

항공기부품의 용사코팅기술



이 구 현
한국기계연구원

- 표면연구부 책임연구원
- 관심분야 : 열처리기술, 플라즈마용사코팅기술
- E-mail : lgh1162@kmail.kimm.re.kr



김 승 태
한전기공(주)

- 한전기공(주) 기술연구소
- 관심분야 : 가스터빈 정비, 설비 건전성평가 및 정비기술
- E-mail : stkim@kps.co.kr



전 채 흥
한전기공(주)

- 한전기공(주) 기술연구소
- 관심분야 : 가스터빈 고온부품 정비 및 수명평가, 원전설비 건전성평가
- E-mail : kyn1740@dacc21.com

1. 서 론

가스터빈 엔진은 항공기 및 발전설비에 널리 사용되고 있으며 고온산화 및 고온부식 환경하에서 사용되는 재료와 부품의 내구성 및 신뢰성은 엔진수명에 절대적인 영향을 주게 된다. 특히 블레이드, 베인과 같이 1200℃ 이상의 고온부에 사용되는 부품의 경우 극심한 고온부식과 산화가 매우 큰 회전응력 상황에 노출되며 이러한 환경 속에서 수만 시간동안 우수한 기계적 성질과 표면특성을 유지해야 한다. 따라서, 엔진 재료의 내열, 내산화, 내부식 등의 한계성을 극복하기 위하여 새로운 고온재료의 개발과 함께 표면특성 향상을 위한 코팅기술이 지속적으로 발전되어 왔으며 선진국에서는 재료 표면에 우수한 내식, 내마모 및 열차폐 특성을 갖는 기능성 박막 층을 형성시켜, 표면에서의 산화, 열응력, 미세 조직의 불연속성 등의 문제점들을 체계적으로 평가하여 최적의 표면층 특성을 갖게 하고 있다.

선진외국의 경우 1940년에서 1970년 사이에 고온재료(초내열 합금)를 개발하였으나 상용온도가 약 950℃정도밖에 나오지 않았다. 이러한 초내열 합금의 상용온도를 높이기 위해 입계를 줄이기 위한 일방향 응고(Directional Solidification), 결정입계를 완전히 없애는 단결정 성장(Single Crystal Growth), 고온부품 내부에 구멍을 뚫어 저온의 냉매에 의해 냉각함으로써 실제온도가 재료의 열화점 미만으로 되게 하는 방

법 등을 수행하여 가스 터빈의 연소온도가 약 1280℃로 비약적으로 상승하였다. 그러나, 고가의 주조기술이나 부대적인 냉각장치의 설치 등으로 부품의 가격이 대단히 높아질 수밖에 없었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 도입된 기술이 열차폐 코팅기술 (Thermal Barrier Coating)이다.

이러한 열차폐코팅기술은 크게 pack cementation, 대기용사(APS), HVOF 또는 진공용사(VPS),감압 용사 코팅(LPPS)^[1], EB-PVD등으로 구분한다. 현재 국내의 열차폐 코팅기술은 pack cementation과 대기용사(APS)^[2] 및 HVOF에 주로 의존하고 있다. 그러나 국내에 일반화 되어있는 대기 용사법은 용사중 금속 분말의 산화와 높은 기공도, 내부 잔류 응력 및 낮은 접착력 등의 단점을 가지기 때문에 최근에는 터빈 블레이드와 같은 고온에서 사용되는 부품은 고온산화, 고온부식억제, 열차폐 접합코팅 등의 특성이 요구되는 고품질의 용사는 저압하에서 분위기를 감압하여 코팅을 행하여 밀착력 및 코팅의 균일성을 향상시키고 산화물의 생성을 억제하는 LPPS(VPS) 등의 방법이 세계적으로 실용화 되어 있다.

그러나, LPPS(Low Pressure Plasma Spraying) 방법은 장비가 고가이기 때문에 이를 대체할 수 있는 용사기술의 개발이 절실한 실정이다. 최근의 외국 연구에서는 LPPS(VPS)를 대체하기 위한 HVOF(High Velocity Oxygen Fuel) 용사법을 적용하려는 기술적인 검토가 활발히 진행중에 있으며 그 결과도 매우 긍정적이다.^[3]

따라서, 본 고에서는 용사에 의한 코팅기술을 중심으로 항공기용 부품의 표면코팅에 대해서 소개한다.

2. 용사의 역사

용사법은 1910년대, 스위스의 M. U. Schoop가 용탕식용사법을 시작으로, 화염을 이용한 가

스식 용사(Gas Flame Thermal Spray), 아크 열원을 이용한 전기식 용사(Arc Thermal Spray)가 실용화되었다. 초기의 용사에는 Zn 등과 같이 주로 내식성이 양호한 연금속 피막이 사용되었으나, 시간의 경과와 함께 경금속피막이 주류를 이루게 되었다. 1950년대는 플라즈마 제트가 개발됨에 따라 그 용사 온도가 10,000K의 플라즈마 용사법(Plasma Thermal Spray)으로 발전되었다. 또한 우주항공산업의 발달로 새로운 내화재료가 폭넓게 이용되기 시작하였고, 폭발용사(Detonation Thermal Spray)같은 새로운 기술이 개발되었다.^[4-6] 1960년대는 용사의 물리적 해석이 연구가 시작 되었으며, 그 후, 1973년에 진공 플라즈마 용사(Vacuum Plasma Spraying, VPS)가 개발되면서 용사기술이 산업 전반에 걸쳐 폭넓게 응용되기 시작하였다. 1980년 개발된 고속 화염용사(High Velocity Oxy-Fuel Spraying, HVOF)가 개발되어 현재 널리 사용되고 있다. 표 1은 용사의 역사를 나타내고 있다.^[4]

3. 용사의 방법 및 특성

3.1 용사의 특징

용사(Thermal Spray)란 분말 혹은 선형재료를 고온 열원으로부터 용융액적으로 변화시켜 고속으로 기체에 충돌시켜 급냉응고되어 적층 피막을 형성하는 기술이다. 재료의 가열, 용융을 위해 에너지 밀도가 높은 연소화염, 아크 및 플라즈마 등의 열원을 필요로 하며,^[7] 성질이 다른 재료를 기체표면에 피막을 형성시켜 기체가 보유하고 있는 특성을 살리고, 결함을 보완할 수 있으며, 재료기능의 다양화 및 고도화를 가능하게 하는 표면처리법의 하나이다. 용사법을 이용하면 고속으로 두꺼운 피막형성이 가능하며, 금속, 세라믹, 유리 및 플라스틱 등의 재료를 사용할 수 있는것으로서 다음과 같은 특징을

가지고 있다.

- ① 피막속도가 빠르고, 두꺼운 피막형성이 가능하다.
- ② 피막형성에 이용되는 재료의 자유도가 크다.
- ③ 피복사용 재료의 종류, 형상 및 치수에 대한 자유도가 넓다.
- ④ 피막형성시 소재변형 및 재질변화가 적다.
- ⑤ 복합피복의 형성이 용이하다.
- ⑥ 비평형상태의 조직이 가능하다.
- ⑦ 다공질이 형성된다.

표 1. 용사의 역사^[4-6]

1910	Dr. M. U. Schoop[스위스]:금속용사법을 발명 (저용점금속용사장치개발)
1913	고용점 용사장치개발
1920	미국, 영국, 프랑스, 독일등에서 용사업체 설립하여 응용분야 적용.
1921	흡입식분말반송장치의 용사건 개발
1956	제1회 국제용사대회(ITSC) - 동독에서 개최
1957	일본용사협회 설립 - 자동합금용사의 개시와 가공이 본격화
1962	플라즈마 용사법 도입 (세라믹스, 서멧트등:일본)
1974	런던 국제용사회의: E. Muehlberger 발표 (LPPS-미국 Electro-Plasma Inc.)
1980	LPPS 및 HVOF사용(일본)
1982	VPS System(Plasmatechnik) - Robot in Chamber
1994	한국용사기술협회 설립
1995	제14회 국제용사회의 개최(일본, 고오베)
1995	제1회 용사기술 Workshop 개최(한국)
2002	한국용사기술협회 (회원사 67개 - 산업체 : 41, 학연 : 26, -156명)
2002	VPS국내최초 도입(한국기계연구원)

3.2. 용사방법의 종류

용사 공정은 일반적으로 전처리 공정과 용사공정 및 용사후의 피막특성을 향상시키는 후처리의 3개의 공정으로 나누어지며 사용되고 있는 용사방법의 종류도 많다. 용사방법은 크게 가스식과 전기식으로 분류되며 그림 1에 나타내었다.^[8]

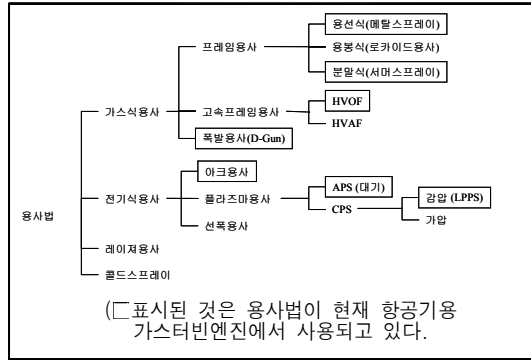


그림1. 용사법의 분류^[8]

옛날에는 가스식의 프레임용사부터 적용이 시작되었고 1970년 전후에는 전기식의 플라즈마 용사가 적용되면서 그 이용범위는 넓게 되었다.

또 최근 가스식용사의 개량기술인 HVOF(HYPER VELOCITY OXY-FUEL)용사법이 개발되어 내마모 코팅에 의한 양호한 코팅품질과 코팅의 잔류응력이 작고 후막이 가능한 육성보수에 이용이 확대되고 있으며 여러 가지 용사법을 소개한다.

(1) 화염용사(Flame Spraying, FS)

화염용사는 산소와 아세틸렌을 사용하며 화염온도는 3000~3350K 정도, 화염속도는 80~100m/s 정도이다. 용사재료는 분말이 아닌 선이나 봉형으로도 공급할 수 있다. 사용재료에 따라서 용선식, 용봉식 및 분말식 화염용사로 나눌 수 있다.

(2) 폭발용사

(Detonation-Gun Spraying, D-Gun Spraying)

산소와 아세틸렌을 사용하며 분말을 주입한 후, 가스를 폭발 연소시켜서 이것을 열원으로 하여 분말을 용융시킴과 동시에 용융된 입자를 가속시켜 피복하는 것이다. 용사입자의 비행속도가 빠르기 때문에 치밀하고 결합성이 높은 피막을 얻을 수 있다. 화염의 최고온도는 4500K 이고 용융 입자의 비행속도는 750~900 m/sec, 점화속도는 1~15 Cycle/sec이다.

(3) 고속화염용사

(High-Velocity Oxygen Fuel Spraying, HVOF)

고속화염용사는 연료가스(프로판, 메틸아세틸

렌, 헵탄, 수소)를 산소와 함께 고압에서 연소시켜 고속의 제트를 발생시키는 것이다. 화염의 온도는 3170~3440K이며 분사되는 제트의 속도는 2000m/sec이다. 장점으로는 접합강도가 우수하고 치밀한 코팅층의 제조가 가능하며 피로 특성 및 열충격 저항성 향상을 가지며 단점으로는 산화물의 용사가 불가능하다.

(4)아크용사 (Arc Spraying)

아크용사는 두 개의 선재를 전극으로 하고, 전극 끝 부분에 아크를 발생시켜 재료를 용융 시킴과 동시에 압축공기 제트로 분사시켜 피막을 형성하는 기술이다. 아크로 재료를 용융시키기 때문에 고능률 용사가 가능하고, 대형소재의 피막형성, 소모재료의 오버레이 용사에 적당하다.

(5)대기 플라즈마용사

(Atmospheric Plasma Spraying)

Ar, He, N₂ 등의 가스를 아크로 플라즈마화하고, 이것을 노즐로부터 배출시켜 초고온, 고속의 플라즈마 제트를 열원으로하는 피막형성 기술이다. 화염온도는 10,000~15,000K, 화염속도는 150~300m/s, Enthalpy는 16,000~20,000J/l이다.

고용점의 W, Mo같은 금속과 세라믹 코팅에 필수적이며 플라즈마 제트의 속도가 크므로 용사재료가 고속으로 피처리물에 충돌하고 이로 인해 고밀착강도, 고밀도의 피막 제조가 가능한 장점이 있으며 단점으로는 대기압의 분위기에서 작업을 하므로 주변 공기가 플라즈마 제트 불꽃 내에 혼입되어 결과적으로 기공도가 높고 부착율이 약해지며 피막재에 따라 산화물 또는 질화물이 형성되어 불순물이 섞인 코팅을 얻을 수 있다.

(6)감압플라즈마용사^[9]

(Low Pressure Plasma Spraying)

LPPS는 감압 챔버내에서 플라즈마 용사를 진행하는 프로세스로, 사전에 0.1Torr이상으로 챔버내를 배기한 후, 통상 20~200Torr로 압력조

정한 불활성분위기 안에서 용사를 한다. 용사 원리는 통상 플라즈마 용사법과 동일하다.

LPPS는 항공기 가스터빈 블레이드 표면의 내산화성, 내식성, 내에로전성을 개선하고, 고신뢰성, 고효율 운전을 목적으로 개발되었으며 현재 LPPS는 항공기 엔진 분야뿐만이 아니라, 금후 폭넓은 산업분야로의 응용이 기대되는 기술로 대부분의 항공기 엔진에 LPPS가 적용되고 있으며 다음과 같은 특징이 있다.

- ① 제어된 분위기중에서 용사되기 때문에, 용사재료의 산화, 질화가 방지되어, 청정한 피막이 형성가능하다.
- ② 활성금속, 탄화물 등의 무산화용사가 가능하다.
- ③ 기공이 거의 발생하지 않고, 고밀도 피막형성이 가능하다.
- ④ 기재 표면을 산화하지 않고 충분히 예열이 가능하므로 높은 접합강도를 얻을 수 있다.
- ⑤ 산화의 우려 없이 기재, 피막을 고온에 유지할 수 있기 때문에, 피막내 잔류응력이 경감되어, 후막의 용사가 가능하다.
- ⑥ 소음, 분진(粉塵), 자외선등의 작업환경문제가 작다.

4. 용사 코팅시장 현황

2000년도 유럽 전체의 용사시장은 대략8억 유로화로서 세계 용사시장의 약 25~30%로 추정되며 용사재료및 용사장비 생산업체와 용사시공업체 등에 의해 주도되고 있다. 유럽에서의 용사재료 및 장치는 용사 산업의 약 23%(1.85억 유로화)를 점유하고 있으며, 용사코팅 시장은 약 77%(6.15억 유로화)를 차지하고 있다. 용사코팅시장에서의 적용분야를 살펴보면 내마모성과 내식성에 대한 기계적 수리 및 금속코팅을 포함한 저부가가치산업과 항공기 산업, 가스터빈, 프린터롤, 생체재료 부분과 같은 고부가가치산업으로 대별된다.

용사설비의 경우 화염용사는 추세가 감소하는 경향이 있는 반면에 와이어-아크, 고속용사, 플라즈마 용사 등은 점유율이 증가하고 있는 추세이다.

따라서 용사코팅의 경우 재래기술에 대한 개발노력은 감소하는 반면 주로 항공기 및 자동차 산업에 활용되는 하이테크에 대한 기술적인 개발이 증대됨을 알 수 있으며 그림 2와 3에 유럽의 용사 시장의 현황을 나타내었다. [10]

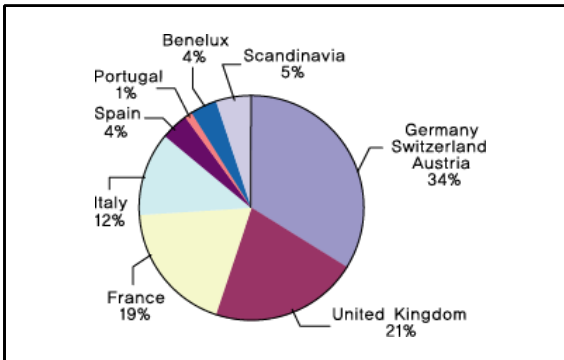


그림 2. 국가별 용사시장 현황(유럽)[10]

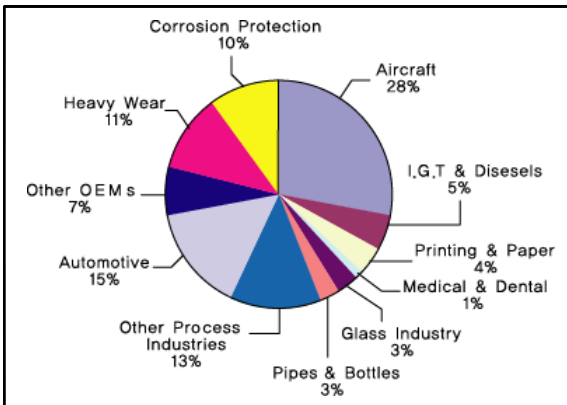


그림 3. 용사코팅 적용분야(유럽)

한편 일본 용사코팅시장의 경우 용사가공의 시장규모는 1999년 184억엔, 2000년 204억엔, 2001년 220억엔(2000년대비 7.5%증가)으로 매년 성장하고 있다. 2002년의 경우 330억엔, 2005년도에는 380억엔으로 예상하고 있으며

매년 평균 5%씩 증가를 예상하고 있다. 용사가공목적도 기존의 내마모성 위주의 코팅에서 최근 반도체, 액정제조장치 등 일렉트로닉스분야의 수요(10.7%증가) 및 방청, 방식(24%), 내열성 코팅분야(11%)가 증가추세를 보이며 응용분야가 확대되었으며 내마모성 코팅분야(45%)도 더욱 수요의 증가를 보이고 있다.

그림 4 및 5에 일본의 용사코팅시장 현황을 나타내었다. [6]

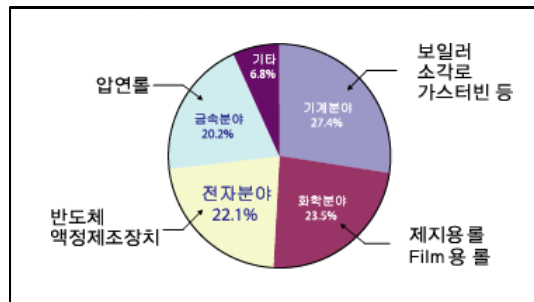


그림 4. 용사코팅 적용분야(일본)[6]

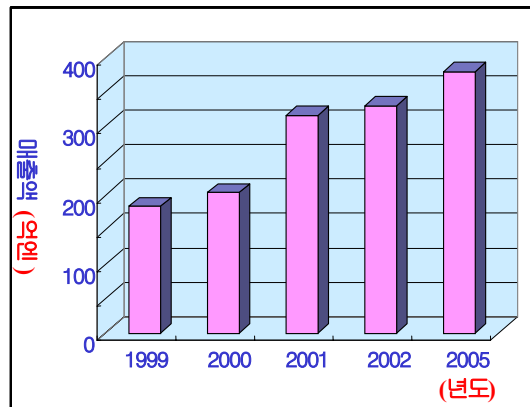


그림 5. 용사가공시장 현황 (일본)[6]

5. 항공기용 가스터빈엔진의 코팅기술 적용사례

최근 항공기용 가스엔진의 용사코팅기술에 대한 역할의 중요성은 갈수록 증가되고 있다.

표 2^[11]에 나타나는 것처럼 용사기술은 제트엔

표 2. 항공엔진과 예 사기 술 의 진 보

연대	대표엔진 (대표탐색기재)	용사목적					
		HARDFACE 내마모성향상	ABRADABLE 피삭성향상	ABRASIVE 연삭성향상	THERMAL BARRIER 단열성향상	OXIDATION RESISTANCE 내산화성향상	RESTORATION 치수회복
1970	대형 고바 이팩스팬 터보팬 F100(F15 F18) PW A2037(B757) Y2500(A320) 초음속터보팬 고용률용터보팬 GE90(B777) PW A4084(B777) TRENT 892(B777) 초대형 고바 이팩스팬	<ul style="list-style-type: none"> 복합용사 WC-Co C/C CuNiIn 플라즈마용사 WC-Co C/C 고출력플라즈마용사 WC-Co C/C T800 	<ul style="list-style-type: none"> 외이어프래임용사 은(Ag/Cu/Zn/Cd) 파우더프래임용사 Ni-C Al-C BN-Incoloy NiCrAl-Bentonic 플라즈마용사 Ni-Al Al-Polyester 플라즈마용사 NiCr-Polyester RSR Ni-Lactie 	<ul style="list-style-type: none"> 플라즈마용사 Al₂O₃-NiAl (2LAYER) C/C 	<ul style="list-style-type: none"> 플라즈마용사 3층코팅 Ni-Al-Ni-Cr(BOND) 서멧트(중간층) MSZ(TOP) 플라즈마용사 Graded 코팅 MCrAlY MSZ 플라즈마용사 2층코팅 MCrAlY(대기감염) YSZ 	<ul style="list-style-type: none"> 플라즈마용사 MCrAlY 강입플라즈마용사 Al₂O₃ 코팅용사 MCrAlY 	<ul style="list-style-type: none"> 플라즈마용사 Ni-Al Mo Al-Si Stellite
		<ul style="list-style-type: none"> COLD SPRAY ? WC-Co 	<ul style="list-style-type: none"> 플라즈마용사 세라믹질 POST YSZ-?? 	<ul style="list-style-type: none"> HVOF Al₂O₃ YSZ 	<ul style="list-style-type: none"> 플라즈마용사 POST MCrAlY POST YSZ 	<ul style="list-style-type: none"> 강입플라즈마용사 MCrAlY 	<ul style="list-style-type: none"> 아크용사 Ni-Al NiCrAl HVOF Inco 718
1980	초음속터보팬 고용률용터보팬 GE90(B777) PW A4084(B777) TRENT 892(B777) 초대형 고바 이팩스팬	<ul style="list-style-type: none"> GATOR-GARD 고속플라즈마용사 WC-Co C/C CuNi HVOF WC-Co C/C T800 	<ul style="list-style-type: none"> 플라즈마용사 세라믹질 YSZ-Polyester 고온Ti용실 MCrAlY- Polyester 	<ul style="list-style-type: none"> 플라즈마용사 Al₂O₃ YSZ 	<ul style="list-style-type: none"> 플라즈마용사 POST MCrAlY POST YSZ 	<ul style="list-style-type: none"> 강입플라즈마용사 MCrAlY 	<ul style="list-style-type: none"> 아크용사 Ni-Al NiCrAl HVOF Inco 718
		<ul style="list-style-type: none"> COLD SPRAY ? WC-Co 	<ul style="list-style-type: none"> 플라즈마용사 세라믹질 POST YSZ-?? 	<ul style="list-style-type: none"> HVOF Al₂O₃ YSZ 	<ul style="list-style-type: none"> 플라즈마용사 POST MCrAlY POST YSZ 	<ul style="list-style-type: none"> 강입플라즈마용사 MCrAlY 	<ul style="list-style-type: none"> 아크용사 Ni-Al NiCrAl HVOF Inco 718
1990	초대형 고바 이팩스팬	<ul style="list-style-type: none"> FAN BLADE FAN DISK TURBINE BLADE 	<ul style="list-style-type: none"> COMP CASE COMP SPOOL COMP SEAL TURBINE SEAL 	<ul style="list-style-type: none"> AIR SEAL OIL SEAL 	<ul style="list-style-type: none"> COMBUSTOR TURBINE BLADE TURBINE VANE AB FLAP AB DUCT 	<ul style="list-style-type: none"> TURBINE BLADE TURBINE VANE 	<ul style="list-style-type: none"> 전반
		<ul style="list-style-type: none"> 경질Cr-도금 TiG 용접하드페이싱 레이저하드페이싱 EDC 	<ul style="list-style-type: none"> 수지라이닝 FELT METAL SEAL HONEYCOMB SEAL 	<ul style="list-style-type: none"> 도금 	<ul style="list-style-type: none"> EB-PVD CVD CMC 	<ul style="list-style-type: none"> Al 확산코팅 Pt-Al VPA 	<ul style="list-style-type: none"> Ni도금 용접복합성
2000	주적용부품	<ul style="list-style-type: none"> FAN BLADE FAN DISK TURBINE BLADE 	<ul style="list-style-type: none"> COMP CASE COMP SPOOL COMP SEAL TURBINE SEAL 	<ul style="list-style-type: none"> AIR SEAL OIL SEAL 	<ul style="list-style-type: none"> COMBUSTOR TURBINE BLADE TURBINE VANE AB FLAP AB DUCT 	<ul style="list-style-type: none"> TURBINE BLADE TURBINE VANE 	<ul style="list-style-type: none"> 전반
		<ul style="list-style-type: none"> 대체프로세스 	<ul style="list-style-type: none"> 경질Cr-도금 TiG 용접하드페이싱 레이저하드페이싱 EDC 	<ul style="list-style-type: none"> 도금 	<ul style="list-style-type: none"> EB-PVD CVD CMC 	<ul style="list-style-type: none"> Al 확산코팅 Pt-Al VPA 	<ul style="list-style-type: none"> Ni도금 용접복합성

진의 초창기부터 폭발용사에 의한 내마모성 코팅과 와이어식 프레임 용사에 의한 abratable coating이 적용되었으며 표 3에 abratable coating재료의 일례를 나타내었다.^[8] 특히 1970년대에 플라즈마 용사가 적용된 후로는 플라즈마 용사가 폭넓은 용사재료로 대응 가능하기 때문에, 그 이용이 확대되고, 아브레이싱, 단열, 내산화, 치수회복 등 여러 가지 목적으로 사용되고 있다.

표 3. 대표적인 abratable coating 재료

코팅재료	권장코팅 두께(mm)	권장사용 온도(K)	용사방법
Al Bronze +Ni-Graphite	1.5-2.5	645 Max	프레임용사
Pure Al	0.3-0.8	700 Max	프레임용사
AlSi +Polyester	0.8-3.3	560 Max	프레임용사
75Ni-25Graphite	0.8-2.1	700 Max	프레임용사
AlSi +Polyester	0.8-2.1	700 Max	프레임용사
NiCrAl Bentonite	0.8-2.1	920 Max	프레임용사
CoNiCrAlY-BN-Polyester	0.8-2.1	1100 Max	프레임용사
CuZnAg	0.4-0.8	450 Max	프레임용사

항공기 제트엔진의 대표적인 특성은 안전성 · 신뢰성, 추중비, 연료소비율, 환경성 등을 들 수 있다. 이들 제트엔진 · 퍼포먼스의 향상을 달성하기 위해서는 여러 가지 설계적 개량이 진행되고 있지만, 그 중에서도 기술개량의 대표적인 것은 콤프레셔와 터빈의 고온화 및 고압화이다. 그림 6에 나타난 바와 같이 터빈입구 온도에 있어서는 1980년대 후반이후 제트엔진은 1400℃에 이르고, 최근에는 1500℃에 이르는 중이다.

또한, 배기가스에 포함되는 질소 산화물의 양도 감소시키려는 노력을 계속하고 있으며 그림 7에 NOx 감소의 변화를 잘 보여주고 있다. 표 4에 현재 항공기부품 중 용사코팅을 적용하는 부품의 일례를 소개한다.^[11-12]

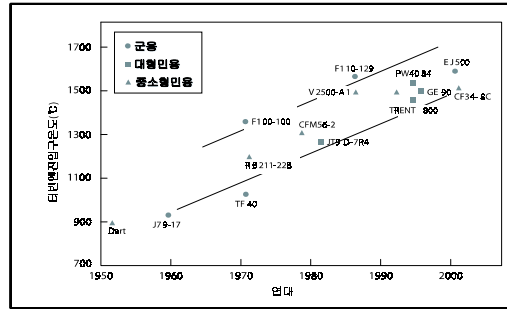


그림 6. 터빈 입구온도 변천^[12]

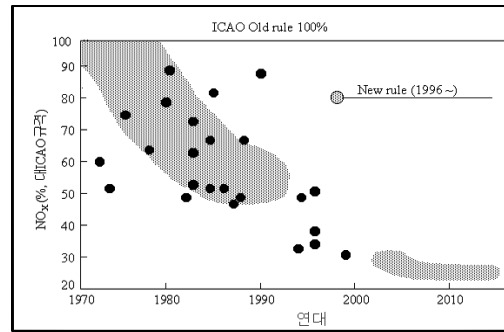


그림 7. NOx 저감의 동향^[12]

5.1 팬

팬 섹션에서는 팬 블레이드와 팬케이스에 내마모성 코팅과 아브레이드블코팅이 적용되고 있으며 내플레팅성이 높은 Cu-Ni, Cu-Ni-In, Al-Bronze 등이 플라즈마 용사에 의해 적용되고 있다.

팬 · 블레이드, 컴프레셔 · 블레이드는 내마모성이 뛰어나면서, 높은 인성을 가진 폭발용사, Gator-Gard 고속 플라즈마 용사 등에 의한 XC-Co의 내마모 코팅이 실시되고 있다.

5.2 콤프레셔

콤프레셔 · 케이스와 스프로 동, 정익과의 치평면에 분말식 플레임 용사에 의한 Ni-Graphit, Al-Graphite 등의 아브레이드블 코팅이 채용되고 있다. 또한, 최근에는 코팅의 다공질화를 노

린 Ni합금-Polyester, Co합금-Polyester 등의 아브레이드블 코팅도 사용되고 있다. 이들 코팅은 동정익과의 칩·clearance를 적정하게 유지하며, 컴플렉서의 효율향상과 이들의 부품 소부(燒付) 방지에 기여하고 있다.

5.3 연소기

연소기에서 공기류로면(空氣流路面) 전면에 플라즈마 용사에 의한 YSZ(Y_2O_3 Stabilized ZrO_2) + MCrAlY의 TBC(Thermal Barrier Coating)가 적용되고 있다. TBC는 일반적인 본드코트제 NiAl이나 NiCr + 지르코니아계 ceramic의 2층 코팅부터 시작하여 열응력 완화등의 목적으로 금속-ceramic의 혼합층을 중간층으로한 3층 코팅이나 그레이드코팅으로 발전하였다. 일반적인 본드 코트재료부터 내산화성이 뛰어난 MCrAlY를 본드 코트재료로 한 YSZ + MCrAlY의 2층 코팅이 주류가 되고 있다.

5.4 터빈

터빈블레이드는 고압 터빈에서는 TBC와 abrasive coating, 저압 터빈에서는 shroud부에 해당하는 면으로 폭발용사에 의한 Co합금-알루미늄의 내마모, 내충격성을 가지는 코팅이 적용되고 있다. 고압 터빈익으로의 TBC에서는 주로 LPPS(Low Pressure Plasma Spray)가 사용되어 내구성이 보다 향상되기를 기대하고 있다.

6. 향후 동향

항공기 및 발전용 가스터빈의 경우 열차폐 코팅(TBC)기술을 도입하여 터빈의 효율을 높이고, 부품의 사용온도를 낮추어 수명을 연장하며, 고온부식 및 에로우전에 대한 저항특성을 향상시키고 있다.

이러한 고온부식과 산화및 마모를 방지하고 작동온도의 고온화에 대응하기 위하여 현재 내열재료의 개발과 블레이드의 냉각구조 변경 등이 진행되고 있지만 다른 하나의 방안으로서는 열차폐를 위한 각종 코팅기술을 개발하여 수명을 연장하고 효율을 향상시키기 위하여 향후 차세대 열차폐코팅기술(TBC)의 개발 등의 필요성이 대두되고 있다.

종래의 용사코팅기술은 파손방지 및 부품의 수명향상등에 사용되었지만 최근에는 나노테크놀로지 개념에서의 연구도 진행하고 있어 향후의 코팅기술은 성능향상을 이룩해야하는 목적도 가지고 있다. 따라서 코팅 피막형성기술은 종래의 확산코팅, 용사와 EB-PVD만으로는 아닌 나노구조에서의 피막성형제어가 가능하며 향후 고속의 피막형성이 가능한 프로세스의 확립을 목표로 신규 열플라즈마용사, 고속PVD와 고속CVD의 개발이 진행되고 있다.

이외에도 용사장치의 개량에 의해 고에너지형의 장치와 고가속형 장치의 개발을 통해 치밀한 피막이 형성가능하게 되어 엄격한 품질이 요구되는 공항우주용의 부재나 생체 임플란트재의 개

표 4. 항공기용 제트 엔진의 용사적용^[11-12]

목적	내마모	단열	내열,내식	치수회복
적용 부품	-팬블레이드 -팬디스크 -터빈블레이드 -터빈디스크	-연소기 -터빈블레이드 -터빈팬	-터빈팬 -터빈블레이드	-플레임 -케이싱 -터빈실
용사 재료	-WC/Co -Triballoy	-MCrAlY+ ZrO ₂ · Y ₂ O ₃	-MCrAlY	-MCrAlY -HastelloyX

(공업재료, 納富啓, Vol. 41, No. 11, P. 56, 1993)

발에도 이용되어, 첨단재료의 개발에 용사가 담당하는 역할은 클 것으로 전망된다.

7. 결 론

최근 재료개발에 대한 연구는 벌크에서 표면 코팅으로 전환하는 경향으로 진행될 전망이다. 이런 상황에서 용사 재료와 용사 코팅공정 및 용사장치에 대한 연구 및 기술개발은 세계적으로 많은 주목을 받고 있다.

특히 차세대차열, 내환경코팅분야의 연구가 기대되고 있는 정도는 매우 급속도로 발전을 이루고 있는 상태이다.

또한, 이러한 기술은 항공기산업 및 발전산업과 밀접하게 관련되어 왔기 때문에 국가적인 차원에서 기술을 개발하여 사용하여 왔으며 특히로서 권리화되어 독점되어 왔기 때문에 사용에 있어서는 많은 제한이 따르고 있는 실정이다.^[13]

이와 관련하여 현재 선진국에서는 향후 고효율 가스터빈 개발의 기본 기술로 되어있는 TBC (Thermal Barrier Coating)과 EBC(Environmental Barrier Coating)개발에 대해 많은 투자를 하고 있으며 이러한 개발에는 프로세스, 평가, 해석 및 설계등부터 종합적인 접근이 필요하므로 최근 전세계적으로 많은 연구를 하고 있는 실정이다.

특히 유럽에서는 TBC와 EBC 개발을 주목적으로 한 코팅센터가 설립되고 있으며 지속적으로 증가하고 있는 실정이다.^[12-13]

국내의 열차폐코팅(TBC)기술은 지금까지도 자체적으로 확보하기에는 미흡한 실정이나 일부 자체기술 확보를 위하여 많은 노력을 기울이고 있는 실정이나 아직까지는 초보 단계에 있다.

향후 국내에서도 이와같은 차세대 TBC와 EBC개발 프로세스를 실용화하기 위해서는 산학연을 연계한 국가프로젝트를 추진해야하며 이를 체계적으로 수행하여야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] I.H.Hoff Welding & Metal Fabrication, July, (1995), p.266
- [2] H.L. Tsai and P.C. Tasi: Surface and Coating Technology, Vol. 71, (1995), p.53
- [3] 韓國表面工學會誌, 李九鉉外 Vol. 34, No.1, (2001), p.2
- [4] 日刊工業新聞, 2001. 6
- [5] 日刊工業新聞, 2001. 9
- [6] 日刊工業新聞, 2002. 3
- [7] 工業材料, 豊藏 康司, Vol. 41, No. 11 (1993), p.48
- [8] 日本カスタービン學會誌, Vol. 30, No.6, (2002), p.6
- [9] 熔接技術, 井藤 三千壽, No.6, (1990), p.74
- [10] Journal of Thermal Spray Technology, Vol.10, No.3, (2001), p.407
- [11] 森 信儀 : 高溫學會誌, Vol.27, (2001), p.232
- [12] 航空機エンジンの溶射技術の適用と課題, 大村秀樹 : 溶射技術, Vol.92 (1989), p.42
- [13] 有川秀行, 表面技術, Vol. 52, No. 1, (2001)