〈기술자료〉

가스터빈부품의 확산피복 기술 (II)

남 기 석
한국기계연구원 재료기술연구소 표면연구부

Diffusion Coating Technology of Gas Turbine Components(II)

K. S. Nam
Department of Surface Engineering, KIMM, changwon 305-343, Korea

4. 알루미나이징방법

일반적으로 초내열합금의 알루미늄의 확산피복에는 팩세멘테이션법, 기상법, 슬러리법 및 용융침적법 등의 4가지 방법이 활용되고 있다. 그 방법중 팩세멘테이션법을 이용한 알루미나이징기술이 80~90% 정도 사용되고 있으나, 냉각통로의 처리가 용이하지 못하고, 작업성이 떨어지며, 또한 환경문제 등으로 인해 점차 기상법으로 바뀌고 있다.

4.1. 팩세멘테이션법

먼저 처리물을 세척하여 그림 6과 같이 금속 레토르트의 혼합분말내에 묻는다. 그 원료분말은 Al, 또는 NiAl 등의 Al 원료분말, NH_4Cl, NaCl 등의 할로겐화합물 활성화제, Al_2O_3의 불활성 충진제로 이루어진다. 여기에서 불활성 충진제는 원료분말이 소결되는 것을 방지한다. 보통 활성화제라고 불리우는 할로겐 화합물은 고온에서 할로겐 원자원으로 작용한다. 피복재료는 비교적 높은 증기압을 갖는 할로겐 화합물을 형성하는 금속이어야 한다.

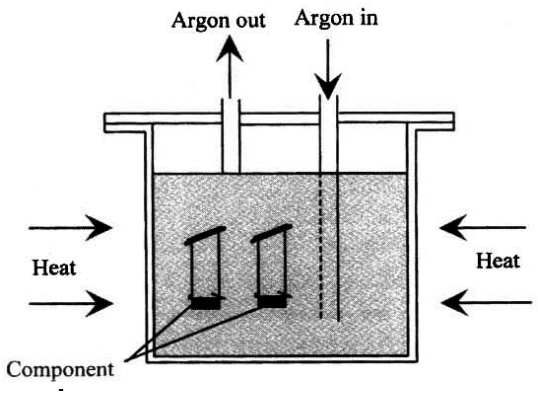


그림 6. 팩세멘테이션 장치.

피처리물의 장입이 완료되면 레토르트를 쉽게 열고 닫을 수 있는 방법으로 밀폐시키고 H_2, Ar 등의 보호가스를 공급하여, 700~1100°C의 온도범위에서 2~24 시간 동안 가열한다. 보통 용융 규산제를 사용하여 밀폐시키며, 이 방법의 경우 레토르트가 가열될 때 가스를 배출시키고, 밀폐기능이 우수하여 냉각시 레토르트 내의 수축에 충분히 견딜 수 있다. 그리고 레토르트가 냉각되었을 때 쉽게 밀폐제를 제거할 수 있다. 일부의 경우 레토르트를 완전히 밀폐시키나 많은 경우 완전히 밀폐시키지 않는다. 오염을 방지하기 위해 분위기가 유지된 큰 벨형태의 챔버 내에 레토르트를 장입한다. 또한 진공분위기하의 레토르트에서 처리하기도 한다.

그 다음 처리온도로 가열하면, 할로겐 염화물이 분해되어 생성된 할로겐원자가 하나, 또는 그 이상의 금속 할로겐 화합물을 형성하기 위해 피복재료 원자와 결합한다. 그 금속 할로겐 화합물이 피처리물 표면에 접촉하여 분해되며 합금원소, 즉 피복하고자 하는 원소 Al이 표면에 증착된다. 그 표면에 증착된 Al이 초내열합금의 기지 내로 확산하여 NiAl, CoAl 등의 알루미나이드를 형성한다. 처리온도는 팩 내에서의 화학반응 및 기지 내에서의 확산이 잘 일어날 수 있는 속도로 설정한다. 불행하게도 그러한 온도는 높고 냉각속도는 느려서 Ni 기 초내열합금의 내부에 바람직하지 않은 조직을 형성할 수 있다. 이에 알루미나이징한 다음 바람직한 조직 및 특성을 얻을 수 있는 조건으로 다시 열처리하여야 한다.

알루미나이드 조직 및 구조는 팩의 성분, 특히 Al의 활동도, 알루미나징온도 및 시간, 그리고 확산열처리시의 처리온도, 시간 등에 의해 변화된다. 표 2

표 2. 공업적으로 이용되는 팩세멘테이션에 의한 알루미나이징기술

Application Process	Designation	Nominal Composition	Alloy Compatibility	Supplier	Remarks
Pack Cementation	HI-15	Cr-Aluminide	Ni, Co, Fe base	Alloy Surface	Pack temperature up to 2000°F
	HI-26, Hi-29	Chromium (up to 60wt%)	Ni, Co, Fe base	Alloy Surface	Pack temperature 1650-2200°F
	HI-32	Cr-Aluminide	ODS Ni alloy	Alloy Surface	Duplex pack cemention
	RT-5A-1	Chromium	Ni Base		Chromalloy
	RT-6	Chromium	Ni base	Chromalloy	
	RT-11	Aluminide		Chromalloy	Sheet metal component
	RT-19	Aluminide	Co base	Chromalloy	
	RT-21	Aluminide (26%Al)	Ni base	Chromalloy	
	RT-573	Aluminide	Ni base	Chromalloy	Low temperature aluminide
	RT-5A-V RT-573	Cr-Aluminide	Ni base	Chromalloy	
	RT-1700	Cr-Aluminide	Ni base	Chromalloy	Thoria dispersed Ni
	RT-4339	Aluminide		Chromalloy	
	UC	Aluminide		Chromalloy	
	SUD	Fe-Aluminide		Chromalloy	
	RT-22	Pt-Aluminide (40Pt23Al)	Ni base	Chromalloy	Plating Pack Cemention
	RT-22B	Pt-Rh Aluminide	Ni base	Chromalloy	Plating Pack Cemention
	RT-23	Pt-Rh Aluminide	Ni base	Chromalloy	Plating Pack Cemention
	RT-44	Pt-Rh Aluminide (42Pt12Rh22Al)	Co base	Chromalloy	Plating Pack Cemention
	RT-20	Aluminium- Silicide	Ni, Co base	Chromalloy	
	MDC-1	Aluminide	Ni, Co base	Howmet	Slurry Pack Slurry contains Al_2O_3 cementation particles
	MDC-1A	Aluminide	Ni, Co base	Howmet	MDC-1 without Al_2O_3
	MDC-3	Chromium	Co base	Howmet	High Cr
	MDC-9	Cr-Aluminide	Ni, Co base	Howmet	Duplex pack cementation Uses MDC-15 for aluminide
	MDC-15	Aluminide	Ni base	Howmet	
	MDC-42	Aluminide		Howmet	
	LDC-2E	Pt-Aluminide	Ni base	Howmet	Uses MDC-15 for aluminide
	TMT2413/2813	Aluminide	Ni, Co base	Turbine Metal	Technology
	TMT2413A	Cr-Aluminide	Ni base	Turbine Metal Technology	
	EC114	Aluminide	Ni base	Turbine Metal	Technology
	KS138	Aluminide	Co base	Turbine Metal Technology	Contains Al_2O_3 dispersed phase
	PS138	Pt-Aluminide	Ni base	Turbine Metal Technology	Al_2O_3 dispersed phase

표 2. Continued

Application Process	Designation	Nominal Composition	Alloy Compatibility	Supplier	Remarks
	PR138	Pt-Rh-Aluminide	Ni base	Turbine Metal Technology	Al_2O_3 dispersed phase
	TMT24	Chromium	Fe, Ni, Co base	Turbine Metal Technology	High Cr
	TMT1314	Aluminide	Ni base	Turbine Metal Technology	
	KS136	Aluminide		Turbine Metal Technology	Contains SiC
	RB-70	Chromium	Ni, Co base	Walbar	
	RB-101	Aluminide	Ni base	Walbar	
	RB-202	Aluminide	Co base	Walbar	
	RB-505	Cr-Aluminide	Ni base	Walbar	Co-deposition of Cr-Al
	RB-514	Si-Cr-Aluminide	Ni base	Walbar	
	RB-578	Pt-Cr-Aluminide	Ni base	Walbar	
	RB-606	Cr-Aluminide	Ni, Co base	Walbar	
	RB-707		Co base	Walbar	Resistant to cycling(spallation)
	RB-808	Cr-Aluminide	Ni base	Walbar	
	GT-29 Plus/Inplus	Co-29Cr-6Al-0.3Y+ Aluminide Top Layer	Co, Ni base	GE	Over aluminised coating
	GT-33 Plus/Inplus	Co-33Cr-6Al-0.3Y+ Aluminide Top Layer	Co, Ni base	GE	Over aluminised coating
Pack Cementation	CoDep A	Aluminide	Ni base	GE	Aircraft engine coating
	CoDep B	Aluminide	Co, Ni base	GE	Aircraft engine coating
	CoDep B1	Aluminide	Ni base	GE	Slurry contains Al_2O_3 particles Aircraft engine coating
	BC-22	Hf-Aluminide	Ni base	GE	Includes CoCrAl bond coat Aircraft engine coating
	BC-23	Pt-Hf-Aluminide	Ni base	GE	Includes CoCrAl bond coat Aircraft engine coating
	P16TE6	Aluminide	Ni, Co base	GE	Aircraft engine coating
	P16CA62	Pt-Aluminide	Ni base	GE	Aircraft engine coating
	PWA-27	Aluminide	Co base	Pratt & Whitney	
	PWA-32	Aluminide	Ni base	Pratt & Whitney	
	PWA-45	Aluminide	Co base	Pratt & Whitney	
	PWA-47	Aluminide	Ni, Co base	Pratt & Whitney	Spray diffusion
	PWA-62	Cr-Aluminide	Ni base	Pratt & Whitney	Thoria dispersed Ni
	PWA-63	Cr-Aluminide	Ni, Co base	Pratt & Whitney	
	PWA-70	Chromium	Ni base	Pratt & Whitney	
	PWA-73	Si-Aluminide	Ni base	Pratt & Whitney	
	PWA-252	Cr-Aluminide	Co base	Pratt & Whitney	
	PWA-273	Aluminide	Ni base	Pratt & Whitney	PWA73+2nd aluminizing cycle

표 2. Continued

Application Process	Designation	Nominal Composition	Alloy Compatibility	Supplier	Remarks
Pack Cemention	PWA-545	Aluminide		Pratt & Whitney	Slurry pack cementation
	PWA-36095	Pt-Aluminide	Ni base	Pratt & Whitney	
	IM6255	Rh-Aluminide	Co base	Pratt & Whitney	
	IM6257	Pt-Aluminide	Ni base	Pratt & Whitney	
	IM6258	Pt-Rh-Aluminid	Ni base	Pratt & Whitney	
	Seraloy J	Si-Aluminde	Ni, Co, Fe base	Sermatech	Diffusion between 1600-2100°F

는 공업적으로 이용되는 팩세멘테이션에 의한 알루미나이징기술을 나타낸다.

그림 7은 Halogan Streaming 방법으로 알려진 팩세멘테이션법을 나타낸 것으로 기체상 할로겐을 미리 설정된 온도에서 레토르트 밑의 세라믹 가스분산판을 통해 공급한다. 레토르트의 밀폐는 할로겐이 대기압 이상을 유지하여 레토르트를 빠져나갈 수 있도록 모래로 한다. 할로겐원으로 할로겐 염화물을 사용하는 대신 Halogen Streaming을 사용하는 경우의 장점은 다음과 같다.

① 레토르트 내의 할로겐 공급량 및 가스공급속도를 일정하게 할 수 있다.

② 원할 때 할로겐을 공급할 수 있고 중단할 수 있다.

③ 임의의 원하는 온도에서 다른 할로겐을 공급할 수 있다.

④ 처리과정중 어느 때든 레토르트 내의 가스를 배기시킬 수 있고, 불활성가스를 공급할 수 있다.

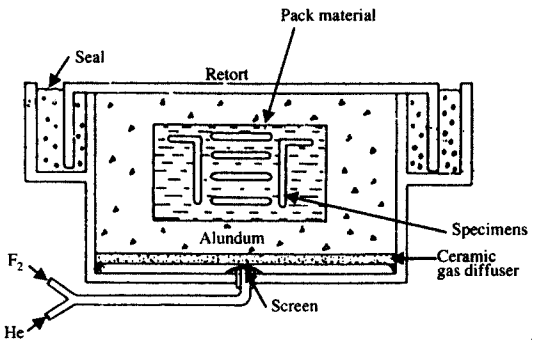


그림 7. Halogen Streaming 팩세멘테이션 장치.

⑤ 할로겐 염화물 활성화제를 사용할 때 존재하는 이온의 변화를 제거할 수 있다. 할로겐 화합물을 사용할 때 이들 이온들이 증착과정중 불순물로 기상반응에 도입될 수 있 다.

Halogen Streaming 팩세멘테이션법을 이용하는 경우 공정관리가 용이하여 재현성이 우수하고 우수한 알루미나이드 피복층을 얻을 수 있다. 또한, 한 피복공정으로 적당한 할로겐화물을 사용하고, 처리온도를 설정하는 경우 다른 원소를 증착할 수 있다.

또 다른 팩세멘테이션 방법으로, 슬립 팩 세멘테이션법이, 특별히 큰 처리물을 알루미나징하고자 하는 경우 사용될 수 있다. 이 방법은 spraying, dipping, brushing 등의 여러 방법에 의해 스러리 상태의 팩 원료를 피복한 다음 불화성 분위기의 로내에 장입한 다음 가열하여 알루미나이드층을 형성한다. 피복부품의 현장 보수를 위하여 사용될 수 있으며, 로, 토치, 방사램프 및 발열제의 연소반응 등에 의해 필요한 열을 공급하여야 한다. 토치, 또는 공기분위기로에서 가열할 때 오염을 막기 위해 관상의 알루미나 및 Na_2SiO_3 등의 오버슬러리를 사용한다. 발열반응을 이용하여 가열하는 경우 오버슬러리는 사용하지 않는다.

한편, 팩세멘테이션 방법의 주요 장점은 다음과 같다.

① 공정의 재현성이 좋다.

② 처리변수를 동일하게 설정하여 주어진 기지금속에 같은 피복층을 형성할 수 있다.

③ 레토르트 내의 미리 정해진 위치에서 시험편을 채취 분석하여 피복두께 및 조성을 관리할 수 있다.

④ 복잡한 형태의 처리물 표면을 균일하게 피복할 수 있다.

⑤ 공기냉각통로에 활성분말을 채우거나 반응가스

의 수송이 보다 개선된 공정을 통해 그 내면을 알루미나이징할 수 있다.

⑥ 처리비용이 저렴하다.

⑦ 1회에 수백개를 처리할 수 있다.

⑧ 다른 처리방법에 비해 투자비가 적다.

그러나 이러한 장점외에 다음과 같은 단점을 가지고 있다.

① 고온에서 처리하기 때문에 미세조직의 변화를 가져오며 이것으로 인해 초내열합금 기지의 기계적성질이 변하게 된다.

② 냉각속도를 임의로 조절할 수 없어, 특히 저활동도 피복공정의 경우 기계적성질의 저하를 가져올 수 있다.

③ 처리온도가 너무 높은 경우 피복하지 않을 부분의 마스킹이 어렵게 된다.

④ 처리두께가 제한된다.

⑤ 처리온도가 높은 경우 기지표면에서

액상이 형성되거나, 처리원료가 국부적으로 고갈될 수 있다.

⑥ Co기 초내열합금은 Al을 함유하지 않기 때문에 저활동도공정의 경우 Co가 외향성 확산을 일으키며 Cr과 내화원소가 농축된 연속탄화물층을 형성한다. 이것으로 인해 열사이클이 작용하는 경우 박리될 수 있다.

⑦ 피복층의 조성이 제한된다.

⑧ 저활동도 피복층의 성능은 기지의 성분에 의존한다.

⑨ 팩원료가 피복층에 유입될 수 있으며, 그것으로 인해 고온내산화 및 부식특성이 변할 수 있다.

2) 기상증착법

원리적으로 팩세멘테이션법과 아주 비슷하며, 크게 두가지 방법이 쓰인다. 레토르트 내부의 원료 혼합분말로부터 가스상 금속 할로겐 화합물을 직접 형성하여 알루미나징하는 방법과, 레토르트의 외부에서 $AlCl_3$, 또는 AlF_3 등의 가스상 금속 할로겐 화합물, 또는 금속유기화합물 등을 Ar, H_2 등의 캐리어 가스와 함께 공급하여 그들의 열분해 및 환원반응에 의해 알루미나이징하는 방법이다.

그림 8은 레토르트내에서 직접 금속 할로겐 화합

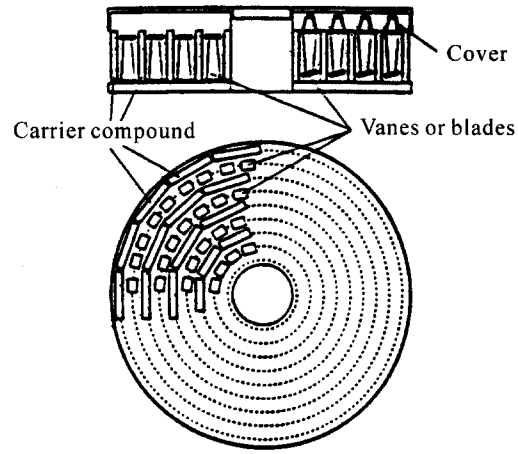


그림 8. 비접촉 팩세멘테이션 장치.

물을 생성하는 방법을 나타낸 것으로 탈지, 세척 등 전처리과정을 거친 터빈부품을 바스켓에 장입하고, 그 하부에 수 mm 크기의 Al, 또는 Al 합금분말과 활성화제를 채운다. 그 것을 레토르트가 설치된 로에 장입하고 Ar 가스를 공급하여 적당한 온도에서 필요한 시간동안 가열한다. SNECMA에서 개발된 이 방법은 SVPA(SNECMA Vapour Phase Aluminizing)으로 알려져 있으며, 팩세멘테이션법과 비교하여 다음과 같은 장점을 갖는다.

① 냉각팬을 설치하여 냉각속도를 임의로 조절할 수 있어 기지금속 및 알루미나이드층의 고온내산화 및 기계적 성질 등이 우수하다.

② 확산피복후 원료분말이 바스켓에 남게되며, 다시 사용할 수 있다. 미세한 분말을 주기적으로 스크리닝하여 제거하여 여러번 사용할 수 있다. 사용횟수가 증가됨에 따라 Al함량이 점차 감소하나 실제로 이것은 문제가 되지않는다. 동일한 원료분말을 50회 이상 사용할 수 있다. 주기적인 스크리닝시 줄어든 분말을 보상하기 위해 새로운 원료분말을 간단하게 채운다.

③ 마스킹에 어려움이 없다. 우수한 피로특성을 확보하기 위해 블레이드의 루트를 확산피복해서는 안된다. 저활동도공정의 경우 처리온도가 높아 루투부를 마스킹하기 어렵다. 그러나 SVPA방법의 경우 그림8에서와 같이 간단히 마스킹케이스를 덮으면 되며 그 마스킹 케이스는 여러번 사용할 수 있다.

④ 원료분말과 처리물이 접촉하지 않으므로 냉각통

로가 막힐 염려가 없고, 매우 깨끗한 표면을 얻을 수 있으며, 더 이상 세척할 필요가 없다.

⑤ Ar가스를 사용하기 때문에 안전하며, 가스배출 시간이 짧아 산화가 일어나지 않는다.

그림 9는 가스상 금속 할로겐 화합물을 이용한 그림 9(a)의 고활동 알루미나이징 및 그림 9(b)의 저활동도 알루미나이징장치를 나타낸 것으로 대기압, 또는 수백 torr의 저압으로 유지된 레토르트내에 외부에서 기상의 금속 할로겐 화합물을 공급하여 다음의 화학반응을 통해 Ni기, 또는 Co기 초내열합금 표면에 Al을 석출시켜 Ni_2Al_3, 또는 NiAl의 알루미나이드를 형성시킨다.

$$2AlCl_3(\text{기체}) + 3H_2 \rightarrow 2Al + 6\,HCl$$
$$Al(\text{고체}) + Ni(\text{기지}) \rightarrow Ni_2Al_3,\ NiAl$$

금속 할로겐 화합물이나 유기화합물이 기지에서 분해되어 표면에 Al을 증착시키며, 발생되는 할로겐이나 증기상 유기물은 레토르트로부터 펌핑에 의해 배기된다. 분해에 필요한 기자온도가 충분히 높은 경우 증착시 확산이 일어날 수 있으나 만약 그렇지 못한 경우 바람직한 알루미나이드층을 얻기 위해 별도로 열처리하여야 한다. 그외에 수소에 의한 환원반응이 쓰일 수 있으며, 이 경우 H_2가 기체상 화합물 및 캐리어가스와 함께 공급되어야 한다.

이 방법은 복잡한 형태의 냉각통로을 쉽게 알루미나이징할 수 있고, 팩세멘테이션과는 달리 원료분말이 처리물 표면에 달라붙지 않는 장점이 있으나, 비교적 가격이 비싼 진공 및 가스공급장치가 필요한 단점을 가지고 있다. 표 3 및 4는 공업적으로 이용되는 기상 및 CVD법을 이용한 알루미나이징기술을 나타낸다.

3) 슬러리법

보통 두가지 방법이 쓰이며, 그 차이점은 알루미나이드를 형성하기 위해 열처리할 때 사용된 원료가

표 3. 공업적으로 사용되는 기상 알루미나이징 기술

Application Process	Designation	Nominal Composition	Alloy Compatibility	Supplier	Remarks
Gas Phase	HI-275	Aluminide (30wt% max.)	Ni base	Alloy Surface	Pack temperature to1950°F Cooling hole protection
	RT-69	Aluminide	Ni base	Chromalloy	
	RT-57	Aluminide	Ni, Co base	Chromalloy	

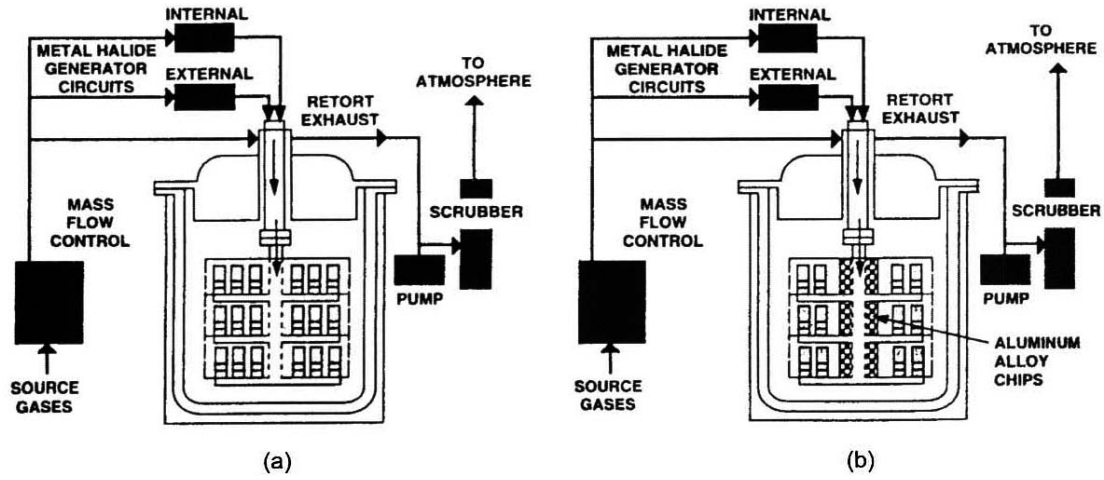


그림 9. CVD알루미나이징 장치. (a) 저활동도 및 (b) 고활동도.

표 4. 공업적으로 사용되는 CVD 알루미나이징기술

Application Process	Designation	Nominal	Composition	Alloy Compatibility	Supplier Remarks
CVD	RT-40	Aluminide-Silicide	Ni base	Chromalloy	
	RT-41	Silicide	Ni base	Chromalloy	
	RT-42	Silicon Carbide	Ni, Fe base	Chromalloy	
	RT-47	Aluminide	Ni base	Chromalloy	
	MDC-1C	Aluminide	Ni base	Howmet	Slurry CVD
	MDC-46	Si-Aluminide	Ni base	Howmet	
	MDC-46C	Si-Aluminide	Ni base	Howmet	Slurry CVD Contains Al_2O_3 particles
	MDC-143	Aluminide	Ni base	Howmet	
	MDC-150	Pt-Aluminide	Ni base	Howmet	
	MDC-210	Aluminide	Ni base	Howmet	
	PHA-275	Aluminide	Ni base	Pratt & Whitney	

용융되는가의 여부이다. 그 중 한 방법은 슬러리를 대기중에서 건조시킨 다음 피복원료의 확산이 일어나도록하기 위해 대기중의 불활성분위기나 진공분위기에서 가열하며, 이때 피복원료는 용융되지 않고 반응하여 기지금속으로 확산되어 알루미나이드가 형성된다. 그리고 다른 방법은 피복원료를 700~760°C로 가열하여 알루미늄을 용융시켜 처리물 표면에 도포시킨다음, 그것을 920~1200°C로 가열하여 Al을 기지금속 내부로 확산시켜 바람직한 알루미나이드를 형성한다.

모두 슬러리 상태의 원료를 세척된 처리물 표면에 도포시키며, 슬러리는 액상의 유기물 캐리어에 Al분말, 활성화제 등의 원료분말을 첨가하여 혼합시켜 제조한다. 그 원료 분말이 서로 뭉쳐지지 않고, 처리물의 표면조도가 나빠지는 것을 방지하기 위하여 미세한 보통 320 mesh이하의 분말들이 사용된다. 캐리어는 기지금속과 반응하지 않고, 피복층에 바람직하지 않은 화합물을 형성시키지 않아야 한다. 보통 유기액제의 경우 탄화물을 형성하지 않고, 쉽게 가열하거나 태워서 분해시킬 수 있기 때문에 캐리어로 사용된다.

이들 슬러리법은 팩세멘테이션법과 비교하여 보다 빠른 냉각속도를 얻을 수 있어 바람직한 미세조직을 얻을 수 있으며, 처리하지 않는 부분의 마스킹이 용이하다. 그러나 한쪽이 막힌 구멍 내부의 확산피복이 어렵다. 일반적으로 팩세멘테이션법에 의한 알루미나이드의 국부적 손상부위를 보수하기 위해 사용되나 일부 블레이드 전체를 확산피복하기 위해 사용되기도 한다. 한편 YCrAl과 CeCrAl의 슬러리 확산피복기술이 Ni 기 초내열합금에 적용되어 우수한 내산화특성을 얻고 있다.

4) 용융침적법

먼저 처리물을 세척하고 그것을 피복재료의 용융욕에 침적시킨다. 보통 용융욕은 기지금속과 용융금속의 산화를 방지하기 위한 용제로 덥혀 있다. 그리고 용융금속에서 기지가 용해되는 것을 막기위해 침적시간은 수 분으로 제한된다. 이와같이 짧은 시간으로 인해 피복재료가 기지금속으로 매우 적게 확산된다. 따라서 충분한 확산피복층을 얻기 위해 다시 불활성, 또는 진공분위기중에서 열처리하여야 한다. 이 방법은 복잡한 형상, 한쪽인 막힌 구멍, 그리고 코너부위 등에서 균일한 피복층을 얻을 수 없고, 또한 기지가 용융욕에 침적될 때 산화에 의해 피복층에 게재물이 형성될 수 있는 단점이 있다.

5. 냉각통로의 알루미나이징기술

1) 팩세멘테이션기술

일반적으로 TIT 온도가 1000°C을 초과하는 터빈의 경우 0.5 mm의 길고 작은 직경의 냉각통로를 가진 냉각 블레이드가 사용되며, 가혹한 환경으로부터 그 내면을 보호하여야 한다. 그러나 종래의 팩세멘테이션법으로 냉각공을 알루미나이징하는 경우 몇 가지 심각한 문제점을 가지고 있다. 그중의 하나로

냉각공에 원료분말을 채우고 알루미나이징한 다음 그것을 제거하는 데 큰 어려움이 따른다. 냉각통로가 막히는 경우 국부적이 과열로 인해 블레이드의 파손을 가져오므로 반드시 피하여야 한다. 그러한 현상은 높은 처리온도로 인해 팩이 소결되기 쉬운 저활동도 알루미나이징공정에서 일어날 수 있다. 더욱이 저활동도 알루미나이징공정의 경우 기지로부터 Ni의 외향성 확산에 의해 NiAl의 알루미나이드가 형성되며 이때 피복층에 팩입자들이 유입되기 쉽고, 또한 냉각통로 직경을 감소시킬 수 있다.

PWA73과 같은 고활동도 알루미나이징공정의 경우 팩온도가 훨씬 낮아 냉각통로내에서의 팩분말의 소결은 문제가 되지않는다. 더욱이 Al의 내향성 확산에 의한 알루미나이드의 형성은 피복층에 팩분말이 잘 유입되지 않는다. 고활동도 알루미나이징공정을 사용하는 경우 냉각통로의 막힘을 방지할 수 있는 장점이 있으나 알루미나이징 효율이 낮아진다. 따라서 기상 및 진공팩세멘테이션에 의한 알루미나이드 확산피복이 냉각공의 효과적인 고온부식방지 기술로 발전하고 있다.

2) 기상 알루미나이징기술

종래의 팩세멘테이션과 매우 유사하나 원료분말을 블레이드와 분리하여 알루미나이징하는 방법이 쓰이고 있다. 그 처리시 레토르트 내에서 원료분말로부터 가스상 금속 할로겐 화합물이 발생되며, 이것이 가스확산에 의해 처리물 기지에 도달한다. 그 과정에서 필요한 가스상 캐리어제의 특성을 "throwing power"라고 하며, 필요한 알루미나이드를 형성하기 위해 기지재료와 상호반응하여 냉각통로 내면에서 Al의 증착시키는 능력과 관계가 있다.

그림 10은 그 방법 중의 하나인 펄스알루미나이징 방법이며, 저압의 외부가열식 반응 레토르트를 사용한다. 레토르트 내에 처리물을 팩과 분리하여 장입하며, 팩은 Al 원료, 할로겐 화합물 활성제, 불활성제 등으로 구성된다. 레토르트 내의 압력은 진공배기시킨 다음 Ar을 주입하여 가압과 감압을 1분당 8회 반복한다. 우수한 특성을 얻기위해 활성화제를 잘 선택하여야 하며, AlF_3가 가장 좋다. 처리온도에서 기지금속 표면으로 확산하기에 충분하도록 금속원료원의 증기압이 높아야 한다. 알루미나이징온도는

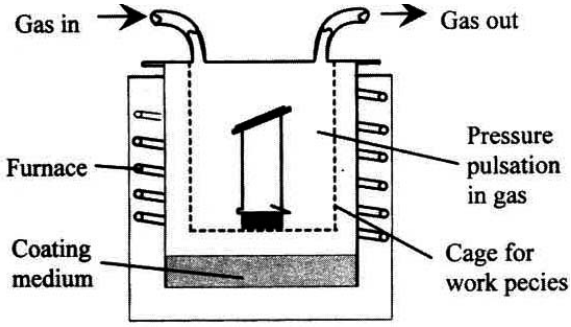


그림 10. 펄스 알루미나이징 장치.

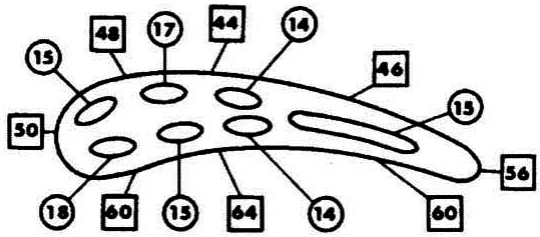
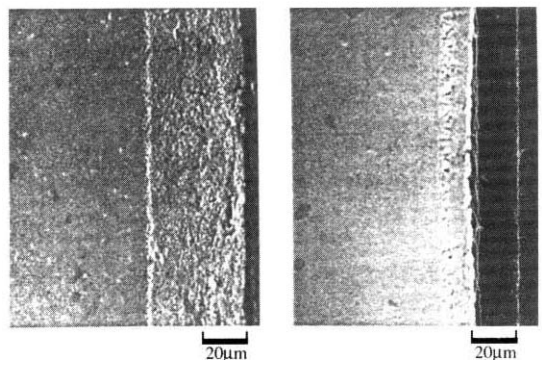


그림 11. 블레이드 외부 및 냉각공의 알루미나이드 두께 분포.

825~980°C 범위이다. 그림 11은 블레이드 외부 및 냉각통로 내면의 알루미나이드 두께를 나타낸 것이다. 팩에서 블레이드의 위치를 조절하여 알루미나이드 두께를 균일하게 할 수 있다. 블레이드가 팩에서 멀어질수록 피복두께는 얇아지나 더욱 균일해지며, 외부 및 내부의 두께비가 일정해진다. 그림 12는 900°C에서 이 방법 통해 블레이드 외부 및 직경 1 mm, 길이 60 mm의 냉각통로를 알루미나이징한 것이다.



(a) Outer surface (b) Cooling channel wall

그림 12. 펄스 알루미나이징법을 이용한 블레이드 외부 및 냉각공내면의 알루미나이드 조직.

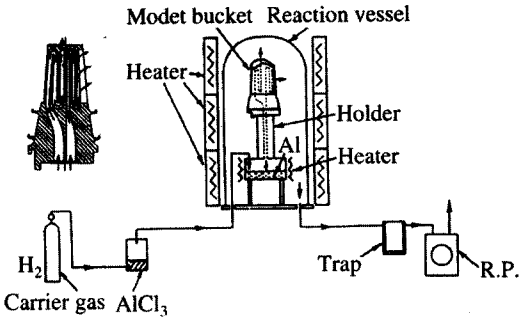


그림 13. 냉각통로 CVD장치

외부는 고활동도 증착층, 그리고 냉각공 내면은 저활동도 증착층과 같은 조직을 보인다. 종래 팩세멘테이션의 경우 Al 함유량이 28%정도이나 이 방법의 경우 그 보다 높다.

그림 13은 냉각통로에 알루미나이드를 피복하기 위한 CVD장치를 나타낸다. 저압분위기의 외부가열식이며, Si_3N_4의 반응용기로 되어있다. 그 특징은 가스변성실에 $AlCl_3$의 고차염화물을 약 900°C의 용융 Al 표면에 아래의 화학반응식과 같이 반응시켜 상온에서 불안정한 AlCl의 저차염화물 원료가스를 형성한다.

$2Al+AlCl_3 \rightarrow 3AlCl$

고차염화물의 Al 석출 반응온도가 1200°C인데 비하여 저차염화물은 1000°C의 낮은 온도로

$2AlCl_3+3H_2 \rightarrow 2Al+6HCl$

$3AlCl \rightarrow 2Al+AlCl_3$

용이하게 분해하여 Al을 석출한다. 따라서 Ni기 내열합금의 용체화온도인 1000℃보다 낮은 온도에서 CVD가 가능하고 열처리조건에 알맞다.

$3AlCl \rightarrow 2Al+AlCl_3$

이 방법의 경우 CVD에 의해 Ni 내열합금의 표면에 Al 석출됨과 동시에 Al이 기지내로 확산도어 NiAl 화합물을 형성한다. 따라서 피복층의 두께를 결정하는 것은 기지표면에서의 Al의 석출속도, 혹은 그 Al이 기지내로 확산하는 속도가 된다. 950~1000°C에서 균일한 두께의 알루미나이드층을 형성할 수 있으며, 그 이유는 저차염화물의 분해반응 속도가 느려져 출구부에 이르기까지의 AlCl의 소모가 적기 때문이다. 이와 같은 저처염화물을 이용한 CVD 공정의 확립에 따라 냉각통로의 입구부에서 출구부에 이르기까지 균일한 두께의 NiAl 화합물로 구성된 고온 내산화 및 내식 알루미나이드층을 형성할 수 있다.

6. 맺음말

그 동안 가스터빈부품의 고온산화 및 부식 방지를 위해 알루미나이징기술이 몇가지의 단점이 있음에도 불구하고 처리가격이 저렴하여 널리 쓰여 왔다. 우수한 고온 내산화 및 내식특성을 부여하고, 작업이 용이하며, 냉각능의 향상시키기 위해 점차 구조가 복잡해지고 있는 냉각통로 내면의 알루미나이징을 위해 종래 팩세멘테이션법에서 비접촉 팩세멘테이션 및 화학증착법을 이용한 알루미나이징기술로 전환되고 있으며, 따라서 이들 기술의 보급이 필요하다.

참고문헌

1. D. M. Plating & Surface Finishing, July, 1992, P.20
2. V. Srinivasan, JOM, Dec. 1994, P. 34.
3. D. S. Rickerby, Materials & Manufacturing Process, &(4), 1992, P. 495.
4. G. W. Goward, Trans. of the ASME, Vol.110, Jan. 1988, P. 150.
5. 伊藤義康, 機械の研究, 第44卷, 第2號,1992, P.257.
6. 原田良夫, 防蝕技術, 31, 1982, P.281
7. 福井寬, 耐熱金屬材料 第123 委員會研究報告 Vol. 28, No. 3 P.357.
8. A. Strang, AGARD, 1984, P.11.1-35.
9. G. W. Goward, D. H. Boone, Oxidation of Metals, Vol. 3, No. 5, 1971, P. 475.
10. 睨島慶亨, 表面技術, Vol. 43, No. 9, 1992, P. 839.
11. J. E. Restall, Superalloy, 1990, P. 405.
12. Bruce M. Warnes, Surface & Coating Technology, 94-95, 1997, P. 1.