 대표적인 공정변수인 반응온도와  $AlCl_3$ 의 공급량을 변화시켜 Ni계 초내열합금인 IN713C에 알루미늄아이드 코팅층을 형성하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 반응온도 850°C의 경우,  $AlCl_3$ 의 가열온도가 증가함에 따라 코팅두께 및 표면에서의 Al 농도가 증가하여 가열온도 125°C에서  $Ni_2Al_3$ 가 형성되었다.  $AlCl_3$  가열온도 90°C 및 107.5°C에서  $Ni_2Al_3$ 층이 형성되지 않은 것은 기체반응종들의 양이 부족한데 기인하는 것으로 사료된다.

2) 반응온도 1,050°C의 경우,  $AlCl_3$ 가열온도의 변화는 코팅층에 형성된 상에 영향을 주지 못하였으며 이는 반응이 기체종들의 양보다는 고체확산에 의해 지배되기 때문인 것으로 사료된다.

3)  $AlCl_3$ 가열온도 125°C일 때, 반응온도가 증가함에 따라 코팅층은  $Ni_2Al_3$ 상에서 Al-rich NiAl, Ni-rich NiAl상으로 변화하였다. 따라서  $AlCl_3$ 가열온도 125°C에서는 반응온도의 변화만으로 코팅층의 조직을 제어할 수 있었다.

4) 외향성확산코팅 및 내향성확산코팅 모두 화학증착법이 팩세멘테이션 공정보다 균일증착성이 더 우수하였으며, 외향성확산코팅이 내향성확산코팅보다 더욱 효과적이었다.

1. C. T. Sims, N. S. Stoloff, and W. C. Hagel : Superalloys II, John Wiley and Sons Pub., New York, 1987, pp 4~57.
2. P. C. Patnaik : Materials & Manufacturing Processes, 1989, Vol. 4 No. 1, pp 133~152.
3. R. Sivarkumar and B. L. Mordike : Surface & Coating Technology, 1989, Vol. 37, pp 139-160.
4. W. P. Sun, H. J. Lin, and M. H. Hon : Thin Solid Films, 1987, Vol. 146, No. 55, pp 55-64.
5. J. E. Restall and M. I. Wood : Materials Science and Technology, 1986, Vol. 2, p 225.
6. G. Eriksson : Chemica Scripta, 1975, Vol. 8 No. 3 pp 100-103.
7. I. Barrin : Thermochemical Data of Pure Substance, VCH, New York, 1989
8. S. R. Levine and R. M. Caves : J. Electrochem. Soc., 1974, Vol. 121 No. 8, pp 1051-1064.
9. G. W. Goward and D. H. Boone : Oxidation of Metals, 1971, Vol. 3 No. 5, pp 475-495.
10. G. G. Slattery : Met. Tech., 1983, Vol. 10, pp 41-51.
11. T. K. Redden : Tran. TMS-AIME., 1968, Vol. 242, pp 1695-1702.
12. J. Marglit, G. Kimmel, and S. Niedzwiedz : J. Inst. Metals, 1970, Vol. 98, pp 126-127.