

보안과제(), 일반과제(○) / 공개(○), 비공개()

항공안전기술개발사업 2014 최종보고서

발 간 등 록 번 호

11-1613000-001935-01

R&D / 15ATRP-C091124-02

항공기용 가스터빈엔진 부품의 균열·마모 수리를 위한 핵심정비기술 개발 최종보고서

2017.09.25.

주관연구기관 / 대한항공(주)

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘항공기용 가스터빈엔진 부품의 균열·마모 수리를 위한 핵심정비기술 개발’(연구개발 기간 : 2014. 12. 24. ~ 2017. 6. 24.) 과제의 최종보고서 2부를 제출합니다.

2017. 9. 25.

주관연구기관명 : (주)대한항공 조 원 태



주관연구기관책임자: 김 상 백

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	15ATRP-C09112 4-02	해당 단계 연구 기간	2014.12.24 ~ 2017.06.24	단계구분	(1단계)/ (1단계)
연구사업명	중사업명	항공안전기술개발사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	항공기용 가스터빈엔진 부품의 균열·마모 수리를 위한 핵심정비 기술 개발			
	세부과제명				
연구책임자	김상백	해당단계 참여 연구원 수	총: 26 명 내부: 26 명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부:1,792,000천원 기업:1,805,689천원 정부 외: 천원 계:3,597,689 천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 26 명 내부: 26 명 외부: 명	총 연구개발비	정부:1,792,000천원 기업:1,805,689천원 정부 외: 천원 계:3,597,689천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)대한항공			참여기업명 : 해당없음	
국제공동연구	상대국명: 해당없음			상대국 연구기관명: 해당없음	
위탁연구	연구기관명: 해당없음			연구책임자: 해당없음	
○ 요약 : 상용항공기용 가스터빈엔진인 GE90, PW4000, CFM56-7B 엔진의 주요 부품에 대한 균열·마모 수리를 위한 아래의 핵심기술을 개발 1. 마모된 부품의 치수 복원을 위한 플라즈마코팅의 품질관리공정의 설계, 코팅 품질검사, 주요 품질 변수 확인 및 정비 현업 적용 2. 부품의 균열·마모에 대한 용접 후 응력 제거를 위한 진공열처리 공정의 설계, 열처리 특성 확인, 부품 품질검사 및 정비 현업 적용 3. 부품의 균열 방지를 위한 자동화 피닝 공정의 설계, 피닝 주요 변수 확인, 품질 검사 및 정비 현업 적용				보고서 면수 : 230	

< 국문 요약문 >

연구의 목적 및 내용	1. 연구목적 : 해외업체에 의존하고 있는 고부가가치의 엔진부품 수리기술을 국산화하여 국내의 항공기 엔진 부품 수리 기술력을 확대하고 외화유출을 방지하고자 함 2. 개발 대상: GE90, PW4000 및 CFM56 계열 엔진부품 3. 개발 기술 가. 마모된 엔진부품의 치수 복원에 사용되는 플라즈마 코팅의 품질 향상을 위한 품질검사 공정 개발 1) 코팅, 기계가공을 위한 치공구의 설계 및 제작 2) 코팅품질 검사 공정 설계 3) 코팅품질에 영향을 미치는 코팅공정상의 변수 연구 4) 연구 결과 정비 현업 적용 나. 균열 혹은 마모된 엔진부품의 용접 후 발생하는 응력 제거를 위한 진공 열처리 공정 개발 1) 진공열처리 시 부품 변형을 방지하기 위한 치공구의 설계 및 제작 2) 진공열처리 공정 설계 3) 부품별 진공열처리 특성 연구, 열처리 부품 품질 검사 4) 니켈-그라파이트 코팅에 대한 진공열처리 전후 물성 특성 비교 연구 5) 연구 결과 및 진공열처리 프로그램 정비 현업 적용 다. 엔진부품의 균열 방지 및 피로수명 향상을 위한 자동화 피닝 공정 개발 1) 자동화 피닝 세팅을 위한 치공구의 설계 및 제작 2) 피닝 공정 설계 3) 최적 피닝 프로그래밍, 피닝 부품 품질 검사 4) 재피닝 부품의 표면성질 변화 연구 5) 피닝 프로그램 정비 현업 적용				
연구개발성과	1. 경제적 성과 가. 현장적용에 의한 비용절감 또는 수입대체 효과 1) 코팅품질관리, 진공열처리, 자동화 피닝 공정 국산화를 통한 비용절감 및 수입대체 효과 2. 학술적 성과 가. 국내외 학술지 게재(일반학술지) 1) 코팅품질에 영향을 미치는 주요 코팅공정 변수 연구 2) 니켈-그라파이트 코팅의 열처리 전후 물성 특성 비교 연구 3) 티타늄합금 부품에 대한 재피닝의 표면특성 변화 연구				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	1. 주관연구기관인 대한항공의 엔진부품 수리에 즉시 적용 ○ 연간 약 380만 달러의 외화유출 방지 효과 예상 2. 대한항공 외 타항공사의 엔진부품 수리에 즉시 적용 ○ 연간 약 70만 달러의 수익 예상				
핵심어 (5개 이내)	응력제거	진공열처리로	코팅시험실	자동화표면처리	

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	1. Purpose : This R&D is intended to expand domestic aircraft engine part repair technology and to reduce the outflow of foreign currency which is incurred by overseas repairs. 2. Subject : GE90, PW4000, and CFM56 engines 3. R&D Contents A. Development of the plasma coating quality inspection processes 1) Design and production of fixtures for the coating and machining 2) Design of coating quality inspection processes 3) A study of the process parameters affecting coating quality 4) Application of the result of the study at the field B. Development of the post weld heat treatment under vacuum processes 1) Design and production of fixtures for the heat treatment 2) Design of vacuum heat treatment processes 3) A study of the heat treatment material properties and part quality inspection 4) A study of the material property difference of the Nickel-Graphite coating before and after heat treatment 5) Application of the result of the study and heat treatment programs at the field C. Development of the computer monitoring peening processes 1) Design and production of fixtures for the peening 2) Design of peening processes 3) Optimal peening programing and part quality inspection 4) A study of the surface property change of the re-peened part 5) Application of the peening programs at the filed				
Results	1. Economical Result A. Cost saving or import-substituting effect by application to the field 1) Cost saving and import-substituting effect by localization of the coating quality inspection, vacuum heat treatment, and computer monitoring peening processes 2. Academic Result A. Domestic/international journal(general) 1) A study of the main coating parameters affecting the coating quality 2) A study of the Nickel-Graphite coating material property change before and after vacuum heat treatment 3) A study of the surface property change of the titanium part after re-peening				
Expected Contribution	1. Application of the results to the engine part repair of Korean Air’s engines o About \$3.8M/year import-substituting effect expected 2. Application of the results to the engine part repair of other airlines’ engines o About \$700K/year sales expected				
Keywords	Stress Relief	Vacuum Furnace	Coating Laboratory	Auto Peening	

< **TABLE OF CONTENTS** >

1. Introduction of the R&D Task	8
2. Domestic/International Technology Development Status	15
3. Research Contents and Results	21
4. Achievement and Contribution to the Related Field	217
5. Application Plan of the R&D Results	219
6. International Technology Information gathered during the Research	221
7. Security Level of the R&D Results	222
8. R&D Facilities/Equipment Registered to NTIS	223
9. Safety Action Records of the Laboratory	224
10. Major R&D Results	225
11. Remarks	226
12. Reference	230

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요	8
2. 국내외 기술 개발 현황	15
3. 연구 수행 내용 및 성과	21
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	217
5. 연구개발성과의 활용 계획	219
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	221
7. 연구개발성과의 보안등급	222
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	223
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	224
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	225
11. 기타 사항	226
12. 참고 문헌	230

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

항공기 엔진 정비는 항공사 정비비의 60% 이상을 차지하고 있으며, 그 중에서도 엔진부품수리 분야는 정비비의 60~70%에 해당하는 주요 고부가가치 산업 영역이다. 그러나 항공산업에서 요구하는 높은 수준의 안정성과 신뢰성 유지를 위해서는 최고 수준의 품질관리 역량과 수리 기술력의 확보, 그리고 이를 위한 대규모 투자가 필요하기에 그동안 상당 부분의 엔진부품수리를 주요 항공 선진국(미국, 유럽, 싱가포르 등)의 전문수리업체에 의존해 왔다.

항공기 엔진 MRO(Maintenance, Repair, Overhaul) 사업의 경쟁력 향상을 위해서는 알루미늄합금, 강 등에 주로 사용되는 범용 가공기술(선반, 밀링) 외에 티타늄, 니켈합금, 니켈-그라파이트 등의 재료로 만들어진 주요 엔진부품들의 복원을 위한 특화된 수리기술력의 확보가 필요하다. 이러한 수리기술의 대표적인 예는 자동화 피닝, 진공열처리, 코팅품질관리, HVOF 코팅, 전자빔용접, 레이저용접 등이 있다.

동 연구는 앞서 언급한 주요 수리기술 중 다양한 엔진모델, 부품에서 고루 사용할 수 있고, 엔진 제작사의 라이선스 수리기술 등으로 인한 개발장벽이 다소 낮은 자동화 피닝, 진공열처리, 그리고 코팅품질관리기술을 국산화하여 항공기 엔진부품수리에 소요되는 외화 유출을 방지하고 국내 항공기 엔진부품 MRO의 인프라를 확장하는데 그 목적이 있다.

2. 연구개발의 필요성

엔진부품(이하 “부품”)은 운용 중 열팽창/축소, 진동 등에 의해 표면 균열이 발생하거나, 조립면 간 마찰에 의해 마모가 생긴다. 이 때 발생한 균열을 제거고, 마모된 부분을 원래의 설계치수로 복원하기 위해서 플라즈마 코팅 기술이 주로 사용된다. 코팅 분말은 부품 모재와 유사한 소재가 사용되거나 분말이 모재 표면에 녹으면서 용착되기 때문에 미세조직에 필연적으로 기공이나 불완전 용융된 코팅 등의 결함들을 수반한다.

항공기 엔진의 높은 작동온도, 압력, 진동에 견뎌내고, 부품 설계 당시의 기대수명을 보장하기 위해서는 코팅의 용착력과 경도 등의 품질이 모재의 그것과 유사하여야 한다. 따라서 코팅의 품질을 면밀히 측정하고, 품질 저하가 발생할 경우 그 원인을 추적하여 일정하고 높은 수준의 코팅 품질을 유지하기 위한 관리 공정이 필요하다. 이를 위해서는 매 부품 코팅 시 코팅 시편을 제작하여 코팅 내의 미세결함의 양, 표면경도, 용착강도 등의 물리적 특성을 시험하고, 적정 기준을 충족하

지 못한 시편들에 대해서는 코팅 작업 중 영향을 미칠만한 작업변수, 예컨대 작업 온도, 습도, 노즐상태, 분말품질 등을 추적하여 의심되는 변수를 조정한 후 현장에 적용 및 관찰하는 일련의 사이클 개발이 필요하다.



그림 1 플라즈마 코팅 공정

항공기 엔진부품에서의 열처리는 용접 후 발생하는 잔류응력 제거를 위한 템퍼링이 일반적이다. 24,000 lbs에서 90,000 lbs 추력을 내는 기존의 엔진에 대해서는 일반적인 대기열처리를 주요 고온부 부품에 적용하였으나 GE90과 같이 110,000 lbs 이상의 추력을 내는 대형 엔진의 경우 고온, 고압의 가혹한 환경에서 운용되기에 보다 내구성 있는 열처리가 필요하다. 진공열처리는 열처리 대기에서 산소를 제거하고 불활성 기체 내에서 열처리함으로써 부품 표면의 산화를 억제하여 표면 스케일의 생성을 방지한다. 표면 스케일은 표면 균열의 시작점으로 작용하므로 진공열처리된 부품은 일반 대기 열처리된 부품보다 균열에 대한 저항성이 크다.



그림 2 GE90 엔진 측면

당사는 PW4000 시리즈, CFM56-7B 엔진 등에 대해 대기열처리를 수행하는 능력은 보유하고 있으나 GE90과 같은 차세대 엔진부품을 위한 진공열처리 기술은 아직 보유하지 못하고 있다. 진공열처리는 GE90 뿐만 아니라 기존 엔진에 대해서도 적용 가능한 기술인 바, 모든 엔진 모델의 부품 내구성 향상과 그에 따른 기대수명 증가에 기여할 수 있는 핵심 수리기술 중 하나이다.



그림 3 진공열처리로 정면

자동화 피닝은 엔진부품 중 특히 회전체에 적용되는 기술로서 부품 표면에 쇠구슬(이하 “미디 어”)를 쏘아 부품 표면에 곱보층을 만들어 표면압축응력을 유도하는 기술이다. 표면압축응력은 부품이 회전할 때 발생하는 인장응력을 상쇄하여 표면에 균열이 발생하는 것을 방지하는 역할을 한다. 또한 이미 피닝 처리를 하여 엔진에 조립된 후 운용된 후 중정비 주기가 도래하여 분해된 회전체 부품의 경우 재피닝을 통해 엔진 운용 중 누적된 인장응력을 해소시키기도 한다.

피닝 기술은 자동차는 물론 PW4000, CFM56-7B 엔진 모델에도 이미 사용하고 있는 기술이다. 그러나 GE90과 같은 신형 엔진과 차세대 엔진부품들의 경우 기존 피닝에 더하여 모든 피닝 변수들이 컴퓨터에 의해 제어되는 가공을 필요로 하고 있다. GE를 포함한 주요 엔진 제작사에서는 AMS(Aerospace Material Specification) 2432 “Shot Peening, Computer Monitored” 를 강제 혹은 권고하는 시방으로 정비 매뉴얼에 명시하고 있어 동 시방을 준수한 엄격한 가공 공정의 개발 없이는 GE90 등 신형 엔진은 물론 차세대 엔진부품의 수리 국산화는 불가하다.

AMS 2432 시방에 따른 자동화 피닝을 수행하기 위해서는 미디어의 속도, 압축공기 압력은 물론 가공 대상 부품의 회전속도 등의 주요 가공 변수들을 실시간으로 모니터링할 수 있는 제어시스템이 구축된 피닝 장비와 이러한 가공 변수들을 최적화한 프로그램의 개발, 그리고 가공할 부품을 장비에 고정할 수 있는 별도 치공구의 설계와 제작이 필요하다.

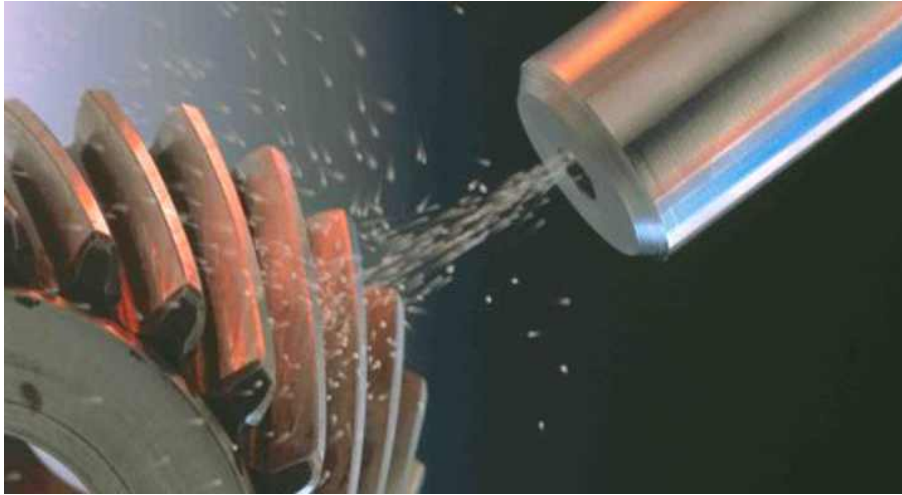


그림 4 솟 피닝 공정

3. 연구개발 범위

연구개발 대상은 현재 대한항공에서 수리능력을 보유하고 있는 PW4000 시리즈 엔진, CFM56-7B 엔진, 그리고 GE90 엔진부품을 대상으로 한다. 각 연구개발 기술별 연구 범위는 아래와 같다.



그림 5 PW4090 엔진



그림 6 CFM56-7B 엔진

가. 코팅품질관리

코팅품질관리 공정 개발의 범위는 품질시험절차 검토 및 설계, 시편을 활용한 품질시험 공정 수행, 코팅품질에 영향을 미치는 주요 작업변수 추적, 해당 주요 작업변수의 조정 및 관찰, 개선된 코팅공정의 현장 적용을 포함한다.

코팅방식에 있어서는 항공기 엔진 수리분야에서 가장 많이 사용되고 있는 Combustion Spray Coating, Plasma Spray Coating, Dual Wire Electric Arc Coating, HVOF(High Velocity Oxygen Fuel) Coating 중 현재 당사에서 자체 작업 기술을 확보하고 있지 않은 HVOF Coating을 제외한 세 가지 코팅 공정을 거친 엔진부품의 코팅품질을 연구범위로 한정한다.

각 엔진 모델별로 사용되는 코팅분말 시방별로 코팅용착강도, 코팅경도(미소경도), 코팅 내 불순물 및 미세결함 함유량을 측정(금속조직시험)하는 공정을 설계하고 공정절차서를 제정한다. 연구대상 시방은 P&W 엔진에 적용하는 16개 시방, CFM56-7B 엔진 11개 시방, 그리고 GE90 엔진 12개 시방으로 총 39개 시방의 코팅분말에 대한 공정을 설계한다.

코팅분말 시방별로 다양한 소재의 금속시편(티타늄, 니켈, 알루미늄)에 코팅을 입힌 후 공정절차서에 따라 품질시험을 수행한다. 용착강도시험용 시편의 규격은 1" D X 2" L, 금속조직시험과 미소경도 측정용 시편의 규격은 0.75" W X 1.5" L X 0.060" T로 한다. 제작한 코팅시편은 시방별로 Abrasive Wheel Cutting 혹은 Diamond Wire Cutting 등의 Sectioning Method를 선택하고, Hot Mounting 혹은 Cold Mounting 등의 Mounting Method를 선택한다. 코팅시편에 대한 금속조직검사 준비가 완료되면 각 코팅 시방별로 연마(Grinding or Polishing)를 수행한다. 이 때 연마를 위해 압력, 속도, 회전방향, Format, 연마재 시방, 윤활 시방, 시간 등의 변수(Parameter)를 적절히 제어해야한다.

연마가 끝난 코팅시편은 코팅시방별 금속조직시험 적합 기준(Metallograph Examination Acceptable Standard)에 대비하여 코팅오염, 균열, 박리, Integrity, 경계면 오염, 시계(Field of View)가 적합한지 평가한다. 또한 코팅시방별로 미소경도시험을 수행하여 엔진 제작사의 SPM(Standard Practice Manual)의 경도 기준에 적합한지를 평가한다. 코팅의 용착강도 품질을 평가하기 위해서 인장강도검사를 수행하여 파괴 모드와 파괴 발생 시의 인장력을 관찰한다. 인장강도시험 결과의 유효성에 대해서는 최소 용착강도 이상에서 100% 코팅 파괴, 100% Bonding Epoxy 파괴, 또는 코팅이나 Bonding Epoxy가 파괴 시 유효한 결과로 인정한다. 최소 용착강도 이하에서 100% Bonding Epoxy 파괴가 발생하면 그 결과는 무효로 처리한다. 인장강도시험의 합격 기준은 모든 유효 결과 값이 SPM의 기준에 만족하는 것이며, 어떠한 결과 값이라도 SPM 기준에 부합하지 않을 경우 불합격 처리한다.

금속조직검사 및 인장강도검사에 따라 불합격한 코팅 시편은 동일한 작업변수로 제작한 코팅시편으로 재시험을 수행하여 검사과정에 오류가 없었는지를 확인한 후 불합격한 원인을 분석한다. 원인 분석 시에는 장비 변수, 부품의 전처리 상태, 부품의 건조 상태, 코팅 중의 부품의 온도, 코팅 두께 등의 공정 변수에 따른 코팅품질 영향을 적절히 예측하여 가설을 세운 후 코팅품질의 변화를 관찰한다. 관찰 결과 최적의 코팅조건이 도출되면 그 때의 변수 값을 코팅 조건의 표준으로 설정하고 작업현장에 영구 적용한다. 불합격한 코팅시편은 코팅시방에 따라 데이터베이스에 입력하여 향후 부품, 코팅재료, 장비 등의 상태에 따른 코팅 품질의 유사한 질적 변화가 발견될 경우 고장탐구(Trouble Shooting)의 자료로서 활용한다.

나. 진공열처리

엔진부품의 재질은 특수합금(티타늄 합금, 니켈 함유 특수합금 등)재질로 만들어진 엔진부품의 진공열처리 공정의 설계를 연구개발의 범위로 한정한다. 엔진부품의 재질별 열처리 방식은 P&W 엔진 16가지, CFM56-7B 엔진 13가지, 그리고 GE90 엔진 19가지가 그 대상이다.

동 연구는 크게 진공열처리 후 엔진부품의 목표 표면경도를 달성하기 위한 열처리 변수(온도, 시간, 온도 상승률, 냉각속도) 연구, 니켈 그라파이트 코팅의 진공열처리 전후의 경도 변화 검토, 그리고 진공열처리를 위한 특수 치공구를 설계하는 것으로 구분된다. 치공구는 온도 변화와 치공구 구속조건(형상)에 따른 변형 분석, 부품의 재질과 치공구 재질 분석, 부품의 위치결정 및 클램핑 장치 분석, 오차 발생 요인 분석, 공차 분석, 부품의 장착과 위치 분석, 클램핑 하중 분석을 통하여 최적 설계안을 마련한다. 최적 설계된 치공구는 실험적 접근을 통해 결함 유무를 평가하고, 마지막으로 설계된 치공구를 엔진부품에 적용하여 열처리를 수행하고 부품의 형상 및 치수 변화 유무를 관찰하여 치공구의 적합성 여부를 검증한다.

다. 자동화 피닝

자동화 피닝 연구는 크게 피닝이 필요한 주요 엔진부품에 대한 최적 피닝 프로그램 설계와 재피닝에 따른 엔진부품 표면의 물성 개선에 대한 연구로 구분된다. 최적 피닝 프로그래밍을 위해서는 우선 미디어(Metal Shot, Glass Bead 등)의 종류별 시방을 확인하고, 각 미디어별 평가 기준을 분석하여 시험평가절차서를 마련해야 한다. 동 시험평가는 미디어 종류 및 형상에 따른 Screening Test, 건식 및 습식 Media Sieve Test, Test 시간(Time) 또는 주기(Interval) 변화에 따른 Test를 포함한다. 피닝 시편의 경우 시편의 재질(Ti, Al, Mg), 미디어 종류(금속, 세라믹, 유리구슬), 미디어의 크기, 미디어의 양, 피닝 작업변수(공기압, 휠 속도, 노즐/휠의 변환 속도, 작업대의 회전속도, 부품의 회전속도)에 따른 시편의 피닝강도(Intensity) 데이터를 축적한다. 이러한 데이터를 바탕으로 부품의 형상에 따른 최적 피닝 작업을 위한 프로그램을 설계한다. 완성된 프로그램으로 제작한 시제품의 품질을 제작사 SPM의 Serviceable

Limit을 기준으로 평가함으로써 연구결과를 검증한다.

재피닝에 따른 엔진부품 표면 물성의 개선 관찰 연구는 앞선 피닝 프로그램을 적용하여 PW4000 시리즈 엔진의 저압압축기 날개깃(Blade)의 뿌리쪽에 고질적으로 발생하는 골링(Galling)의 제거에 따른 표면거칠기(Surface Roughness)의 향상 효과와 피닝에 따른 표면경도 향상을 실험적으로 검증한다.

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 연구개발 단계(TRL)

항공기 엔진부품 수리는 Case, Fan Blade, Composite Parts, Bearing, Seal, Combustion Chamber, Compressor Blade & Vane, Turbine Blade & Vane, Tube & Ducts, Rotating Part, Shrouds & Duct Segment, Accessories, Gear Shaft, Turbine Sleeves 분야로 구성되며 선진국 대비 상대적으로 기술수준이 낮은 실정이다.¹⁾

당사는 국내에서 유일하게 민간 항공기 엔진을 분해, 수리, 조립, 테스트할 수 있는 정비공장을 보유하고 있다. 당사는 현재 PW4000 시리즈 엔진과 CFM56-7B 엔진을 오버홀 정비할 수 있는 능력을 확보하여 당사의 항공기 지원을 위한 엔진 정비와 일부 해외 엔진을 수주 정비하고 있다. 엔진에서 수리를 위해 장탈되는 엔진부품 중 약 68%는 당사에서 수리가 가능하나 약 25% 정도는 해외 전문수리업체에서 수리를 의뢰하고 있다.

엔진부품의 수리기술은 기술이전 제한과 같은 제작사 견제로 TRL 1단계에서 3단계 수준에 머물러 있었으나 이번 과제 수행으로 “응력제거” 및 “코팅품질관리” 기술을 이용한 엔진부품의 수리를 국산화하여 TRL 8단계로 기술성숙도를 높일 수 있었다.

구분		표기	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☐	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☐	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	TRL 6	유사환경 기술시험 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☒	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

그림 7 항공기 엔진부품 균열/마모 수리 개발의 TRL 단계

1) MRO 중장기 발전방안 기획보고서, 항공안전기술센터, 2014

핵심성과	As is(기존기술)	To Be(개발기술)
항공기 엔진 부품의 응력제거기술 개발	1) 일반열처리공정 : 부품의 미세산화 발생하여 부품의 기대수명 최적화 불가함 2) 부분자동화피닝공정 : 연속적인 피닝 파라미터 모니터링 기능 부재하여 이상적인 품질 관리 불가함 ※ TRL3(실험적 증명) ※ 엔진제작사 대비 기술역량 : 29% ※ 총공정(168개) 대비 자립화 : 48개	1) 진공열처리공정 : 진공상태로 열처리 수행함으로써 부품 산화를 최소화 하여 부품의 기대수명을 연장 2) 자동화피닝공정 : 피닝 전과정을 컴퓨터가 모니터링하고 그 결과를 자동저장하여 최적 품질관리 가능 ※ TRL9(사업화) ※ 엔진제작사 대비 기술역량 : 54% ※ 총공정(168개) 대비 자립화 : 91개
항공기 엔진 부품의 코팅품질관리기 술 개발	샘플링 방식의 코팅품질 ※ TRL3(실험적 증명) ※ 엔진제작사 대비 기술역량 : 0% ※ 총공정(141개) 대비 자립화 : 0개	모든 코팅 작업에 대해 정형화된 코팅 품질관리공정을 적용함으로써 코팅품질 극대화 ※ TRL9(사업화) ※ 엔진제작사 대비 기술역량 : 28% ※ 총공정(141개) 대비 자립화 : 39개

2. 국내외 기술 동향

민간 항공기의 엔진 및 부품 등에 대한 정비행위는 감항당국(FAA, EASA 등)에 승인 받은 항공기, 엔진, 부품 제작사의 정비교본에 의해 수행하도록 항공법에 규정되어 있어 항공기 엔진부품에 대한 수리에 대해 국내 관련 기술특허는 없다. 당사의 경우 PW4000 엔진에 대해 제작사인 P&W로부터 일부 엔진부품(Fan Blade, LPC Drum)에 대한 License 수리 승인을 받아 수리를 하고 있으며, P&W 뿐만 아니라 차세대 엔진으로 지속 도입되고 있는 GE 엔진에 대한 License 수리를 확보하도록 지속적으로 노력하고 있다. License 외에 제작사의 정비교본에서 공개한 수리 중 당사에서 수행하고 있는 수리기술은 아래와 같다.

- Cleaning(Chemical, Blast)
- NDI(FPI, FMPI, X-Ray)
- Dimensional Inspection(Manual, Machine, CMM)
- Blend, Polish, Lapping, Sheet Metal
- Surface Treatment, Paint, Molding
- Machining, Grinding, Automated Peening
- Plating, Plasma Coating, Gas Tungsten Arc Welding
- Local Heat Treatment(Electrical), Full Heat Treatment(Air Furnace)

상기에 나열된 국내 항공기 엔진수리 기술은 엔진 제작사의 공개된 수리기술을 수행하기에도 아직 부족한 상황이기에 동 연구개발과제를 통해 아래의 수리기술을 확보하여 국내 항공기 엔진부품 수리기술 역량을 한층 끌어올리고자 한다.

- Plasma Coating Quality Evaluation
- Full Heat Treatment(Vacuum Furnace)
- Computer Monitored Automated Peening

엔진 제작사와 국외 3rd Party 수리업체의 경우 앞서 설명한 압축기/터빈의 Blade, Vane에 대한 수리기술과 Major Rotating 부품에 대한 응력제거, 용접, 코팅기술을 보유하고 있다. 대부분의 수리기술은 제작사 원천기술로서 대외적으로 공개되지 않으며, 제작사와 License 계약을 통해 해당 수리기술을 이전 받을 수 있다. 엔진 제작사의 주요 원천기술은 아래와 같다.

- Honeycomb Brazing
- Electronic Beam Welding
- High Velocity Oxygen Fuel Coating
- TBC(Thermal Barrier Coating)
- Feltmetal Rubstrip

그러나 이미 엔진 제작사와 License 계약을 맺은 수리업체가 많아 추가의 License 계약을 성사시키기 어려운 실정이다. 3rd Party 수리업체의 경우 이러한 License 기술을 Reverse Engineering을 통해 독자적으로 개발하여 항공사에 경쟁력 있는 가격으로 제공하고 있으나 이렇게 개발된 수리기술을 공개하지는 않고 있다. 제작사의 원천기술 혹은 3rd Party 수리업체의 독자기술을 전수 받기 위해서는 Joint Venture와 같은 방식으로 공동 투자를 유치하는 방법이 현재로서는 유일한 해법이다.

2. 국내외 주요 업체

항공기 엔진의 정비 및 수리 외에 유사 산업군에 있는 업체로는 한화 테크윈과 한전KPS가 있다. 한화 테크윈의 경우 항공기 엔진부품 제작 기술을 보유하고 있고, 한전KPS의 경우 산업용 발전기의 엔진 분야에 대한 수리 기술을 보유하고 있다. 그러나 항공기 엔진부품의 수리는 제작사에서 제공하는 정비교본 혹은 FAA 등의 감항당국에서 승인한 기술문서에 의해서만 수리를 해야

하며, 각 감항당국으로부터 엄격한 품질 인증을 받아야하는 등 진입장벽이 높아 국내에서 항공기 엔진부품의 수리를 전문적으로 하는 업체는 2017년 기준으로 당사가 유일하다. 또한 항공기 엔진부품 수리 산업의 특성상 초기 장비, 인력, 시설, 교육 투자가 매우 높은 반면, 국내 수리 물량은 투자비를 상회할 만큼 많지 않아 국제적인 영향력과 영업능력을 갖춘 글로벌 기업이 아니고서는 쉽게 진입하기가 어려운 시장이다.

국외의 경우 GE(미국)와 P&W(미국)를 필두로 하는 항공기 엔진 제작사 산하의 수리업체와 제작사로부터 독립적으로 엔진부품 수리 서비스를 제공하는 3rd Party 수리업체가 MRO 산업을 이끌고 있다. 특히 저압터빈, 고압압축기, 고압터빈의 Blade, Vane은 압축기와 터빈의 고온의 작동 환경에서 Blade, Vane의 모재가 녹거나 변형되지 않도록 TBC(Thermal Barrier Coating)와 같은 세라믹 코팅 기술이 적용되는데, 엔진 제작사에서 해당 기술을 공개하지 않고 있어 현재까지도 제작사 계열의 수리업체가 전세계 물량을 독점하고 있다. Blade, Vane 수리 전문업체에는 P&W의 계열사인 P&W TOS(싱가포르), GE의 계열사인 GE ACSC, GE Mc Allen 등이 대표적이다.

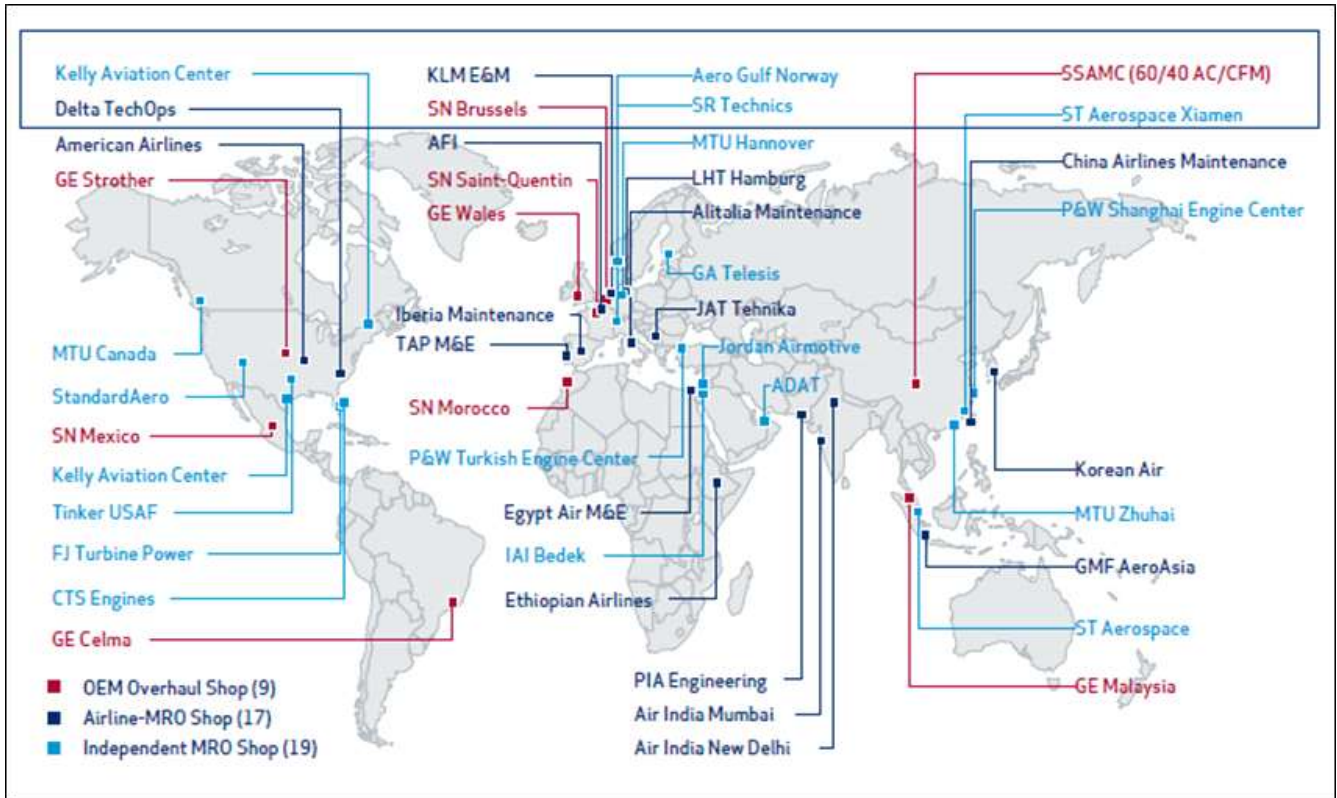


그림 8 CFM56-7B Type 엔진 MRO 업체 현황

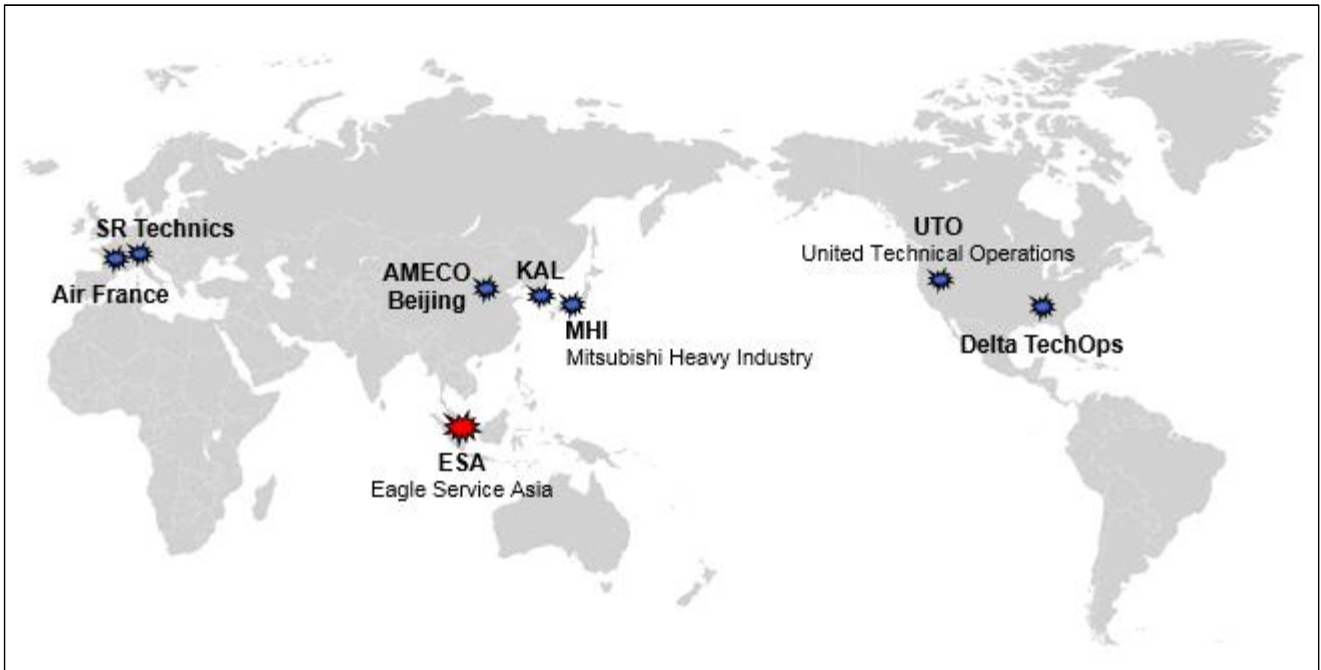


그림 9 PW4000-94/100/112 인치 엔진 MRO 업체 현황

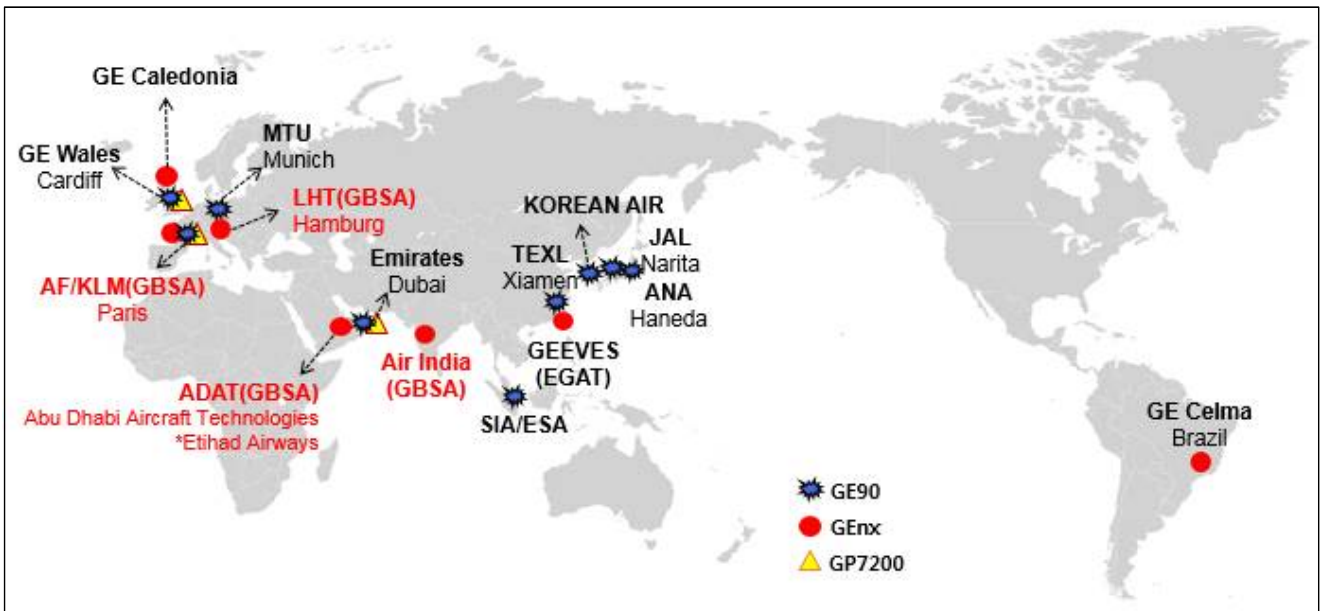


그림 10 GE90/GE9x/GP7200 엔진 MRO 업체 현황

압축기와 터빈의 Blade, Vane을 제외한 주요 부품에 대해서는 제작사와 더불어 3rd Party 수리업체에서도 제작사와 동일한 수리 기술을 보유하고 있다. 3rd Party 수리업체의 경우 제작사가 보유하지 않은 수리기술 혹은 License Repair로 공개하지 않은 수리기술에 대해서는 FAA의 DER(Designated Engineering Representative)을 고용하여 독자 기술을 개발하여 고객(항공사)에 제공하고 있다. 이러한 3rd Party 수리업체에는 Chromalloy(미국), Windsor Airmotive(미국)가 있다. Chromalloy와 Windsor Airmotive의 경우 엔진 분해, 조립, 테스트

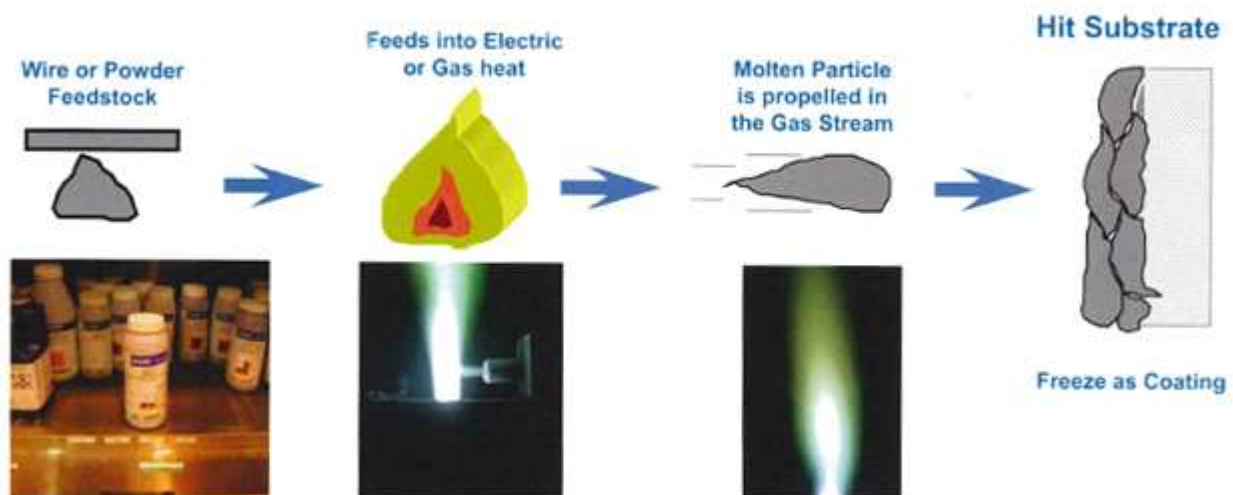
트의 서비스는 제공하지 않고 엔진부품에 대한 수리를 전문적으로 수행한다. 두 회사 모두 본사를 미국에 두고 일부 공장은 멕시코, 타이완, 싱가포르 등에 설립하여 미주지역의 물량과 아시아/태평양 지역의 물량을 동시에 확보하는 한편, 인건비를 낮추어 가격 경쟁력을 높이는 추세이다. 그러나 핵심 수리기술에 대해서는 여전히 미국 소재의 공장에서 기술 개발 및 수리를 직접 수행하고 있다.

당사와 같이 엔진 분해, 조립, 테스트와 더불어 일부 주요 엔진부품에 대한 수리를 병행하는 업체로는 제작사의 계열사에 P&W ESA(싱가포르), GE Wales(영국), GE Calenodian(영국) 등이 있으며 3rd Party 수리업체로는 Standard Aero(미국), MTU(독일), SR Technic(스위스) 등이 있다. 당사와 같은 항공사 계열 업체에는 Delta Tech-Ops(미국)와 Lufthansa Technik(독일), Air France Industries(프랑스)가 대표적이다.

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 코팅품질관리 공정

- 코팅 용사 기술은 항공기용 가스터빈엔진에 사용되는 금속, 비금속 입자등의 수많은 코팅재료를 Frame Combustion, Wire Arc, Plasma 등의 다양한 열원을 이용하여 고속으로 분사하여 코팅층을 형성하는 공정
- 엔진 부품의 마모된 부위의 치수 복원하여 내구성 향상하거나 엔진 운용 중 회전하지 않은 부품과 회전하는 부품 사이의 간격을 줄여 공기의 손실을 최소화 시켜 엔진 효율을 향상을 위함
- 이러한 코팅 기술은 엔진 및 부품의 복원 및 수명에 직접적 영향을 미치는 것으로 엔진 부품 제작사는 엄격한 품질관리를 요구
- 이번 연구는 제작사의 엄격한 품질 요구 조건을 만족하기 위한 각 용사의 최적의 품질 조건을 찾고 엔진부품에 적용하여 불량률을 낮추기 위함
- 제작사의 각 용사의 품질은 코팅 재료의 종류에 따라 다르긴 하지만 미세조직검사(Microstructure), 인장시험(Tensile Test), 매크로 경도시험(Macro Hardness), 마이크로 경도시험(Micro Hardness)으로 품질 검사 수행



가. 용사 (Thermal Spray Coating) 분류

- 열원에 따라 Combustion Method와 Electric Method로 분류



그림 12 용사(Thermal Spray) 분류표

(1) Combustion Wire Frame Spray Coating

- Combustion Wire Coating Process는 연소 연료인 아세틸렌, 프로판 또는 수소가스를 사용하고 산소와 혼합하여 연소 중에 발생하는 화학적 에너지의 방출을 통하여 Wire를 녹이는 방법

표 8 Combustion Wire 장비 특성

Heat Source	Fuel and Oxygen
Material	Wire (Metal)
Flame Temperature	3,100 °C
Particle Velocity	Max 200 m/s
Spray Performance	15 - 1,400 g/min

- 휴대하기가 용이하며, 연료소비가 적고 코팅 용착율이 높은 특징을 가짐
- 코팅 장비가 간단하고 저렴하며, 작동 요인(Parameter)가 쉬움

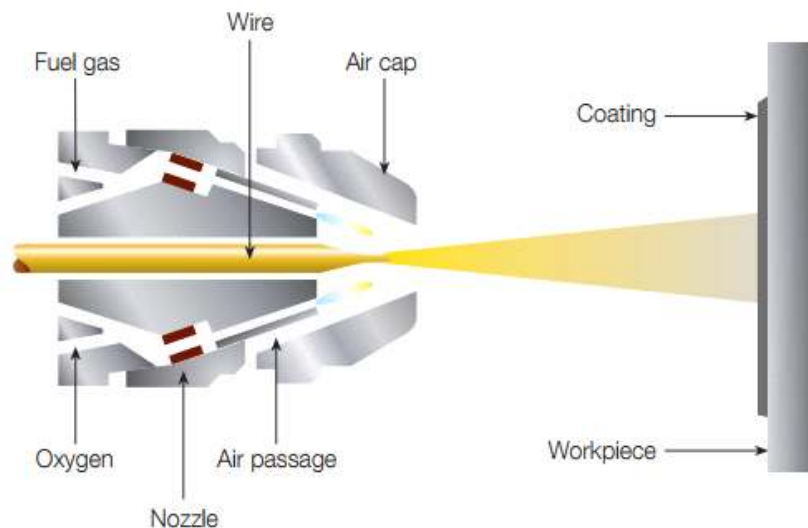


그림 13 combustion wire spray 원리

(2) Combustion Powder Frame Spray Coating

- Combustion Powder Spray Coating Process는 작동원리는 Combustion Wire Spray 코팅과 같으나 Wire 대신에 Powder를 사용하는 방법

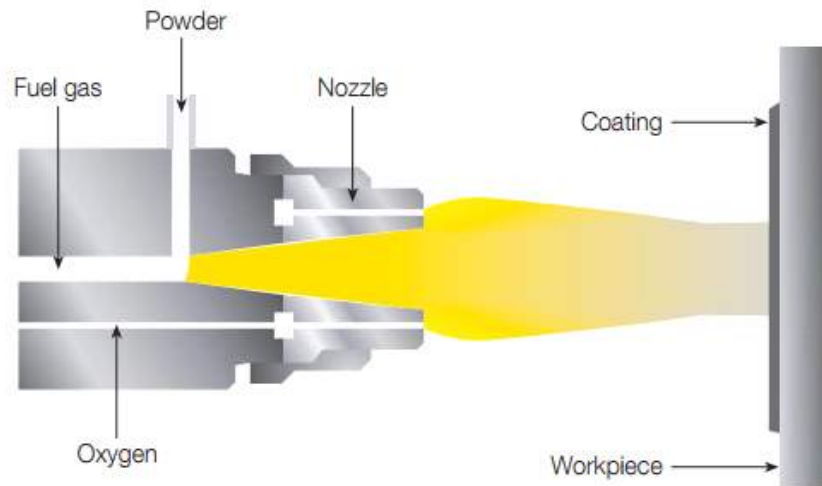


그림 14 Combustion Powder Spray 원리

표 9 Combustion Powder 장비 특성

Heat Source	Fuel and Oxygen
Material	Powder (Metal, Ceramics), Blends of Metals and Polymers
Flame Temperature	3,100 °C
Particle Velocity	Max 50 m/s
Spray Performance	35 - 150 g/min

- 마모, 내부식성 및 연마/간격 유지에 우수하며 최종치수 가공하기 위한 기계작업이 가능함
- 코팅 장비가 간단하고 저렴하며 공정인자가 적어 공정관리가 용이하고 용착율이 비교적 높음

(3) 전기 아크 와이어 스프레이(Electric Arc Wire Spray)코팅

- 전기 아크 와이어 스프레이 공정의 경우, 코팅 원료와 동일한 조성의 두 개의 금속 와이어를 사용하여 전기적으로 충전된 두 개의 반대 극성을 일정한 속도로 Arc를 공급하는 원리
- 접촉지점에서 전선을 모으게 되면 전선의 반대 전하가 전선의 끝을 계속 녹일 수 있음 만큼의 열을 발생함

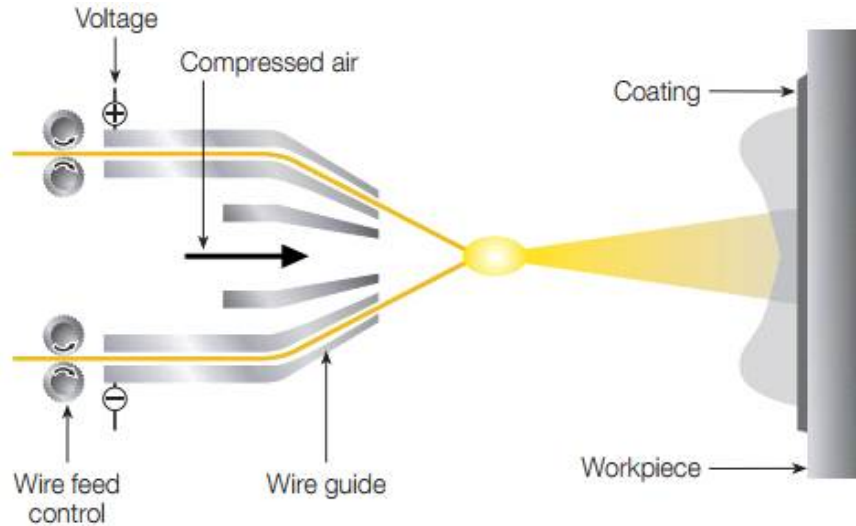


그림 15 Electric Arc Wire Spray 원리

표 10 Electric Arc Wire Spray 장비 특성

Heat Source	Plasma Arc
Material	Wire
Flame Temperature	4,000 °C
Particle Velocity	Max 150 m/s
Spray Performance	15 - 3,300 g/min

- 휴대성이 우수하며, 압축공기를 제외한 냉각수나 가스를 요구되지 않으나 전기 전도성 재료만 사용
- 코팅의 용착율이 높으나, 코팅의 밀도가 낮아 모재와 밀착력이 낮음

(4) 플라즈마 스프레이(Plasma Spray)코팅

- 다른 극성의 전극 사이로 연소 가스(아르곤, 질소, 수소, 헬륨 등)를 보내 가스를 이온화 시키고(플라즈마 상태), 이온화된 가스의 환원 방출 열을 이용하여 코팅 분말을 녹여 분사하는 방식

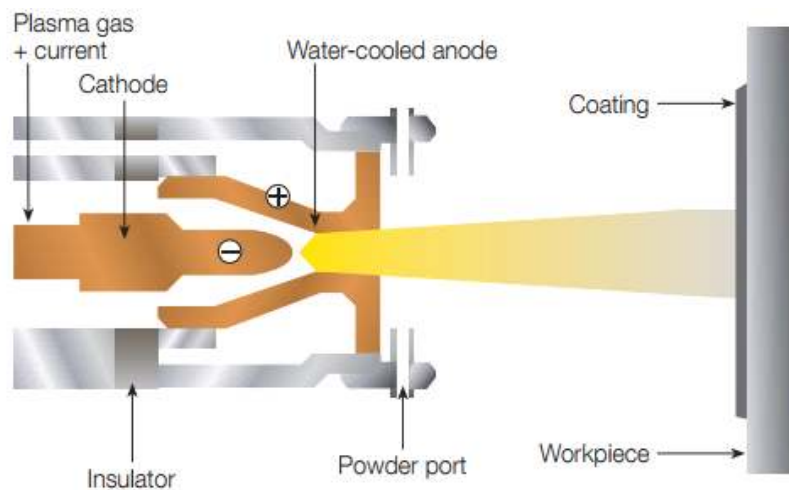


그림 16 Plasma Spray 원리

표 11 Plasma Spray 장비 특성

열원 (Heat Source)	Plasma Arc
재료 (Material)	Powder (Ceramics, Plastic, Metal)
화염온도 (Flame Temperature)	16,000 °C
분사속도 (Particle Velocity)	Max 450 m/s
분사 성능 (Spray Performance)	4 - 8 kg/h

- 화염온도가 높아 거의 모든 재료 코팅 가능하고 코팅층 밀도가 비교적 높음
- 코팅층 내의 산화물 형성이 적음
- 코팅 장비가 고가이며, 관리해야 할 요소(Parameter)가 많음

(5) HVOF (High Velocity Oxygen-Fuel) Spray 코팅

- 밀폐된 연소실내에서 연료(프로판, 아세틸렌, 수소, 등유)와 산소를 연소시켜 고온/고압의 화염으로 코팅분말을 녹여 고온(음속의 3 ~5배)으로 분사하는 방식

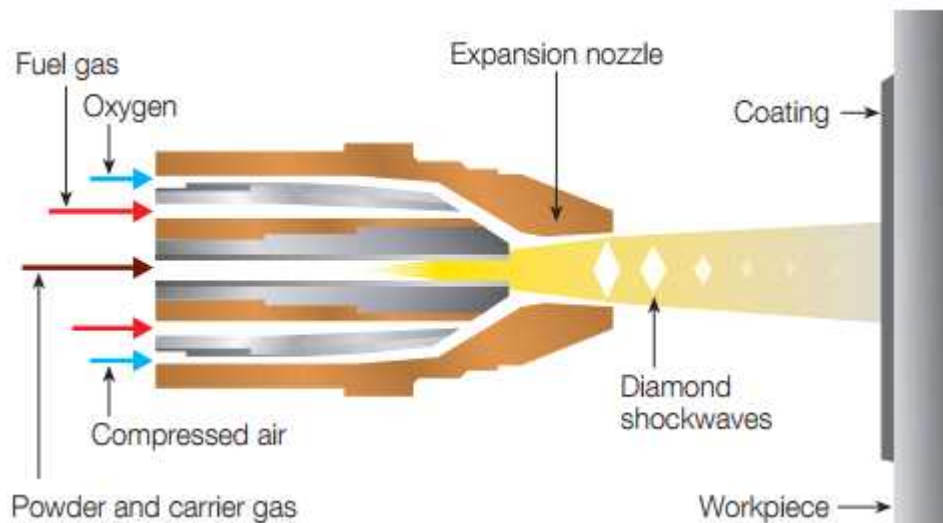


그림 17 HVOF Spray 원리

표 12 HVOF 장비 특성

열원 (Heat Source)	Fuel (gas) and Oxygen
재료 (Material)	Powder (Metal)
화염온도 (Flame Temperature)	2,800 °C
분사속도 (Particle Velocity)	400 - 800 m/s
분사 성능 (Spray Performance)	40 - 150 g/min

- 코팅층 밀도가 높고 모재와 밀착력이 우수함
- 코팅층 내의 산화물 형성이 Plasma Spray 보다 적으며 압축 잔류응력을 형성하여 피로강도 향상 되어 도금 공정을 대체
- 화염 온도가 상대적으로 낮아 고융점의 세라믹 코팅은 제약이 있음

나. 용사 (Thermal Spray Coating) 품질 시험 (Quality Testing)



그림 18 용사 품질 시험 종류

- 용사 코팅 품질은 시편을 제작하여 평가하고, 시편 결과에 따라 전체 코팅의 품질을 결정함
- 용사 코팅 품질 평가는 코팅 재료에 따라 경도시험, 미세조직시험, 인장시험 등 테스트 종류가 상이
- 경도 시험은 매크로 경도시험, 마이크로 경도시험, 스크래치 시험으로 구분되며 매크로 경도는 로크웰(Rockwell), 마이크로 경도는 비커스(Vickers)로 측정
- 미세조직시험은 마이크로현미경을 사용하여 Porosity, Unmelted Particle, Interface Condition, Crack, Oxide, Delamination 등을 판독하여 제작사 허용기준치에 적합 여부 검사
- 인장시험은 만능인장시험기로 코팅의 접착력 조사를 위하여 파단 될 때의 측정한 인장력

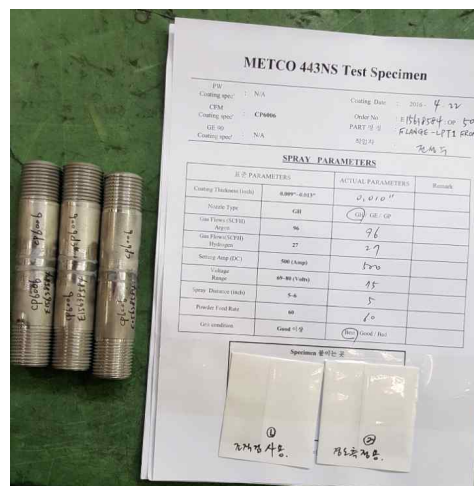
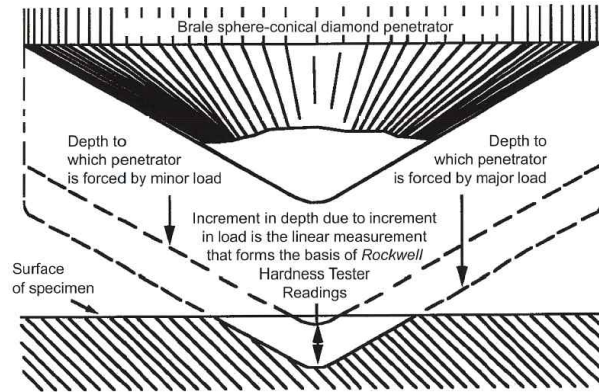


그림 19 Coating Test 시편 의뢰서

(1) 경도시험

- 코팅의 경도는 다른 더 단단한 물체로 압력을 가했을 때 표면의 변형에 대해 저항력에 대한 크기



(가) 매크로 경도 측정 (Macro hardness Check)

- P&W사는 매크로 측정 코팅은 없음
- 로크웰 경도 시험 (Rockwell Hardness Test)
 - 시험 표면에 다이아몬드 원뿔을 사용하여, 먼저 10kg의 하중으로 누르고, 다음에 150kg의 하중으로 하였다가 다시 10kg의 하중으로 되돌아 왔을 때의 파인 깊이를 측정



그림 21 로크웰 경도 시험 장비

① 용사 코팅의 로크웰 경도 시험 전 준비 작업

- 시편의 코팅 표면을 120-320 Grit 연마재 등을 이용 마감처리 함
- 표면 15T 또는 15N 저울의 경우 최소 0.001 인치, 15Y저울은 최소 0.005인치를 코팅을 제거

- 시편의 단면을 제거할 때 주의하여 제거해야 하며, 시편표면은 0.002 - 0.005 인치의 편평하게 유지

② 측정 방법

- 측정 시, 측정 중심에서 부품의 가장자리까지의 거리는 최소 2.5배, 측정 위치에서 다른 측정 위치까지는 3배의 거리를 유지
- 측정값이 지지되지 않을 경우, 검사 할 시편의 무게와 모양을 충분히 지지 할 수 있는 지지대 선택
- 코팅별 세부설명에 특별히 명시되지 않은 한, 약 2초 동안의 하중을 가함
- 다른 경도 범위에서 장비 Setting을 변경 후 처음 측정값은 사용하지 않고 최소 3회 측정

(나) 마이크로 경도 측정 (Micro hardness Check)

○ 비커스 경도계 (Vickers Hardness Test)

- 정사각뿔형상의 다이아몬드 압입자를 일정 하중으로 시험편에 눌러 경도를 측정하는 시험
- 마이크로 현미경과 비커스 측정 장비를 이용하여 꼭지점의 길이를 측정하여 계산하여 결과 값을 확인

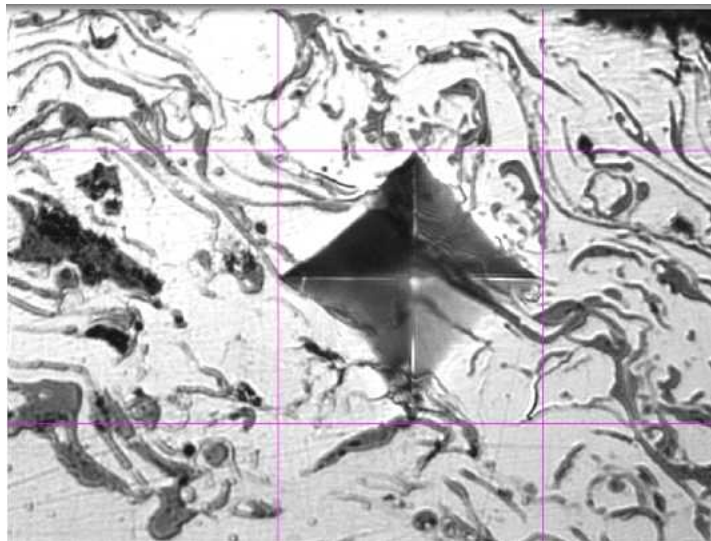


그림 22 비커스 경도 측정 화면

① 용사 코팅의 로크웰 경도 시험 전 준비 작업

- 압입자가 시편과 수직으로 되도록 하중을 가해야 함
- 시편의 표면과 압입자 면이 깨끗하고 산화 및 이물질을 제거
- 측정부위의 중심과 시편 가장자리는 대각선으로 2.5배 이상 거리 유지
- 특별한 설명이 없다면, 정확한 치수를 측정할 수 있도록 시편이 평평한 부분을 선택

② 측정 방법

- 코팅별 세부설명에 특별히 명시되지 않은 한, 약 10초-15초 동안의 하중을 가함
- 다른 경도 범위에서 장비 Setting을 변경 후 처음 측정값은 사용하지 않고 최소 3회 측정
- 현미경을 사용하여 모서리에서 각 모서리까지 대각선 크기를 측정하고 평균을 계산

(2) 미세조직시험

(가) 미세조직검사 전 처리

- 미세조직검사 전 전처리 과정은 정확한 판독 및 아래 표7과 같은 원인을 최소한으로 줄이기 위해서 매우 중요한 과정임

표 13 미세조직시험 중 발생하는 결함에 대한 원인

Damage	Possible Sources
Cracking	Vise/Sectioning/Mounting/Polishing
Poor Edge Retention	Mounting Media/Over Polishing
Interface Separation	Sectioning / Mounting Media
Pull-out	Lower Grade Paper/Over Polishing/ Improper Mounting
Pull-out Vs. Porosity	
Delamination Vs. Cracking	



그림 23 Grinding 또는 Polishing 결함

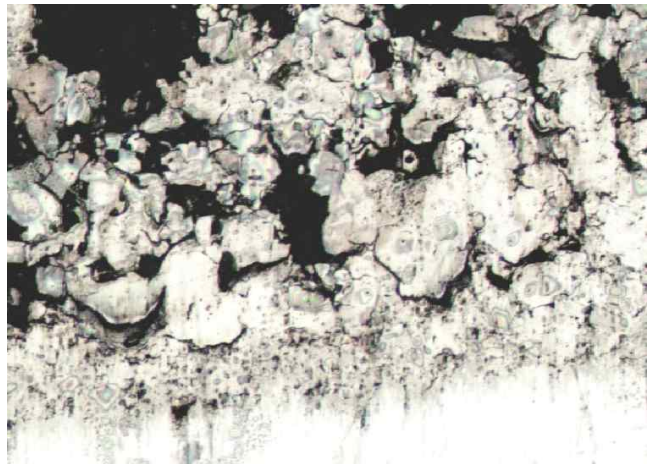


그림 24 Cleaning 또는 Mounting 결함

① 섹션닝 (Sectioning)

- 섹션닝은 Wheel Type, Material, 시편 두께, Coolants, Cutting 시 Wheel의 압력 및 속도가 고려되어야 함
 - Wheel 타입은 Al_2O_3 Abrasive, SiC , Diamond, CBN 등을 사용
 - 재료는 고무, 합성수지 등을 사용
 - Wheel 두께는 섹션닝 동안 코팅에 손상을 최소로 하는 중요한 사항으로 두꺼운 Wheel 일수록 코팅을 파손할 가능성이 있고 시편에 더 많은 열을 전달할 수 있으므로, 약 1.6mm 두께가 사용됨
 - 냉각수는 수용성 oil, 냄새 지연제, 녹 방지제를 사용하나 Oil은 세척 문제로 사용하지 않음



② 클리닝 (Cleaning)

- 섹션닝 후에 표면에 오염 물질을 제거하고 코팅의 기공에 침투한 Fluid를 제거하는 공정
 - 비눗물로 세척 또는 아세톤/알코올 등을 이용

③ 마운팅 (Mounting)



- 마운팅은 미세조직검사 전처리 중 가장 중요한 단계
- 압력을 이용하여 마운팅하는 Hot 마운팅과 진공을 이용하는 Cold 마운팅으로 구분
 - 마운팅 재료는 에폭시를 사용
 - 장착시간, 코팅의 기공(Porosity) 크기, 에폭시의 점도, 코팅의 경도 및 마운팅 재료에 의해 결정
 - 연마기능을 갖춘 다공성 코팅은 Cold 마운팅을 수행하나 Hot 마운팅 보다 많은 시간이 필요

④ 그라인딩 (Grinding)/ 폴리싱 (Polishing)

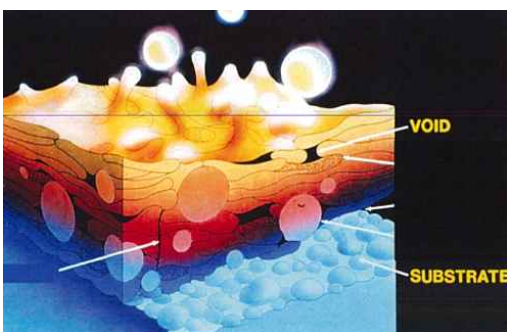


- 그라인딩 또는 폴리싱은 다음과 같은 매개 변수를 고려하여 작업수행이 중요함
 - 압력(Pressure): 각각의 마운트 압력 조절
 - 속도(Speed): Table과 Holder의 속도 조절
 - 회전방향(Rotation direction): Table과 마운트에 대한 회전 방향
 - 작업 구성 (Format): Disk 또는 Paper Type, No-nap 또는 High-nap clothes 사용
 - 방향 (Orientation) : Wheel과 회전과 관련하여 Holder에 시편이 놓이는 방향 -
 - 빈도 (Frequency): 윤활과 연마제를 얼마나 자주 적용
 - 윤활유 종류 : 기름, 물, 알코올
 - 윤활유의 양 : 수동 또는 자동 적용
 - 시간 : 각 단계별 지속 시간

(나) 미세조직검사로 확인되는 결함 종류 및 정의

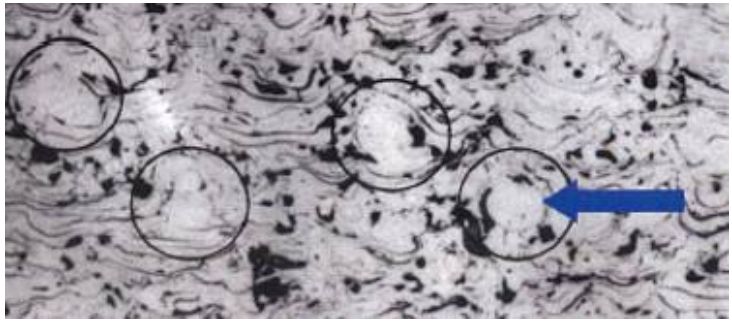
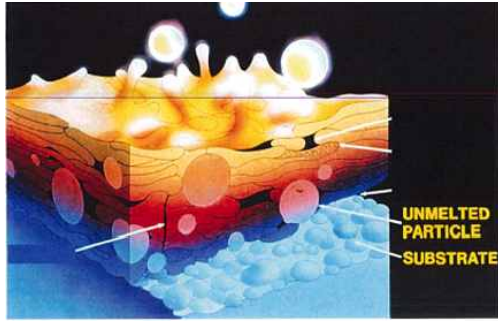
㉔ Porosity (Void)

- 코팅내의 Hole 또는 Pores
- 200-500 배율로 검사



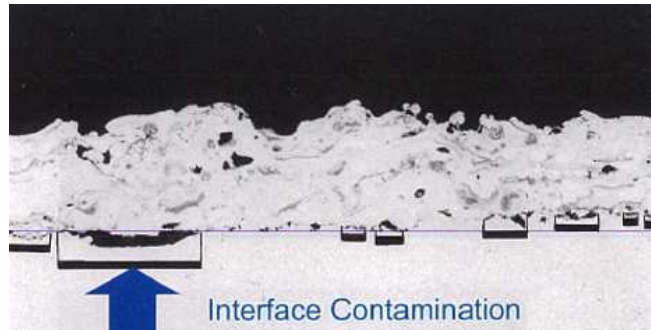
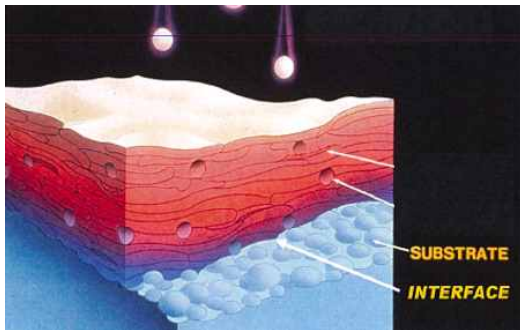
㉕ Unmelted particles

- 미세 입자형태인 코팅분말이 작업 중 녹지 않고 코팅표면에 입자형태로 용착된 형태
- Unmelted Particle의 크기와 모양 각 입자의 접착형태에 따라 판정
- 200-500배율로 검사



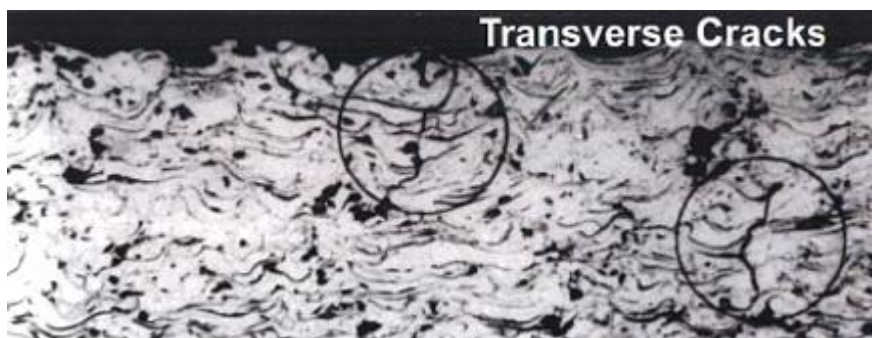
㉔ Interface Condition (Contamination)

- 모재와 코팅사이의 경계면에 분리현상
- 산화물, 그릿(Grit), 또는 이전 코팅 제거 작업 중 인한 잔류 코팅의 형태
- 200-500배율로 검사



㉕ Transverse Crack(횡방향 균열)

- 균열을 평가할 때 기계적 손상으로 인한 균열과 구조에 내재 된 균열을 구별
- 모재에 수직 인 균열은 때때로 기관의 굴곡이나 열응력에 의해 유발 및 코팅 후 균열이 평가하는 것이 중요
- 200 배율로 검사



㉖ Oxide (산화) 및 Oxides Clusters

- 코팅분말이 코팅 표면에 용착되는 동안 코팅입자의 산화 되는 현상으로 Oxide Cluster는 Oxide 된 코팅이 물결무늬 형태로 나타나는 현상
- 200-500배율로 검사

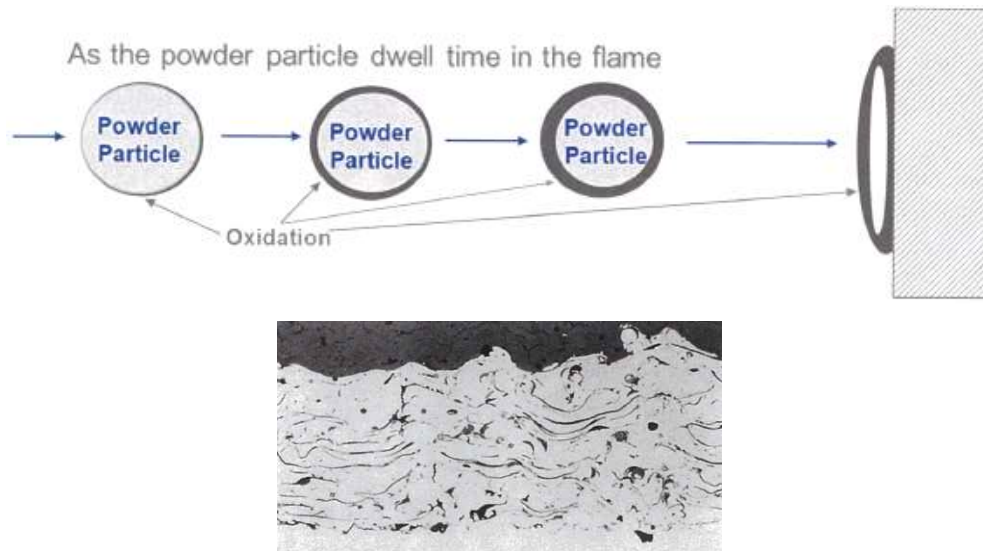
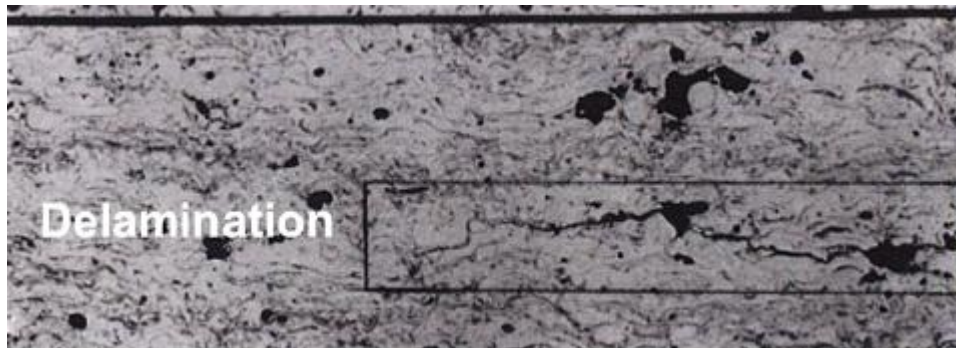


그림 36 Oxide

㉞ Delamination (박리)

- 코팅의 수평적인 분리현상
- 박리를 평가할 때 기계적 손상으로 인한 박리와 구조에 내재 된 박리 사이를 구별이 중요
- 베이스 금속 계면을 따라 또는 평행하게 전파되는 박리는 일반적으로 기계 손상의 결과로 판단
- 200배율로 검사



(다) 미세조직 현미경 검사 규칙

① 현미경 검사는 200배 배율로 수행

㉞ 5% Rule

- 현미경으로 보이는 시야 내에서 코팅 결함이 5%미만일 때 코팅의 품질을 적합한 것으로 판정
- * 코팅 결함 : Crack, Oxide Clusters, Delamination, Interface Separation 제외한 나머지 결함

㉞ Field of View (FOV)

- FOV는 특정한 또는 지배적인 상태를 대표하며, 코팅 샘플을 통한 주기적인 샘플링을

의미하는 것으로 코팅 조직의 불합격된 상태를 언급할 때, 영향을 받는 FOV의 측정을 통해서 판단함

㉔ Edge Effect

- 코팅 끝단에서 0.010 inch 이내 평가하지 않음

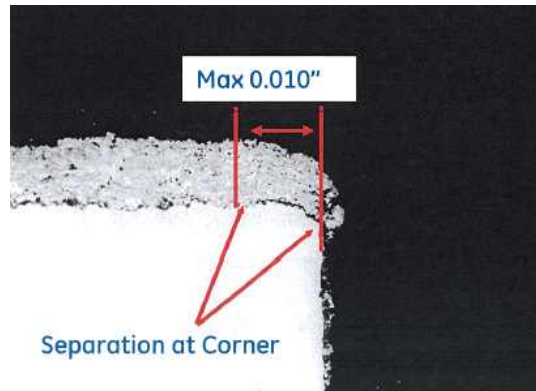


그림 38 Edge Effect (0.010 인치, 허용)

② 용사 코팅의 재시험 규칙

㉑ 시편에 대해 표면의 폴리싱을 최대 3회까지 허용 (초도 1회, 재작업 2회)

㉒ 폴리싱 재작업은 다음과 같은 조건에서만 허용

- 들뜸(Delamination), 횡방향 균열(Transverse Crack), 기공(Porosity)
위상차(Phase Contrast), 접점 분리(Interface Separation), 스폐링(Spalling)

㉓ 다음과 같은 조건에서는 폴리싱을 허용하지 않음

- Unmelts, Oxide, Interface Contamination

(3) 접착강도 인장시험 (Bond Strength Tensile Test)

- 코팅과 모재 사이의 접착강도를 확인하는 시험으로 인장 시험 장비를 사용함
- 인장시험의 정확한 결과를 얻기 위해서는 적절한 접착제와 접착 Fixture를 사용해야 함

(가) 필요 장비

① 인장 시험 장비 및 연결용 아답터 (Adapter)



그림 39 인장시험기 및 시편 연결 Adapter

② 시편 접착 Fixture

- 코팅 두께는 정확한 Align을 위해서 0.003 인치 이내로 평평해야 함



그림 40 Gravity Type Fixture



그림 41 Pressure Type Fixture

③ 인장 접착 시편



그림 42 인장 시험용 코팅 시편

(나) 재료

① 시편용

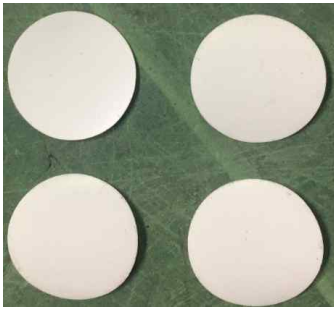
㉠ 모재와 동일한 재료를 사용 또는 동일한 재질 사용

부품 재질	Commercial Designation	Specification Ref.
Austenitic Steel	Hastelloy X	AMS 5510
Martensitic Steel		AMS 5536
Cobalt Alloy		
Titanium Alloy	Ti 6-4	AMS 4911 or AMS4928
Aluminum Alloy	6061	AMS4025



㉡ 접착제 (Adhesive)

표 15 접착제 종류와 기능

Epoxy Type	Film Type
	
접착강도가 5500 psi 이상일 때 사용 250°F to 290°F에서 경화	접착강도가 5500 psi 이하일 때 사용 350°F to 385°F에서 경화

(다) 실험 방법

- 실험은 상온에서 수행하며, 3개의 시편을 제작하여 평가 한다

- ① 인장시험장비에 시편이 정확한 Align을 되도록 장착 한다
- ② 접착된 시편이 파열 될 때까지 0.040 inch/min로 인장로드를 적용 한다
- ③ 3개 시편의 파열된 값을 기록하고 인장 접착강도의 합격 여부를 결정 한다
 - T1 : 가장 높은 값
 - T2 : 중간 값
 - T3 : 가장 낮은 값

다. 용사별 (Thermal Spray Coating) 품질 시험 (Quality Testing)

- 용사에 사용하는 코팅 분말은 동일한 재료를 사용하나 제작사 적용 세부 명칭은 각각 상이

표 16 항공기용 가스터빈엔진 엔진 제작사 용사 코팅 List

순번	PWA SPEC'	CFM SPEC'	GE90 SPEC'	METCO SPEC'
1	PWA53-01	CP6001		71VFNS
2		CP6025	C07-038	INCONEL718
3	PWA53-05	CP6017	C07-027	81VFNS
4	PWA257-2			82VFNS
5	PWA53-13	CP6019	C07-001	63NS
6	PWA53-16	CP6002		45VFNS
7	PWA53-18	CP6029		45CNS
8	PWA53-35		C07-059	52CNS
9	PWA53-37	CP6007	C07-016	450NS
10	PWA53-47	CP6006	C07-022	443NS
11	PWA53-69		C07-013	57NS
12	PWA53-78	CP6011	C07-023	51FNS
13	PWA257-1			71VFNS
14		CP6010	C07-037	601NS
15	PWA75-1		C07-014	307NS-3
16	PWA 74-1			450NS/307NS
17		CP6003	C07-020	58NS

18	PWA 1352 - 2		C07-015	308NS-3
19		CP6021	C07-031	68FNS1
20	PWA 271-13			POLYMET 899
21	PWA271-37		C07-042	POLYMET 885
22	PWA271-35			POLYMET 688
23	PWA271-47		C07-043	POLYMET 886
24			C07-049	POLYMET 818

(1) Tungsten Carbide Cobalt 코팅 (71VFNS) 품질 연구

텅스텐-카비드-코발트 코팅은 PW4000 Engine Series에 적용하는 부품으로 Plasma를 열원으로 용착 시키는 코팅으로, HVOF 코팅 또는 크롬 도금과 같은 Hard 코팅 대체로 사용되고 있다. 제작사인 GE는 신형 엔진부품에는 71VFNS Coating 적용 대신에 HVOF 코팅을 적용하고 있음

코팅 재료는 METCO사의 71VFNS를 사용하나 혼합가스의 양에 따라서 PWA 53-01 또는 PWA 257-01로 구분하여 적용하지만, 실제 부품은 PWA257-01 코팅만 수리에 적용하고 있음

표 17 텅스텐-카바이드-코발트 코팅의 제작사 SPEC

P&W SPEC	CFM SPEC	GE90 SPEC	METCO Spec
PWA 53-01	CP6001	-	71VF-NS
PWA 257-01	-	-	
PWA 257-02	-	-	82VF-NS

표 18 71VF-NS - Plasma Starting Parameter

Spray 장비	Gun	Type	9MB
	Nozzle		GE-731
	Injector Type		No.2
Power	Direct Current	A	400
	Recorded Voltage	V	62
Plasma Gas	Argon Flow, A	SCFH	116
	Hydrogen Flow, H2		17
Powder Feeder	Carrier Gas	Type	Argon
	Carrier Gas Flow	SCFH	13.5
Feed Rate		Gr/Min	60
Distant		Inch	2.5-4
Substrate Cooling		Type	Air

표 19 82VF-NS - Plasma Starting Parameter

Spray 장비	Gun	Type	9MB
	Nozzle		GE-731
	Injector Type		No.2
Power	Direct Current	A	500
	Recorded Voltage	V	36
Plasma Gas	Argon Flow, Ar	SCFH	60
	Hydrogen Flow, H2		75
Powder Feeder	Carrier Gas	Type	Argon
	Carrier Gas Flow	SCFH	13.5
Feed Rate		Gr/Min	45
Distant		Inch	2
Substrate Cooling		Type	Air

(나) 코팅 품질 기준

- PWA 257-01 시편의 코팅 두께는 0.008-0.010 인치, PWA257-02 시편은 0.006-0.008인치로 제작

① P&W 품질기준

표 20 PWA 257-01, PWA 257-02 품질 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림37 참조)
	Oxides	존재량(그림36 참조)
	Porosity	존재량(그림35 참조)
인장시험 (psi)	-	최소 10,000 Al 시편 사용 시, 6,000 psi
경도시험 (HV)	PWA 257-01	900-1200 (TOP) 850-1200 (Bond)
	PWA 257-02	600-950



그림 46 Porosity

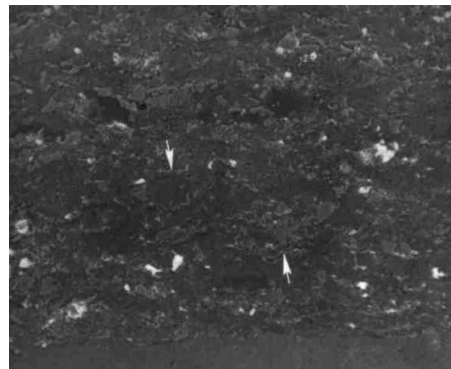


그림 47 Oxide

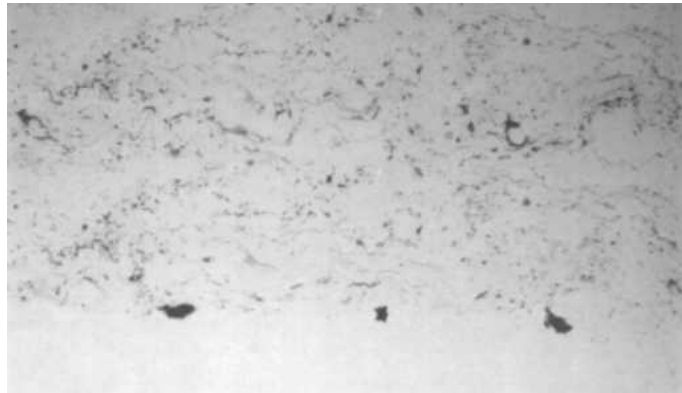


그림 48 Interface Contamination

분류	개수	% 개수	합계, $\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^2$	% 합계	격자 면적, $\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^2$	% 면적	역면적%
미분류	37,000	100.000	4563.184	100.000	4563.184	9.930	90.069

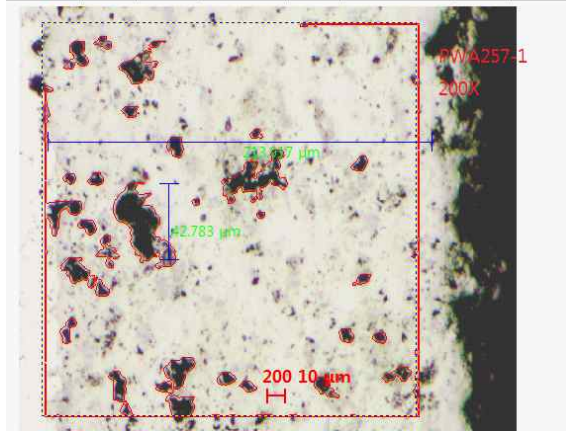


그림 49 PWA257-1 코팅 -Porosity 검사

분류	개수	% 개수	합계, $\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^2$	% 합계	격자 면적, $\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^2$	% 면적	역면적%
미분류	26,000	100.000	5889.573	100.000	5889.573	17.422	82.577



그림 50 PWA257-2 코팅 - Porosity 검사

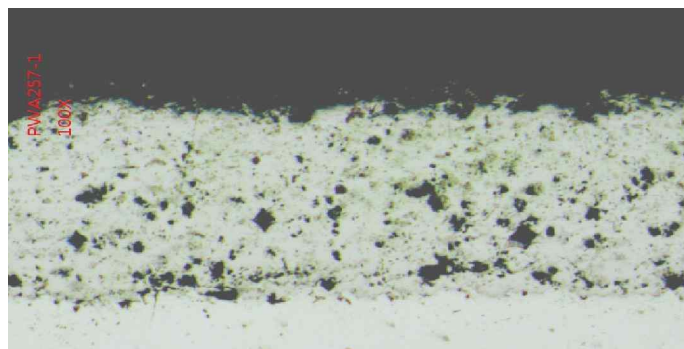


그림 51 PWA257-1 코팅 마이크로 경도 - HV

(2) Inconel 718 코팅 품질 연구

Inconel 718 코팅은 Inconel 718 니켈 합금의 높은 밀도와 우수한 고온 산화 및 내식성 등의 물리적 및 화학적 특성을 가지고 있는 코팅으로 Self-Bonding, 기계 가공 및 드릴 가공이 가능

하고 우수한 Chamfer(모서리) 유지하는 특징이 있음

- Plasma Arc Spraying 또는 Electric Arc Wire를 이용한 코팅

* 화학성 성분: Ni 19Cr 18Fe 3Mo 0.5Al 5.1(Nb+Ta) 0.95Ti 0.05C

GE90 SPEC C07-038, CFM SPEC CP6025는 Plasma Arc Spraying 장비를 이용한 Inconel 718 코팅을 사용함

표 21 INCONEL718 코팅의 제작사 SPEC

P&W SPEC	CFM SPEC	GE90 SPEC	METCO Spec
-	CP6025	C07-038	Amdry 718CL.B
-	-	C07-049	POLYMET 818

Inconel 718 코팅 Spray Parameter는 Plasma 장비 제작사이며 Powder 제작사인 Metco의 Amdry 718 Class B Starting Parameter를 설정 후 부품의 형상과 작업 위치에 따라 Parameter를 수정하였음

최소 0.060 인치 두께를 가지는 코팅 시편과 적용 부품을 동시에 Inconel 718 코팅을 분사 후 미세조직시험과 인장시험을 수행하여 코팅품질검사를 수행함

표 22 Amdry 718 CL B-9MB Air Plasma Starting Parameter

Spray 장비	Gun	Type	9MB
	Nozzle		GH-732
	Injector Type		No.2
Power	Direct Current	A	409
	Recorded Voltage	V	69
Plasma Gas	Argon Flow, A	nlpm	37
	Hydrogen Flow, H2		9
Powder Feeder	Carrier Gas	Type	Argon
	Carrier Gas Flow	nlpm	5
Feed Rate		g/min	151
Distant		mm	125
Substrate Cooling		Type	Air

표 23 제작사 품질 기준 (GE90)

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides and Oxide Clusters	존재량(그림 참조)
	Porosity	존재량(그림 참조)
인장시험 (psi)	-	최소7,000

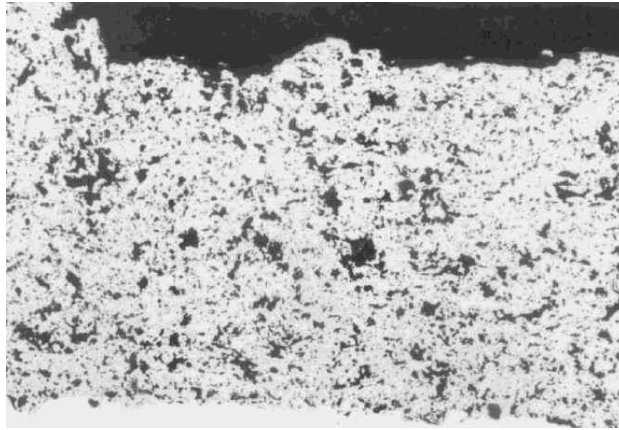


그림 52 Porosity 기준

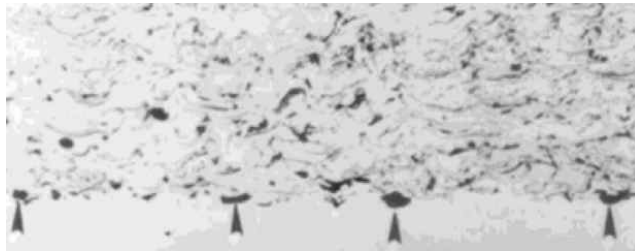


그림 53 Interface Contamination 기준

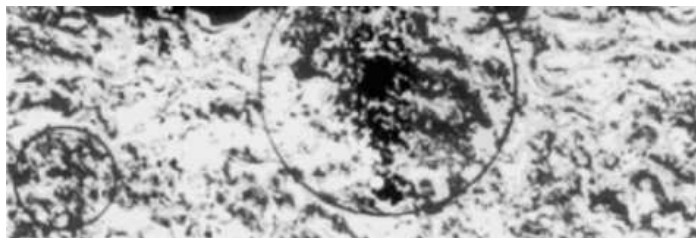


그림 54 Oxide 기준

시험성적서 Test Report			
성적서 번호 Report No	PC16-0920-83	채취 일자 Sample Date	2016.09.19
시 료 명 Specimen Name	Plasma Coating Specimen (FRAME-TURBINE CENTER)	접수 일자 Receipt Date	2016.09.20
의뢰 부서 Client Shop	SELMECB	시험 일자 Test Date	2016.09.21
Test Results			
W/O No : F: 16917672	Operator : 한 형 석 / 1482471		
OP No : 50	Coating Spec' : C07-038 (INCONEL 718)		
Microstructure Test (Material Microscope/A.N : MG00022295)			
Test Item	Requirements	Results	Remark
Porosity	Less than or equal to V-1	V-1	Figure 25
Oxides	Uniformly distributed	Uniformly distributed	In case of figure 6 view X-3 is reject
Oxide clusters	None allowed	Free of oxide clusters	
Interface Contamination	Less than or equal to I-2	I-1	Figure 7
Interface separation	None allowed	Free of interface separation	
Transverse Cracks	None allowed	Free of transverse cracks	
Delamination	None allowed	Free of delamination	
Bond strength tensile testing(UTM/A.N: MG00022308)			
Tensile Test (Average)	Min 7 000 psi	8 577 psi	9 753, 7 609, 8 370 (psi)
End.			
Test Result : Pass			
시험 근거 Ref To	SPM 70-49-32, SPM70-71-01	시험자 Tested By	이 용 구 
2016.09.21 정 비 품 질 시 험 팀 장 Team Manager, Laboratories Team, QA, Korean			
1. 본 시험 성적서는 의뢰자와 제작자(지령발주자)에 대한 시험결과(시험) 결과에 대한 것임을 증명합니다. (The test results contained in this test report refer only to the specimen/sample) that is provided by the applicant, and this report shall not be amended (reproduced) without written approval of laboratory manager.) 2. 본 시험 성적서는 시험결과에 대한 증명, 판권, 광고, 또는 기타 용도로 사용될 수 없습니다. (This test report shall not be used for publicity, propagation, advertisement, and litigation without written approval of laboratory manager.)			
KAL-MA-746(A) 출판 일자: 1999.09.16	1 of 1	210mmX297mm 제정 일자: R7/2009.09.01	

그림 55 C07-038 Inconel718 시험성적서

(다) 엔진 부품 수리 적용

Inconel 718 코팅을 이용하여 CFM56-7B HPT Outer Stationary Seal의 Dimension 복원 수리에 적용하였으며 GE90은 Turbine Center Frame 외 4건에 마모에 대해 복원하는 수리를 적용하였음

표 24 CFM56-7B CP6002 코팅 수리 실적

부품명	부품번호	2016년 개수	2017년 개수	총 개수
HPT Outer Stationary Seal	1784M84G05	1	0	1

◦ CFM56-7B HPT Outer Stationary Seal - Diameter B Dimensional Restoration

- ① 손상부위에 대해서 기계가공으로 제거
- ② 부품세척
- ③ 비파괴 검사 (Spot- Fluorescent Penetrant Inspection)
- ④ 코팅 Area 마스킹 및 코팅 시편 장착

표 25 GE90 C07-038 Inconel 718 코팅 수리 실적

부품명	부품번호	2016년 개수	2017년 개수	총 개수
Turbine Center Frame	2115M58G03	4	2	6
Combustion Case	2082M19G04	0	1	1
AFT Outer Hanger	1840M93G05	0	48	48

◦ GE90 Turbine Center Frame -Thermal Spray 수리 (C07-038)



그림 58 TCF - Case Wall Wear Coating Repair

◦ GE90 Combustion Case - Thermal Spray 수리 (C07-038)



◦ GE90 AFT outer Hanger - Thermal Spray 수리 (C07-038)



그림 60 AFT Hanger - Dimension Restoration

- ① 마모부위에 대해서 기계가공으로 제거
- ② 부품세척
- ③ 비파괴 검사 (Spot- Fluorescent Penetrant Inspection)
- ④ 부품세척
- ⑤ 코팅 Area 마스킹 및 코팅 시편 장착
- ⑥ 코팅 용사 및 시편 품질 시험 (C07-038)
 - 미세조직시험
 - 인장 시험

표 26 GE90 C07-049 Inconel 718 코팅 수리 실적

부품명	부품번호	2016년 개수	2017년 개수	총 개수
HPT Stage 2 AFT Retainer	1709M29P05	1	2	3

- GE90 HPT Stage 2 AFT Retainer -Thermal Spray 수리 (C07-049)



그림 61 GE90 HPT Stage 2 AFT Retainer - Diameter D Restoration

- ① 마모부위에 대해서 기계가공으로 제거
- ② 부품세척
- ③ 비파괴 검사 (Spot- Fluorescent Penetrant Inspection)
- ④ 부품세척
- ⑤ 코팅 Area 마스킹 및 코팅 시편 장착
- ⑤ 코팅 용사 및 시편 품질 시험 (C07-049)
 - 미세조직시험
 - 인장 시험

시험 성적서 Test Report			
보고서 번호 Report No.	PC17-0316-39	샘플 일자 Sample Date	2017.03.14
시험 품 Specimen Name	Plasma Coating Specimen (RETAINER-AFT)	입수 일자 Receipt Date	2017.03.16
원회 부서 Client Shop	SH-MCHB	시험 일자 Test Date	2017.03.17
Test Results			
W/O No. : E18267624	Operator : 김 태 화 / 9108890		
QP No. : 50	Coating Spec : C07-049	Powder Lot No: 15002126 (ALLOY THE WIRE)	
Microstructure Test (Material Microscope/A.N. MG0002295)			
Test Item	Limit	Result	Remark
Porosity	Less than or equal to V-1	V-1	Figure 25
Oxides	Uniformly distributed	Uniformly distributed	Figure 6
Oxide Clusters	None allowed	Free of oxide clusters	See definition for suitable size
Interface Contamination	Less than or equal to I-2	I-1	Figure 7
Interface Separation	None allowed	Free of interface separation	See definition for suitable size
Transverse Cracks	None allowed	Free of transverse cracks	See definition for suitable size
Delamination	None allowed	Free of delamination	See definition for suitable size
Tensile Bond Testing (UTM/A.N. MG0002298)			
Tensile Bond Test (Average)	Min 4,000 psi	9,870 psi	2,718, 10,429, 9,864 (psi)
Test Result : Pass			
시험 크기 Ref. To	GE90 SPM 7071-01, Rev. No.: 105 GE90 SPM 7071-01, Rev. No.: 105 W/O No.: E18267624	시험자 Tested By	이 동 구
정비 품질 시험팀장 Team Manager, Laboratories Team, QA, Korean			
본 보고서에 기재된 내용은 기밀로 취급되며, 무단으로 외부에 유출될 경우, 본사는 법적 조치를 취할 수 있습니다. (The contents contained in this report are confidential and may be subject to legal action if they are disclosed without the written approval of the laboratory manager.) (This test report shall not be used for publicity, propaganda, advertisement, and litigation without the written approval of laboratory manager.)			
KAI-M&T-740-01 2016.03.14-09:09:46		1 of 1 210mmX297mm 0.05mmX0.05mm	

- ⑥ 치수 복원을 위한 기계가공
- ⑦ Final Inspection

○

- (가) GE90 HPT Stator Case
- (나) GE90 No.4 Bearing Housing - Dimensional Restoration
- (다) GE90 Turbine Center Frame
- (다) CFM56-7B HPC 4단계-9단계 Rotor Spool
- (라) CFM56-7B HPC Rotor Rear Rotating Compressor Discharge Pressure (CDP) air seal

◦ GE90 HPT Stator Case 및 GE90 No 4 Bearing Housing에 대한 수리실적은 없음

(3) 75% Chromium Carbide - 25% Nickel Chromium 코팅

75% Chromium Carbide - 25% Nickel Chromium 코팅은 높은 경도와 마모에 의한 저항력이 높아 1000° -1500° F (538° -816° C)에서 마모저항력이 우수한 코팅이며 Plasma arc spray를 이용하며 화학적 성분은 Cr₃C₂ 25(Ni 20Cr)로 구성 됨

제작사 SPEC은 아래 표6과 같으며 코팅 Spray Parameter는 Plasma 장비 제작사이며 Powder 제작사인 METCO사의 81VF-NS Coating Powder를 사용하였으며 Starting Parameter를 설정 후 부품의 형상과 작업 위치에 따라 Parameter를 수정하였음

표 27 75% Chromium Carbide - 25% Nickel Chromium 제작사 SPEC

P&W SPEC	CFM SPEC	GE90 SPEC	METCO Spec
PWA53-05	CP6017	C07-027 CL A(Fine)	81VF-NS

(가) 코팅 시험

- 최소 0.060 인치 두께를 가지는 코팅 시편과 적용 부품을 동시에 81VF-NS 코팅을 분사하였으며 미세조직시험, 인장시험, 경도시험을 수행하여 코팅품질을 검증 함

표 28 81VF-NS Plasma Starting Parameter

Spray 장비	Gun	Type	9MB
	Nozzle		GH-732
	Injector Type		No.2
Power	Direct Current	A	500
	Recorded Voltage	V	66
Plasma Gas	Argon Flow, A	SCFH	116
	Hydrogen Flow, H2		16
Powder Feeder	Carrier Gas	Type	Argon
	Carrier Gas Flow	SCFH	13.5
Feed Rate		g/min	42
Distant		inch	2-5
Substrate Cooling		Type	Air

(나) 코팅 품질 기준

① GE90 C07-027 CL A 품질기준

표 29 C07-027 CL A 품질 기준 (GE90)

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Unmelts	존재량(그림 참조)
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides	존재량(그림 참조)
	Porosity	존재량(그림 참조)
인장시험 (psi)	-	최소 5,000
경도시험 (Rockwell, R15N scale)	CL A	최소 83

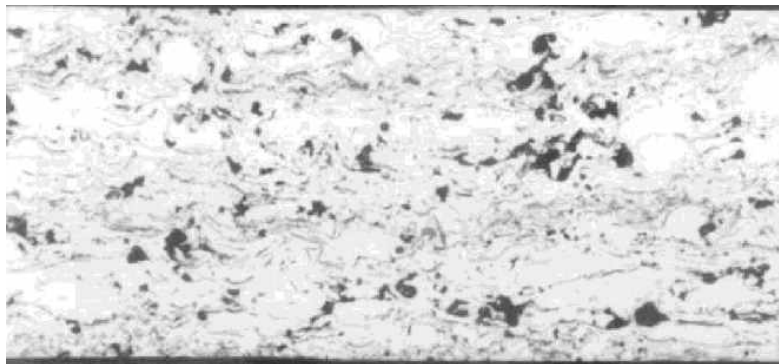


그림 63 Porosity 기준 (200X)

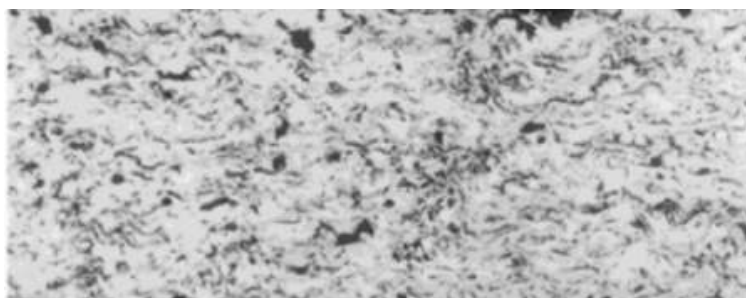


그림 64 Oxide Content 기준 (200X)

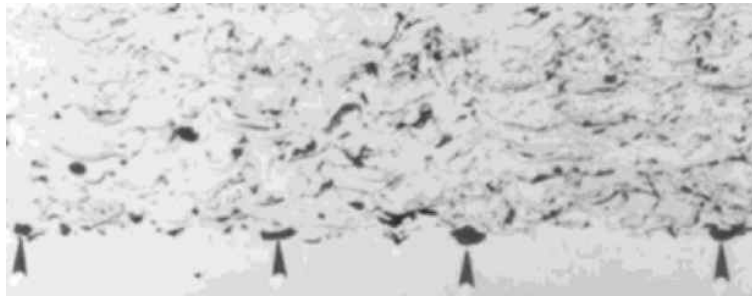


그림 65 Interface Contamination 기준 (200X)



그림 66 Unmelted Particle Content 기준(200X)

② CFM56-7B CP6017 품질기준

표 30 CP6017 품질 기준 (CFM56-7B)

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Unmelted	5% 존재량 (그림 참조)
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides	존재량(그림 참조)
	Porosity	5%, 800 μ in
인장시험 (psi)	-	최소 5,000

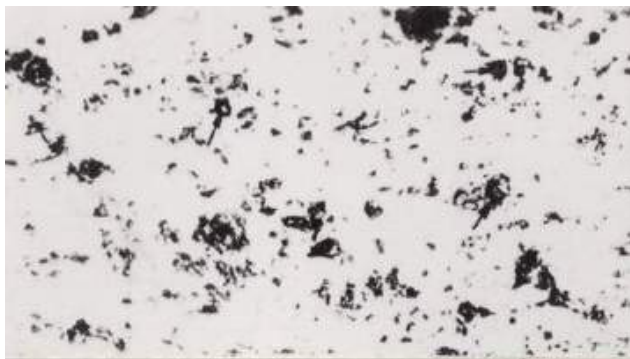


그림 67 Porosity 기준



그림 68 Unmelt 기준

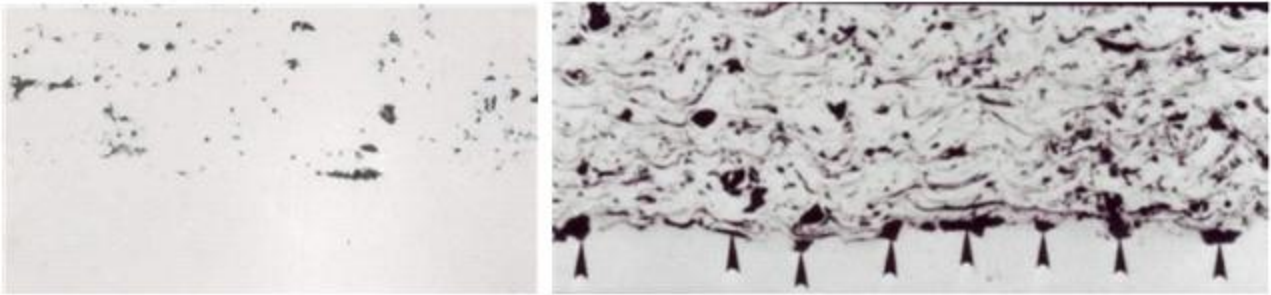


그림 69 Interface Contamination (Fine, Coarse)

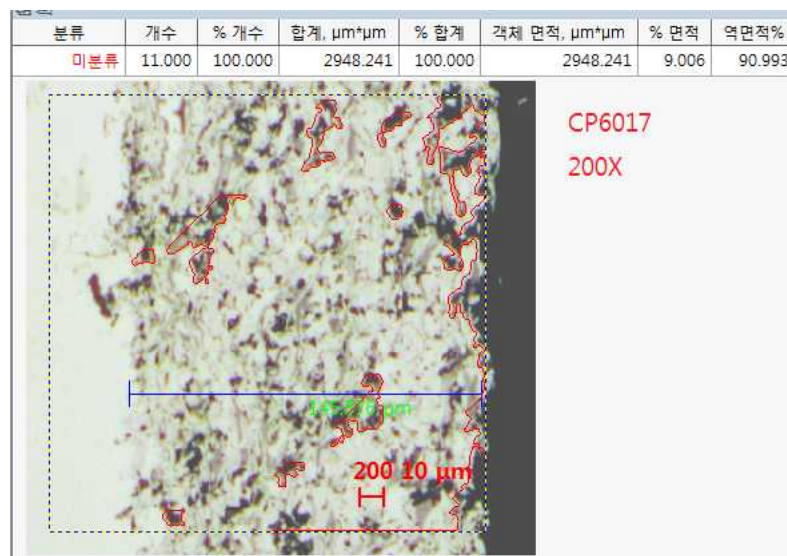


그림 70 CP6017 - Porosity 검사

(4) Pure Molybdenum 코팅의 제작사 SPEC 코팅

몰리브덴 코팅은 분사 후 빠르게 형성하는 산화물 표면, 접착력이 좋은 특성으로 좋은 마찰 특성과 굽힘에 대한 저항성이 좋은 코팅으로 가장 효과적인 bond 코팅제로 많이 사용함

표 31 Pure Molybdenum 코팅의 제작사 SPEC

P&W SPEC	CFM SPEC	GE90 SPEC	METCO Spec
PWA 53-13	CP6019	C07-001	63-NS

제작사 SPEC은 아래 표와 같으며 코팅 Spray Parameter는 Flame wire, Plasma, Electronic Arc Wire를 열원으로 사용 한다

장비 제작사이며 Powder 제작사인 METCO사의 63-NS Coating Powder를 사용하였으며 Starting Parameter를 설정 후 부품의 형상과 작업 위치에 따라 Parameter를 수정하였음

(가) 코팅 시험

- 0.060 inch(1.52mm) 두께를 가지는 시편과 적용 부품을 0.003-0.020 인치의 코팅 두께에 대해서 미세조직시험, 인장시험, 경도시험을 수행하여 코팅품질을 검증 함

표 32 63-NS Plasma Starting Parameter

Spray 장비	Gun	Type	9MB
	Nozzle		GP-733
	Injector Type		No.3
Power	Direct Current	A	750
	Recorded Voltage	V	38
Plasma Gas	Argon Flow, Ar	SCFH	34
	Hydrogen Flow, H2		137
Powder Feeder	Carrier Gas	Type	Argon
	Carrier Gas Flow	SCFH	13.5
Feed Rate		g/min	26
Distant		inch	5
Substrate Cooling		Type	Air

(나) 코팅 품질 기준

① GE90 C07-001 품질기준

표 33 C07-001 기준 (GE90)

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	균일
	Porosity	균일
인장시험 (psi)	-	최소 2,500

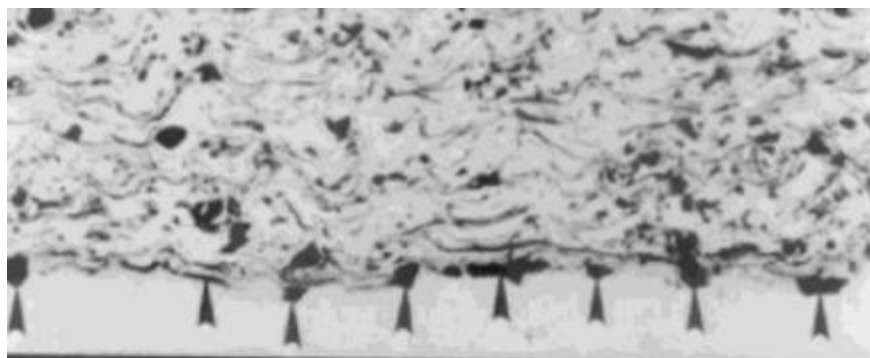


그림 71 Interface Contamination

② CFM CP6019 품질기준

표 34 CP6019 기준

구분	종류	허용기준
----	----	------

미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	균일
	Unmelt	15%
	Porosity	15%
인장시험 (psi)	-	최소 3,000

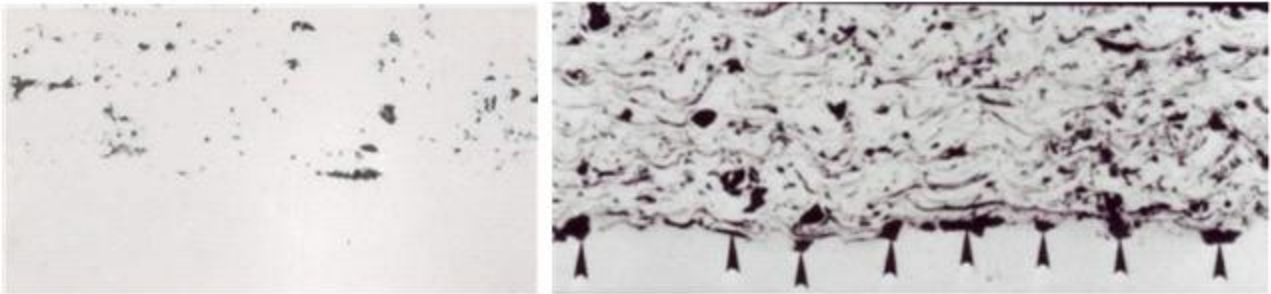


그림 72 Interface Contamination (Fine, Coarse)

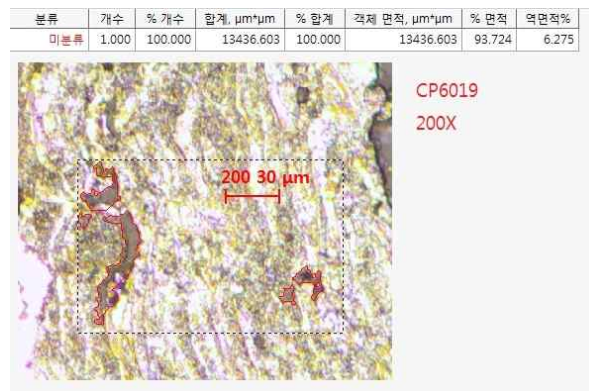


그림 73 CP6019 미세조직시험 -Porosity

③ P&W PWA53-13 품질기준

- PWA 53-13 코팅은 PWA 53-18 코팅 대체로 사용하며, 표면 조도는 64AA 이상 필요
- 코팅 두께는 0.003-0.020 인치로 Bond Coating과 Build up 코팅으로 사용

표 35 PWA53-13 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	존재량 (그림 참조)
	Unmelt	15%
	Porosity	15%
인장시험 (psi)	-	최소 3,000

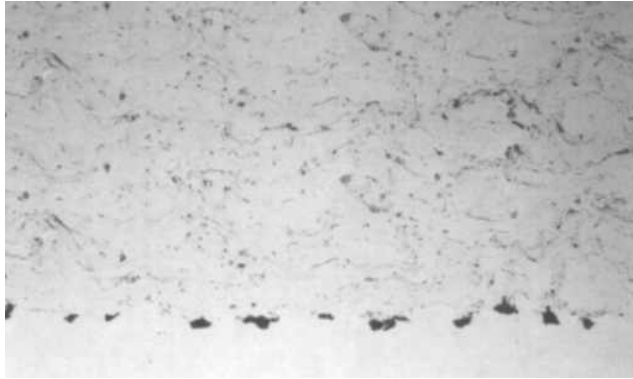


그림 74 Interface Contamination (PW)

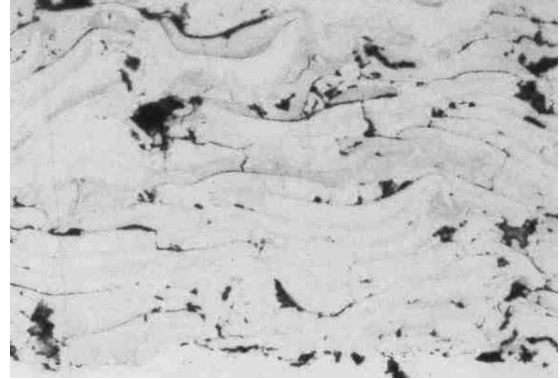


그림 75 Oxide (PW)

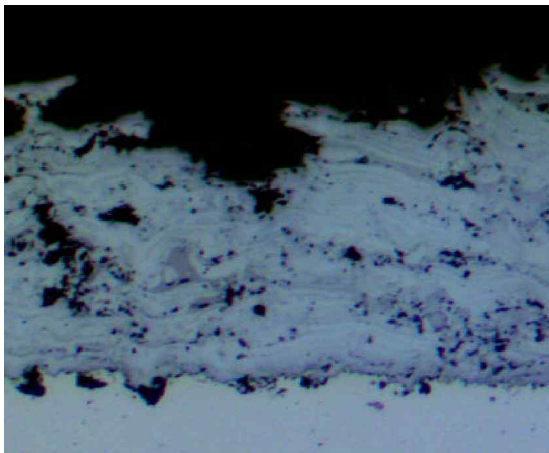


그림 76 PWA53-13 미세조직 시험(200X)

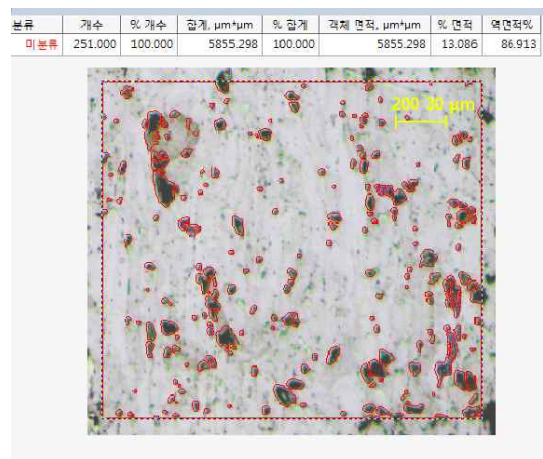


그림 77 PWA 53-13 -Porosity

(5) Cobalt, Chromium, Nickel, Tungsten Powder 코팅의 제작사 SPEC 코팅

표 36 Cobalt, Chromium, Nickel, Tungsten Powder 코팅의 제작사 SPEC

P&W SPEC	CFM SPEC	GE90 SPEC	METCO Spec
PWA 53-16	CP6002	-	45VF-NS
PWA 53-18	CP6029	-	45C-NS

CoCr[Ni]WC 코팅은 산화 및 고온 마모에 견디는 밀도가 높은 코팅으로 텅스텐 및 탄소를 첨가하면 경도가 높고 마모 특성이 있으며, 다양한 내마모성 기능을 가지는 것 외에도 치수복원을 위한 Build Up 코팅으로 사용되며 Flame wire, Plasma, Electronic Arc Wire를 열원으로 사용한다

장비 제작사이며 Powder 제작사인 METCO사의 45VF-NS/45C-NS 코팅 분말을 사용하였으며 Starting Parameter를 설정 후 부품의 형상과 작업 위치에 따라 Parameter를 수정하였음

(가) 코팅 시험

- 0.060 inch(1.52mm) 두께를 가지는 시편과 적용 부품을 0.003-0.020 인치의 코팅 두께에 대해서 미세조직시험, 인장시험, 경도시험을 수행하여 코팅품질을 검증 함

표 37 45VF-NS Plasma Starting Parameter

Spray 장비	Gun	Type	9MB
	Nozzle		GE-731
	Injector Type		No.3
Power	Direct Current	A	500
	Recorded Voltage	V	59
Plasma Gas	Argon Flow, Ar	SCFH	175
	Hydrogen Flow, H2		7
Powder Feeder	Carrier Gas	Type	Argon
	Carrier Gas Flow	SCFH	13.5
Feed Rate		g/min	49
Distant		inch	2-2.5
Substrate Cooling		Type	Air

표 38 45C-NS Plasma Starting Parameter

Spray 장비	Gun	Type	9MB
	Nozzle		GE-731
	Injector Type		No.2
Power	Direct Current	A	400
	Recorded Voltage	V	64
Plasma Gas	Argon Flow, Ar	SCFH	98
	Hydrogen Flow, H2		25
Powder Feeder	Carrier Gas	Type	Argon
	Carrier Gas Flow	SCFH	13.5
Feed Rate		g/min	53

Distant	inch	4.5-5.5
Substrate Cooling	Type	Air

(나) 코팅 품질 기준

① CP6002 품질기준

표 39 CP6002 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	균일
	Unmelt	10%
	Porosity	5%
인장시험 (psi)	-	최소 5,070

표 40 CP6029 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	균일
	Unmelt	15%
	Porosity	15%
인장시험 (psi)	-	최소 5,000

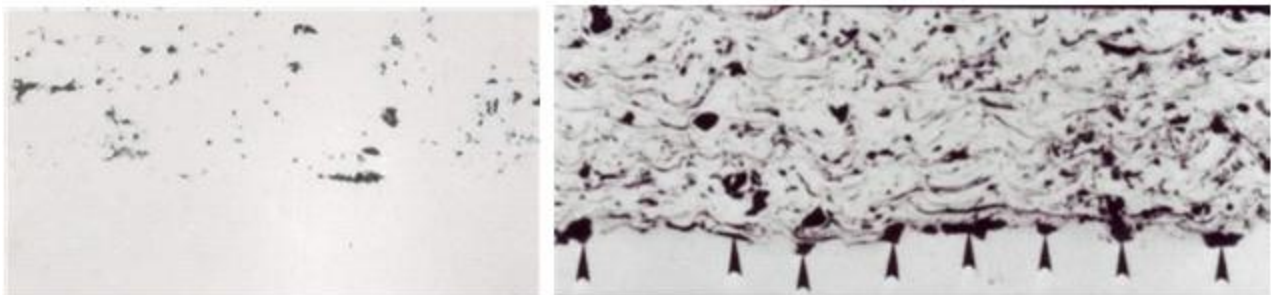


그림 78 Interface Contamination (Fine, Coarse)

② P&W PWA53-16, PWA53-18 품질기준

- PWA 53-16 코팅은 0.003-0.006 인치로 Hard Coating 용도로 사용
- PWA 53-18 코팅은 0.003-0.028 인치로 Hard Coating 또는 Build up 용도로 사용

표 41 PWA53-16 기준

구분	종류	허용기준
----	----	------

미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	존재량 (그림 참조)
	Unmelt	15%
	Porosity	3%
인장시험 (psi)	-	최소 4,700
경도 시험	HV	Min 300

표 42 PWA53-18 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	존재량 (그림 참조)
	Unmelt	15%
	Porosity	15%
인장시험 (psi)	-	최소 6,000

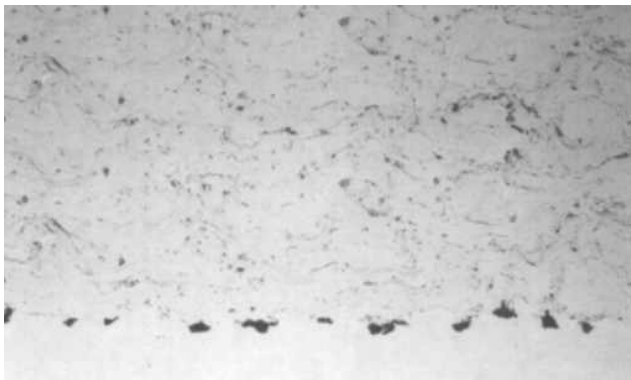


그림 79 Interface Contamination (PW)

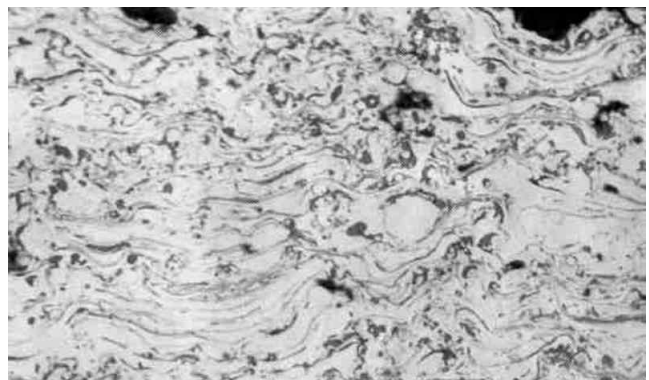


그림 80 Oxide(PWA 53-16)

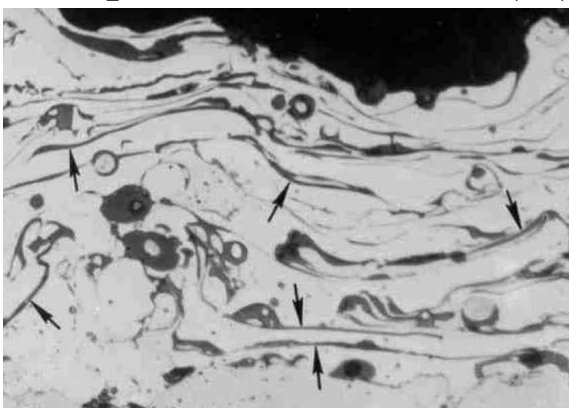


그림 81 Oxide (PWA 53-18)

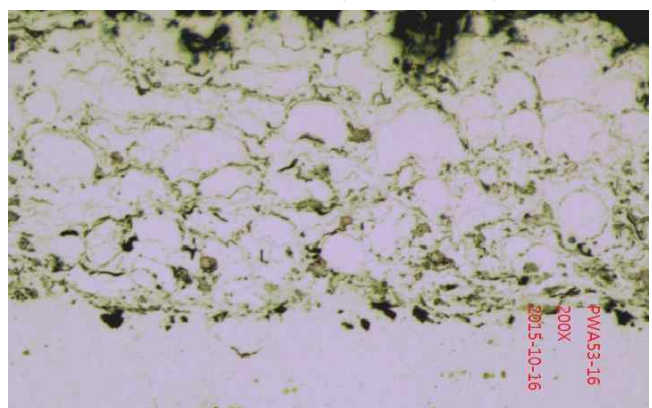


그림 82 PWA53-16 미세조직 사진

분류	개수	% 개수	합계, μm^2	% 합계	각제 면적, μm^2	% 면적	역면적%
미분류	272.000	100.000	6622.117	100.000	6622.117	25.856	74.143

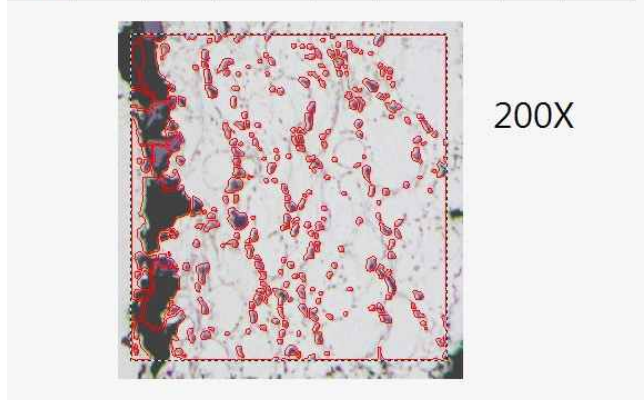


그림 83 PWA53-16 Porosity Fail 사례

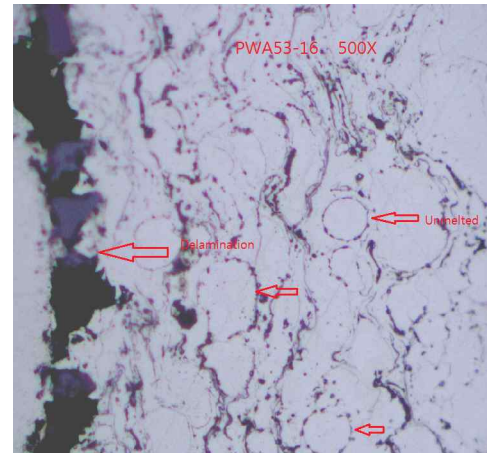


그림 84 PWA53-16 Fail 사례

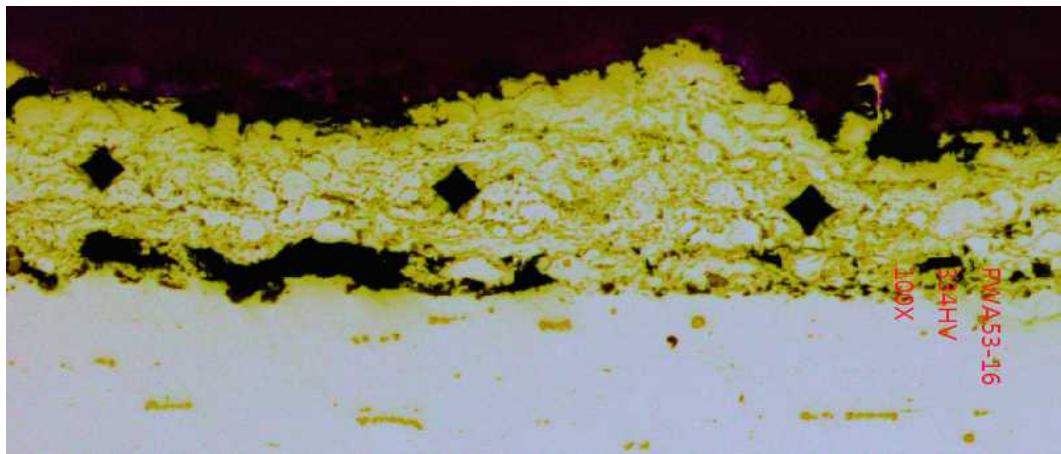


그림 85 PWA53-16 Micro Hardness - Min 300HV

분류	개수	% 개수	합계, μm^2	% 합계	각제 면적, μm^2	% 면적	역면적%
미분류	187.000	100.000	4149.218	100.000	4149.218	11.391	88.608

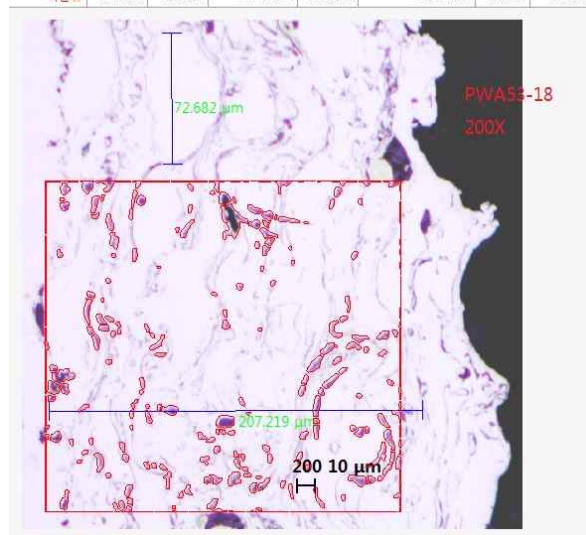


그림 86 PWA53-18 시편 미세조직 - Porosity

(다) 엔진 부품 수리 적용

45VF-NS 마모에 강한 코팅으로 CFM56-7B 엔진 부품 LPT Case에 마모에 치수 복원하는 코팅으로 개발 완료하였다

표 43 CFM56-7B CP6002 코팅 수리 실적

부품명	부품번호	2016년 개수	2017년 개수	총 개수
LPC Case	338-117-455-0	5	3	8

◦ CFM56-7B LPT Case -Thermal Spray 수리



그림 87 CFM56 LPT Case & Fixture



그림 88 LPT Case의 Coating Damage상태

- ① 손상부위에 대해서 기계가공으로 제거
- ② 부품세척
- ③ 비파괴 검사 (Spot- Fluorescent Penetrant Inspection)
- ④ 코팅 Area 마스킹 및 코팅 시편 장착
- ⑤ 코팅 용사 및 시편 품질 시험 (CP6002)
 - 미세조직시험
 - 마이크로 경도 측정 300 HV 0.3.
 - 인장 시험

시험 성적서 Test Report			
성적서 번호 Report No	: PC16-0520-65	채취 일자 Sample Date	: 2016.05.20
시료 명 Specimen Name	: Plasma Coating Specimen (CASE-LPT)	접수 일자 Receipt Date	: 2016.05.20
의뢰 부서 Client Shop	: SELMECB	시험 일자 Test Date	: 2016.05.20
Test Results			
W/O No : E 15829925		Operator : 김 낙 문 / 8204092	
Coating Spec : CP6002 (METCO 45VFNS)		OP No : 120	
Microstructure Test (Material Microscope/A.N : MG00022295)			
Test Item	Limit	Result	Remark
Porosity	Max 5 %	5%	
Unmelted Particle	Max 10 %	10%	
Interface Contamination	Max 25 %	15%	Length of specimen in case of fine
	Max 30 %	20%	Length of specimen in case of coarse
Oxides and oxide clusters	Unacceptable	Free of oxide and oxide clusters	Must be uniformly distributed
Transverse Cracks	Must be free	Free of crack	
Interface separation	Must be free	Free of interface separation	
	Max 0.010 inch	0.005 inch	Out of corner of the coated specimen
Delamination	Must be free	Free of delamination	
Microhardness Test(Hardness Tester/A.N : MG00022294)			
Hardness Test	Min 300 HV	311 HV	Average
Coating tensile testing(UTM /A.N: MG00022308)			
Tensile Test (Average)	Min 5 070 psi	9 294 psi	9 430, 9 533, 8 921 (psi)
Test Result : Pass			
시험 근거 Ref To	CFM56 SPM 70-48-04	시험자 Tested By	이 명 규 
2016.05.20 정비 품질 시험 팀 장 Team Manager, Laboratories Team, QA, K			
1. 본 시험 성적서는 의뢰자가 제시한 시료(샘플)에 대한 시험 결과이며, 시험팀장의 승인 없이는 수정(재발행)될 수 없습니다. (The test results contained in this test report refer only to the specimen(sample) that is provided by the applicant, and this report shall not be amended (reproduced) without written approval of laboratory manager.) 2. 본 시험 성적서는 시험팀장의 사전 서면동의 없이 출판, 전자, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없습니다. (This test report shall not be used for publicity, propagation, advertisement, and litigation without written approval of laboratory manager.)			
KAL-WA-746(A)		21 0mmX297mm	
등록일자 : 1999.09.16		개정일자 : R7/2009.09.01	

그림 89 CFM56-7B LPT Case CP6002 코팅 품질 성적서

- ⑥ 치수 복원을 위한 기계가공
- ⑦ Final Inspection

(6) Aluminum Silicon Powder 코팅의 제작사 SPEC 코팅

표 44 Aluminium 12% Silicon Powder 코팅의 제작사 SPEC

P&W SPEC	CFM SPEC	GE90 SPEC	METCO Spec
PWA 53-35	-	C07-059	52C-NS

알루미늄 실리콘 코팅(Al12Si)은 알루미늄 또는 마그네슘으로 만들어진 부품 및 합금의 치수복

원 및 Build up을 위한 수리에 사용한다. 실리콘은 용융 온도를 낮춰 유동성, 비중 및 열팽창 계수를 높이고 응고와 수축을 감소하는 기능이 있다. 코팅 Spray Parameter는 Plasma를 열원으로 사용 한다

알루미늄 실리콘 코팅(Al12Si)은 Top 코팅으로 사용되며, Bond 코팅은 Nickel-Aluminum Composite Powder(450NS)와 같이 사용하고 있으며, CL A와 CL B로 분리하여 사용되어 CL A는 간격제어 코팅, CL B는 마모저항을 제어하는 코팅 용도로 사용한다.

장비 제작사이며 Powder 제작사인 METCO사의 52C-NS 코팅 분말을 사용하였으며 Starting Parameter를 설정 후 부품의 형상과 작업 위치에 따라 Parameter를 수정하였음

(가) 코팅 시험

- 0.060 inch(1.52mm) 두께를 가지는 시편과 적용 부품을 0.003-0.020 인치의 코팅 두께에 대해서 미세조직시험, 인장시험, 경도시험을 수행하여 코팅품질을 검증 함

표 45 52C-NS Plasma Starting Parameter

Spray 장비	Gun	Type	9MB
	Nozzle		GH-732
	Injector Type		No.1
Power	Direct Current	A	66
	Recorded Voltage	V	500
Plasma Gas	Argon Flow, Ar	SCFH	96
	Hydrogen Flow, H2		20
Powder Feeder	Carrier Gas	Type	Argon
	Carrier Gas Flow	SCFH	13.5
Feed Rate		g/min	76
Distant		inch	4-6
Substrate Cooling		Type	Air

(나) 코팅 품질 기준

① GE90 C07-059 품질기준

표 46 C07-059 기준 (GE90)

구분	종류	허용기준
미세조직	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Eutectic Phase	CL A (비공개)
		CL B (비공개)
	Porosity	CL A (비공개)
		CL B (비공개)
인장시험(psi)	CL A	1,200 - 5,000
	CL B	최소 2,500

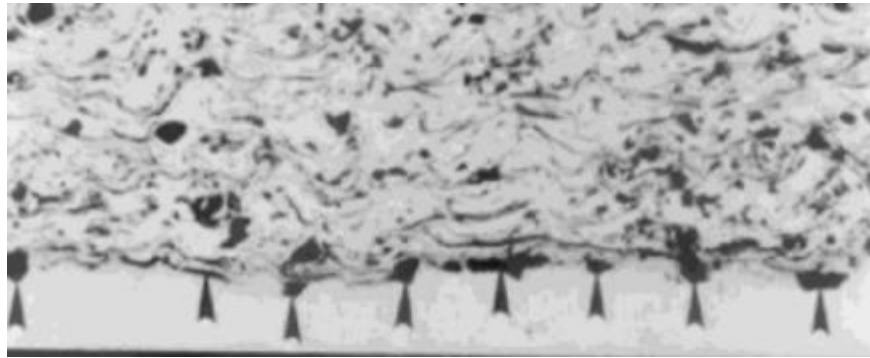


그림 90 Interface Contamination

② P&W PWA 53-35 품질기준

◦ 코팅 두께는 0.003 - 0.025 인치로 Build Up 코팅에 사용

표 47 PWA 53-35 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	35% (그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	존재량(그림 참조)
	Unmelt	15%
	Porosity	15%
인장시험 (psi)	-	최소 3,000

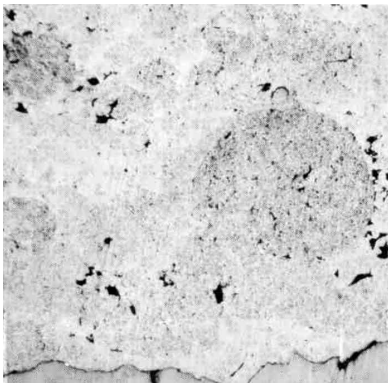


그림 91 Oxide (PW)

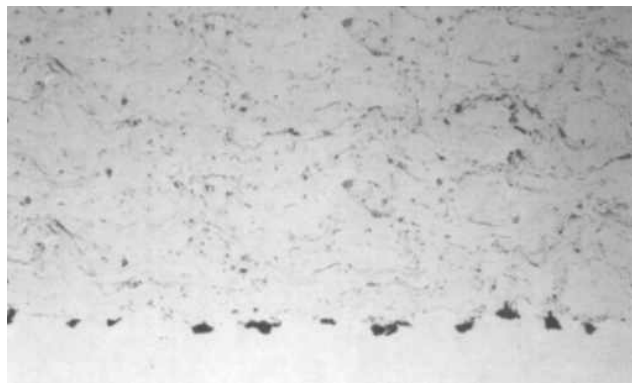


그림 92 Interface Contamination (PW)

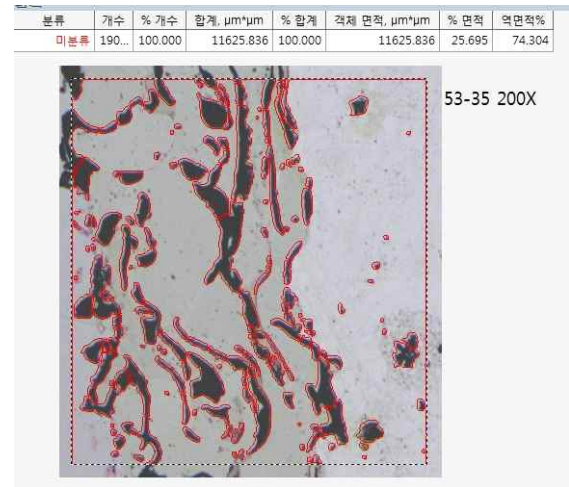
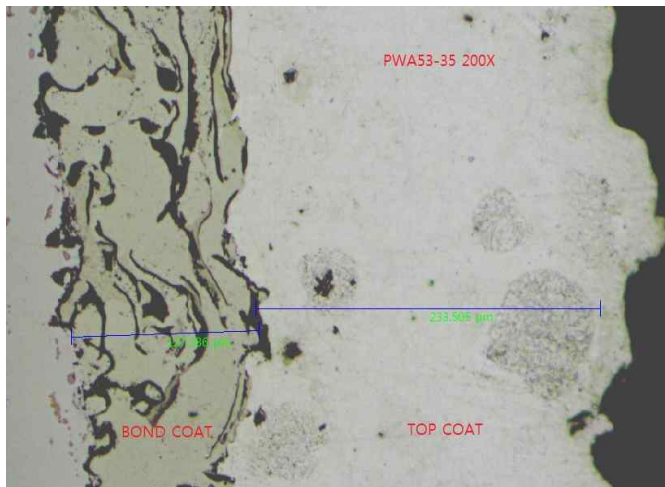


그림 93 PWA 53-35 Top - PWA 53-37 Bond 코팅 그림 94 PWA 53-35 미세 조직 - Porosity

(7) Nickel-Aluminum Composite Powder 코팅의 제작사 SPEC 코팅

표 48 Nickel-Aluminum Composite Powder 코팅의 제작사 SPEC

P&W SPEC	CFM SPEC	GE90 SPEC	METCO Spec
PWA 53-37	CP6007	C07-016 CL A	450-NS

니켈-알루미늄 코팅(Ni 5Al)은 부품 및 합금의 치수복원 및 Build up을 위한 수리에 사용한다. 고온에서 코팅의 부식 저항성이 높고 산화에 대한 저항성이 좋아 세라믹 또는 마모용 Bond 코팅으로 많이 사용한다. 코팅 Spray Parameter는 Flame, Plasma, Electronic Arc Wire를 열원으로 사용 한다

장비 제작사이며 Powder 제작사인 METCO사의 450NS 코팅 분말을 사용하였으며 Starting Parameter를 설정 후 부품의 형상과 작업 위치에 따라 Parameter를 수정하였음

(가) 코팅 시험

- 0.060 inch(1.52mm) 두께를 가지는 시편과 적용 부품을 0.003-0.020 인치의 코팅 두께에 대해서 미세조직시험, 인장시험, 경도시험을 수행하여 코팅품질을 검증 함

표 49 450-NS Plasma Starting Parameter

Spray 장비	Gun	Type	9MB
	Nozzle		GH-732
	Injector Type		No.2
Power	Direct Current	A	64
	Recorded Voltage	V	500
Plasma Gas	Argon Flow, Ar	SCFH	96
	Hydrogen Flow, H2		20
Powder Feeder	Carrier Gas	Type	Argon
	Carrier Gas Flow	SCFH	13.5
Feed Rate		g/min	68
Distant		inch	4-7.25
Substrate Cooling		Type	Air

(나) 코팅 품질 기준

① GE90 C07-016 CL A 품질기준

표 50 C07-016 품질 기준 (GE90)

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides	존재량(그림 참조)
	Porosity	존재량(그림 참조)
인장시험 (psi)	코팅 두께 (0.015 인치)	최소 5,000 최소 4,000

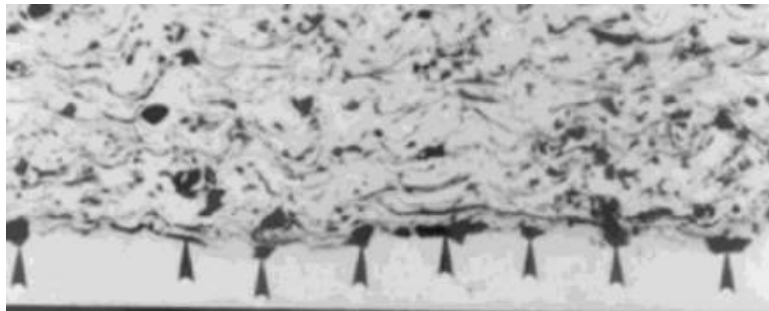


그림 95 Interface Contamination (200X)

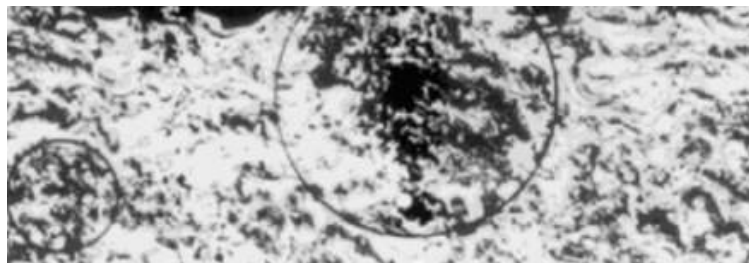


그림 96 Oxide (200X)

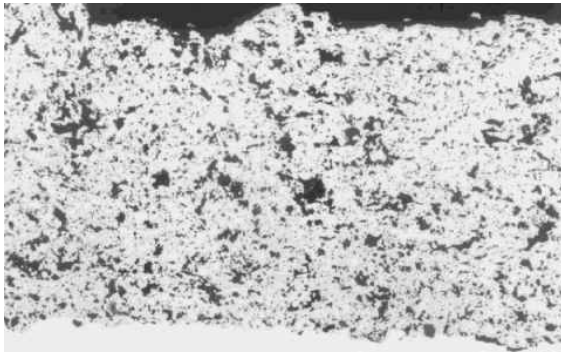


그림 97 Porosity (200X)

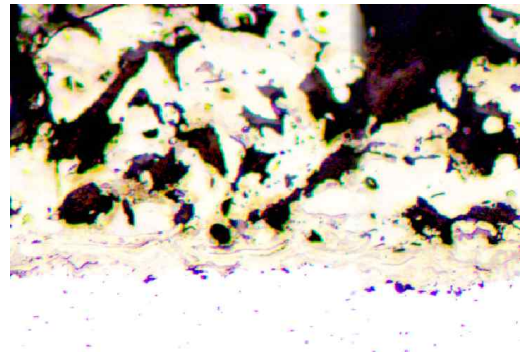


그림 98 C07-016 Class A 미세 조직

② P&W PWA 53-37 품질기준

- 코팅 두께는 0.003 - 0.025 인치 Build up 코팅, 0.002-0.007 인치의 두께로 Bond 코팅에 사용

표 51 PWA 53-35 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	존재량(그림 참조)
	Unmelt	15%
	Porosity	15%
인장시험 (psi)	-	최소 5,000

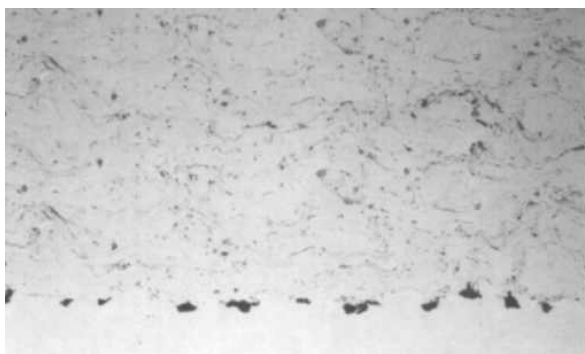


그림 99 Interface Contamination (PW)

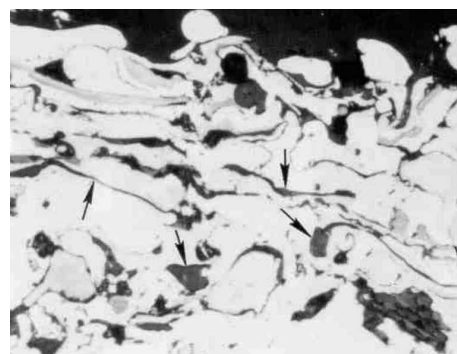


그림 100 Oxide

분류	개수	% 개수	합계, $\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^2$	% 합계	격제 면적, $\mu\text{m}^2/\mu\text{m}^2$	% 면적	역면적%
미분류	7,000	100.000	1219.045	100.000	1219.045	3.774	96.225

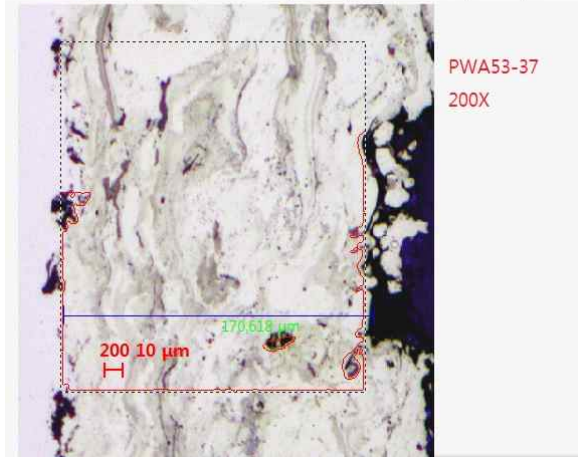


그림 101 PWA53-37 미세조직시험- Porosity



그림 102 PWA 53-37 미세 조직 사진

(다) 엔진 부품 수리 적용

450NS 코팅은 연마 코팅 및 Bond 코팅으로 많이 사용하는 것으로 CFM56-7B 엔진 부품은 601NS 코팅의 본드 코팅용으로 LPC Booster Vane Assy 외 1건 및 연마코팅용으로 OIL Separator Ring 1건을 개발 완료 하였으며, GE90 엔진 부품은 308NS(니켈-그라파이트) 코팅의 본드 코팅으로 No 5 Bearing Sump Cover외 1건에 적용하여 개발 하였다

표 52 CFM56-7B CP6007/ CP6010 코팅 수리 실적

부품명	부품번호	2016년 개수	2017년 개수	총 개수
LP Booster Vane Assembly	340-001-308-0	10	8	18
	340-058-302-0			
	340-058-402-0			
Oil Separator Ring	305-396-306-0	2	0	2
Low Pressure Turbine Forward Rotating Oil Seal	336-013-101-0	3	2	5
No. 4 Bearing Forward Rotating Oil Seal	336-009-801-0	1	1	2

◦ CFM56-7B LPC Booster Vane Assy -Thermal Spray 수리



그림 103 코팅 Area- Masking

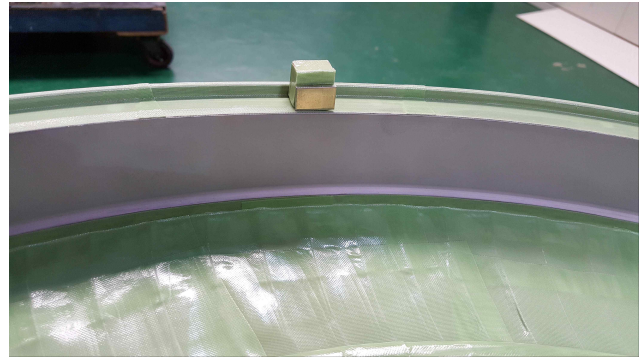


그림 104 코팅 전 시편 장착 모습

- ① 손상부위에 대해서 기계가공으로 제거
- ② 부품세척
- ③ 비파괴 검사 (Spot- Fluorescent Penetrant Inspection)
- ④ 코팅 Area 마스킹 및 코팅 시편 장착
- ⑤ 코팅 용사 및 시편 품질 시험 (CP6007, CP6010)
 - 미세조직시험
 - 매크로 경도 측정 Top Coating 50-80 HR15Y
 - 인장 시험
- ⑥ 치수 복원을 위한 기계가공
- ⑦ Final Inspection

표 53 GE90 알루미늄 니켈 크롬 합금 코팅(NiCrAl) 코팅 수리 실적

부품명	부품번호	2016년 개수	2017년 개수	총 개수
No 5 Bearing Cover Sump	1963M30G01	1	6	7
No 4 Bearing AFT Rotating Seal	1962M75P02	0	2	2

◦ GE90 No 5 Bearing Cover Sump - NICKEL-GRAPHITE COATING REPLACEMENT 수리

- ① 손상부위에 대해서 기계가공으로 제거
- ② 부품세척
- ③ 비파괴 검사 (Spot- Fluorescent Penetrant Inspection)
- ④ 코팅 Area 마스킹 및 코팅 시편 장착

표 54 No 5 Bearing Cover Sump - Nickel/Graphite 코팅 마스크링 모습



⑤ 코팅 용사 및 시편 품질 시험

(C07-016 Bond 코팅/ 0.004-0.008인치, C07-015 Top 코팅)

- 미세조직시험
- 매크로 경도 측정
- 인장 시험

⑥ 치수 복원을 위한 기계가공

⑦ Final Inspection

◦ No 4 Bearing AFT Rotating Seal - 주요 수리 절차

① Part Cleaning

② 코팅 Area에 대해서 기존 코팅 제거 (기계 Machine)

③ 비파괴 검사 (Spot- Fluorescent Penetrant Inspection)

④ 코팅 Area 마스크링 및 코팅 시편 장착

⑤ 코팅 용사 및 시편 품질 시험

(C07-016 Bond 코팅/ 0.004-0.008인치, C07-015 Top 코팅)

- 미세조직시험
- 매크로 경도 측정
- 인장 시험

⑥ 치수 복원을 위한 Machine

⑦ Final Inspection

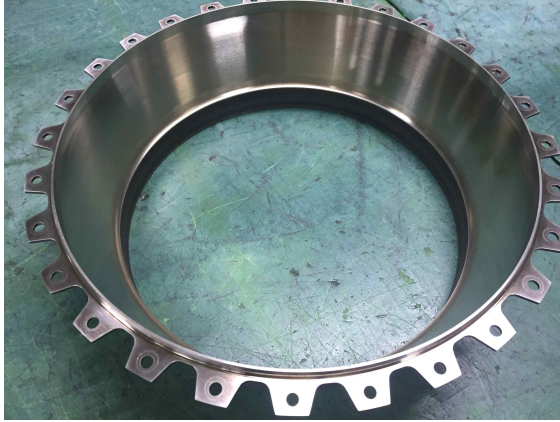


그림 107 GE90 No4 Bearing AFT Rotating Seal



그림 108 GE90 No4 Bearing AFT Rotating Seal- Seal Land 마모



그림 109 Plasma Spray Coating 전 Masking 및 인장시험 시편

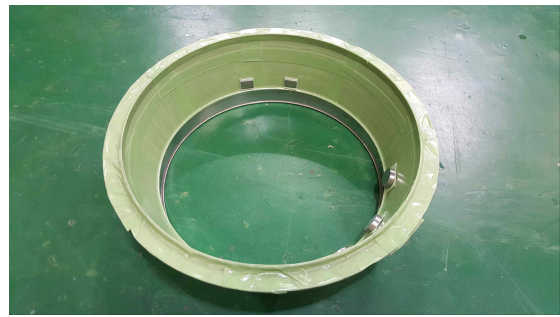


그림 110 Plasma Spray Coating 전 Masking 및 미세조직 시편

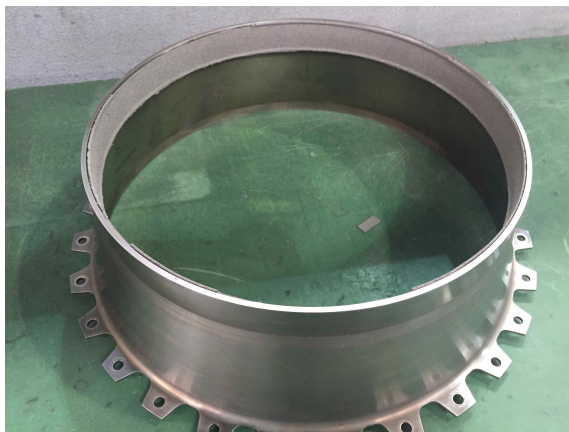


그림 111 308NS 코팅 후 사진 (1)

그림 112 308NS 코팅 후 사진(2)

(8) Aluminum-Nickel Chromium Composite Powder 코팅의 제작사 SPEC 코팅

표 55 Aluminum-Nickel Chromium Composite Powder 코팅의 제작사 SPEC

P&W SPEC	CFM SPEC	GE90 SPEC	METCO Spec
PWA 53-47	CP6006	C07-022	443NS

알루미늄 니켈 크롬 합금 코팅(NiCrAl)은 용사 시 발열 반응을 일으켜 비발열성 물질 보다 훨씬 균일하고 입자간의 접착력이 우수한 코팅 특성을 갖는다. Plasma를 열원으로 사용하며 고온에서 코팅의 부식 저항성이 높고 산화에 대한 저항성이 좋아 세라믹 코팅재의 Bond 코팅 또는 니켈 합금 또는 부식 방지된 강철의 부적절한 기계 가공된 부위나 마모에 대해 복원하는데 사용한다.

장비 제작사이며 Powder 제작사인 METCO사의 443NS 코팅 분말을 사용하였으며 Starting Parameter를 설정 후 부품의 형상과 작업 위치에 따라 Parameter를 수정하였음

(가) 코팅 시험

- 0.060 inch(1.52mm) 두께를 가지는 시편과 적용 부품을 0.003-0.020 인치의 코팅 두께에 대해서 미세조직시험, 인장시험, 경도시험을 수행하여 코팅품질을 검증 함

표 56 443NS Plasma Starting Parameter

Spray 장비	Gun	Type	9MB
	Nozzle		GH-732
	Injector Type		No.2
Power	Direct Current	A	71
	Recorded Voltage	V	500
Plasma Gas	Argon Flow, Ar	SCFH	96
	Hydrogen Flow, H2		27
Powder Feeder	Carrier Gas	Type	Argon
	Carrier Gas Flow	SCFH	13.5
Feed Rate		g/min	60
Distant		inch	5-6
Substrate Cooling		Type	Air

(나) 코팅 품질 기준

① GE90 C07-022 품질기준

표 57 C07-022 품질 기준 (GE90)

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides	존재량(그림 참조)
	Porosity	존재량(그림 참조)
인장시험 (psi)	코팅 두께 (0.015 인치)	최소 5,000 최소 4,000

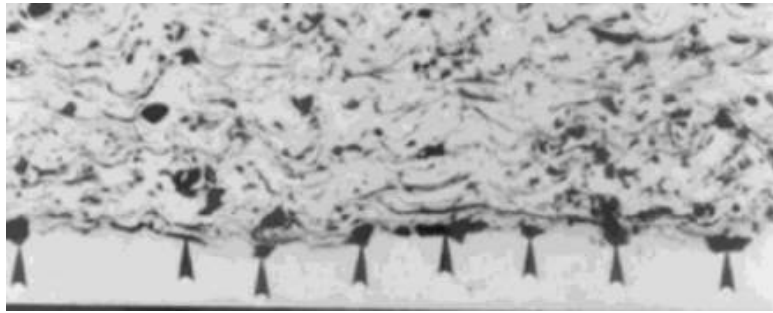


그림 113 Interface Contamination

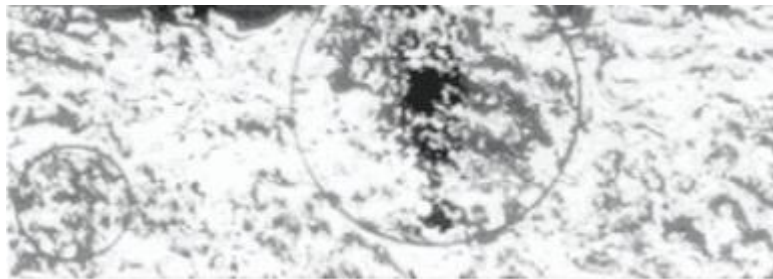


그림 114 Oxide Content - Not Accept

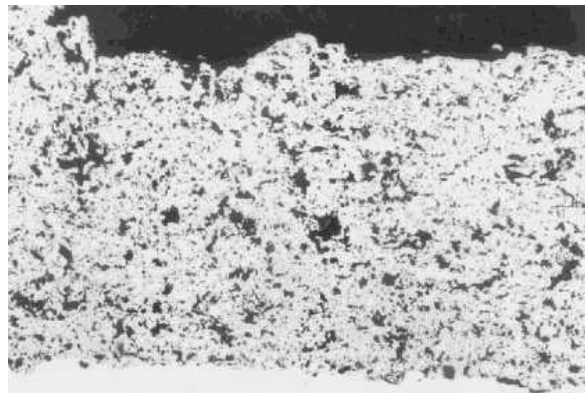


그림 115 Porosity

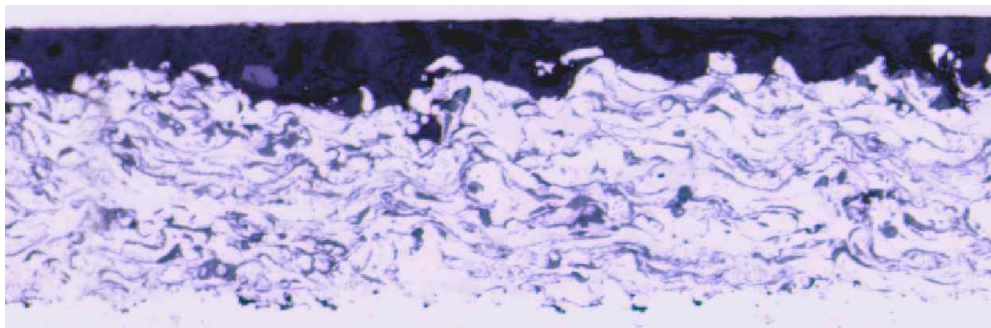


그림 116 C07-022 미세 조직 검사 사진

시험 성적서 Test Report			
성적서 번호 Report No	PC16-1212-107	채취 일자 Sample Date	2016.12.12
시료명 Specimen Name (Sleeve-Air Oil)	Plasma Coating Specimen	접수 일자 Receipt Date	2016.12.12
의뢰 부서 Client Shop	SELMECB	시험 일자 Test Date	2016.12.13
Test Results			
W/O No	E17667919	Operator	한 동 기 / 9206901
OP No	70	Coating Spec	C07-022
		Coating Powder Lot No	W84456 (METCO 443 NS)
Microstructure Test (Material Microscope/A.N : MG00022295)			
Test Item	Limit	Result	Remark
Porosity	Less than or equal to V-1	V-1	Figure 25
Oxides	Uniformly distributed	Uniformly distributed	Figure 6
Oxide Clusters	None allowed	Free of oxide clusters	In case of figure 6 view X-3 is reject
Interface Contamination	Less than or equal to I-2	I-1	Figure 7
Interface Separation	None allowed	Free of interface separation	
Transverse Cracks	None allowed	Free of transverse cracks	
Delamination	None allowed	Free of delamination	
Bond strength tensile testing (UTM /A.N : MG00022308)			
Tensile Test (Average)	Min 5 000 psi	9 996 psi	9 643, 10 763, 9 384 (psi)
End			
Test Result : Pass			
시험근거 Ref To	GE90 SPM 70-49-21, SPM70-71-01	시험자 Tested By	이 용 구 8/305152 이 용 구
정비품질시험팀장 Team Manager, Laboratories Team, QA, Korean 1. 본 시험성적서는 제조자가 제시한 시료(제품)에 대한 시험결과이며, 시험위원회의 승인 없이도 수정(재발행)할 수 없음 (The test results contained in this test report refer only to the specimen(sample) that is provided by the applicant, and this report shall not be amended (reproduced) without written approval of laboratory manager.) 2. 본 시험성적서는 시험위원회의 사전 서면승인 없이 출판, 배포, 광고 및 수송물 등으로 사용 할 수 없음. (This test report shall not be used for publicity, propagation, advertisement, and litigation without written approval of laboratory manager.)			
EAL-MA-746(A)		1 of 1	
등록일 2019.09.16		개원일자 2009.09.01	

그림 117 C07-022 코팅 시험성적서

② CP6006 품질기준

표 58 CP6006 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	Oxide cluster
	Unmelt	15%
	Porosity	15%
인장시험 (psi)	-	최소 4,350

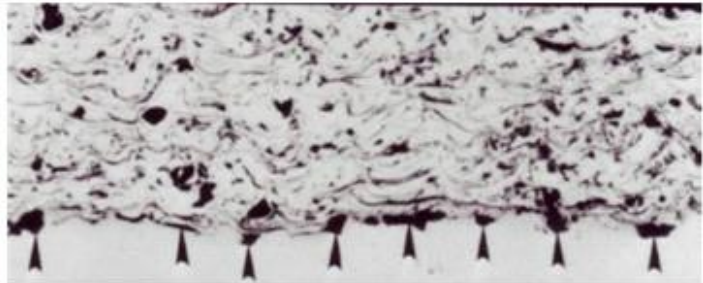


그림 118 Interface Contamination (Fine, Coarse)

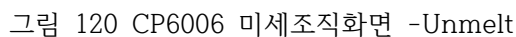


그림 121 CP6006 코팅 시험성적서

- 코팅 두께는 Build Up 0.003 - 0.025 인치, Bond 코팅 0.002 -0.015 인치

표 59 PWA 53-47 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	존재량(그림 참조)
	Unmelt	15%
	Porosity	15%
인장시험(psi)	-	최소 4,500

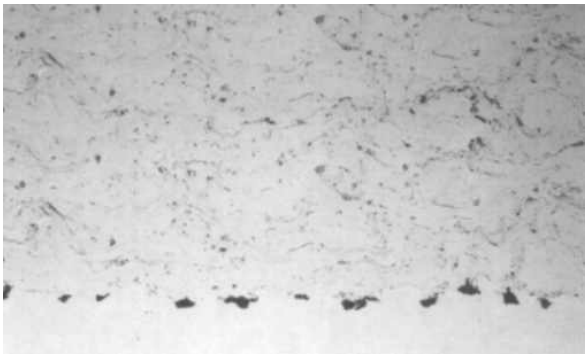


그림 122 Interface Contamination (PW)

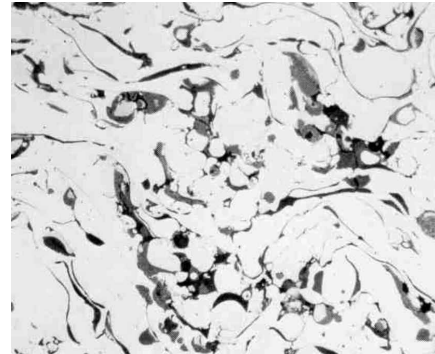


그림 123 Oxide (PW)

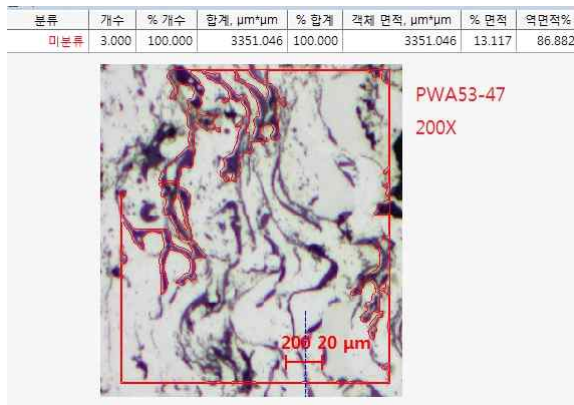


그림 124 미세조직시험 - Porosity

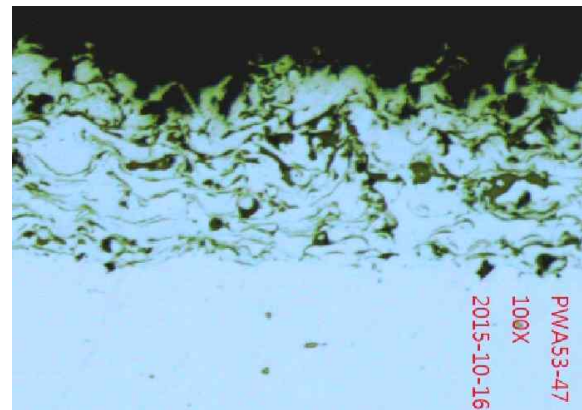


그림 125 미세 조직 시험

(다) 엔진 부품 수리 적용

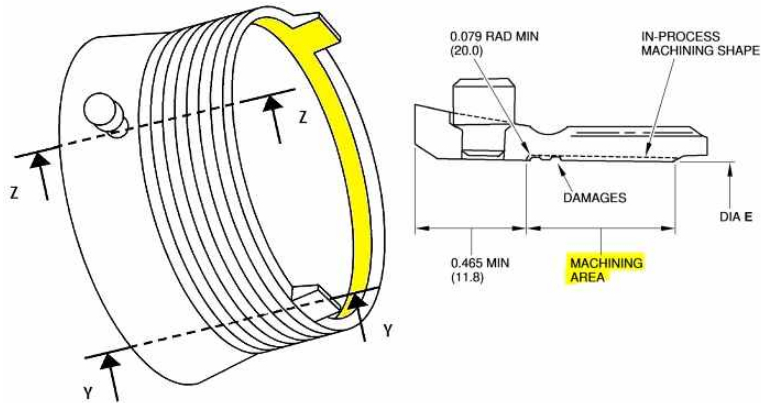
2016년부터 Metco 443NS 코팅 적용 GE90 Part인 Threaded Sleeve 외 1개 부품을 수리 개발 완료하여 총 22개 수리 완료 하였으며, CFM56-7B

표 60 GE90 알루미늄 니켈 크롬 합금 코팅(NiCrAl) 코팅 수리 실적

부품명	부품번호	2016년 개수	2017년 개수	총 개수
-----	------	-------------	-------------	---------

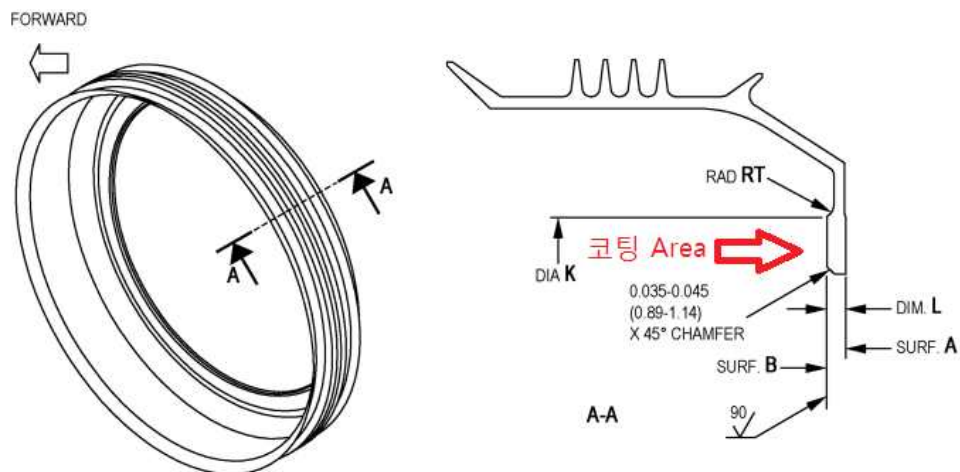
Threaded Sleeve	1767M11G01	4	3	7
HPT Inner Sump Seal	1865M36P01	0	1	1

◦ GE90 the Threaded Sleeve - Inner Diameter Thermal Spray 수리



- ① 손상부위에 대해서 기계가공으로 제거
- ② 부품세척
- ③ 비파괴 검사 (Spot- Fluorescent Penetrant Inspection)
- ④ 코팅 Area 마스킹 및 코팅 시편 장착
- ⑤ 코팅 용사 및 시편 품질 시험
- ⑥ 치수 복원을 위한 기계가공
- ⑦ Final Inspection

◦ GE90 HPT Inner Sump Seal - Inner Diameter Thermal Spray 수리



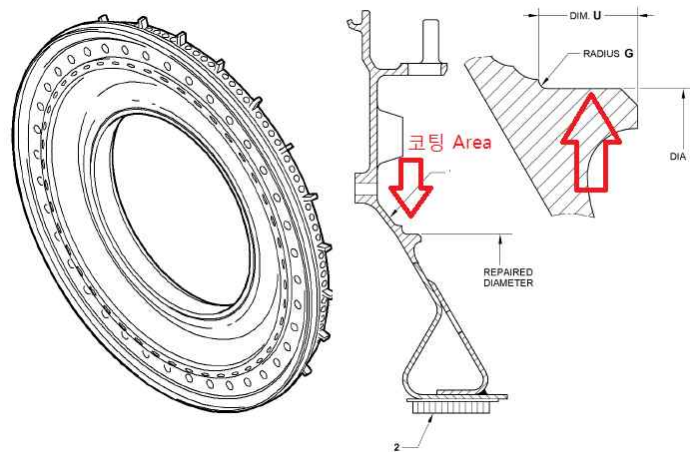
- ① 손상부위에 대해서 기계가공으로 제거
- ② 부품세척
- ③ 비파괴 검사 (Spot- Fluorescent Penetrant Inspection)
- ④ 코팅 Area 마스킹 및 코팅 시편 장착
- ⑤ 코팅 용사 및 시편 품질 시험

- 미세조직시험
- 인장시험
- ⑥ 치수 복원을 위한 기계가공
- ⑦ Final Inspection

표 61 CFM56-7B 알루미늄 니켈 크롬 합금 코팅(NiCrAl) 코팅 수리 실적

부품명	부품번호	2016년 개수	2017년 개수	총 개수
LPT Stage 1 Front Flange	338-111-051-0	1	0	1

◦ CFM567B LPT Stage 1 Front Flange - Inner Diameter Thermal Spray 수리



- ① 손상부위에 대해서 기계가공으로 제거
- ② 부품세척
- ③ 비파괴 검사 (Spot- Fluorescent Penetrant Inspection)
- ④ 코팅 Area 마스킹 및 코팅 시편 장착
- ⑤ 코팅 용사 및 시편 품질 시험
 - 미세조직시험
 - 마이크로 경도 측정 190HV0.3
 - 인장 시험
- ⑥ 치수 복원을 위한 기계가공
- ⑦ Final Inspection

(9) Copper-Nickel Powder 코팅의 제작사 SPEC 코팅

표 62 Copper-Nickel Powder 코팅의 제작사 SPEC

P&W SPEC	CFM SPEC	GE90 SPEC	METCO Spec
PWA 53-69	-	C07-013	57-NS
	CP6003	C07-020	58-NS

57-NS는 구리-니켈 코팅(Cu38Ni)으로 구성되며, 58-NS는 구리-니켈-인듐 코팅(Cu 36Ni 5 In)으로 구성 되어 있음

표면의 마모를 보호하는 코팅으로 Plasma 열원을 이용한 코팅으로 터빈 블레이드 Root 또는 Disk Slot, 압축기 Airseal 부분의 마모 방지에 주로 사용

장비 제작사이며 Powder 제작사인 METCO사의 57-NS, 58-NS 코팅 분말을 사용하였으며 Starting Parameter를 설정 후 부품의 형상과 작업 위치에 따라 Parameter를 수정하였음

(가) 코팅 시험

- 0.060 inch(1.52mm) 두께를 가지는 시편과 적용 부품을 0.003-0.020 인치의 코팅 두께에 대해서 미세조직시험, 인장시험, 경도시험을 수행하여 코팅품질을 검증 함

표 63 57-NS/58-NS Plasma Starting Parameter

Spray 장비	Gun	Type	9MB
	Nozzle		GE-731
	Injector Type		No.2
Power	Direct Current	A	450
	Recorded Voltage	V	74
Plasma Gas	Argon Flow, Ar	SCFH	100
	Hydrogen Flow, H2		20
Powder Feeder	Carrier Gas	Type	Argon
	Carrier Gas Flow	SCFH	12
Feed Rate		g/min	45
Distant		inch	2.5
Substrate Cooling		Type	Air

(나) 코팅 품질 기준

① GE90 C07-013/C07-020 품질기준

표 64 C07-013, C07-020 품질 기준 (GE90)

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Unmelt	존재량(그림 참조)
	Oxides	존재량(그림 참조)
	Porosity	존재량(그림 참조)
인장시험(psi)	코팅 두께	최소 2,900 (C07-013) 최소 2,900 (C07-020)

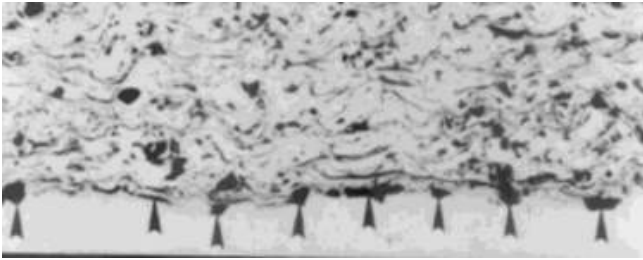


그림 129 Interface Contamination

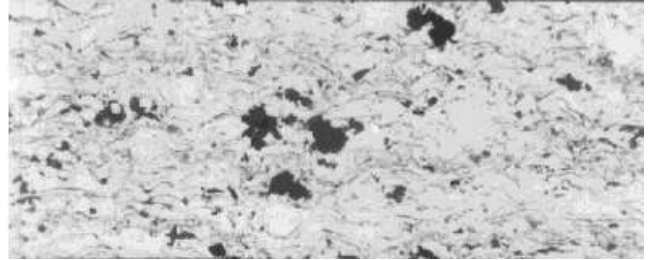


그림 130 Porosity

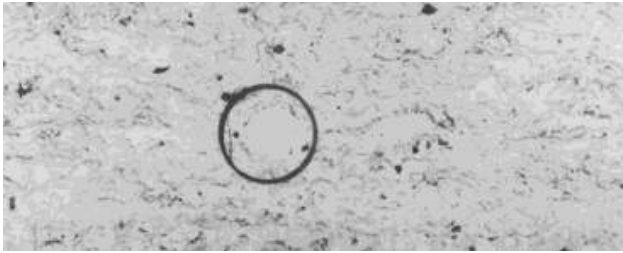


그림 131 Unmelt

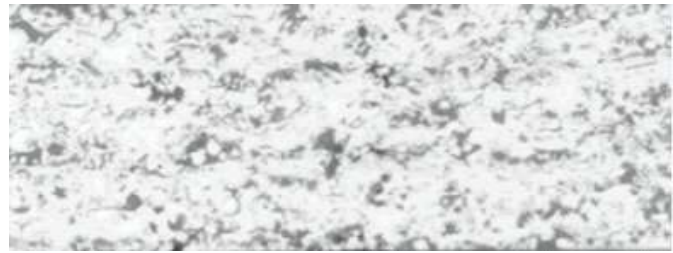


그림 132 Oxide

② P&W PWA 53-69 품질기준

- 코팅 두께는 부품별 요구 된 두께로 적용하며 Blade 뿌리 것의 Gallling을 방지하기 위해 사용
- 표 65 PWA 53-47 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	존재량(그림 참조)
	Unmelt	15%
	Porosity	Massive Porosity - 불허
인장시험(psi)	-	최소 5,500
경도	HV	130 - 300

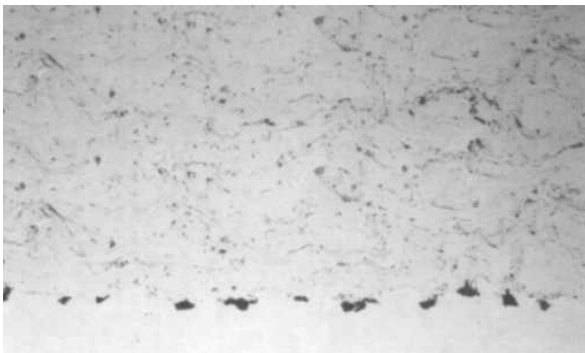


그림 133 Interface Contamination (PW)

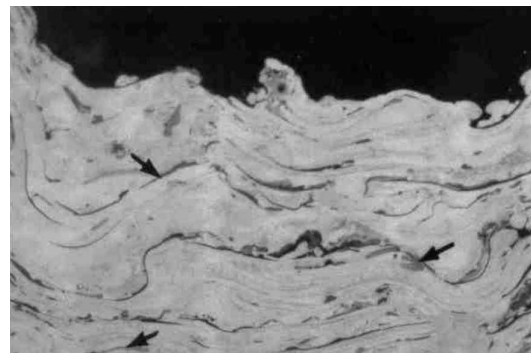


그림 134 Oxide

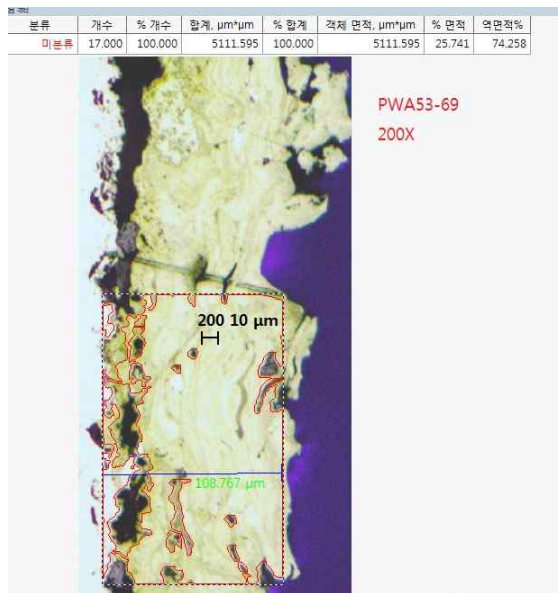


그림 135 미세 조직시험 - Porosity

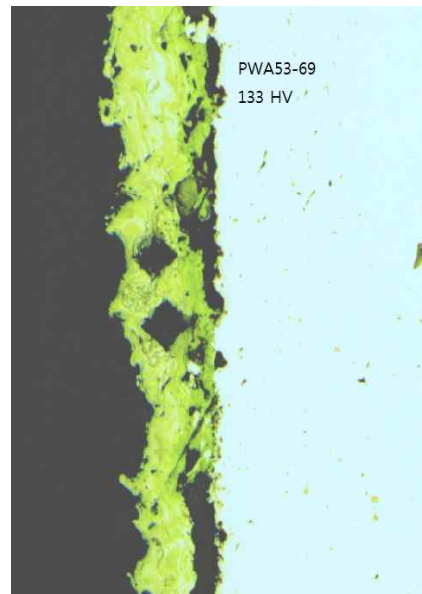


그림 136 마이크로 경도시험- HV

(10) Aluminum Bronze Alloy Thermal Spray Powder 코팅의 제작사 SPEC 코팅

Aluminum Bronze 합금은 엔진 부품의 표면의 마모 또는 손상에 대해 복원하는 코팅으로 사용하며 용사코팅 재료로 분말가루(Powder)또는 와이어(Wire)를 사용함

Aluminum Bronze 코팅은 열원으로 Frame, Plasma Arc Spraying 또는 Electric Arc Wire를 사용 가능하나 엔진 부품에서는 플라즈마 Arc Spray를 이용한 코팅

표 66 Aluminum Bronze Alloy Thermal Spray Powder 코팅의 제작사 SPEC

P&W SPEC	CFM SPEC	GE90 SPEC	METCO Spec
PWA 53-78	CP6011	C07-023	51F-NS

* 화학성 성분: Cu 9.5Al 1Fe or Cu 10Al

(가) 코팅 시험

Aluminum Bronze 코팅 Spray Parameter는 Plasma 장비 제작사이며 Powder 제작사인 Metco의 51F-NS Starting Parameter를 설정 후 부품의 형상과 작업 위치에 따라 Parameter를 수정하였음

표 67 51F-NS -9MB Air Plasma Starting Parameter

Spray 장비	Gun	Type	9MB
	Nozzle		GE-731
	Injector Type		No.1
Power	Direct Current	A	350
	Recorded Voltage	V	72
Plasma Gas	Argon Flow, A	SCFH	150
	Hydrogen Flow, H2		16
Powder Feeder	Carrier Gas	Type	Argon
	Carrier Gas Flow	SCFH	12
Feed Rate		g/min	60
Distant		inch	3-5
Substrate Cooling		Type	Air

0.060 inch(1.52mm) 두께의 코팅 시편과 적용 부품을 동시에 Aluminum Bronze 코팅을 분사 하였으며 미세조직시험과 인장시험을 수행하여 코팅품질검사를 수행함

(나) 코팅 품질 기준

① GE90 C07-023 품질기준

표 68 C07-023 품질 기준 (GE90)

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides	존재량(그림 참조)
	Porosity	존재량(그림 참조)
인장시험 (psi)	-	최소 2,000

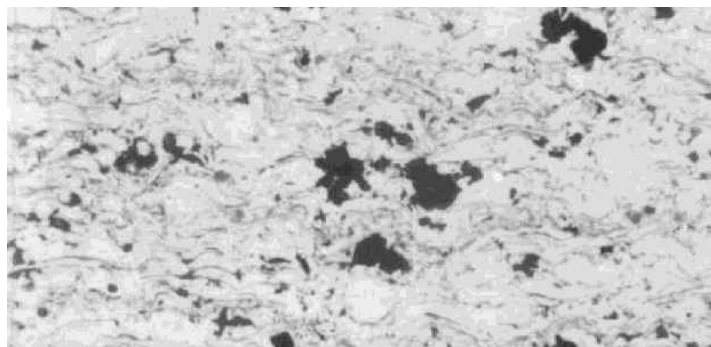


그림 137 Porosity 기준

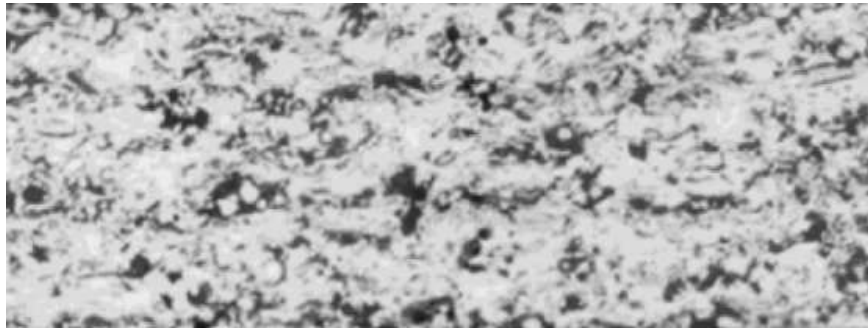


그림 138 Oxide Content 기준 (200X)

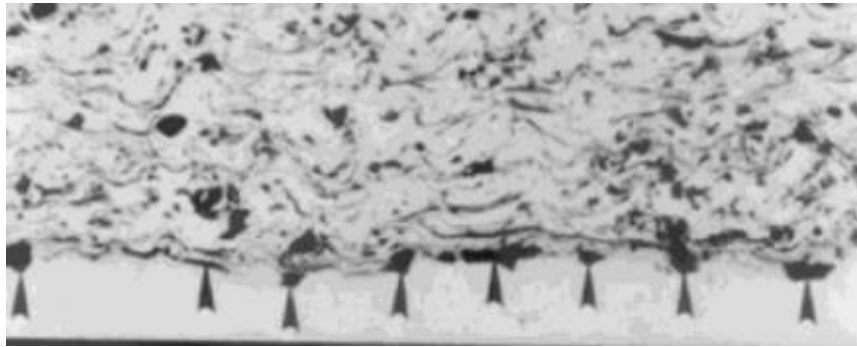


그림 139 Interface Contamination 기준 (200X)

② CP6011 품질기준

표 69 CP6011 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	Porosity를 포함한 Oxide, Oxide cluster - 불허
	Unmelt	5%
	Porosity	5%
인장시험 (psi)	-	최소 2,000

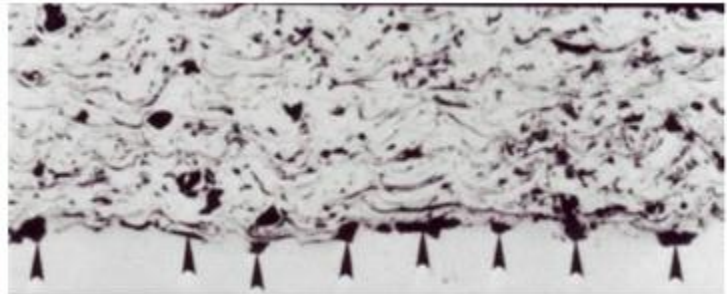


그림 140 Interface Contamination (Fine, Coarse)

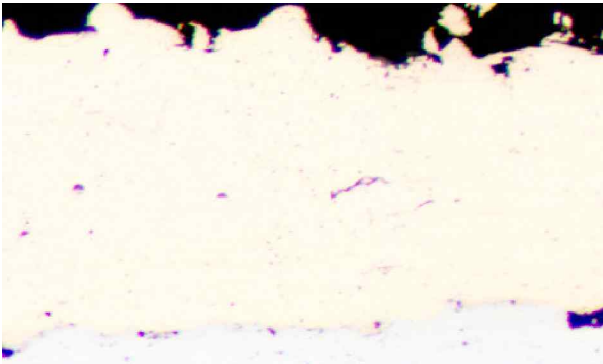


그림 141 CP6011 미세조직 검사

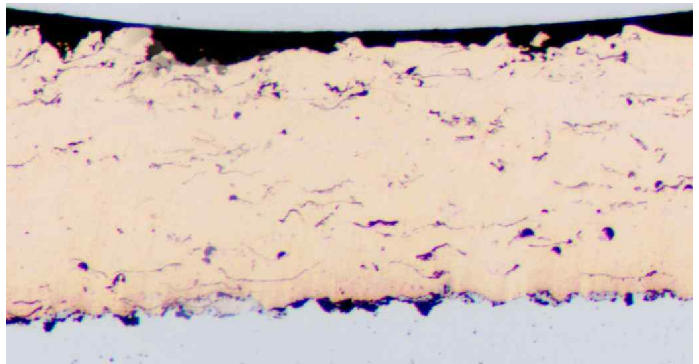


그림 142 CP6011 Interface Contamination Fail

③ P&W PWA 53-78 품질기준

- 코팅 두께는 부품별 요구 된 두께로 적용하며 마모에 강한 코팅으로 사용

표 70 PWA 53-78 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	35% (그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	존재량(그림 참조)
	Unmelt	15%
	Porosity	Massive Porosity - 불허
인장시험 (psi)	-	최소 5,000

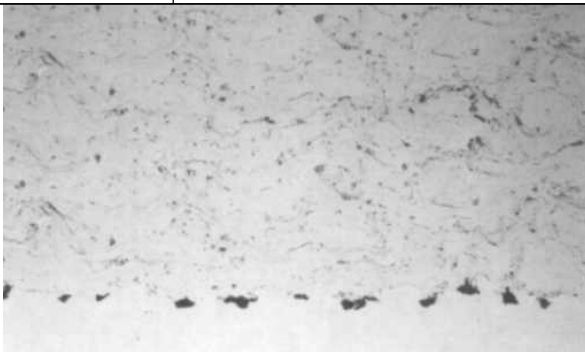


그림 143 Interface Contamination

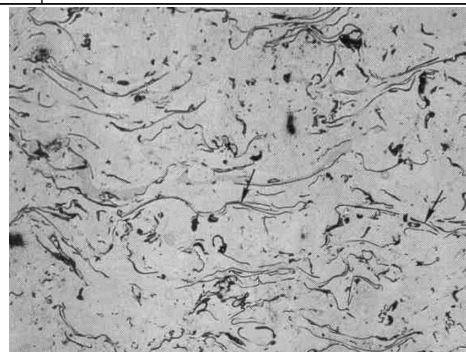


그림 144 Oxide

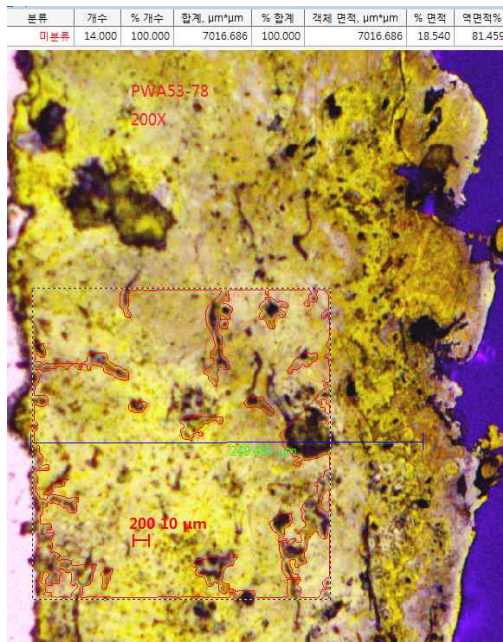


그림 145 PWA53-78 Porosity

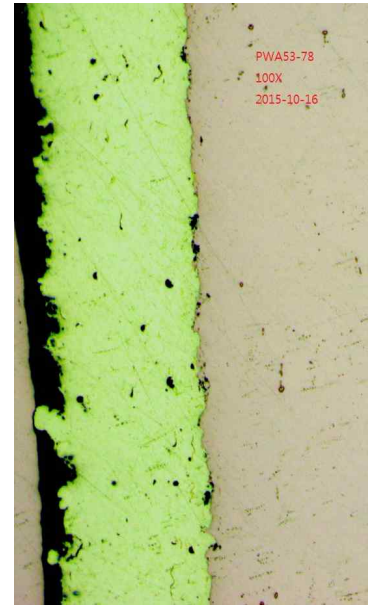


그림 146 PWA53-78
미세조지검사

(다) 엔진 부품 수리 적용

51F-NS 마모에 강한 코팅으로 CFM56-7B 엔진 부품 HPC Vane Sectors - Outer Platform 마모에 치수 복원하는 코팅으로 개발 완료하였다

표 71 CFM56-7B CP6011 코팅 수리 실적

부품명	부품번호	2016년 개수	2017년 개수	총 개수
Stage 5,6,7,8 Vane Sector	P244G07	4	17	21
	P244G08			
	P244G05			
	P256G01			
	P258G02			
	P257G03			
	P258G01			
	P265G04			
	P258G03			

◦ CFM56-7 Compressor Rear Stator Vane Sectors - Thermal Spray 수리

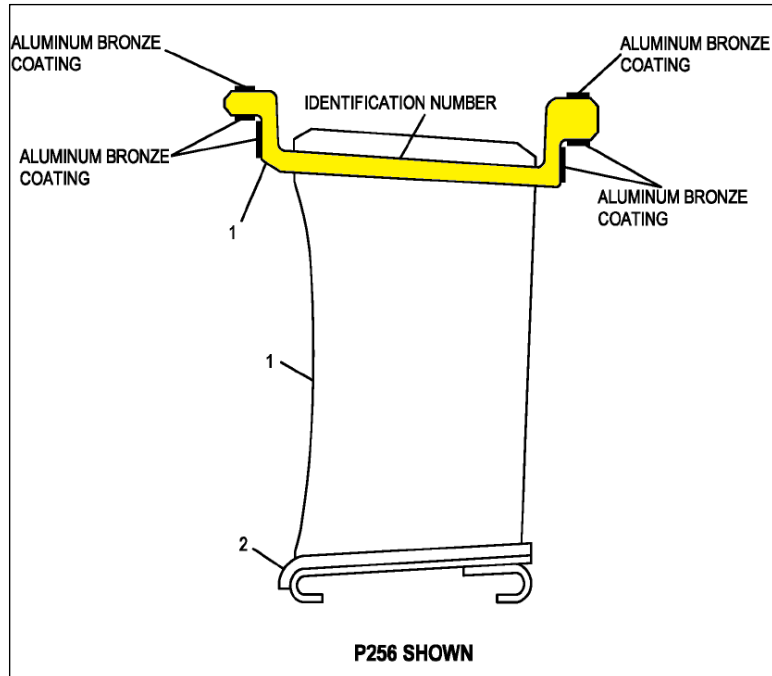


그림 147 Compressor Rear Stator Vane Sector - Outer Platform Coating

- ① 손상부위에 대해서 코팅 부위 Chemical 이용 제거
- ② 부품세척
- ③ 코팅 Area 마스킹 및 코팅 시편 장착
- ④ 코팅 용사 및 시편 품질 시험 (CP6011)
 - 미세조직시험
 - 인장 시험

시험 성적서 Test Report			
성적서 번호 Report No	: PC17-0316-40	채취 일자 Sample Date	: 2017.03.15
시 료 명 Specimen Name	: Plasma Coating Specimen (VANE SECTOR-6 STG)	접수 일자 Receipt Date	: 2017.03.16
의뢰 부서 Client Shop	: SELMECB	시험 일자 Test Date	: 2017.03.20
Test Results			
W/O No : E 18398302 / E18398316		Operator : 김 태 화 / 9108890	
OP No : 30	Coating Spec : CP6011	Powder Lot No : W87580 (Metco 51FNS)	
Microstructure Test (Material Microscope/A.N : MG00022295)			
Test Item	Limit	Result	Remark
Porosity	Max 5 %	2%	
Unmelted Particle	Max 5 %	2%	
Interface Contamination	Max 25 %	10%	Length of specimen in case of fine
	Max 30 %	20%	Length of specimen in case of coarse
Oxides and oxide clusters	Oxide clusters are unacceptable	Free of oxide and oxide clusters	Must be uniformly distributed
Transverse Cracks	Must be free	Free of crack	
Interface separation	Must be free	Free of interface separation	
	Max 0.010 inch	0.000 inch	Out of corner of the coated specimen
Delamination	Must be free	Free of delamination	
Coating Tensile Bond Testing(UTM /A.N: MG00022308)			
Tensile Bond Test (Average)	Min 2 000 psi	6 309 psi	7 510, 5 746, 5 673 (psi)
Test Result : Pass			
시험근거 Ref To	CFM56 SPM 70-48-04, Rev No: 87 CFM56 SPM 70-48-03, Rev No: 87 W/O No : E 18398302 / E18398316	시험자 Tested By	이 용 구 
정비 품질 시험팀장 Team Manager, Laboratories Team, QA, Korean Air 1. 본 시험성적서는 의뢰자가 제시한 시료(제품)에 대한 시험결과이며, 시험팀장의 승인 없이는 수정(재발행)할 수 없습니다. (The test results contained in this test report refer only to the specimen/sample that is provided by the applicant, and this report shall not be amended (re-produced) without written approval of laboratory manager.) 2. 본 시험성적서는 시험팀장의 사전 서면동의 없이 홍보, 전파, 광고 및 소송등으로 사용 할 수 없습니다. (This test report shall not be used for publicity, propagation, advertisement, and litigation without written approval of laboratory manager.)			
KAL-MA-746(A) 등록일: 1999.09.16	1 of 1	210mmX297mm 개정일자: R7/2009.09.01	

⑤ Final Inspection

(11) Aluminum Silicon Polyester Powder 코팅의 제작사 SPEC 코팅

AlSi-Polymer Powder는 연마코팅으로 마찰성능이 우수하여 저온 간격 제어 적용에 사용하는 마모방지 코팅으로 Plasma Spray Coating을 열원으로 항공기 터빈엔진 저압압축기에 사용

* 화학성 성분: Al Base, 7 Si, 40 Polyester

표 72 Aluminum Silicon Polyester Powder 코팅의 제작사 SPEC

P&W SPEC	CFM SPEC	GE90 SPEC	METCO Spec
-	CP6010	C07-037 Class A	601-NS

(가) 코팅 시험

AlSi-Polymer Powder 코팅 Spray Parameter는 Plasma 장비 제작사이며 Powder 제작사인 Metco의 601-NS Starting Parameter를 설정 후 부품의 형상과 작업 위치에 따라 Parameter를 수정하였음

표 73 601NS -9MB Air Plasma Starting Parameter

Spray 장비	Gun	Type	9MB
	Nozzle		733
	Injector Type		No.2
Power	Direct Current	A	500
	Recorded Voltage	V	42
Plasma Gas	Argon Flow, A	SCFH	175
	Hydrogen Flow, H2		46
Powder Feeder	Carrier Gas	Type	Argon
	Carrier Gas Flow	SCFH	20.5
Feed Rate		g/min	60
Distant		inch	3-3.5
Substrate Cooling		Type	Air

코팅 시편과 적용 부품을 동시에 AlSi-Poly 코팅을 0.060인치(1.52mm) 두께로 분사 하였으며 미세조직시험과 인장시험을 수행하여 코팅품질검사를 수행함

(나) 코팅 품질 기준

- 매크로 경도시험/인장시험 시편은 코팅 두께가 최소 0.080 인치

① GE90 C07-037 품질기준

표 74 C07-037 품질 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Phase	Uniform
인장시험(psi)	-	최소 800
매크로 경도(HRC)	R15Y	65-80

② CP6010 품질기준

표 75 CP6010 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	Porosity를 포함한 Oxide, Oxide cluster - 불허
	Unmelt	5%
	Porosity	5%
인장시험 (psi)	-	최소 2,000

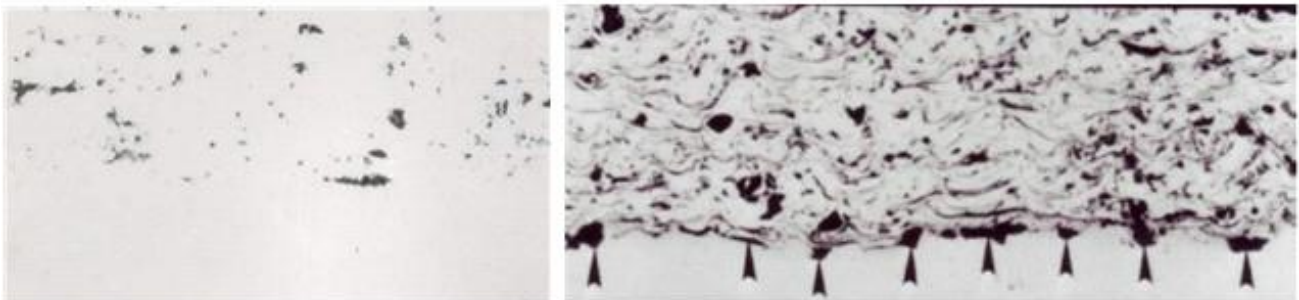


그림 149 Interface Contamination (Fine, Coarse)

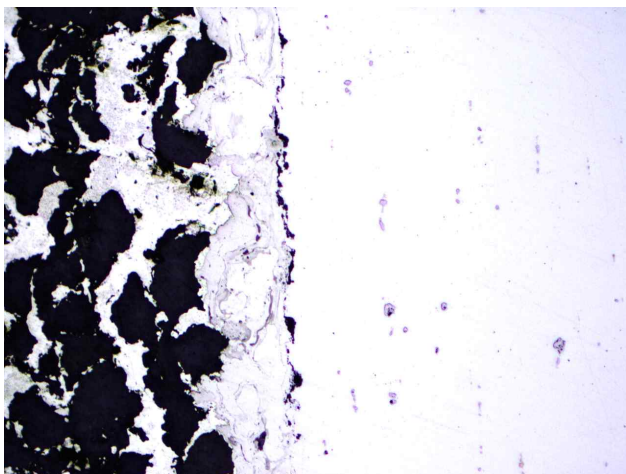


그림 150 CP6010 Interface Contamination

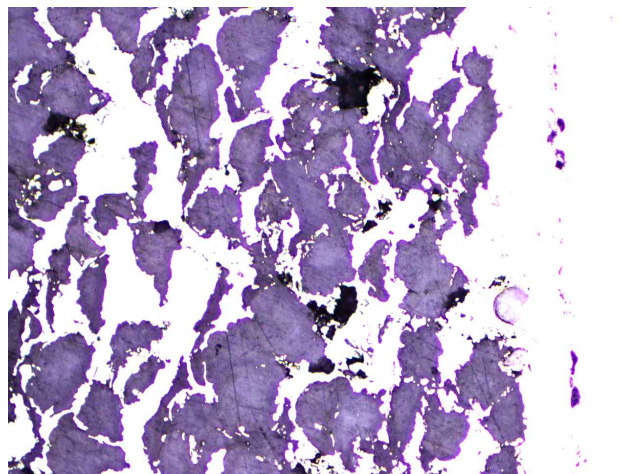


그림 151 CP6010 Porosity

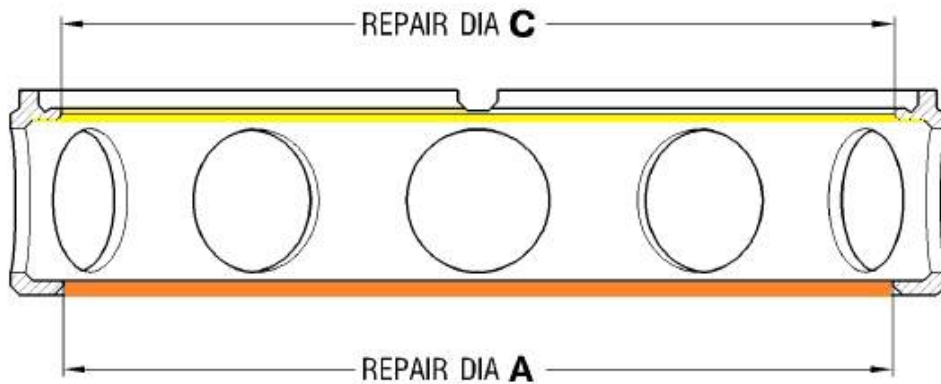
(다) 엔진 부품 수리 적용

601-NS 마모에 강한 코팅으로 CFM56-7B 엔진 부품 LP Booster Vane Assembly - Outer Platform 마모에 치수 복원하는 코팅으로 개발 완료하였다

표 76 CFM56-7B CP6007/ CP6010 코팅 수리 실적

부품명	부품번호	2016년 개수	2017년 개수	총 개수
LP Booster Vane Assembly	340-001-308-0	10	8	18
	340-058-302-0			
	340-058-402-0			
Oil Separator Ring	305-396-306-0	2	0	2
Low Pressure Turbine Forward Rotating Oil Seal	336-013-101-0	3	2	5
No. 4 Bearing Forward Rotating Oil Seal	336-009-801-0	1	1	2

○ CFM56-7B Oil Separator Ring -Thermal Spray 수리



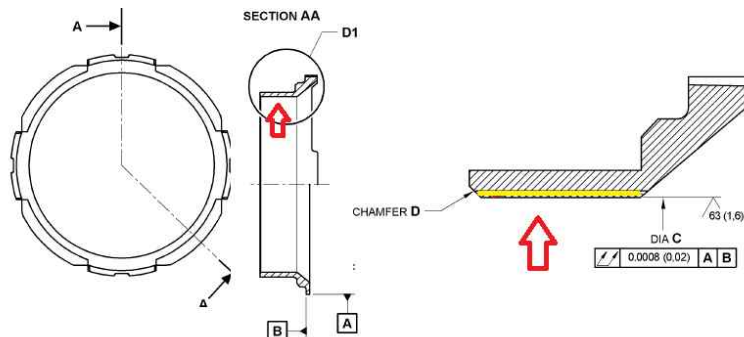
- ① 손상부위에 대해서 기계가공으로 제거
- ② 부품세척
- ③ 비파괴 검사 (Spot- Fluorescent Penetrant Inspection)
- ④ 코팅 Area 마스킹 및 코팅 시편 장착
- ⑤ 코팅 용사 및 시편 품질 시험 (CP6007)
 - 미세조직시험
 - 마이크로 경도 측정 120HV0.3
 - 인장 시험

시험 성적서 Test Report			
성적서 번호 Report No	: PC16-0713-70	채취 일자 Sample Date	: 2016.07.13
시료명 Specimen Name	: Plasma Coating Specimen (RING OIL SEPARATOR)	접수 일자 Receipt Date	: 2016.07.13
의뢰 부서 Client Shop	: SELMECB	시험 일자 Test Date	: 2016.07.14
Microstructure Test Results			
W/O No : E16069184		Operator : 김낙문 (8204092)	
OP No : 40		Coating Spec : CP6007(450NS)	
Microstructure Test (Material Microscope/A.N : MG00022295)			
Test Item	Limit	Result	Remark
Porosity	Max 15 %	5%	
Unmelted Particle	Max 15 %	2%	
Interface Contamination	Max 25 %	10%	Length of specimen in case of fine
	Max 30 %	15%	Length of specimen in case of coarse
Oxides and Oxide clusters	Oxide clusters	Acceptable	In case of oxide clusters is unacceptable
	Oxides	Acceptable	Uniformly distributed
Transverse Cracks	Crack	Acceptable	In case of transverse crack is unacceptable
Interface separation	Max 0.010 inch	0.000 inch	Out corner separation
	Interface separation	Acceptable	In case of interface separation is unacceptable
Delamination	Delamination	Acceptable	In case of delamination is unacceptable
Coating tensile testing(UTM/A.N: MG00022308)			
Tensile Test (Average)	Min 4 350 psi	8 148	8 230, 8 270, 7 945 (psi)
Microhardness Test(Hardness Tester/A.N: MG00022294)			
Microhardness Test	Min 120 HV	144 HV	Average
Test Result : Pass			
시험근거 Ref To	-SPM70-48-04, SPM 70-48-03, ESM72-22-05		시험자 Tested By : 이 용 구
2016.07.14 정비 품질 시험 팀 장 Team Manager, Laboratories Team, QA, Korean Air			
1. 본 시험성적서는 의뢰자가 제시한 시료(샘플)에 대한 시험결과이며, 시험팀장의 승인 없이는 수정(재발행)할 수 없습니다. (The test results contained in this test report refer only to the specimen(sample) that is provided by the applicant, and this report shall not be amended (reproduced) without written approval of laboratory manager.) 2. 본 시험성적서는 시험팀장의 사전 서면동의 없이 홍보, 광고, 판권, 소송 등 목적으로 사용될 수 없습니다. (This test report shall not be used for publicity, propagation, advertisement, and litigation without written approval of laboratory manager.)			
KAL-WA-745(A) 등록일자: 1999.09.16		210mmX297mm 개정일자: R7/2009.09.01	

⑥ 치수 복원을 위한 기계가공

⑦ Final Inspection

◦ CFM56-7B No4 Bearing Rotating Oil Seal -Thermal Spray 수리



- ① 손상부위에 대해서 기계가공으로 제거
- ② 부품세척
- ③ 비파괴 검사 (Spot- Fluorescent Penetrant Inspection)
- ④ 코팅 Area 마스킹 및 코팅 시편 장착
- ⑤ 코팅 용사 및 시편 품질 시험 (CP6007/CP6010)
 - 미세조직시험
 - 매크로 경도 측정 Top Coating 50-80 HR15Y
 - 인장 시험

시험 성적서 Test Report			
성적서 번호 Report No	: PC17-0411-53	채취 일자 Sample Date	: 2017.04.10
시료 명 Specimen Name	: Plasma Coating Specimen (SEAL #4 BRG ROT OIL)	접수 일자 Receipt Date	: 2017.04.11
의뢰 부서 Client Shop	: SELMECB	시험 일자 Test Date	: 2017.04.13
Test Results			
W/O No : E18572594		Operator : 김낙문 / 8204092	
OP No : 50	Coating Spec : CP6007/CP6010	Powder Lot No : W84903(450 NS)/W87664(601 NS)	
Microstructure Test (Material Microscope/A.N : MG00022295)			
Test Item	Limit	Result	Remark
Porosity	Max 15 %	5%	CP6007
	Max 5 %	5%	CP6010
Unmelted Particle	Max 15 %	2%	CP6007
	Max 5 %	2%	CP6010
Interface Contamination	Max 25 %	15%	Length of specimen in case of fine
	Max 30 %	15%	Length of specimen in case of coarse
Oxides and Oxide clusters	Oxide clusters	Acceptable	In case of oxide clusters is unacceptable
	Oxides	Acceptable	Uniformly distributed
Transverse Cracks	Crack	Acceptable	In case of transverse crack is unacceptable
Interface separation	Max 0.010 inch	0.000 inch	Out corner separation
	Interface separation	Acceptable	In case of interface separation is unacceptable
Delamination	Delamination	Acceptable	In case of delamination is unacceptable
Coating tensile testing(UTM/A.N: MG00022308)			
Tensile Test (Average)	Min 800 psi	4 507 psi	4 636, 4 253, 4 632 (psi)
Hardness Test(Hardness Tester/A.N : MG00012812)			
Hardness Test	50 ~ 80 HR15Y	67 HR15Y	Average
Test Result : Pass			
시험근거 Ref To	- CFM56 SPM 70-48-03, Rev No :87 - CFM56 SPM 70-48-04, Rev No :87 - CFM56 SPM 70-31-13, Rev No :87 -W/O No : E18572594		
	시험자 Tested By	이 용 구	
정비 품질시험팀장 Team Manager, Laboratories Team, QA, Korean			
1. 본 시험성적서는 의뢰자가 제시한 시료(샘플)에 대한 시험결과이며, 시험팀장의 승인 없이는 수정(재발행)할 수 없습니다. (The test results contained in this test report refer only to the specimen(sample) that is provided by the applicant, and this report cannot be amended (reproduced) without written approval of laboratory manager.) 2. 본 시험성적서는 시험팀장의 사전 서면동의 없이 출판, 전파, 광고 및 소송용으로 사용 할 수 없습니다. (This test report shall not be used for publicity, propagation, advertisement, and litigation without written approval of laboratory manager.)			
KAL-MA-746(A)		210mmX297mm	
발행일시: 1999.09.16		개정일시: R7/2009.09.01	

- ⑥ 치수 복원을 위한 기계가공
- ⑦ Final Inspection

(12) 75:25 Nickel-Graphite Powder 코팅의 제작사 SPEC 코팅

표 77 Aluminum Silicon Polyester Powder 코팅의 제작사 SPEC

P&W SPEC	CFM SPEC	GE90 SPEC	METCO Spec
PWA75-1	-	C07-014	307NS-3

75니켈-25그라파이트 코팅은 항공기 회전 부품과 회전하지 않은 부품의 간격을 줄여 효율을 좋게 하기 위한 화염 용사 장비(Frame Spray Coating)를 사용하는 Heat Resistant 코팅으로 니켈 합금 및 강철에 마찰시키는 마모성 코팅에 적합하며, 일부는 마모되지 않는 티타늄합금의 마모 방지에 사용

(가) 코팅 시험

307NS-3 코팅 4MP Powder Feeder Frame Spray 장비를 이용하여 Starting Parameter를 설정 후 부품의 형상과 작업 위치에 따라 Parameter를 수정하였음

표 78 307NS-3 Starting Parameter

Spray 장비	Nozzle	Type	P7C-K
Pressure	Oxygen	SCFH	35
	Acetone		15
Flow	Oxygen	SCFH	46
	Acetone		52
Carrier Gas	Type		N ₂
	Carrier Gas Flow	SCFH	37
	Pressure	PSI	55
Feed Rate		RPM	50
Distant		inch	9

0.060인치(1.52mm) 두께의 코팅 시편과 적용 부품을 동시에 307NS-3 코팅을 분사 하였으며 미세조직시험과 인장시험을 수행하여 코팅품질검사를 수행함

(나) 코팅 품질 기준

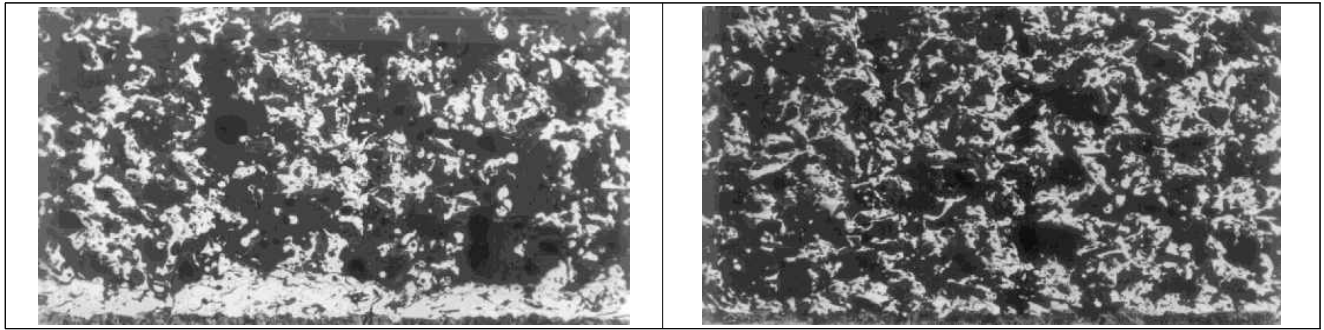
- 매크로 경도시험/인장시험 시편은 코팅 두께가 최소 0.080 인치

① GE90 C07-014 품질기준

표 79 C07-014 품질 기준 (GE90)

구분	종류	허용기준
미세조직	Porosity	존재량 (그림 참조)
	Transverse Cracks	유/무
	Delamination	유/무
인장시험(psi)	-	최소 750
매크로 경도(HRC)	R15Y	30-50

표 80 Nickel - Graphite 코팅 Porosity



② PWA 75-1 품질 기준

- 매크로 경도시험/인장시험 시편은 코팅 두께가 0.002-0.007 인치
- 습기를 제거하기 전에 부품에 Preheating (66° -93° C) 후 코팅을 적용

표 81 CP6010 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Porosity	유/무
	Ni/Graphite constituent	분포량
	Transverse Cracks	유/무
	Porosity	5%

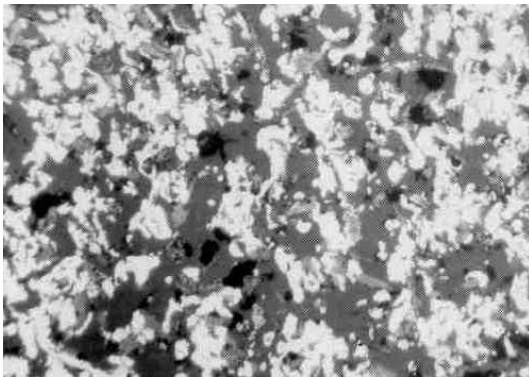


그림 158 Porosity

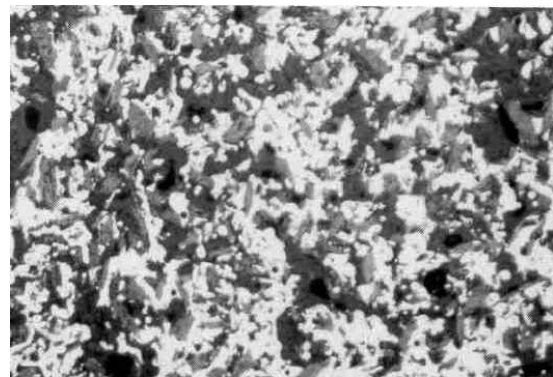


그림 159 Ni/Graphite constituent

(13) Thermal Spraying 85:15 Nickel - Graphite (Powder) 코팅 품질 연구

Nickel-Graphite 코팅은 항공기 회전 부품과 회전하지 않는 부품의 간격을 줄여 효율을 좋게 하기 위한 화염 용사 장비(Frame Spray Coating)를 사용하는 Heat Resistant 코팅으로, 일반적으로 아래 표2와 같이 산업계는 METCO 308NS 코팅으로 알려져 있으며, 엔진 부품은 PW4000 Series는 PWA 1352-2 코팅 Spec으로, GE90 엔진은 C07-015으로 사용하고 있다. CFM56 엔진은 니켈-그래파이트 코팅을 사용하고 있지 않다.

표 82 Nickel- Graphite 85:15 코팅의 제작사 SPEC

P&W SPEC	CFM SPEC	GE90 SPEC	METCO Spec
PWA 1352-2	-	C07-015	308NS-3

308NS-3 코팅은 405NS (Aluminum Silicon) 코팅을 용사하여 0.004-0.008 인치의 두께의 Bond 코팅을 적용 후 Top 코팅으로 부품과 시편에 용사하였다

실제 적용 부품은 PW4000 엔진에 니켈-그래파이트 코팅을 적용하는 부품은 없으나, GE90 엔진부품의 4개 부품에 수리 적용하고 있으며 품질 검사를 위하여 표3 제작사 품질기준에 요구된 미세조직검사(Microstructure), 인장시험(Tensile Test), 매크로 경도시험(Macro Hardness)가 요구 된다.

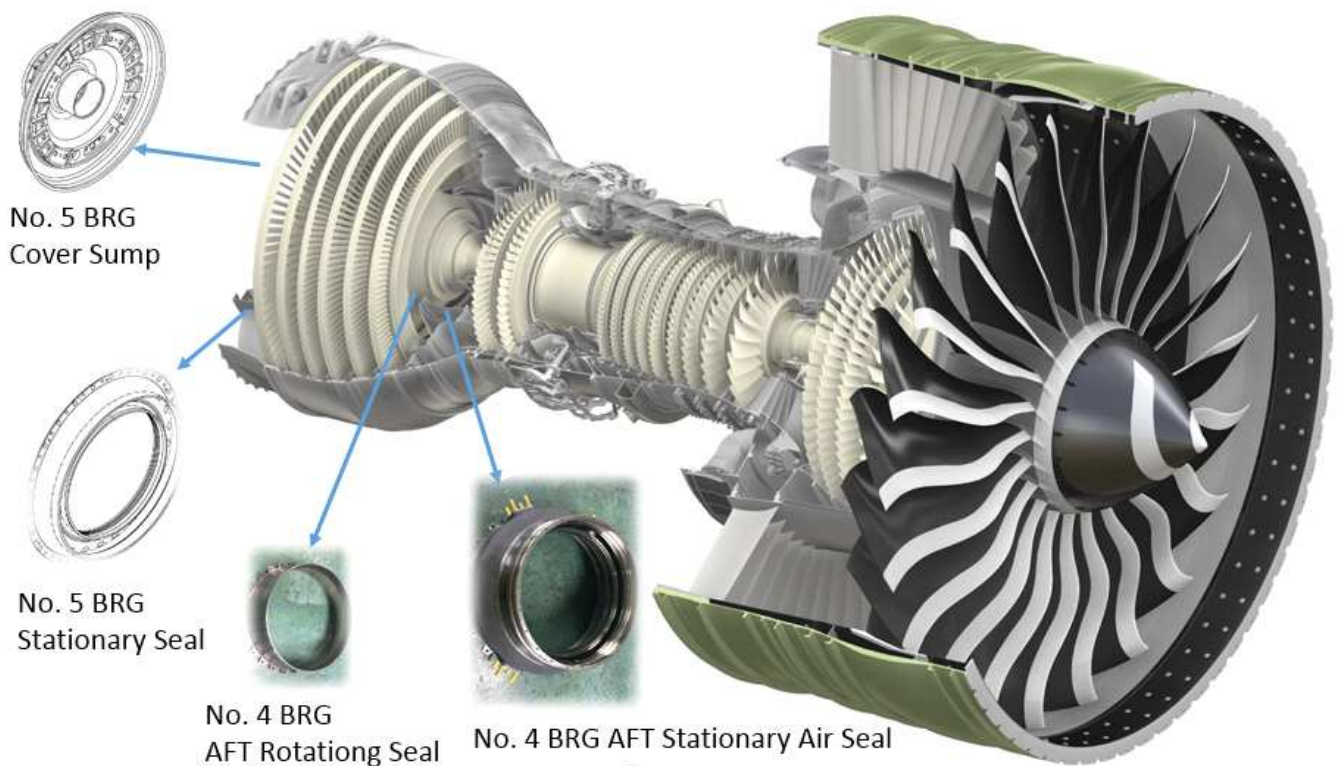


그림 160 GE90엔진, 니켈-그래파이트 코팅 수리 적용 부품

(가) 코팅 시험

308NS-3 코팅 4MP Powder Feeder Frame Spray 장비를 이용하여 Starting Parameter를 설정 후 부품의 형상과 작업 위치에 따라 Parameter를 수정하였음

표 83 308NS -3 Starting Parameter

Spray 장비	Nozzle	Type	P7C-K
Pressure	Oxygen	SCFH	30
	Acetone		15
Flow	Oxygen	SCFH	42
	Acetone		50
Carrier Gas	Type		N_2
	Carrier Gas Flow	SCFH	37
	Pressure	PSI	55
Feed Rate		RPM	45
Distant		inch	9

(나) 코팅 품질 기준

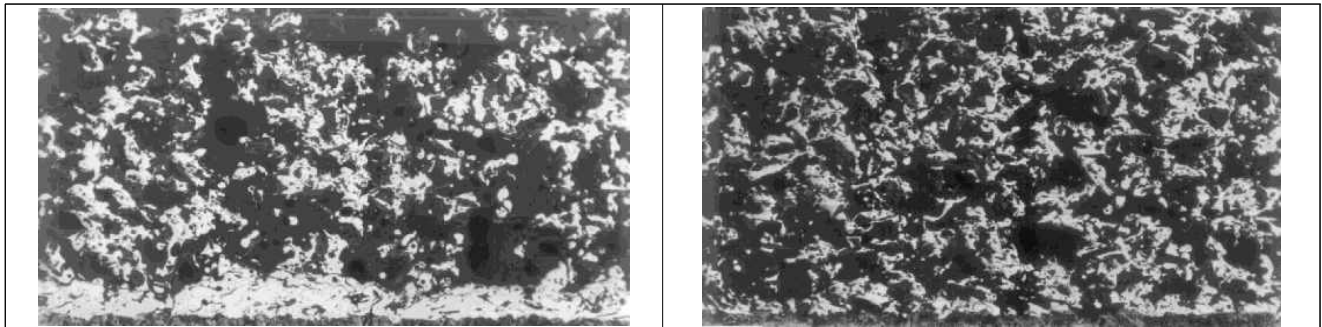
- 매크로 경도시험/인장시험 시편은 코팅 두께가 최소 0.080 인치

① GE90 C07-015 품질기준

표 84 C07-015 품질 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Porosity	니켈 존재량
	Cracks	유/무
	Delamination	유/무
인장시험 (psi)	-	1,200 -3,000
매크로 경도(HRC)	-	50 -70

표 85 Porosity for Nickel - Graphite 코팅



제작사 품질 기준을 맞추기 위하여 화염 용사장비의 니켈-그라파이트 분말의 분사 속도와 분사 거리의 변화에 따른 품질 검사를 수행하였다. 니켈-그라파이트 코팅의 품질 검사 결과, 미세조직 검사 시 분사 속도 변화 및 코팅두께 변화에 따라 니켈-그라파이트 함유량은 변화가 거의 없어 코팅 품질에 큰 영향을 미치지 않은 다는 것을 확인 하였다. 다만 니켈과 그라파이트 코팅은 금속 재료와 비금속재료의 혼합된 코팅으로 다공성이 많은 특성을 가지는 것을 알았으며 이런 다공성으로 인하여 인장시험을 위한 접착제의 종류(Film/Liquid)에 큰 영향을 받는 것을 확인 하였다.

표 86 접착제 종류에 따른 니켈-그라파이트 인장시험 결과

Adhesive	Fixture	인장시험 값 (psi)	결과
----------	---------	--------------	----

◦ No 4 Bearing AFT Rotating Seal - 주요 수리 절차

- ① Part Cleaning
- ② 코팅 Area에 대해서 기존 코팅 제거 (기계 Machine)
- ③ 비파괴 검사 (Spot- Fluorescent Penetrant Inspection)
- ④ 코팅 Area 마스킹 및 코팅 시편 장착
- ⑤ 코팅 용사 및 시편 품질 시험
- ⑥ 치수 복원을 위한 Machine
- ⑦ Final Inspection



그림 165 GE90 No4 Bearing AFT Rotating Seal



그림 166 GE90 No4 Bearing AFT Rotating Seal- Seal Land 마모



그림 167 Plasma Spray Coating 전 Masking 및 인장시험 시편



그림 168 Plasma Spray Coating 전 Masking 및 미세조직 시편

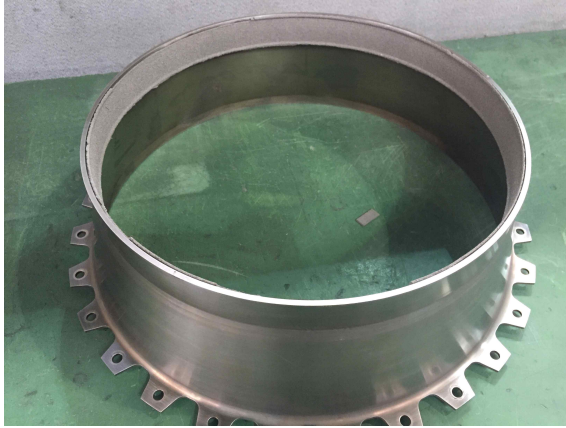


그림 169 308NS 코팅 후 사진 (1)

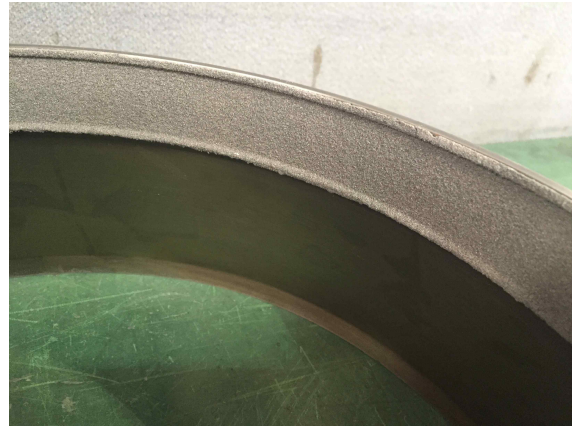


그림 170 308NS 코팅 후 사진(2)

(14) Cobalt-Molybdenum-Chromium-Silicon Powder 코팅의 제작사 SPEC 코팅

산화 및 고온에서 마모 성능이 우수한 코팅으로 Plasma Spray Coating을 열원으로 사용

표 88 Cobalt-Molybdenum-Chromium-Silicon Powder 코팅의 제작사 SPEC

P&W SPEC	CFM SPEC	GE90 S PEC	METCO Spec
-	CP6021	C07-031	68F-NS-1

* 화학성 성분: Cobalt Base, 28.5Mo 17.5Cr 3.4Si

(가) 코팅 시험

CoMoChSi 코팅 Spray Parameter는 Plasma 장비 제작사이며 Powder 제작사인 Metco의 68F-NS-1 Starting Parameter를 설정 후 부품의 형상과 작업 위치에 따라 Parameter를 수정하였음

표 89 68F-NS-1 9MB Air Plasma Starting Parameter

Spray 장비	Gun	Type	9MB
	Nozzle		CH or 732
	Injector Type		No.2
Power	Direct Current	A	500
	Recorded Voltage	V	75
Plasma Gas	Argon Flow, A	SCFH	175
	Hydrogen Flow, H2		18
Powder Feeder	Carrier Gas	Type	Argon
	Carrier Gas Flow	SCFH	13.5
Feed Rate		g/min	100
Distant		inch	4
Substrate Cooling		Type	Air

코팅 시편과 적용 부품을 동시에 AlSi-Polymer 코팅을 0.060인치(1.52mm) 두께로 분사 하였으며 미세조직시험과 인장시험을 수행하여 코팅품질검사를 수행함

(나) 코팅 품질 기준

- 매크로 경도시험/인장시험 시편은 코팅 두께가 최소 0.080 인치

① GE90 C07-031 품질기준

표 90 C07-031 품질 기준 (GE90)

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Unmelts	존재량(그림 참조)
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides	존재량(그림 참조)
	Porosity	존재량(그림 참조)
인장시험(psi)	-	최소 4,000
매크로 경도(HRC)	R15N	Min 82

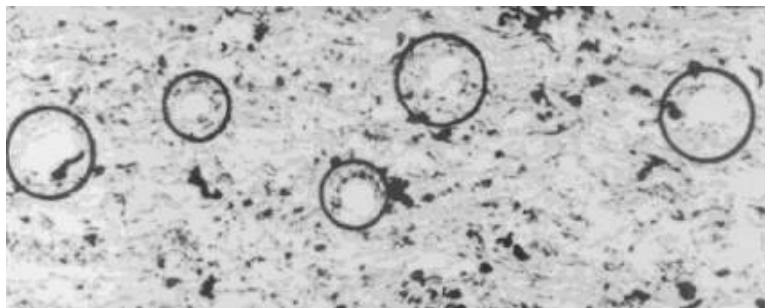


그림 171 Unmelts (200X)

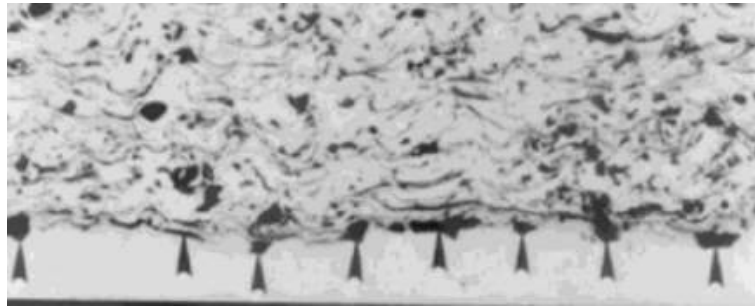


그림 172 Interface Contamination (200X)

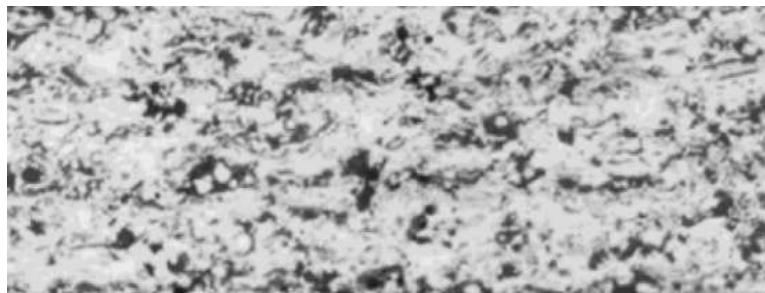


그림 173 Oxide (200X)

② CP6021 품질기준

표 91 CP6021 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Interface Separation	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides , Oxide Cluster	Porosity를 포함한 Oxide, Oxide cluster - 불허
	Unmelt	5%
	Porosity	8%
인장시험(psi)	-	최소 4,000

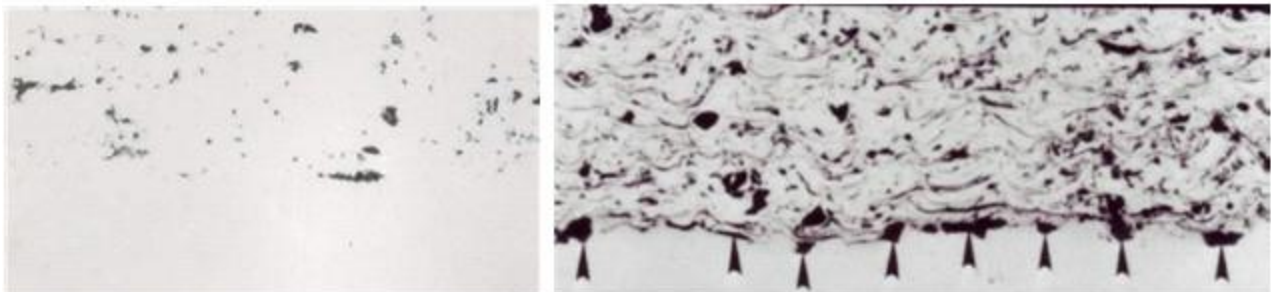


그림 174 Interface Contamination (Fine, Coarse)

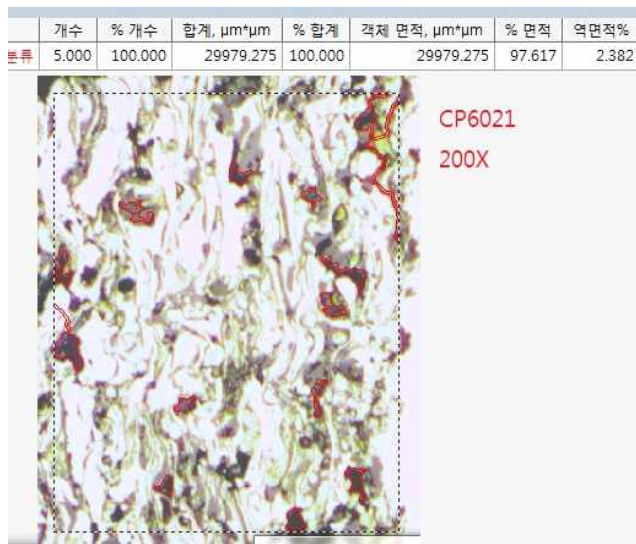


그림 175 CP6021- Porosity

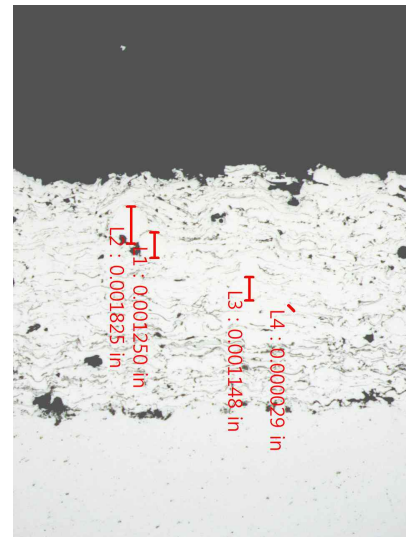


그림 176 CP6021 Unmelt

시험 성적서 Test Report			
검사서 번호 Report No	: PC16-1212-106	채취 일자 Sample Date	: 2016.12.12
시 료 명 Specimen Name	: Plasma Coating Specimen (RETAINER-HPT PR SEAL)	접수 일자 Receipt Date	: 2016.12.12
의뢰 부서 Client Shop	: SELMECB	시험 일자 Test Date	: 2016.12.12
Microstructure Test Results			
W/O No : E17522350	Operator : 한동기 (9206901)		
OP No : 40	Coating Spec : CP6021	Powder Lot No : W76056 (Metco 68FNS1)	
Microstructure Test (Material Microscope/A.N : MG00022295)			
Test Item	Limit	Result	Remark
Porosity	Max 8 %	5%	
Unmelted Particle	Max 5 %	5%	
Interface Contamination	Max 25 %	20%	Length of specimen in case of fine
	Max 30 %	15%	Length of specimen in case of coarse
Oxides and Oxide clusters	Oxide clusters	Acceptable	In case of oxide clusters is unacceptable
	Oxides	Acceptable	Uniformly distributed
Transverse Cracks	Crack	Acceptable	In case of transverse crack is unacceptable
Interface separation	Max 0.010 inch	0.000	Out corner separation
	Interface separation	Acceptable	In case of interface separation is unacceptable
Delamination	Delamination	Acceptable	In case of delamination is unacceptable
Coating tensile testing(UTM/A.N: MG00022308)			
Tensile Test (Average)	Min 4 000 psi	4 148 psi	4 077, 4 057, 4 312 (psi)
Test Result : Pass			
시험 크기 Ref To	-CFM56 SPM70-48-04, SPM 70-48-03.		시험자 Tested By
		이 동 기	8005152 이 동 기
정비 품질 시험팀장 Team Manager, Laboratories Team, QA, Korean			
1. 본 시험 성적서는 의뢰자가 제시한 시험(분류)에 대한 시험 결과만을 증명합니다. (본 성적서)에 실린 시험 결과는 (본 성적서)에 실린 시험 결과만을 증명합니다. (The test results contained in this test report refer only to the specimen/sample that is provided by the applicant, and this report shall not be amended (reproduced) without written approval of laboratory manager.) 2. 본 시험 성적서는 시험 결과의 시험 목적을 위해 증명합니다. (본 성적서)에 실린 시험 결과는 (본 성적서)에 실린 시험 결과만을 증명합니다. (This test report shall not be used for publicity, propagation, advertisement, and litigation without written approval of laboratory manager.)			
KAL-MA-746(A)	1 of 1	210mmX297mm 주관 일자: 1999.09.16 작성 일자: R7/2009.09.01	

그림 177 CP6021 시험 성적서

(15) Nickel-Chromium-Aluminum Wire의 제작사 SPEC 코팅

표 92 Nickel-Chromium-Aluminum Wire의 제작사 SPEC

P&W SPEC	CFM SPEC	GE90 SPEC	Polymet
PWA 271-47	-	C07-043	PMET 886

전기 아크 와이어 스프레이(Electric Arc Wire Spray)를 열원을 사용하여 우수한 고온 산화 및 내식성 등의 물리적 및 화학적 특성을 가지고 있는 코팅으로 Self - Bonding, 치수복원에 많이 사용

* 화학성 성분: Nickel Base, 20Cr, 7Al

(가) 코팅 시험

Ni20Cr7Al 와이어 Spray Parameter는 전기 아크 와이어 스프레이 장비 제작사이며 Powder 제작사인 PMET 886 Starting Parameter를 설정 후 부품의 형상과 작업 위치에 따라 Parameter를 수정하였음

표 93 PMET 886 Starting Parameter

Power	Direct Current	A	200
	Recorded Voltage	V	30
Plasma Gas	Primary Air	SCFH	40
	Secondary Air		40
Distant		inch	7-8

코팅 적용 부품과 적0.060인치(1.52mm) 두께를 가지는 동일 재질의 시편을 만들어 0.009 ~ 0.013 인치의 코팅두께로 분사 하였으며 미세조직시험과 인장시험을 수행하여 코팅품질검사를 수행함

(나) 코팅 품질 기준

- 매크로 경도시험/인장시험 시편은 코팅 두께가 최소 0.080 인치

① GE90 C07-043 품질기준

표 94 C07-043 품질 기준 (GE90, 참조 GE SPM 70-71-04)

구분	종류	허용기준
미세조직	Delamination	유/무
	Transverse Cracks	유/무
	Interface Contamination	존재량(그림 참조)
	Oxides	존재량(그림 참조)
	Porosity	존재량(그림 참조)
인장시험(psi)	코팅 두께(0.015 인치)	최소 5,000 최소 4,000

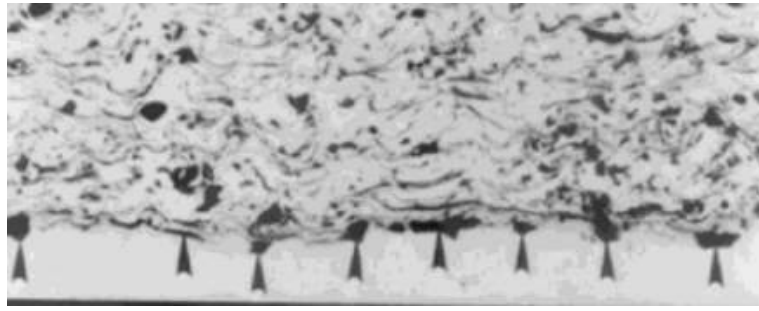


그림 178 Interface Contamination (200X)

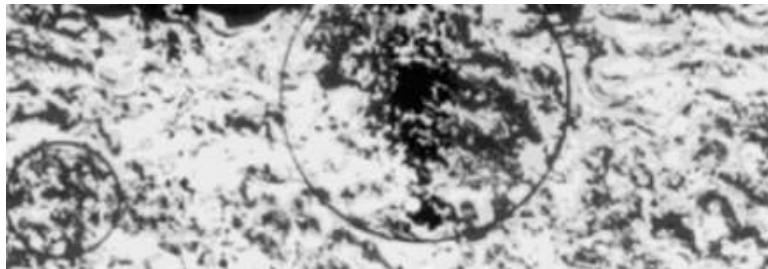


그림 179 Oxide (200X)

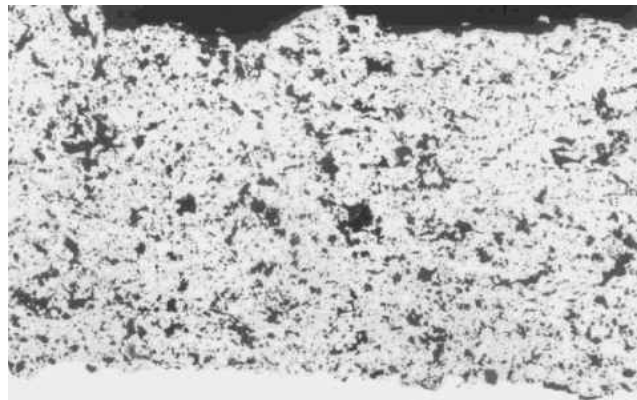


그림 180 Porosity (200X)

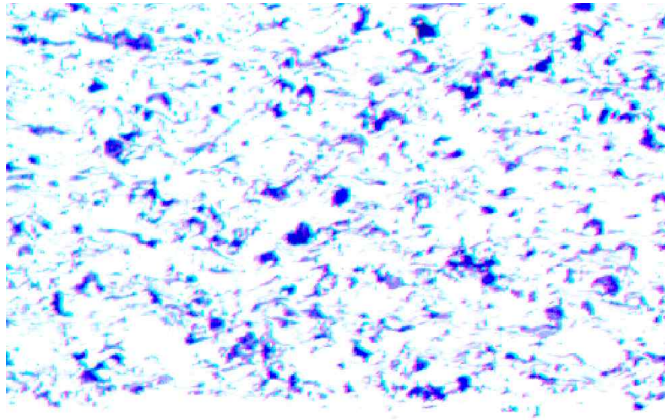


그림 181 C07-031 미세조직 사진

표 95 PWA271-47 기준

구분	종류	허용기준
미세조직	Porosity	10%
	Laminar Feature	Separation 유/무
	Transverse Cracks	유/무
인장시험 (psi)		4,500

2. 진공열처리를 이용한 응력제거 기술

가. 열처리기술 공정 설계서

(1) PW사 열처리기술 절차

(가) CFM사 열처리 요구조건 확인

- ① 열처리기술 적용 대상 : PW4000 시리즈 엔진 부품 전체
- ② 제작사 매뉴얼 : PW SPM (PN 585005)
- ③ AMS 2750 : 열처리에 사용되는 열처리 장치의 고온 측정 요구 사항

공정 검토 (Procedure Review)		Review No : 15-PW7042
		REV. LTR. 0
TITLE	Heat Treatment	
PROCESS OPERATION	PROCEDURE	
Requirement	AMS 2750	
Atmosphere	Argon (1) Max. Dew Point : -60 °F (2) Purity : 99.99% Hydrogen (1) Max. Dew Point : -60 °F (2) Purity : 99.99% Vacuum (1) Purity : 0.5 microns Hg or lower	
Furnace/Oven Loading	Loading and unloading a cold oven is possible without a further decrease in the temperature. Cold oven (1) Defined as any oven wherein the temperature is not over 500 °F * Parts which are prone to distortion during heat treatment must be correctly supported and temperature raised gradually by steps.	
Temperature/Time	Time Variation : ± 5% or + 15 Min. - 5 Min. Temperature Variation: (1) > 1099 °F : ± 26 °F (2) 1001° - 1099°F : ± 15°F (3) < 1001°F : ± 10°F	
Optimum temperatures	Each SPOP/cycle, with tolerances for furnace variations.	
over temperature protection	Set at no more than 50°F (28°C) above the necessary heat treatment temperature.	

공정 검토 (Procedure Review)		Review No : 15-PW7042
		REV. LTR. 0
TITLE	Heat Treatment	
PROCESS OPERATION	PROCEDURE	
Cleaning	Parts must be fully cleaned before heat treatment. Certain parts must have descaling. (1) SPOP 9, SPOP 10, SPOP 203, SPOP 211, or SPOP 213 after heat treatment in air.	
Local Stress-Relief	Local stress-relief is permitted on static parts where specified by the authorizing repair document. Methods (1) Resistance Heaters have nichrome wire elements insulated with ceramic fiber. These wire elements are contained within a flexible wire jacket. These components are woven into a thermal blanket, which must be held in close contact with the surface to be stress-relieved. (2) Induction It is necessary to have a high frequency generator, with a water-cooled copper induction coil of sufficient number of turns to be positioned over the total area to be heat treated (such as, a welded patch). (3) Quartz lamp Radiant lamp gives intense infrared heat, which can be easily directed toward the part during stress-relief. Temperature can be controlled by pulsing lamp on and off. (4) Radiant gas burner Gas burners give good heating patterns and temperature control. CAUTION: DO NOT USE A GAS BURNER TO STRESS-RELIEVE TITANIUM PARTS. EXHAUST GASES CAN CAUSE A HARMFUL SURFACE REACTION.	

그림 182 PW사 열처리기술 공정 검토서

④ 열처리 가스

- ㉠ 진공 (Vacuum) : 2.0×10^{-2} 토르 이하
 - ㉡ 불활성 가스 (아르곤) : 순도 99.99% 이상, 이슬점 -35°F (-37°C) 이하
- #### ⑤ 열처리 온도/시간 : 열처리에서 가장 중요한 요소
- ㉢ 장입품의 온도가 지정된 온도에 도달했을 때부터 열처리시간 적용
 - ㉣ 열처리시간 공차가 지정되지 않은 경우,
요구된 온도에서 열처리시간의 ± 5% 또는 +15분, -5분 허용
 - ㉤ 공랭/급랭 (Air Cool or Faster)

- 1,100°F (593℃) 이상 : 평균 분당 30°F (19℃) 이하
- 1,100 - 1,000°F (593 - 538℃) : 평균 분당 15°F (8℃) 이하

(나) 열처리기술 공정 절차

PW사의 보유 열처리기술 35공정에 대하여 공정절차를 설계하였다.

표 96 PW사 Solution 열처리기술 적용

SPOP	Material
480	HASTELLOY X (except PWA 1038) Solution Treat
481	Inconel 718 (All Forms) In-Process Solution Treat
482	PWA 1038 HASTELLOY X Solution Treat
486	Stellite 31 Cast Cobalt Alloy Solution Treat
493	Waspaloy (Cast, PWA 1471) Solution Treat

표 97 PW사 응력제거 열처리기술 적용

SPOP	Material
455	Type 410, Greek Ascoloy, Low Alloy Steels
456	6061 Aluminum AZ92 and ZE41 Magnesium
458	InconelX-750
459	Inconel 713, Inconel 600
460	GreekAscoloy
461	WASPALOY (Wrought), Udimet 700
462	Types 321/347 (Partial Stress-Relief)
463	HASTELLOY X, W, N, S, Haynes 188, Inconel 625
464	Titanium (Ti-8Al-1Mo-1V and Ti-5Al-2.5Sn)
465	Inconel 718 Short Cycle Precipitation Heat Treatment
466	17-7PH Austenite Conditioning
468	A-286 Tinidur Stress-Relief/Age
469	Inconel 706 or 718 Simple Stress-Relief
470	Incoloy 901 (Structural Welds)
472	A-286 Tinidur Stress-Relief/Age
473	Cast Nickel and Cobalt Alloy Airfoil Materials
474	Inconel 718 Full Heat Treatment
475	Incoloy 901 (Knife-Edges)
476	Waspaloy (Wrought) Full Heat Treatment

477	H-46 (12% Chrome Steel)
478	Inconel X-750 Full Heat Treatment
479	Martensitic Corrosion Resistant Steels
483	PWA 1471 cast Waspaloy
485	Nickel Castings (Precipitation Heat Treatment)
487	17-4PH (H-1025)
488	Inconel 718 Full Heat Treatment, Not For Stators
489	Inconel 718 Full Heat Treatment
490	Waspaloy (Cast PWA 1471) Full Heat Treatment
491	Haynes 214 Honeycomb

공정 검토 (Procedure Review)		Review No : 15-SPOP455
		REV. LTR. 0
TITLE	Heat Treatment / Stress-Relief After Welding (SPOP 455)	
PROCESS OPERATION	PROCEDURE	
Procedure (SPOP 455-1)	1. Increase the temperature of the part to 1000 – 1030°F (538 – 554°C) and hold for two hours. ● Air, argon or a vacuum atmosphere may be used for titanium and titanium alloys. ● Heating and cooling rates are optional. CAUTION THE WELD JOINT IS BRITTLE AS WELDED. THE PART MUST BE HANDLED CAREFULLY AND KEPT CLEAN AND DRY UNTIL STRESS-RELIEVED/TEMPERED TO PREVENT CRACKING. IT IS HIGHLY RECOMMENDED THAT SUBSEQUENT STRESS-RELIEF/TEMPERING BE DONE WITHIN 24 HOURS WITH LESS THAN 12 HOURS PREFERRED.	

공정 검토 (Procedure Review)		Review No : 15-SPOP455
		REV. LTR. 0
TITLE	Heat Treatment / Stress-Relief After Welding (SPOP 455)	
PROCESS OPERATION	PROCEDURE	
Procedure (SPOP 455-2)	1. Put part in a cold oven. Air, PMC 2200 argon or a vacuum atmosphere may be used for titanium and titanium alloys. 2. Increase the temperature of the part to 600°F (316°C) and hold for 30 minutes. 3. Increase the temperature of the part to 800°F (427°C) and hold for 30 minutes 4. Increase the temperature of the part to 1000 – 1030°F (538 – 554°C) and hold for two hours. 5. Decrease the temperature of the part to 500°F (260°C) not faster than 100°F (56°C) every 15 minutes. Subsequent cooling rate is optional. CAUTION THE WELD JOINT IS BRITTLE AS WELDED. THE PART MUST BE HANDLED CAREFULLY AND KEPT CLEAN AND DRY UNTIL STRESS-RELIEVED/TEMPERED TO PREVENT CRACKING. IT IS HIGHLY RECOMMENDED THAT SUBSEQUENT STRESS-RELIEF/TEMPERING BE DONE WITHIN 24 HOURS WITH LESS THAN 12 HOURS PREFERRED.	

그림 183 PW사 열처리기술 공정 절차서

(2) CFM사 열처리기술 절차

열처리기술은 금속 부품의 원래의 물리적, 기계적, 화학적 특성을 최대한 복원하기 위해 수리 작업 후에 사용된다.

(가) CFM사 열처리 요구조건 확인

- ① 열처리기술 적용 대상 : CFM56 시리즈 엔진 부품 전체
- ② 제작사 매뉴얼 : CFM56 SPM (PN CFMI-TP-SP.2)
- ③ 열처리의 종류
 - ㉠ 국부 열처리 (Localized Heat Treating)
 - ㉡ 노 열처리 (Furnace Heat Treating)

공정 검토 (Procedure Review)	
Review No : 15-CFM7049	
REV. LTR. 0	
TITLE	Heat Treatment
PROCESS OPERATION	PROCEDURE
Heat treatment	Heat treatments are used following repair operations to restore, as closely as possible, the original physical, mechanical, and chemical characteristics of metal parts.
Type of heat treating	(1) Localized heat treating (2) Furnace heat treating All parts or material to be heat treated, including fixtures and furnace, must be free of surface contaminants which may be detrimental to the part or material being heat treated.
Time at Temperature	Permissible time tolerance : ± 10 percent
Atmosphere	Various atmospheres are employed during furnace heat treatment to prevent degradation of alloy properties and contamination. Furnace atmospheres will be specified in the process document for the heat treatment of a particular part and will be coded by the suffix letters "V" for vacuum, "I" for inert gas, "H" for hydrogen, and "A" for air. Vacuum (1) 1×10^{-3} torr (0.13 Pa) or lower Inert Gas (1) 99.995 % Purity (2) - 60°F (-51°C) Dew point
Furnace Cleanliness	The furnace interior and all holding fixtures used in furnace must be kept clean and free of contaminants which could be detrimental to parts being heat treated.
Localized heat treatment	Heat source (1) Radiant tungsten-quartz lamps with reflectors (2) Resistance heating elements

그림 184 CFM사 열처리기술 공정 검토서

④ 열처리 가스

합금 특성 저하 및 오염을 방지하기 위해 노 열처리 중에 다양한 대기(가스)를 사용한다.

- ㉠ 진공 (Vacuum) : 10-3 토르 이하

㉔ 불활성 가스 (아르곤 가스) : 순도 99.995% 이상, 이슬점 -60°F (-51℃) 이하

⑤ 열처리로의 청결

열처리로 내부 및 열처리에 사용되는 모든 고정 장치는 청결하게 유지되어야 하며 열처리 할 부품에 해로울 수 있는 오염 물질이 없어야한다.

(나) 열처리기술 공정 절차

CFM사의 보유 열처리기술 25공정에 대하여 공정절차를 설계하였다.

표 98 CFM사 노 열처리 종류

Cycle	Material
1	Inconel 718 and Incoloy 903 (Full age)
2	Rene' 41 and Rene' 77 (Full age)
3	Rene' 77 (Final age)
4	17-4 PH (Aging)
5	A-286 Alloy (Stress relief)
6	300 series Stainless steel and Hastelloy X (Solution treatment)
7	Rene' 77 and Rene' 41 (Solution treatment)
8	Titanium alloys (Stress relief)
9	Ti6-4 (Stress relief)
10	X-40 alloy (Stress relief)
11	Hastelloy X and HS188 (Solution treatment)
12	Rene' 41 and Hestelloy X (Solution treatment)
13	Incoloy 903 (Solution treatment)
14	Inconel 718 (Solution treatment)
15	Inconel 718 (High temperature solution treatment)
17	Inconel 718 (Short age)
18	IN100 and DS200 (Stress relief)
19	Rene' 77 (Stress relief)
20	Rene' 77 (Stress relief)
21	Inconel 718 (Alt full age)
22	DS200 (Full age)
23	17-4 PH (Stress relief)

표 99 CFM사 Local 열처리기술 종류

Cycle	Material
L1	Age treatment for Rene' 41 and Rene' 77
L2	Age/stress relief for 17-4PH
L3	Short age for Inconel 718

공정 검토 (Procedure Review)		Review No : 15-CYCLE-1
		REV. LTR. 0
TITLE	Heat Treat Cycle 1	
PROCESS OPERATION	PROCEDURE	
Procedure (CYCLE 1)	- Ensure that all parts and fixtures are clean and free of all surface contaminants which may be detrimental to the part or material being heat treated. - Position parts in furnace in a manner that will ensure uniform heating and cooling. Do not stack parts. - Position a minimum of one thermocouple at both the hottest and coldest regions of the furnace working zone, as determined by furnace approval standard practice. Attach or place thermocouples inside parts within the thickest section. NOTE: Thermocouples should not be welded to parts unless specified. - Establish furnace atmosphere as specified in process document as follows: (1) Air (A). Maintain an air atmosphere in the furnace during the entire cycle. - Perform the furnace cycle procedure (1) Heat to 1325 ± 25 degrees F (720 ± 14 degrees C). (2) Hold for 8 hours. (3) Cool at 100 degrees F (55 degrees C) per hour to 1150 ± 25 degrees F (620 ± 14 degrees C). (4) Hold for 8 hours. (5) Air-cool or equivalent to room temperature	

공정 검토 (Procedure Review)		Review No : 15-CYCLE-23
		REV. LTR. 0
TITLE	Heat Treat Cycle 23	
PROCESS OPERATION	PROCEDURE	
Procedure (CYCLE 23)	- Ensure that all parts and fixtures are clean and free of all surface contaminants which may be detrimental to the part or material being heat treated. - Position parts in furnace in a manner that will ensure uniform heating and cooling. Do not stack parts. - Position a minimum of one thermocouple at both the hottest and coldest regions of the furnace working zone, as determined by furnace approval standard practice. Attach or place thermocouples inside parts within the thickest section. NOTE: Thermocouples should not be welded to parts unless specified. - Establish furnace atmosphere as specified in process document as follows: (1) Vacuum (V) Evacuate the furnace to a pressure of 0.5×10^{-3} torr (0.07 Pa) prior to application of heat. Maintain 1×10^{-3} torr (0.13 Pa) maximum pressure during heat application. (2) Air (A). Maintain an air atmosphere in the furnace during the entire cycle. - Perform the furnace cycle procedure (1) Heat to 1095 ± 15 degrees F (590 ± 10 degrees C). (2) Hold for 2 hours. (3) Air-cool to room temperature.	

그림 185 CFM사 열처리기술 공정 절차서

(3) GE사 열처리기술 절차

열처리기술은 용접, 브레이징 등의 수리 작업 후에 원래의 물리적, 기계적, 화학적 특성을 금속 부품을 복원하는 데 필요한 것이다.

(가) GE사 열처리 요구조건 확인

- ① 열처리기술 적용 대상 : GE90 시리즈 엔진 부품 전체
- ② 제작사 매뉴얼 : GE90 SPM (PN GEK9250)
- ③ 열처리의 종류
 - ㉠ 국부 열처리 (Localized Heat Treating)
 - ㉡ 노 열처리 (Furnace Heat Treating)
- ④ 필수적인 정확한 제어
 - ㉠ 최고 온도, 온도 상승 속도, 냉각 속도, 화학적 분위기의 종류 및 기타 요인
- ⑤ 냉각속도
 - ㉠ 절차가 진공 또는 불활성 가스로에서 수행되고 사이클 상태가 부품을 공냉하는 경우,
 - 아르곤 또는 질소로 채워서 1,000 °F (538 °C) 미만으로 냉각되어야합니다.
 - ㉡ 불활성 가스 냉각을 사용하는 경우,
 - 1,000 °F 이하까지 : 분당 20 ~ 40 °F (11 ~ 22 °C) 이상
 - 1,000 °F (538 °C)에서 상온까지 : 제한 없음.
- ⑥ 열처리 장비 검교정
 - ㉠ 온도 균일성 (Temperature Uniformity)
 - 제어 온도로부터 시험 열전대의 최대 온도 변화는 열 평형 상태에서 ± 25 °F (14 °C) 를 초과하지 않아야한다.
 - 시험용 열전대는 열평형에 도달하기 전에 최대 제어 온도를 초과하는 온도를 나타내서는 안된다.
 - ㉡ 열 제어 (Thermal Controls)
 - 모든 온도 측정 장비는 전체 열처리로 작동 범위에서 측정 된 최대 온도의 ± 0.5 %의 온도 측정 정확도를 나타야 한다.
- ⑦ 열처리로 내부 및 열처리에 사용되는 모든 고정 장치는 청결하게 유지되어야하며 열처리 된 부품에 해로울 수 있는 오염 물질이 없어야한다.

공정 검토 (Procedure Review)		Review No : 15-GE7044
		REV. LTR. 0
TITLE	Heat Treating	
PROCESS OPERATION	PROCEDURE	
General	Heat treating is a general term which refers to a wide variety of processes (annealing, hardening, stress-relieving, normalizing, nitriding, etc.) which change some of the physical, mechanical, and chemical properties of metal. The specific processes described here are those necessary for restoring the original physical, mechanical, and chemical characteristics to metal parts following repair operations such as welding or brazing.	
Localized Heat treatment	Localized heat treatment is a process used to stress relieve or age repair welds and cold-worked areas. The process is particularly suited to the heating of small localized areas on large parts that can be difficult or inconvenient to transport or process in a furnace.	
Equipment	Heaters (1) Quartz-halogen, tungsten-quartz, and infrared heating elements with directional or focused reflectors. (2) Ceramic pad heaters, etc.	
Furnace Heat treatment	The heat treatment cycles described are identified in groups related to the type of furnace atmosphere required. Cycle code numbers with the prefix letters "V", "T", "A", and "H" show atmosphere requirements for vacuum, inert gas, air, and hydrogen, respectively. Atmosphere (1) Argon : 99.995 % Purity (2) Nitrogen : 99.98 % Purity - Nitrogen may not be put into the furnace above 2000°F (1093°C). - Nitrogen may not be used with titanium alloys above 650°F (343°C). Dew Point : -60°F (-51°C) or colder is required	

그림 186 GE 열처리기술 공정 검토서

(나) 열처리기술 공정 절차

GE사의 보유 열처리기술 32공정에 대하여 공정절차를 설계하였다.

표 100 GE사 열처리로 적용 사이클

Cycle	Material
A-1	Solution cycle for Inconel 718.
A-2	Alternative procedure available. Full age cycle for Inconel 718.
A-2	Alternative procedure. Full age cycle for Inconel 718.
A-3	Full age for certain Ren. 41.
A-4	Full age for Ren. 41, Ren. 77, Ren. 95 and Ren. 120.
A-5	Stress relief/ age for 17-4 PH and temper for 403 and 410 stainless steel.
A-6	Stress relief of aluminum. See LH-4.
A-7	Short age cycle for Inconel 718. See LH-1.

표 101 GE사 적용 열처리 싸이클

Cycle	Material
V-1	General solution treatment for Inconel 718.
V-2	Alternative procedure available. Full age cycle for Inconel 718 fabrications.
V-2	Alternative procedure. Full age cycle for Inconel 718.
V-3	High temperature solution treatment for Inconel 718 fabrications. Also, the regular solution treatment for Inconel 718 forgings.
V-4	Solution treatment for Ren. 80
V-5	Second solution cycle for Ren. 80.
V-6	Simulated diffusion cycle for Ren. 80.
V-7	Stress relief for 300 series stainless steel and Hastelloy X. Solution treatment for Ren. 41 and Ren. 80.
V-8	Solution treatment for Ren. 41 and Hastelloy X.
V-9	Solution treatment for Ren. 41 and Ren. 77.
V-10	Final age cycle for Ren. 77 and Ren. 80.
V-11	Solution treatment for certain (special) Inconel 718. X-40 stress relief.
V-12	Full age cycle for certain (special) Ren. 41.
V-13	Full age cycle for Ren. 41, Ren. 77, Ren. 95, and Ren. 120.
V-14	Stress relief for certain titanium alloys.
V-15	Stress relief for certain titanium alloys.
V-16	Short age cycle for Inconel 718.
V-17	Solution treatment for Hastelloy X and HS188.
V-18	Solution cycle for A286.
V-19	Age cycle for A286.

표 102 GE사 국부열처리 적용 싸이클

Cycle	Material
LH-1	Short age cycle for Inconel 718 fabrications and some A286 fabrications.
LH-2	Full age for Ren. 41 and Ren. 77 castings.
LH-3	Age/stress relief for 17-4 PH fabrications.
LH-4	Stress relief for aluminum weld repair.

공정 검토 (Procedure Review)		Review No : 16-GE-V1
		REV. LTR. 0
<u>TITLE</u>	Furnace Heat Treatment (V-1)	
PROCESS OPERATION	PROCEDURE	
Procedure (V-1)	CAUTION : DO NOT APPLY THIS PROCESS TO ALUMINUM OR ALUMINUM ALLOY HARDWARE OR ASSEMBLIES, UNLESS APPROVED BY GEAE ENGINEERING. 1. Air Cool Rate. (1) If the procedure is done in a vacuum or inert gas furnace and the cycle states to air-cool the parts, they shall be cooled to less than 1000°F (538°C) by backfilling with argon or nitrogen. When inert gas cooling is used, the cooling rate shall be at least 20 to 40°F (11 to 22°C) per minute to less than 1000°F (538°C). Cooling from 1000°F (538°C) to the ambient shop temperature may be at any rate. CAUTION: DO NOT IMMERSE PARTS IN LIQUID TO COOL THEM. (2) When the heat treatment cycle is done in an atmosphere furnace and the cooling rate specified is air-cool or faster, the parts shall be withdrawn from the furnace and cooled in the air with a minimum cooling rate of 20 to 40°F (11 to 22°C) per minute to less than 1000°F (538°C). Fans may be used to aid and achieve the cooling rates. Cooling from 1000°F (538°C) to the ambient shop temperature may be at any rate. 2. Load Thermocouple Requirements. (1) Use a minimum of three load thermocouples for each furnace run. More than three thermocouples may be required. (2) Put the load thermocouples spaced in the furnace load to make sure that the mass and location of all parts in the furnace load are represented. The use of a heat sink representative of the part's thickness and thermal properties is permitted. The load thermocouples or heat sink must be in contact with the parts.	

그림 187 GE사 열처리기술 공정 절차서

나. PW4000 94인치 엔진 Low Pressure Turbine Case 열처리 연구

(1) 부품 개요

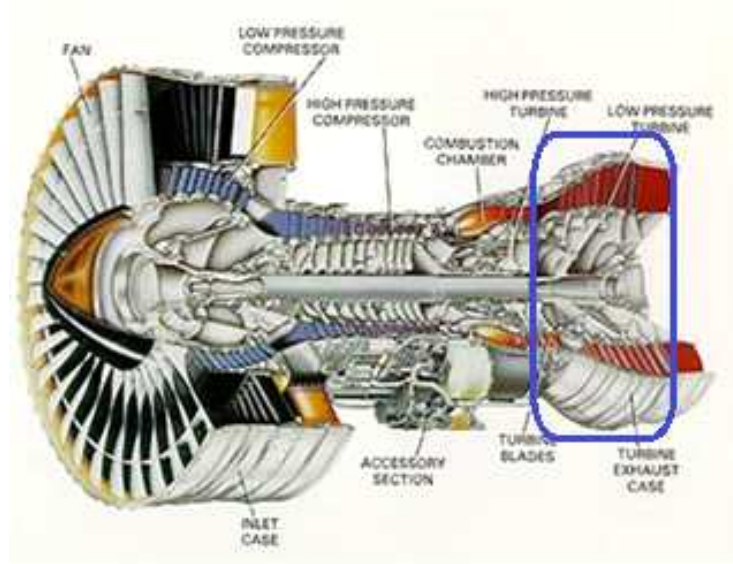


그림 188 PW4000 94인치 엔진

PW4000 94인치 엔진의 Low Pressure Turbine Case (LPT Case)은 연소가스의 에너지를 이용하여 Fan 및 저압 압축기(Low Pressure Compressor, LPC)를 구동하는 역할을 하는 저압터빈(Low Pressure Turbine) Module의 부품이다. LPT Case는 고온고압의 연소가스의 에너지를 4개 단계의 고정 베인과 회전 블레이드를 통하여 효율적으로 엔진 Fan Blade와 LPC를 구동하도록 디자인되었다. 엔진이 작동하는 동안 고온, 고압의 환경에서 Case 내부 부품의 열팽창, 열수축, 진동 등에 의하여 Case에 마모 및 균열 현상이 발생한다. LPT Case의 마모와 균열은 엔진 작동 중 발생하는 일반적인 현상이며, Blending, 용접 및 열처리, 금속 코팅 기술을 사용하여 수리 복원한다.

(2) 연구 목적

용접 후 열처리(Post-Weld Heat Treatment)에서는 부품에 적용된 Fastener, 도금, 금속 코팅 등 열영향부 제거 후 수행하는 것이 일반적이나, 엔진제작사(P&W)에서는 용접 열영향을 받지 않고 진공열처리 조건에서 제한적으로 금속코팅을 제거하지 않은 상태로 LPT Case의 용접 후 열처리를 허용하고 있다.

이에 LPT Case 용접 후 열처리 이후 Ni-Cr-Al 금속코팅 품질 변화에 대하여 알아보고자 하였다.



그림 189 PW4000 94인치 엔진 LPT Case

(3) 진공열처리 공정 설계

LPT Case 용접 후 잔류 응력을 제거하기 위해 열처리가 필요하며, 열처리 방식은 제작사에서 제공하고 있으나 LPT Case 형상을 고려한 열처리 변수를 연구하여 열처리 공정을 설계하였다.

- ① 제작사 열처리 사이클 : SPOP 465-2
- ② 온도 상승률 : 온도 급상승에 의한 부품의 변형 방지
- ③ 온도, 시간 : 부품의 일정한 온도 구배를 위해 구간별 30분간 온도 유지
- ④ 냉각, 가스 : 부품 표면 산화 방지를 위해 불활성가스(아르곤 가스) 사용
- ⑤ 열처리 검증 : 형광침투검사 및 경도 시험

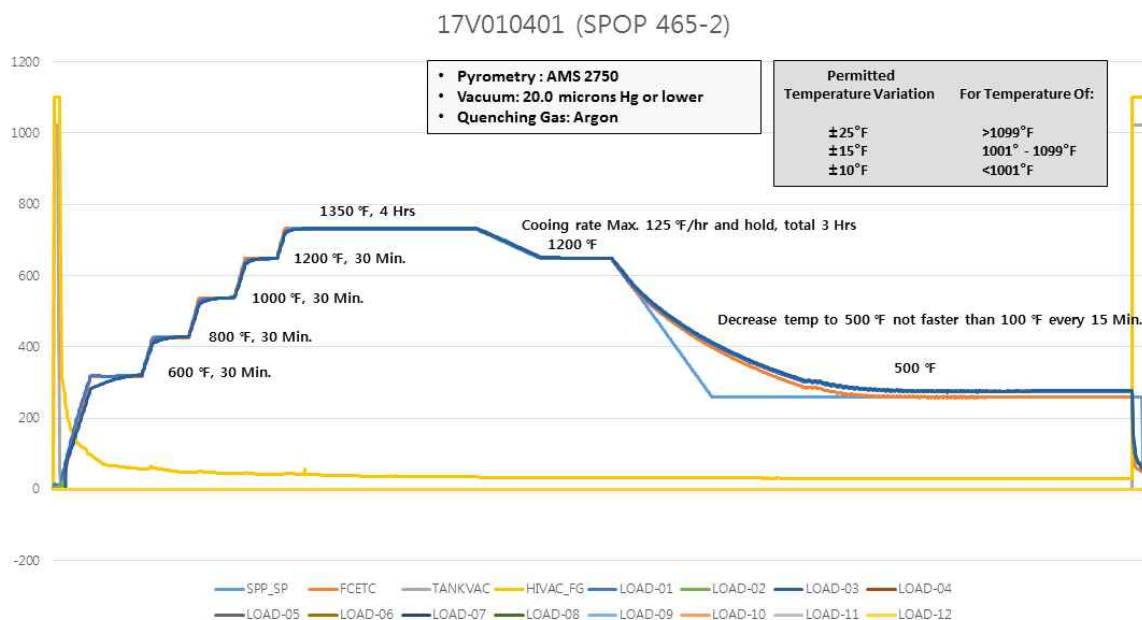


그림 190 PW4000 94인치 엔진 LPT Case 열처리 그래프

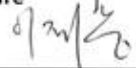
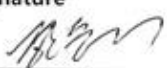
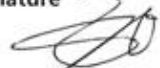
Program Record	Department Code	Repair Shop Code																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	SELMEC	881 - MET																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Powerplant Maint. Center	Program No.	Equipment Code																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Korean Air	PW4000-5	VACUUM FURNACE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Part Description	Part Number	ATA Chapter																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
LPT CASE	51N448-01	72-53-17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Job Description PW4000 LPT CASE STG3 HOOK - STRESS RELIEF : SPOP 465-2 600°F 30M, 800°F 30M, 1000°F 30M, 1200°F 30M, 1350°F 4HR, 1200°F 3HR																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Program Description Profile # 6 Name: PW4000-5 Description: SPOP465-2 Eng Units: °C Ramp Type: RATE Guar Hold Type: Per Seg Profile Duration: 300 Minutes Time Units: Minutes Guar Hold Lo Lim: 5.00 Overtemp: FSD °C Guar Hold Hi Lim: 5.00 Program Control Show																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Segment</th> <th>Type</th> <th>Start Value/ Soak Value</th> <th>Rate/ Soak Time</th> <th>Guar Hold</th> <th>Aux Start Value</th> <th colspan="16">Events</th> <th>Event Description</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th><th>13</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Soak</td><td>10.00</td><td>0.10</td><td></td><td>0.00</td><td>X</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>Ramp</td><td>10.00</td><td>8.00</td><td></td><td>0.00</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>Soak</td><td>316.00</td><td>30.00</td><td></td><td>0.00</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>Ramp</td><td>316.00</td><td>8.00</td><td></td><td>0.00</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>Soak</td><td>427.00</td><td>30.00</td><td></td><td>0.00</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>Ramp</td><td>427.00</td><td>8.00</td><td></td><td>0.00</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>Soak</td><td>538.00</td><td>30.00</td><td></td><td>0.00</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>Ramp</td><td>538.00</td><td>8.00</td><td></td><td>0.00</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>Soak</td><td>649.00</td><td>30.00</td><td></td><td>0.00</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>Ramp</td><td>649.00</td><td>8.00</td><td></td><td>0.00</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>Soak</td><td>732.00</td><td>240.00</td><td></td><td>0.00</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>Ramp</td><td>732.00</td><td>1.00</td><td></td><td>0.00</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>Soak</td><td>649.00</td><td>90.00</td><td></td><td>0.00</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>Ramp</td><td>649.00</td><td>3.00</td><td></td><td>0.00</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>Soak</td><td>200.00</td><td>0.10</td><td></td><td>0.00</td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>Ramp</td><td>200.00</td><td>9999.00</td><td></td><td>0.00</td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>Soak</td><td>75.00</td><td>10.00</td><td></td><td>0.00</td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>Soak</td><td>75.00</td><td>0.10</td><td></td><td>0.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>X</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>Soak</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td></td><td>0.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>Soak</td><td>0.00</td><td>0.00</td><td></td><td>0.00</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			Segment	Type	Start Value/ Soak Value	Rate/ Soak Time	Guar Hold	Aux Start Value	Events																Event Description							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		1	Soak	10.00	0.10		0.00	X	X																2	Ramp	10.00	8.00		0.00	X																	3	Soak	316.00	30.00		0.00	X								X									4	Ramp	316.00	8.00		0.00	X																	5	Soak	427.00	30.00		0.00	X								X									6	Ramp	427.00	8.00		0.00	X																	7	Soak	538.00	30.00		0.00	X								X									8	Ramp	538.00	8.00		0.00	X																	9	Soak	649.00	30.00		0.00	X								X									10	Ramp	649.00	8.00		0.00	X																	11	Soak	732.00	240.00		0.00	X								X									12	Ramp	732.00	1.00		0.00	X																	13	Soak	649.00	90.00		0.00	X											X						14	Ramp	649.00	3.00		0.00	X																	15	Soak	200.00	0.10		0.00	X											X						16	Ramp	200.00	9999.00		0.00				X														17	Soak	75.00	10.00		0.00				X								X						18	Soak	75.00	0.10		0.00									X									19	Soak	0.00	0.00		0.00																		20	Soak	0.00	0.00		0.00																	
Segment	Type	Start Value/ Soak Value	Rate/ Soak Time	Guar Hold	Aux Start Value	Events																Event Description																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
1	Soak	10.00	0.10		0.00	X	X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
2	Ramp	10.00	8.00		0.00	X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
3	Soak	316.00	30.00		0.00	X								X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
4	Ramp	316.00	8.00		0.00	X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
5	Soak	427.00	30.00		0.00	X								X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
6	Ramp	427.00	8.00		0.00	X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
7	Soak	538.00	30.00		0.00	X								X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
8	Ramp	538.00	8.00		0.00	X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
9	Soak	649.00	30.00		0.00	X								X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
10	Ramp	649.00	8.00		0.00	X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
11	Soak	732.00	240.00		0.00	X								X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
12	Ramp	732.00	1.00		0.00	X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
13	Soak	649.00	90.00		0.00	X											X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
14	Ramp	649.00	3.00		0.00	X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
15	Soak	200.00	0.10		0.00	X											X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
16	Ramp	200.00	9999.00		0.00				X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
17	Soak	75.00	10.00		0.00				X								X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
18	Soak	75.00	0.10		0.00									X																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
19	Soak	0.00	0.00		0.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
20	Soak	0.00	0.00		0.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Reason for Revision																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Programmed By	Checked By	Inspected By																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Signature 	Signature 	Signature  KAL 07																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
Date 170104	Date 170327	Date 170327																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										

그림 191 PW4000 94인치 엔진 LPT Case 열처리 Program Record

(4) 시험 방법

LPT Case와 동일 재질(Inconel 718)의 모재에 Ni-Cr-Al 금속 코팅하여 시편을 제작하였다. 금속 코팅의 품질 변화를 비교하기 위해서 금속코팅의 접착인장강도 시험 (Tensile Bond Strength) 및 코팅면 조직검사(Microstructure Examination)를 위한 시편을 각각 25개씩

'A'와 'B 시편'군으로 나누었다. B 시편군은 열처리중 외기에 의한 코팅오염을 방지하기 위하여 진공도 10⁻³토르 이하를 유지하는 진공열처리로를 사용하여 제작사 매뉴얼의 PW SPOP 465-2 (Cycle No. 12A)에 따라 Inconel 718 용접 후 열처리를 수행하였다.

표 103 Ni-Cr-Al코팅 Spray Parameters

Spray parameters	Specification PWA 53-47 (Metco 443NS)
Spray Material Chemical Composition	Ni 18.5Cr6Al
Spray Gun	7MB
Spray Nozzle	GH
Direct Current (A)	500
Voltage (V)	71
Flow rate of primary gas Ar (SCFH)	96
Flow rate of second gas H ₂ (SCFH)	27
Powder Feeding rate (g/min)	60
Spraying Distant (inch)	6

각 시편군의 접착인장강도시험은 ASTM C-633 (Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings)에 만족하는 조건으로, 코팅면 조직검사는 제작사 매뉴얼 (PW SPM)에 만족하는 조건으로 시험하였다.

(5) 시험 결과

(가) 접착인장강도 시험 (Tensile Bond Strength Test)

시편의 금속 코팅의 접착부에서 파단현상이 발생될 때까지 일정비율(0.040 inch/min)로 강도를 증가하여 인장하였으며, 파단현상이 발생될 때의 강도를 인장강도 값으로 구하였다. A 시편군 (10개)은 최고 8,778 psi, 최저 6,739 psi 지점에서 접착부의 파단현상이 발생하였고 평균 7,930.8 psi의 인장강도를 보였다. B 시편군 (15개)은 평균 8,577 psi (최고 9,673 psi, 최저 7,391 psi)를 보였다.

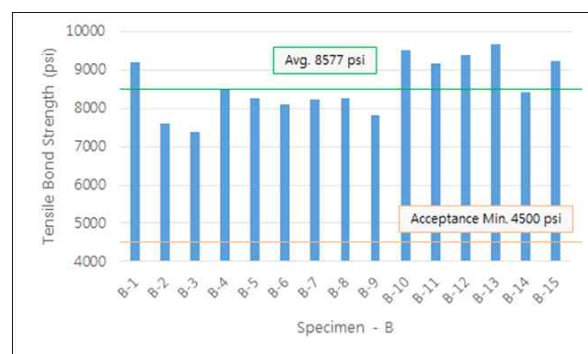
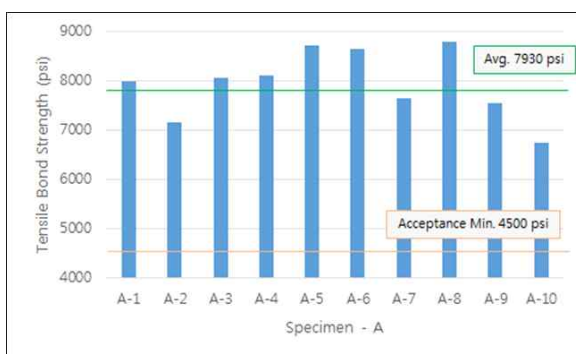


그림 193 Ni-Cr-Al 코팅 접착인장강도 시험 결과

A 시편군 및 B 시편군 모두 제작사 매뉴얼에서 요구하는 최저 접착인장강도(4,500 psi)를 넘어서는 인장강도를 보였으며, PWHT 열처리를 수행한 B 시편군에서 약 600 psi의 미약하지만 평균접착인장강도가 향상된 결과를 보였다.

표 104 시편그룹별 Ni-Cr-Al 코팅접착인장강도 시험 결과

Specimen Group	Min. Tensile Strength	Max. Tensile Strength	Avg. Tensile Strength
A	6,739 psi	8,778 psi	7,930 psi
B (PWHT)	7,391 psi	9,673 psi	8,577 psi
Note: Acceptable Bond Strength Limit 4,500 psi (PW SPM Acceptance Standards)			

(나) 코팅면 조직검사 (Microstructure Examination)

100배 광학현미경을 이용하여 Ni-Cr-Al 금속 코팅 단면의 경계면 상태와 코팅 조직을 관찰하였다. A, B 시편군 모두 제작사매뉴얼의 PWA 53-47의 미세조직구조 판정기준 (Microstructure Acceptance Standards)에 만족하는 결과를 보였다. 금속 코팅 접착면 오염 (Interface Contamination), 다공성(Porosity) 및 구형 입자(Globular Particles) 비율을 두 시편군의 정량적 비교를 위해 사용하였다. A 시편군의 코팅면 조직에서 B 시편군과 비교하여 상대적으로 낮은 다공성(Porosity, Avg. 4.7%)과 구형 입자(Globular Particles, Avg. 3%) 비율을 보였으나, 접착면 오염 (Interface Contamination, Avg. 21%) 비율이 상대적으로 높게 나타났다.

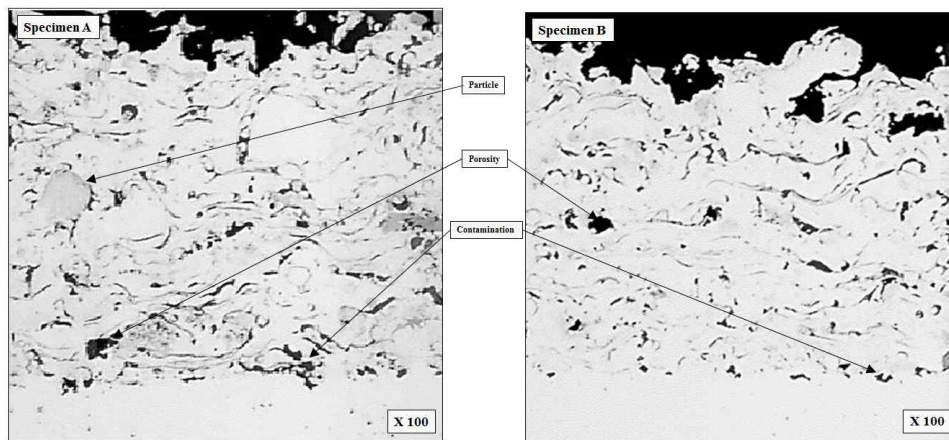


그림 195 Ni-Cr-Al 코팅 금속조직 정의

표 105 Ni-Cr-Al 코팅 금속조직검사 결과

Definition (Acceptance Standards)	Specimen A	Specimen B
Interface Contamination (Max. 35 %)	Avg. 21 % Max. 30 %	Avg. 13 % Max. 20%
Porosity (Max. 15 %)	Avg. 4.7 % Max. 5 %	Avg. 6.8 % Max. 15 %
Globular Particles (Max. 5 %)	Avg. 3 % Max. 3 %	Avg. 3.4 % Max. 5%

(다) 금속 코팅의 열처리 전후 품질 변화 연구

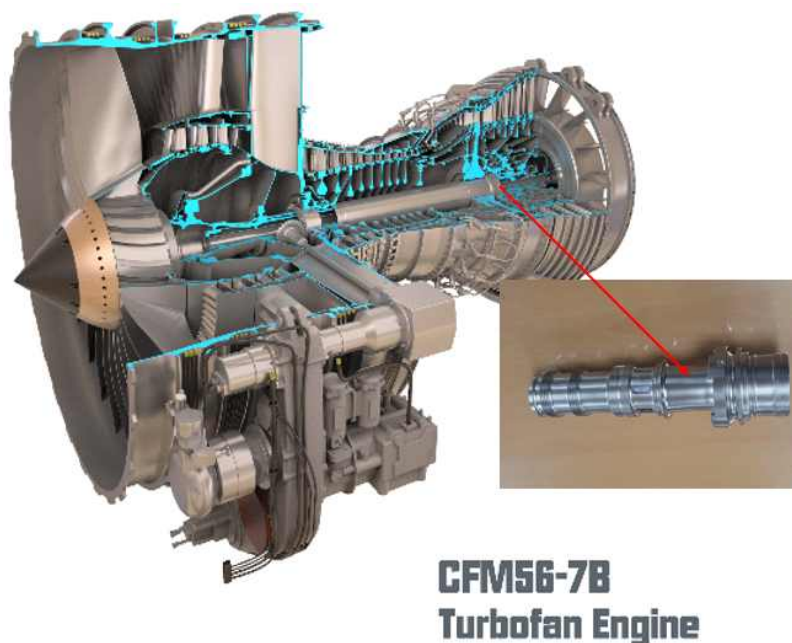
Inconel 718 소재에 Ni-Cr-Al 금속 코팅한 시편을 접합인장강도 시험, 코팅면 조직검사 및 평가하여 용접후 열처리 이후의 Ni-Cr-Al 금속 코팅 품질의 변화를 확인 할 수 있었다. 열처리를 수행 한 B 시편군이 조금 높은 접합인장강도의 결과를 나타내었고, 열처리하지 않은 A 시편군이 조금 더 좋은 코팅조직의 결과를 나타내었다. Inconel 718 용접후 열처리 이후의 코팅품질은 제작사 매뉴얼의 품질기준을 벗어나지 않는 범위 내에서 A 시편군과 미세한 차이를 보였다. LPT Case에 적용된 Ni-Cr-Al 금속 코팅 품질은 Inconel 718 용접후 열처리의 열영향과 상관관계가 없었다.

결함부위가 Case의 용접 수리가 필요한 경우에는 기존에 적용된 금속 코팅을 모두 제거하고 용접 후 열처리를 수행하였고 이후에 새로운 금속 코팅을 적용하여 수리를 완성하였다. 이는 금속 코팅이 적용된 Case를 일반열처리를 수행하였을 때 코팅 재료가 산화되어 품질이 저하되어 제거하고 금속 코팅을 다시 수행하여야만 했다. 진공열처리 기술을 적용하여 용접 후 열처리를 수행하였을 때 금속 코팅의 품질이 만족스러운 결과를 나타내었으며, 결함이 없는 기존의 금속 코팅을 제거하지 않고 필요한 수리를 완성할 수 있는 능력을 확보할 수 있다.

다. CFM56 엔진 Rear Vent Tube 수리 작업공정 설계

(1) 부품 개요

LPT Shaft Assembly는 Booster Shaft와 LPT Rotor를 연결하며, LPT Shaft와 Center Vent Tube, Rear Vent Tube로 구성되어 있다. Rear Vent Tube는 Center Vent Tube의 후방에 장착이 되며, 3개의 Locating Pin으로 연관된 각 위치를 유지한다.



(2) CFM56 엔진 Rear Vent Tube 작업 공정 설계

(가) 세척 (Cleaning) 절차 검토

- ① 탈지 (Degreasing)
 - ㉠ 용제 세정 (Solvent Degreasing)
 - ㉡ 증기 세정 (Vapor Degreasing)
- ② 녹제거 (Descale)
 - ㉠ 철합금 녹제거 (Descaling Ferrous Alloy)

(나) 검사 (Inspection) 절차 검토

- ① 형광침투검사 (Fluorescent Penetrant Inspection)
- ② 육안검사 (Visual Inspection)
 - ㉠ All area
 - Cracks
 - Dents
 - Nicks and Scratches
 - ㉡ Mating Surfaces (Diameter A, B and E)
 - Fretting
 - Pitting
 - ㉢ Seal Teeth
 - Seizure Marks, Scratches, Nicks and/or Dents
 - Bent Seal Tooth
 - High Metal
 - Waviness
 - Cracked or Missing
 - Worn Outer Diameter
 - ㉣ Locating Holes (Diameter G)
 - Impacts, Marks, or Scratches
 - Wear
 - ㉤ Locating Diameter P
 - Fretting
- ③ 치수검사 (Dimensional Inspection)
 - Diameter A, B, C, D, E, G and P

(다) 수리 (Repair) 절차 검토

- ☐ 수리 명칭 : Repair of the index holes by weld build-up
Rear Vent Tube의 Index Hole을 Weld build-up 수리에 대한 방법

① 공구 및 장비 (Tools and Equipment)

- ㉠ Special Tools : 없음
- ㉡ Standard Tools and Equipment : 없음
- ㉢ Locally Manufactured Tools : 없음.

② 소모 자재 (Consumable Materials)

- ㉠ 용접봉 - Jethete M190 (Martensitic Stainless Steel Weld Wire)
- ㉡ 용접봉 - Jethete M152 (Martensitic Stainless Steel Weld Wire)

③ 수리 절차 (Procedure)

- ㉠ 부품의 Diameter P에 Ni-Cr-Al 코팅이 존재하면 제거한다.
- ㉡ 결함이 있는 Hole을 Machine한다.
- ㉢ Gas Shielded Tungsten Arc Welding(GTAW)로 결함부위를 Build-up 용접한다.
- ㉣ 진공열처리로에서 열처리를 한다.
- ㉤ 부품의 Diameter P와 I를 Machine한다.
- ㉥ Hole의 Diameter G를 Machine한다.
- ㉦ 수리부위를 형광침투검사와 X-ray검사를 한다.
- ㉧ 최종으로 외관 검사를 한다. (Ni-Cr-Al 코팅을 제거하였다면 해당 수리가 필요하다)

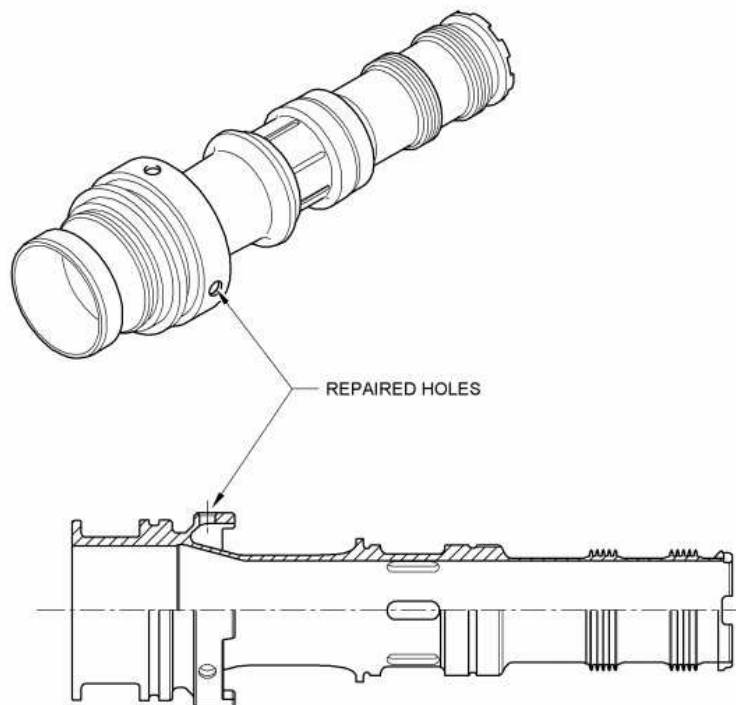


그림 198 CFM56 엔진 Rear Vent Tube의 Index Hole
Weld Build-up

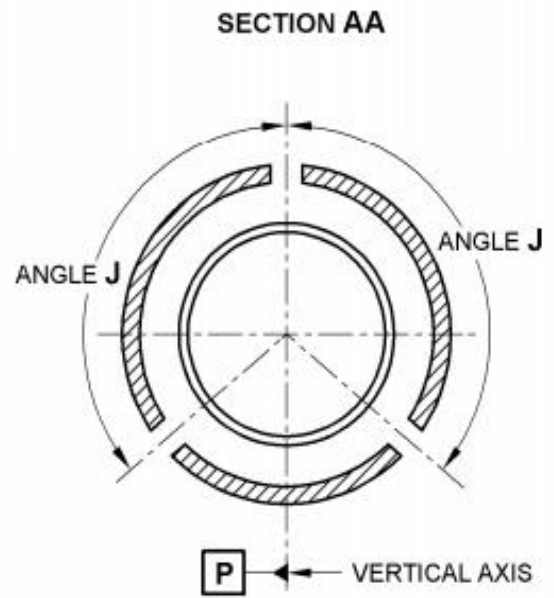
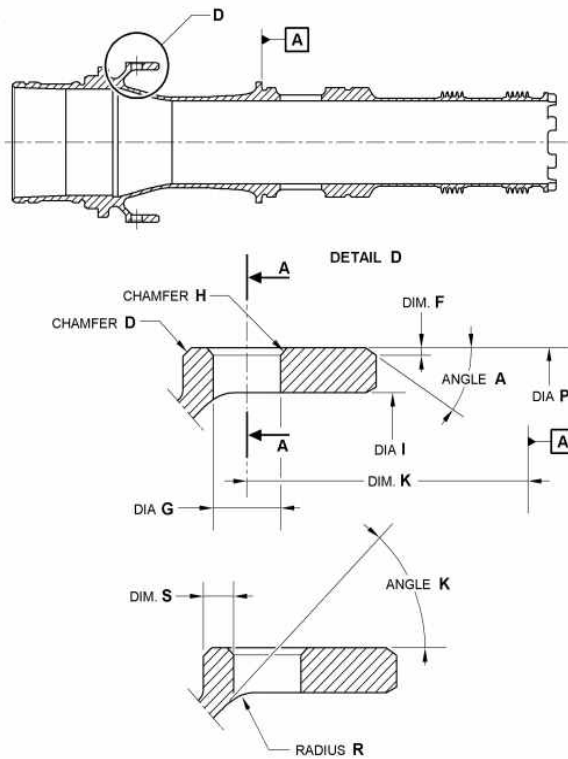


그림 199 CFM56 엔진 Rear Vent Tube의 Dimensional Information

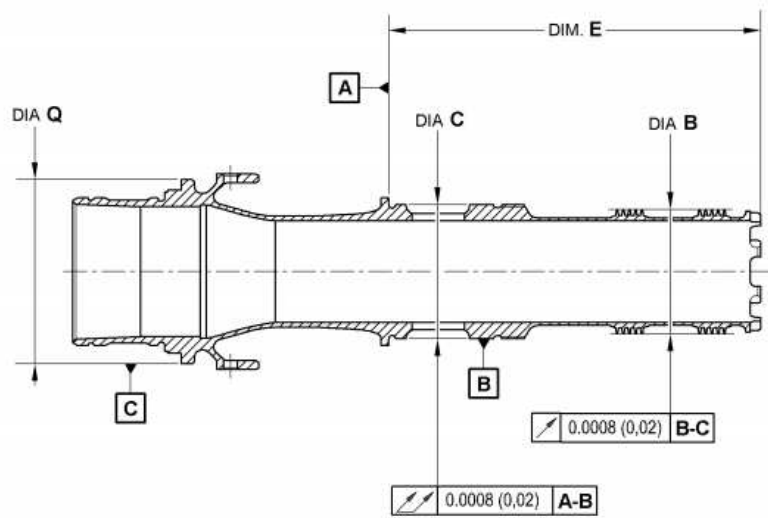


그림 200 CFM56 엔진 Rear Vent Tube의 Final Dimension

(라) 진공열처리기술 공정설계

① 진공열처리 조건

㉞ 진공도 : 1×10^{-3} 토르 이하

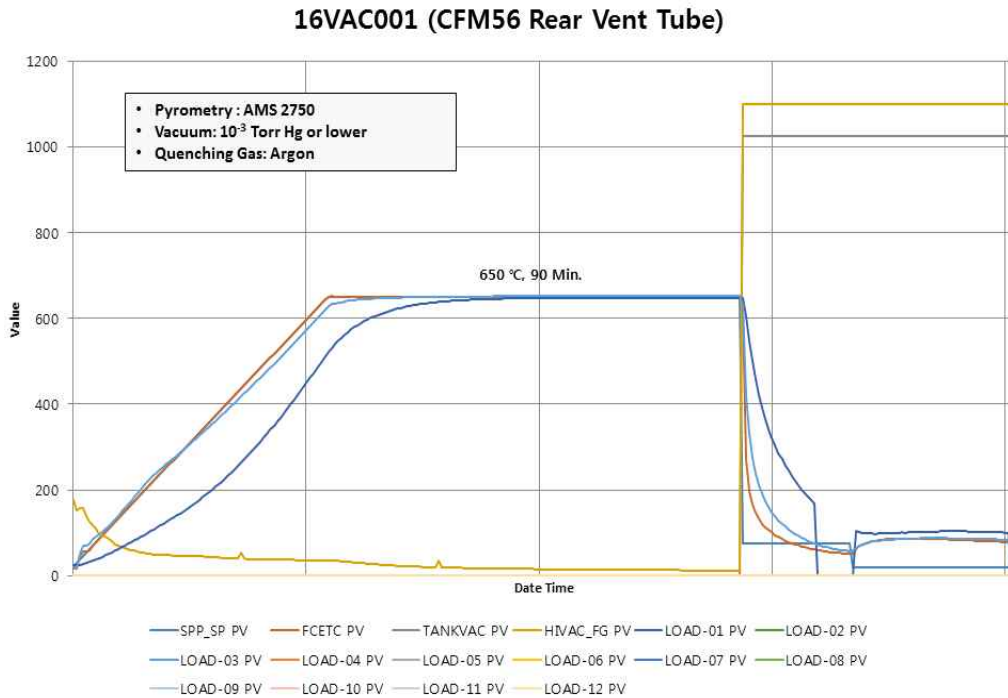


그림 201 CFM56 엔진 Rear Vent Tube 열처리 그래프

② 열처리공정 검토

□ 조건1, 용접봉 Jethete M152 사용.

㉠ 열처리로 내 부품의 온도를 1,208 ± 18°F (650 ± 10 °C)까지 상승한다.

㉡ 1시간 30분간 부품 온도를 유지한다.

㉢ 불활성가스를 이용하여 상온까지 냉각한다.

□ 조건2, 용접봉 Jethete M190 사용.

㉠ 열처리로 내 부품의 온도를 1049 ± 45 °F (565 ± 5 °C)까지 상승한다.

㉡ 3시간동안 부품 온도를 유지한다.

㉢ 불활성가스를 이용하여 상온까지 냉각한다.

㉣ 두 번째 열처리,

열처리로 내 부품의 온도를 1022 ± 45 °F (550 ± 5 °C)까지 상승한다.

㉠ 3시간동안 부품의 온도를 유지한다.

㉢ 불활성가스를 이용하여 상온까지 냉각한다.

Program Record Powerplant Maint. Center Korean Air	Department Code SELMEC	Repair Shop Code 881_MET																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	Program No. 13	Equipment Code VACUUM FURNACE																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Part Description REAR VENT TUBE	Part Number 304-170-401-0	ATA Chapter ENG001H ESM 72-55-10 REP 004																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Job Description Repair of the index holes by weld build-up Refer to ENG001H ESM 72-55-10 REP 004 Heat Treatment Cycle																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Program Description Name: CFM56-4 Description: 72-55-10 REP02 RVF2(CF5000)1 Eng Units: °C Ramp Type: RATE Guard Hold Type: Per Seg Profile Duration: 600 Minutes Time Units: Minutes Guard Hold Lo Lim: 5.00 Overtemp: 580 °C Guard Hold Hi Lim: 5.00 Program Control Show																																																																																																																																																																																																																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Segment</th> <th>Type</th> <th>Start Value/ Soak Value</th> <th>Rate/ Soak Time</th> <th>Guard Hold</th> <th>Aux Start Value</th> <th colspan="16">Events</th> <th>Event Description</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th><th>13</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Soak</td> <td>20.00</td> <td>0.10</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Ramp</td> <td>20.00</td> <td>8.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Soak</td> <td>585.00</td> <td>180.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Ramp</td> <td>585.00</td> <td>9999.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Soak</td> <td>25.00</td> <td>10.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Soak</td> <td>25.00</td> <td>0.10</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Soak</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Soak</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Soak</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Soak</td> <td>0.00</td> <td>0.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Segment	Type	Start Value/ Soak Value	Rate/ Soak Time	Guard Hold	Aux Start Value	Events																Event Description							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		1	Soak	20.00	0.10	☐	0.00	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		2	Ramp	20.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		3	Soak	585.00	180.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		4	Ramp	585.00	9999.00	☐	0.00	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		5	Soak	25.00	10.00	☐	0.00	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		6	Soak	25.00	0.10	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		7	Soak	0.00	0.00	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		8	Soak	0.00	0.00	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		9	Soak	0.00	0.00	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		10	Soak	0.00	0.00	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Segment	Type	Start Value/ Soak Value	Rate/ Soak Time	Guard Hold	Aux Start Value	Events																Event Description																																																																																																																																																																																																																																																																
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																																																																																																																																																																																																																																																																	
1	Soak	20.00	0.10	☐	0.00	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
2	Ramp	20.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	Soak	585.00	180.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	Ramp	585.00	9999.00	☐	0.00	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
5	Soak	25.00	10.00	☐	0.00	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
6	Soak	25.00	0.10	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
7	Soak	0.00	0.00	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
8	Soak	0.00	0.00	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
9	Soak	0.00	0.00	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
10	Soak	0.00	0.00	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
Reason for Revision																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Programmed By	Checked By	Inspected By																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Signature 이 원 형	Signature 김 동 민	Signature 김 동 민																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Date 17 06 15	Date 17 06 15	Date 17 06 15																																																																																																																																																																																																																																																																																				

그림 202 CFM56 엔진 Rear Vent Tube 진공열처리 Program Record

③ 작업 공정 설계

CFM56 엔진 Rear Vent Tube의 Index Hole Weld Buildup 수리에는 Jethete M152 용접봉을 사용하여 조건1의 열처리기술을 적용하여 작업 공정을 설계하였다.

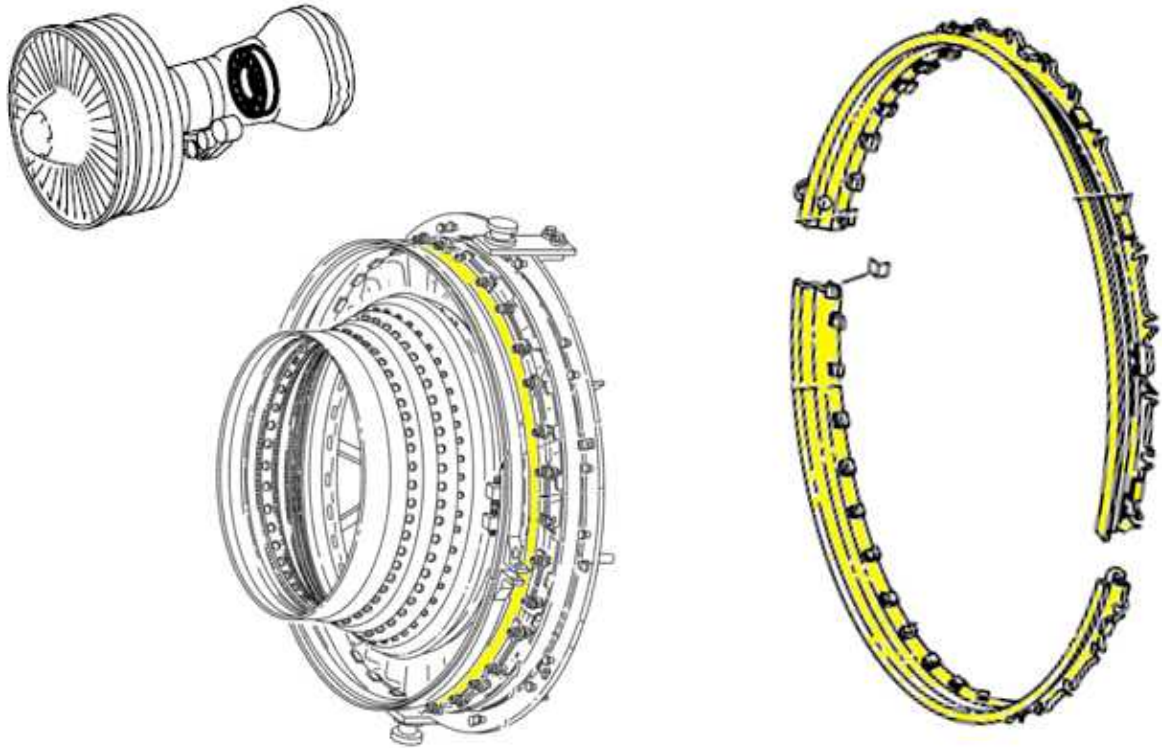


그림 204 PW4000 엔진 Combustion Chamber Guide

Combustion Chamber Outer Liner와 1 Stage Turbine Nozzle Assembly를 연결해주는 역할을 하는 부품이다. Upper / Lower Combustion Chamber Guide는 Turbine Nozzle 앞부분에 Bolt로 고정되어 있으며, Diffuser Module과 조립할 때, 외부의 C/C Clamp가 Guide와 C/C Outer Liner를 고정한다.

(2) 작업공정 설계

(가) 세척 (Cleaning) 절차 검토

- ① 알칼리 녹제거 (One-Step Alkaline Rust Remover Long Soak)
- ② 수용액 세정 (Degreasing of Parts by Aqueous Cleaning)

(나) 검사 (Inspection) 절차 검토

- ① 형광침투검사 (Fluorescent Penetrant Inspection)
- ② 육안검사 (Visual Inspection)
 - ㉠ Surface Damage
 - Wear
 - Crack
 - Dent

- Nick
- Corrosion
- Burning
- Coating (Chipped, Worn)

③ 치수검사 (Dimensional Inspection)

- For Wear and Distortion

(다) 수리 (Repair) 절차 검토

□ 수리 명칭 : Axial and Radial Crack Weld Repair

Combustion Chamber Guide Index Hole의 축방향 및 원심방향 균열 용접수리방법

① 장비 공구 (Tools and Equipment)

- ㉠ Special Tools : 없음
- ㉡ Standard Tools and Equipment : 없음
- ㉢ Locally Manufactured Tools : 없음

② 소모 자재 (Consumable Materials)

- ㉠ 용접봉 AMS 5798 (Hastelloy X Weld Wire)

③ 수리 절차 (Procedure)

- ㉠ 부품을 Solution 열처리를 한다.
- ㉡ 용접수리하기 위해 모든 축방향, 원심방향 균열 부위를 Route out한다.
- ㉢ Route out한 균열부위의 끝을 Stop Drill한다.
- ㉣ 수리부위의 Plasma 코팅을 제거한다.
 - Grit Blast 또는 Wet Blast로 코팅을 제거한다. (No. 60 Aluminum oxide Grit)
- ㉤ Gas Shielded Tungsten Arc Welding(GTAW)로 축방향, 원심방향 균열을 용접한다.
- ㉥ 부품의 Cooling Hole을 Drill한다.
- ㉦ 부품을 Solution 열처리를 한다.
- ㉧ 형광침투검사를 하여 용접부의 균열을 확인한다.
- ㉨ 수리부위의 치수검사 및 육안검사를 한다.
 - (Plasma 코팅이 제거되었다면 해당 수리를 한다.)

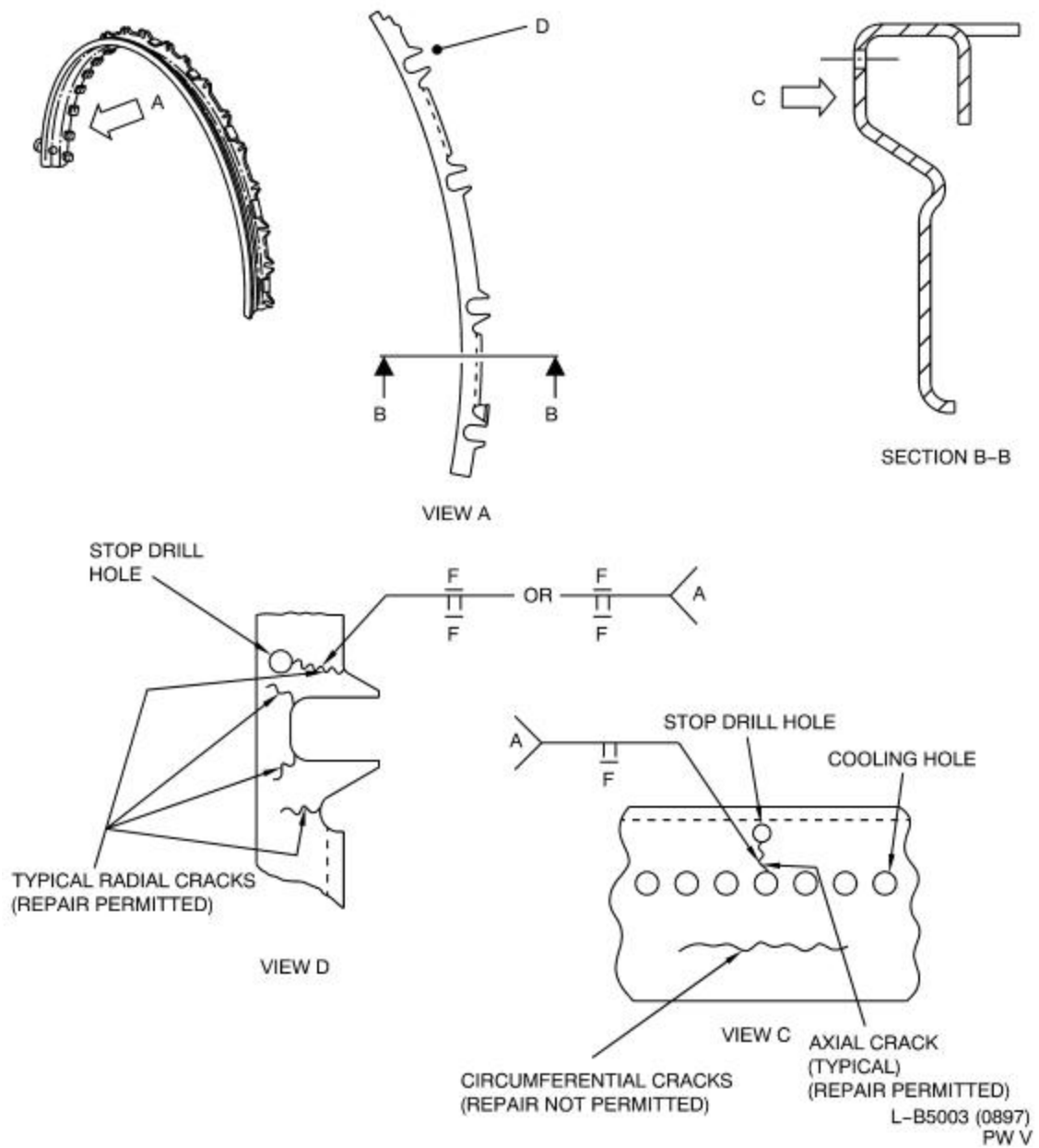


그림 205 PW4000 엔진 Combustion Chamber Guide의 축방향 원심방향 균열 용접

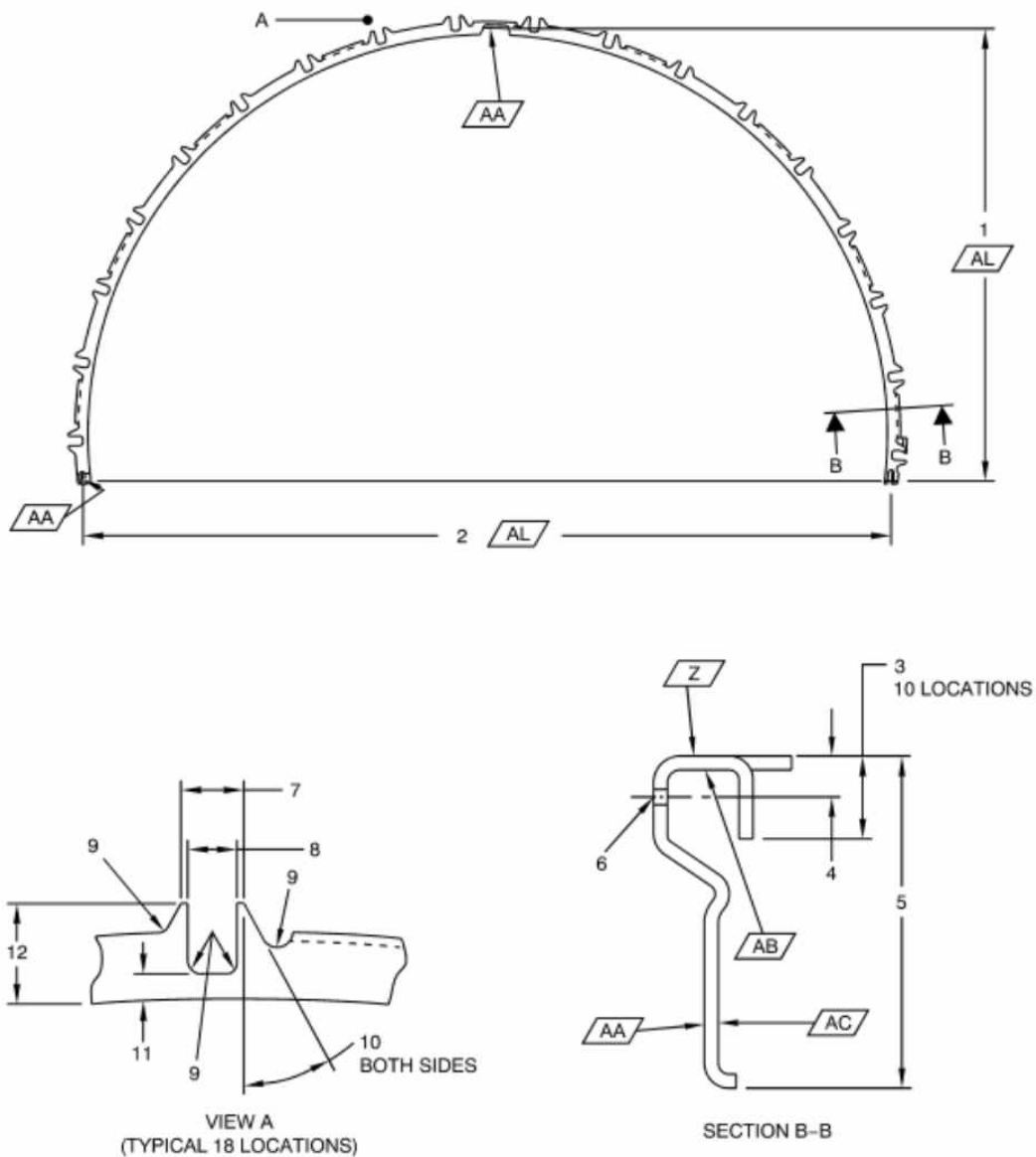


그림 206 PW4000 엔진 Combustion Chamber Guide의 Final Dimension

(라) 진공열처리기술 공정설계

① 진공열처리 조건

㉠ 진공도 : 1×10^{-3} 토르 이하

② 열처리공정 검토

㉠ 열처리로 내 부품의 온도를 1,875 - 1,925 °F (1,024 - 1,052 °C)까지 상승한다.

㉡ 1시간 동안 부품 온도를 유지한다.

㉢ 불활성가스를 이용하여 상온까지 냉각한다.

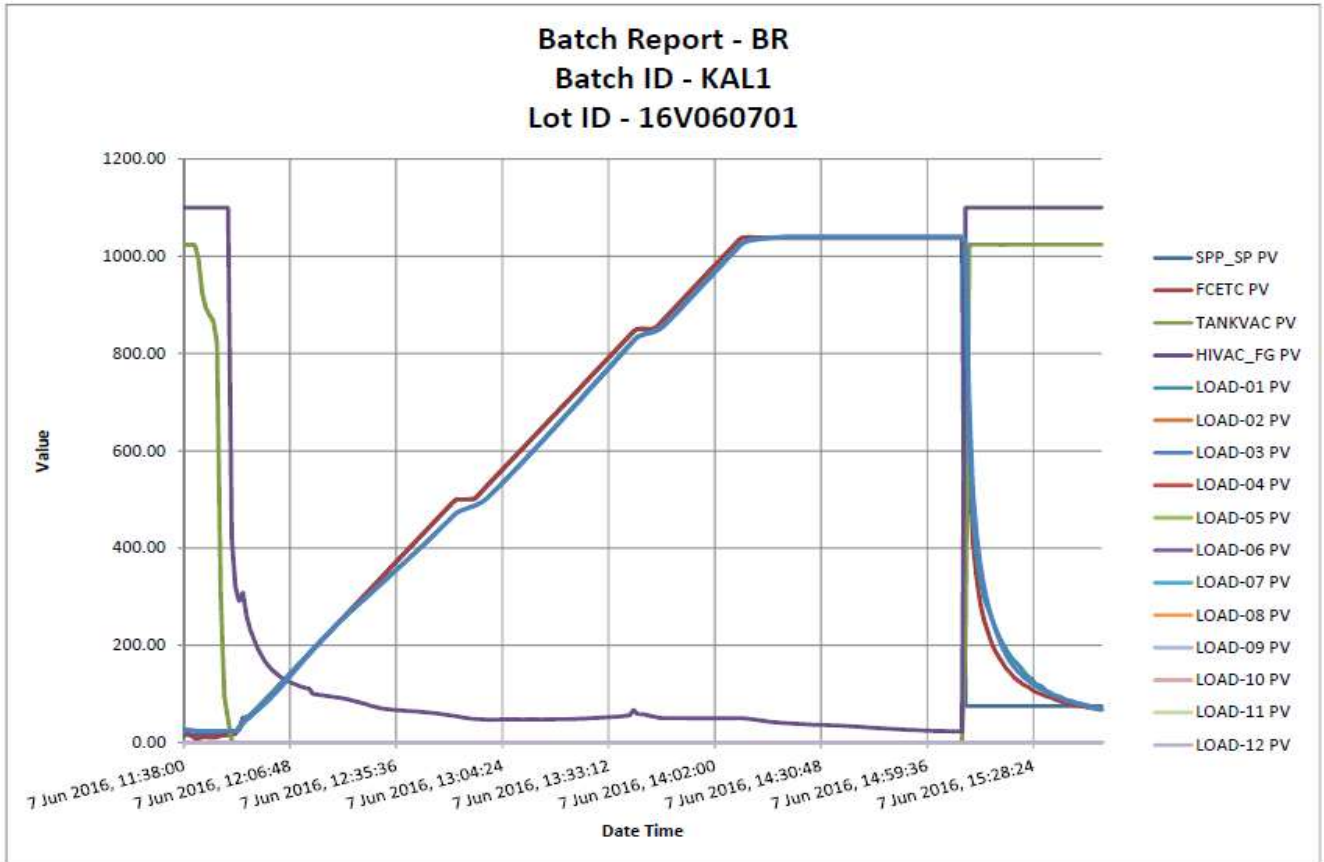


그림 207 PW4000 엔진 Combustion Chamber Guide 열처리 그래프

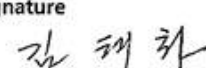
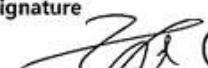
Program Record	Department Code SELMEC	Repair Shop Code 881 - MET																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	Powerplant Maint. Center Korean Air	Program No. PW4000-4	Equipment Code VACUUM FURNACE																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Part Description C/C Guide	Part Number 50K364-01	ATA Chapter 72-51-08																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Job Description PW4000 C/C Guide - SOLUTION HEAT TREATMENT																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Program Description Name: PW4000-4 Description: 72-51-08 C/C Guide(SOP482) Eng Units: °C Ramp Type: RATE Guard Hold Type: Pre Soak Preheat Duration: 300 Minutes Time Units: Minutes Guard Hold Lo Lim: 14.00 Overtemp: 1000 °C Guard Hold Hi Lim: 14.00 Program Control Show																																																																																																																																																																																																																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Segment</th> <th>Type</th> <th>Start Value/ Soak Value</th> <th>Ramp/ Soak Time</th> <th>Guard Hold</th> <th>Aux Start Value</th> <th colspan="16">Events</th> <th>Event Description</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th><th>13</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Soak</td> <td>20.00</td> <td>0.10</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Ramp</td> <td>20.00</td> <td>8.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Soak</td> <td>500.00</td> <td>5.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Ramp</td> <td>500.00</td> <td>8.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Soak</td> <td>850.00</td> <td>5.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Ramp</td> <td>850.00</td> <td>8.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Soak</td> <td>1020.00</td> <td>10.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Ramp</td> <td>1020.00</td> <td>9999.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Soak</td> <td>75.00</td> <td>10.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Soak</td> <td>75.00</td> <td>0.10</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Segment	Type	Start Value/ Soak Value	Ramp/ Soak Time	Guard Hold	Aux Start Value	Events																Event Description							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		1	Soak	20.00	0.10	☐	0.00	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		2	Ramp	20.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		3	Soak	500.00	5.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		4	Ramp	500.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		5	Soak	850.00	5.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		6	Ramp	850.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		7	Soak	1020.00	10.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		8	Ramp	1020.00	9999.00	☐	0.00	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		9	Soak	75.00	10.00	☐	0.00	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		10	Soak	75.00	0.10	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Segment	Type	Start Value/ Soak Value	Ramp/ Soak Time	Guard Hold	Aux Start Value	Events																Event Description																																																																																																																																																																																																																																																																
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																																																																																																																																																																																																																																																																	
1	Soak	20.00	0.10	☐	0.00	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
2	Ramp	20.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	Soak	500.00	5.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	Ramp	500.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
5	Soak	850.00	5.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
6	Ramp	850.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
7	Soak	1020.00	10.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
8	Ramp	1020.00	9999.00	☐	0.00	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
9	Soak	75.00	10.00	☐	0.00	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
10	Soak	75.00	0.10	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
Reason for Revision																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Programmed By	Checked By	Inspected By																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Signature 	Signature 	Signature  (KAL 07)																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Date 160315	Date 16 03 21	Date 160401																																																																																																																																																																																																																																																																																				

그림 208 PW4000 엔진 Combustion Chamber Guide 열처리 Program Record

③ 작업 공정 설계

PW4000 엔진 Combustion Chamber Guide의 축방향과 원심방향의 균열 용접수리에는 Hastalloy X 재질의 Solution 열처리기술을 적용하여 작업 공정을 설계하였다.

KOREAN AIR WORK ORDER				Work Order: 1263701				Item: SN: Instance: Qty:			
Work Order: 1263701 Visit No: 000 Origin W/O: N/A Program Type: RUP/Repair Route No: GU006P_REP_C Route Title: AXIAL AND RADIAL CRACK WELD REPAIR (SPM 70-42-04 SPOF-482) Ref Doc: (Subtype/RefDoc) N/A CIR/51A357/86/72-51-09 WELD REPAIR CIRCUMFERENTIAL CRACKS. **** APPLICABLE TO KAL ENGINE ONLY. DO NOT APPLY TO CUSTOMER ENGINE.				Date: Tech: ND Insp: N/A 1263701 01				Date: Tech: T3 Insp: 1 1263701 01			
Seq: 20 Route Number: (C) ACTION & TASK DESCRIPTION SUBTASK 72-51-GUD006P-REP-017 HEAT TREAT THE COMBUSTION CHAMBER GUIDE Refer to PW SPM(PN 585005) 70-42-04 SPOF-482 (1) MAINTENANCE PREPARATION * PME CONTROL NO: ME000 *** IF PME DOES NOT NEED, DO N/A. CAUTION: SPOF 482 MUST BE USED TO SOLUTION HEAT TREAT PWA 1038 HASTELLOY X MATERIAL. (2) Increase the temperature of the part to 1875 ± 195°F (1024 ± 105°C) and hold for one hour. PMC 2232 hydrogen, PMC 2200 argon, or a vacuum is a satisfactory atmosphere. NOTE: When solution treating is to be followed by weld repair that requires complete prior removal of oxides, hydrogen is preferred because of its characteristic and beneficial cleaning action over the entire part. Hydrogen cleaning removes oxides from all surfaces, including those difficult to clean mechanically and, to so extent, from the inside of cracks to be welded. Load thermocouples make sure that parts meet process temperature and rate requirements. (SPM 70-42-04 GENERAL-01) A minimum of one load thermocouple must be attached to the workload or put in a representative work block. NOTE: Do not weld thermocouples to parts unless specified differently in the Engine Manual repair. RECORD LOT ID: _____				30 Route Number: (C) REP_MET_INSP SUBTASK 72-51-GUD006P-REP-030 WELD REPAIR CRACK (1) ROUTE OUT THE CRACKS TO BE REPAIRED THROUGH THE METAL THICKNESS. (2) STOP DRILL THE END OF THE ROUTED OUT CRACK. (3) INSTALL THE GUIDE INTO A SUITABLE FIXTURE TO PREVENT DISTORTION DURING WELDING. (4) USE WELDING WIRE(P05-180, AMS5798) TO WELD THE CRACKS PER PWA 16. USE TIG WELD METHOD. * Weld Wire Lot No: _____ * Weld Wire T/R No: _____				90 Route Number: (C) REP_MET_INSP SUBTASK 72-51-GUD006P-REP-070 HEAT TREAT THE COMBUSTION CHAMBER GUIDE Refer to PW SPM(PN 585005) 70-42-04 SPOF-482 (1) MAINTENANCE PREPARATION * PME CONTROL NO: ME000 *** IF PME DOES NOT NEED, DO N/A. CAUTION: SPOF 482 MUST BE USED TO SOLUTION HEAT TREAT PWA 1038 HASTELLOY X MATERIAL. (2) Increase the temperature of the part to 1875 ± 195°F (1024 ± 105°C) and hold for one hour. PMC 2232 hydrogen, PMC 2200 argon, or a vacuum is a satisfactory atmosphere. NOTE: When solution treating is to be followed by weld repair that requires complete prior removal of oxides, hydrogen is preferred because of its characteristic and beneficial cleaning action over the entire part. Hydrogen cleaning removes oxides from all surfaces, including those difficult to clean mechanically and, to so extent, from the inside of cracks to be welded. Load thermocouples make sure that parts meet process temperature and rate requirements. (SPM 70-42-04 GENERAL-01) A minimum of one load thermocouple must be attached to the workload or put in a representative work block. NOTE: Do not weld thermocouples to parts unless specified differently in the Engine Manual repair. (3) RECORD LOT ID: _____			
Date: Tech: T1 Insp: 1 1263701 01				40 Route Number: (C) NDT_FPI SUBTASK 72-51-GUD006P-REP-025 FPI Refer to PW SPM(S85005) 70-33-00 SPOF-62 (1) DO FPI PER SPOF-62 * FPI THE WELD AREA PER SPOF 62, CRACKS ARE NOT PERMITTED.				100 Route Number: (C) NDT_FPI SUBTASK 72-51-GUD006P-REP-073 FPI Refer to PW4000 CIR(51A357) 72-51-00 INSPECTION/CHECK-02 Refer to PW4000 CIR(51A357) 72-51-00 INSPECTION/CHECK-02 Refer to PW SPM(S85005) 70-33-00 SPOF-62 (1) DO FPI PER SPOF-62 * FPI THE WELD AREA PER SPOF 62, CRACKS ARE NOT PERMITTED.			
Revision Date: 04-JAN-17 Released Date: _____ Page 1 of 5				Revision Date: 04-JAN-17 Released Date: _____ Page 2 of 5				Revision Date: 04-JAN-17 Released Date: _____ Page 3 of 5			

Work Order: 1263701				Item: SN: Instance: Qty:			
Date: Tech: ND Insp: N/A 1263701 01				* Blast Ending Time: _____ (24HRS) * Coat Starting Time: _____ (24HRS) * Powder/Wire Lot No: _____ * Powder/Wire T/R No: _____			
120 Route Number: (C) REP_SHT SUBTASK 72-51-GUD006P-REP-074 REFORM (1) REFORM THE GUIDE TO THE NECESSARY DIMENSIONS AS SHOWN IN FIG. 902.				Date: Tech: T1 Insp: N/A 1263701 01			
130 Route Number: (C) TIM_PW4_INSP SUBTASK 72-51-GUD006P-REP-075 TABLE INSPECTION (1) MAINTENANCE PREPARATION * PME CONTROL NO: ME000 *** IF PME DOES NOT NEED, DO N/A. (2) DO AN EXAMINATION THE WELDS WITH A 3X MAGNIFIER AND WHITE LIGHT, CRACKS ARE NOT PERMITTED. Condition: _____ (3) MEASURE THE FOLLOWING DIMENSIONS REFER TO AE SHOWN IN FIGURE 902 * KAL INTERNAL NOTICE FOR MECHANIC * MEASURE TWICE USING RUN WHEN UNDER/OVERER LIMIT, N/A WHEN WITHIN L LIMIT. IDX LIMIT (INCH) ACTUAL 1 36.623-37.213 2 16.665-16.935				150 Route Number: (C) TIM_PW4_INSP SUBTASK 72-51-GUD006P-REP-000 TABLE INSPECTION Refer to PW4000 CIR(51A357) 72-51-00 INSPECTION/CHECK-03 Refer to PW4000 CIR(51A357) 72-51-00 INSPECTION/CHECK-04 (1) MAINTENANCE PREPARATION * PME CONTROL NO: ME000 *** IF PME DOES NOT NEED, DO N/A. NOTE: REPAIR AXIAL AND RADIAL CRACK PER REPAIR-05. (DO NOT SCRAP AT LOCAL, BUT, SCRAP IF YOU FIND CIRCUMFERENTIAL CRACK). (2) VISUAL INSPECTION (3) DIMENSIONAL INSPECTION IDX LIMIT (INCH) ACTUAL 1 0.465MAX			
Date: Tech: T1 Insp: 1 1263701 01				Date: Tech: T2 Insp: 1 1263701 01			
140 Route Number: (C) REP_MET SUBTASK 72-51-GUD006P-REP-090 APPLY SPRAY COAT Refer to PW4000 CIR(51A357) 72-51-09 REPAIR-01 (1) * PME CONTROL NO: ME000 *** IF PME DOES NOT NEED, DO N/A. (2) APPLY HARDFACE COATING PER Figure 901, Figure 902 and Figure 903. (3) REFER TO PWA 53-5. * RECORD THE GRIT BLAST USED AIR PRESSURE - SUCTION TYPE ACTUAL _____ PSI (LIMIT 40-60 PSI) - PRESSURE TYPE ACTUAL _____ PSI (LIMIT 30 PSI)				Revision Date: 04-JAN-17 Released Date: _____ Page 4 of 5			

그림 209 PW4000 엔진 Combustion Chamber Guide 작업공정서

마. CFM56 엔진 LPT Shroud Sector Ring 수리 작업공정 설계

(1) 부품 개요

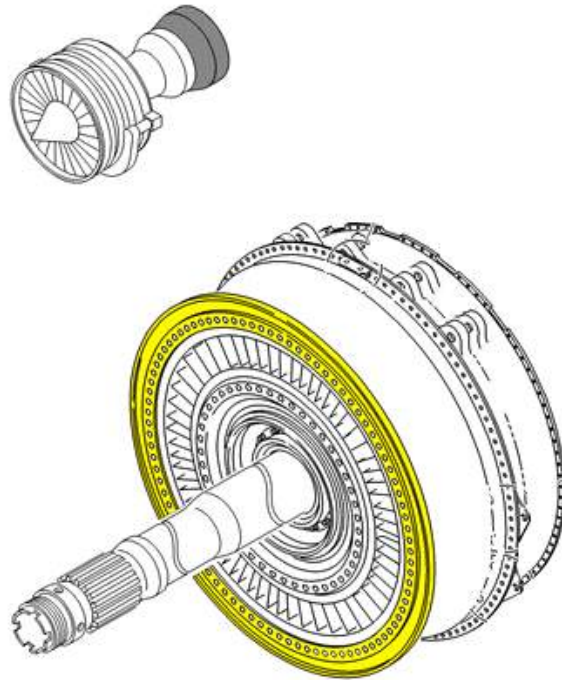


그림 210 CFM56 엔진 LPT Shroud Sector Ring

엔진의 Low Pressure Turbine (LPT)는 연소실에서 만들어진 연소가스 에너지를 Low Pressure Compressor (LPC)에 전달하는 역할을 하는 부품이다. LPT에서 만들어진 에너지는 엔진의 중심의 Turbine Shaft를 회전시키고, Turbin Shaft와 연결된 LPC가 회전 구동하게 된다.

Shroud Sector Ring은 LPT Module의 전방에 위치하여 HPT (High Pressure Turbine) Module의 Stage 1 Nozzle Support와 Bolt로 연결되는 Flange와 Rivet으로 연결되어 있다. 4개의 부품으로 이루어진 Shroud Sector Ring은 인코넬 718 소재이다.

(2) CFM56 엔진 LPT Shroud Sector Ring 작업 공정 설계

(가) 세척 (Cleaning) 절차 검토

① 탈지 (Degreasing)

㉠ 용제 세정 (Solvent Degreasing)

㉡ 증기 세정 (Vapor Degreasing)

② 녹제거 (Descal)

㉠ 철합금 녹제거 (Descaling Ferrous Alloy)

㉡ 오스테나이트 합금의 산화물제거 (Oxide Removal from Austenitic Alloys)

㉢ 오스테나이트 합금 미 내열강의 녹제거

(Heavy Oxide Removal from Austenitic Alloys and Heat-Resistant Alloys)

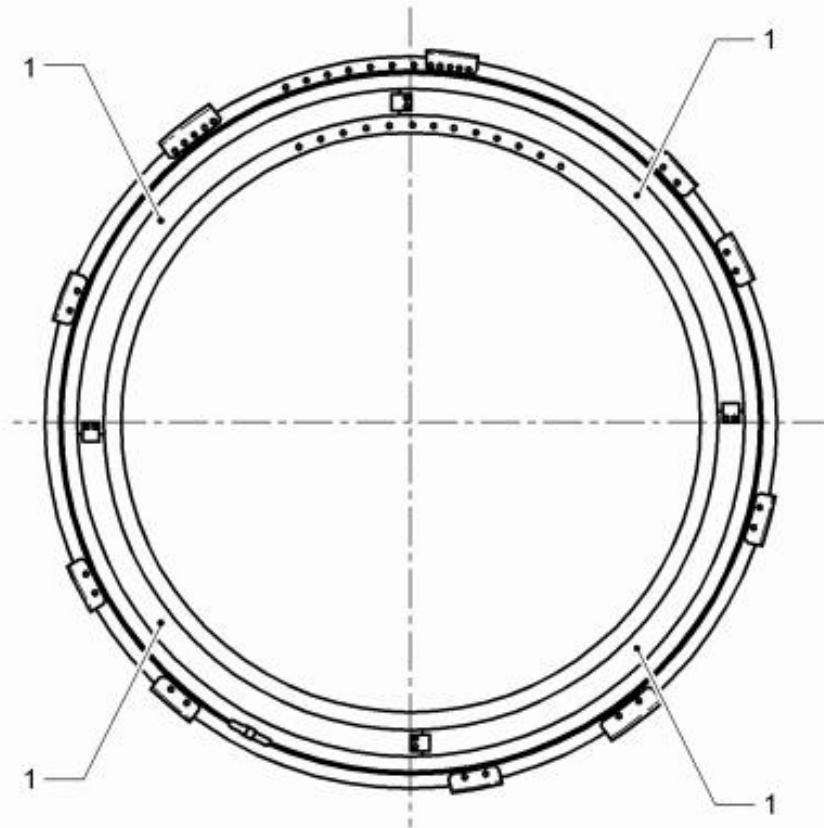
(나) 검사 (Inspection) 절차 검토

- ① 형광침투검사 (Fluorescent Penetrant Inspection)
- ② 육안검사 (Visual Inspection)
 - ㉠ Ring Sector Support
 - Crack (Radial / Between two holes)
- ③ 치수검사 (Dimensional Inspection)
 - ㉠ Dim. J

(다) 수리 (Repair) 절차 검토

- 수리 명칭 : Repair of Cracks on the Shield Shroud Sector by weld build-up
LPT Shroud Sector의 균열에 대한 Weld build-up 수리 방법

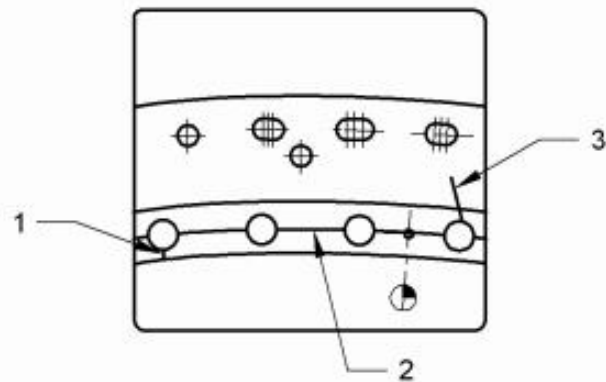
- ① 공구 및 장비 (Tools and Equipment)
 - ㉠ Special Tools : 없음
 - ㉡ Standard Tools and Equipment : 없음
 - ㉢ Locally Manufactured Tools : 없음.
- ② 소모 자재 (Consumable Materials)
 - ㉠ 용접봉 - AMS 5832 (Nickel alloy weld wire, Inconel 718)
- ③ 수리 절차 (Procedure)
 - ㉠ 부품의 Front Flange의 Rivet 체결된 부품을 모두 제거한다.
 - ㉡ Shield Shroud Sector를 형광침투검사를 한다.
 - ㉢ Gas Shielded Tungsten Arc Welding(GTAW)로 균열을 용접한다.
(Area H는 용접이 불가하다)
 - ㉣ 부품을 열처리한다.
 - ㉤ 용접부위를 초기 형상으로 가공한다.
 - ㉥ LPT Case를 형광침투검사를 한다.
 - ㉦ LPT Case Front Flange에 부품을 장착한다.



MATERIAL :
 1 : REPAIRED SHIELD SHROUD SECTORS, INCONEL 718 (NC19FeNb)

그림 211 CFM56 엔진 LPT Shroud Sector의 Weld Build-up

CRACKS	REPAIRABLE LIMIT
CRACKS INITIATING INTO AN HOLES :	
- CRACKS "TYPE 1" (RADIAL)	ONE CRACK PER HOLE, ANY LENGTH
- CRACKS "TYPE 2" (BETWEEN TWO HOLES)	ONE CRACK PER HOLE, ANY LENGTH
- CRACKS "TYPE 3"	ONE CRACK PER HOLE, MAXIMUM LENGTH : 0.7874 (20)



NOTE:

DIMENSIONS ARE IN INCHES WITH
MILLIMETERS IN PARENTHESES.

그림 212 CFM56 엔진 LPT Shroud Sector의 수리가능 균열

SECTION FOR THE 4 SHIELD SHROUD SECTORS

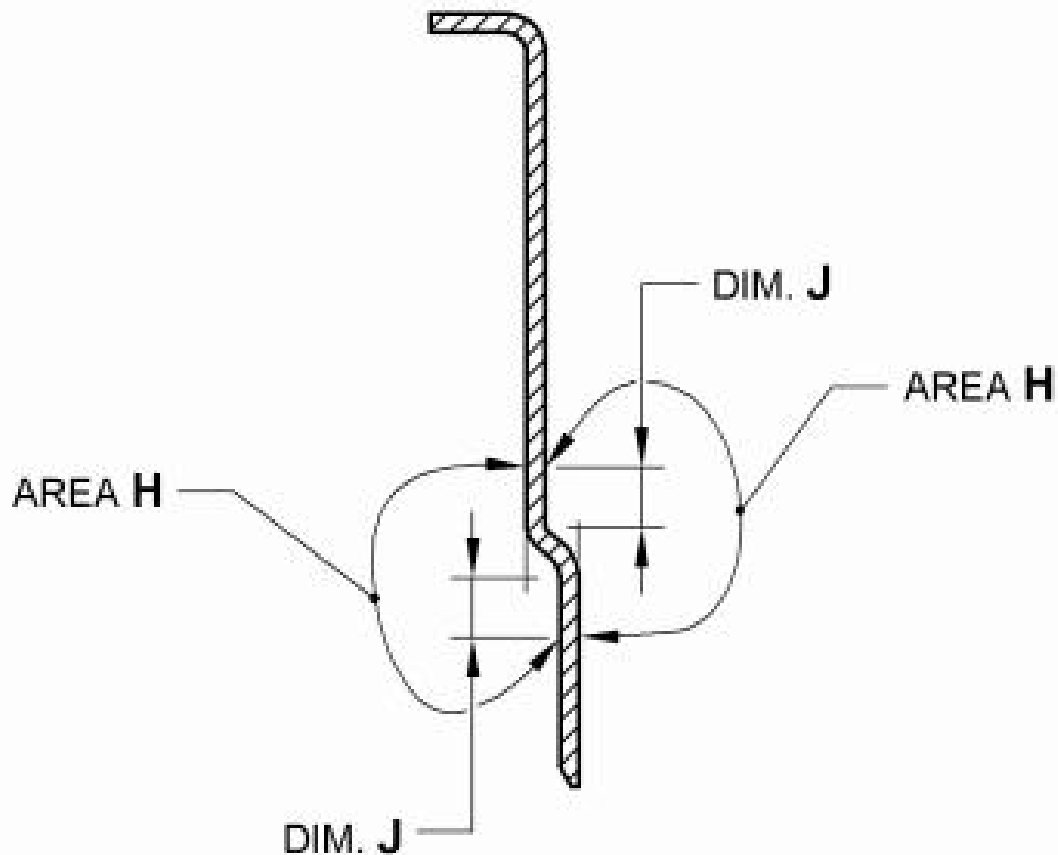


그림 213 CFM56 엔진 LPT Shroud Sector의 수리부위

(라) 진공열처리기술 공정설계

① 진공열처리 조건

㉔ 진공도 : 1×10^{-3} 토르 이하

② 열처리공정 검토

□ 조건1, 열처리 싸이클 1.

㉔ 열처리로 내 부품의 온도를 $1,325 \pm 25$ °F (720 ± 14 °C)까지 상승한다.

㉔ 8시간 동안 부품 온도를 유지한다.

- ㉔ 부품을 시간당 100 °F (55 °C)비율로 1,150 ± 25 °F (620 ± 14 °C)까지 냉각시킨다.
- ㉕ 8시간 동안 부품 온도를 유지한다.
- ㉖ 상온까지 공냉한다.

□ 조건2, 열처리 싸이클 21.

- ㉔ 열처리로 내 부품의 온도를 1,400 ± 25 °F (760 ± 14 °C)까지 상승한다.
- ㉕ 5시간 동안 부품 온도를 유지한다.
- ㉖ 부품을 1,200 °F (650 °C)까지 냉각시킨다.
- ㉗ 1시간 동안 부품 온도를 유지한다.
- ㉘ 상온까지 공냉한다.

□ 조건2, 열처리 싸이클 L3.

- ㉔ 부품의 온도를 1,400 ± 25 °F (760 ± 14 °C)까지 상승한다.
(최소 변형을 위해 분당 최고 10 °F (6 °C)의 상승 비율)
- ㉕ 2시간 동안 부품 온도를 유지한다.
- ㉖ 부품을 600 °F (315 °C)까지 냉각시킨다.
(최소 변형을 위해 분당 최고 10 °F (6 °C)의 냉각 비율)
- ㉗ 전원을 끄고 공냉시킨다.

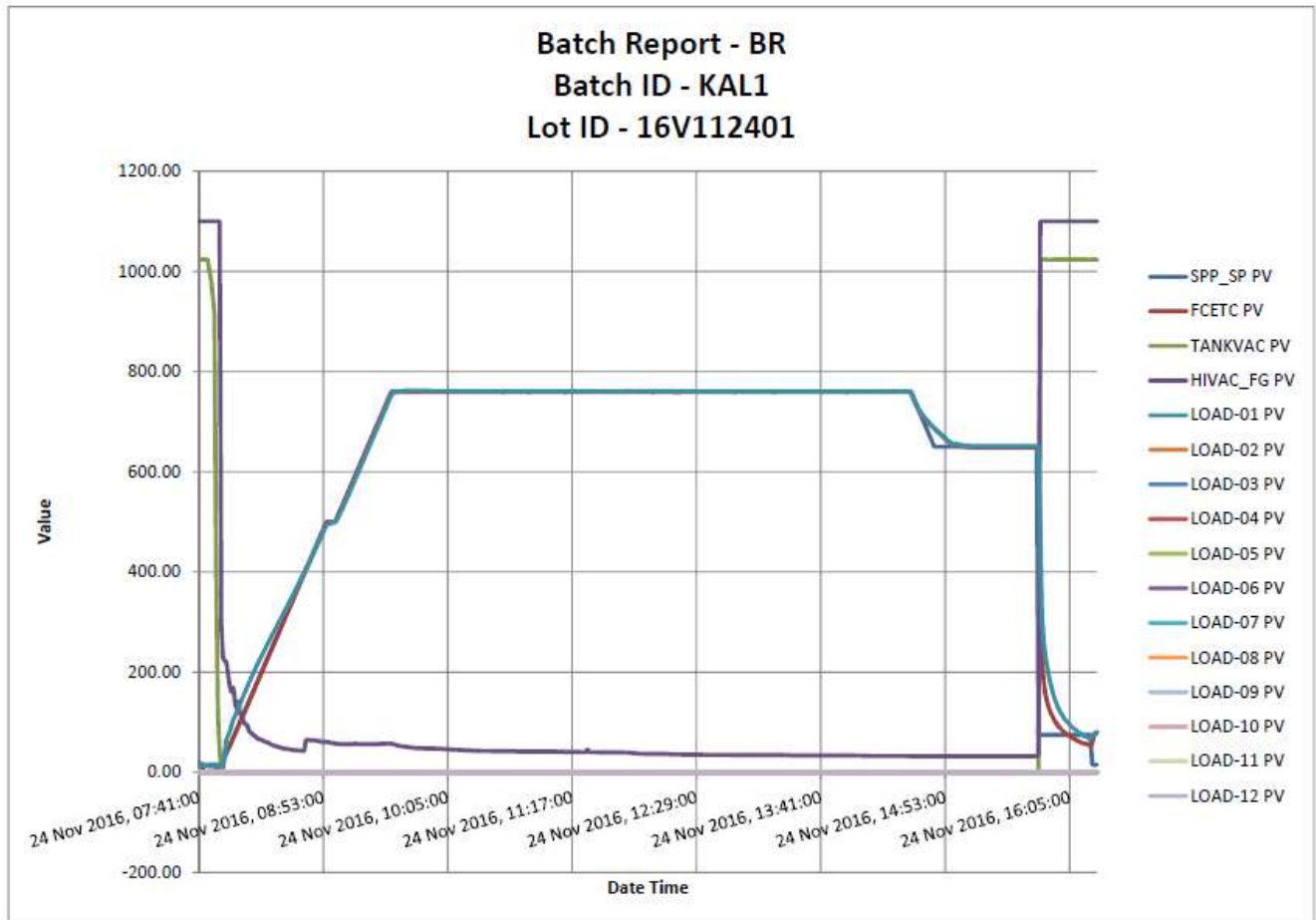


그림 214 CFM56 엔진 LPT Shroud Sector 열처리 그래프

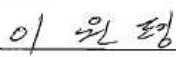
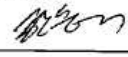
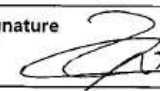
Program Record Powerplant Maint. Center Korean Air	Department Code SELMEC	Repair Shop Code 881_MET																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	Program No. 16	Equipment Code VACUUM FURNACE																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Part Description EMU-LPT ASSY	Part Number 338-092-303-0	ATA Chapter ENG001H ESM 72-54-07 REP 025																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Job Description ENG001H LPT CASE SHIELD SHROUD SECTOR Refer to ENG001H SPM 70-49-11 Furnace Heat Treatment - Cycle 21																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Program Description Name: CFM56-7 Description: 72-54-07 REP-25 SECTORS Eng Units: °C Ramp Type: RATE Time Units: Minutes Guar. Hold Type: Per Seg Profile Duration: 300 Minutes Overtemp: 700 °C Guar. Hold Lo Lim: 14.00 Guar. Hold Hi Lim: 14.00 Program Control: Show																																																																																																																																																																																																																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Segment</th> <th>Type</th> <th>Start Value/ Soak Value</th> <th>Rate/ Soak Time</th> <th>Guar Hold</th> <th>Aux Start Value</th> <th colspan="16">Events</th> <th>Event Description</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th><th>13</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Soak</td> <td>15.00</td> <td>0.10</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Ramp</td> <td>15.00</td> <td>8.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Soak</td> <td>500.00</td> <td>5.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Ramp</td> <td>500.00</td> <td>8.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Soak</td> <td>760.00</td> <td>300.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Ramp</td> <td>760.00</td> <td>8.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Soak</td> <td>650.00</td> <td>60.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Ramp</td> <td>650.00</td> <td>9999.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Soak</td> <td>75.00</td> <td>10.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Soak</td> <td>75.00</td> <td>0.10</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Segment	Type	Start Value/ Soak Value	Rate/ Soak Time	Guar Hold	Aux Start Value	Events																Event Description							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		1	Soak	15.00	0.10	☐	0.00	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		2	Ramp	15.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		3	Soak	500.00	5.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		4	Ramp	500.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		5	Soak	760.00	300.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		6	Ramp	760.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		7	Soak	650.00	60.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		8	Ramp	650.00	9999.00	☐	0.00	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		9	Soak	75.00	10.00	☐	0.00	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐		10	Soak	75.00	0.10	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Segment	Type	Start Value/ Soak Value	Rate/ Soak Time	Guar Hold	Aux Start Value	Events																Event Description																																																																																																																																																																																																																																																																
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																																																																																																																																																																																																																																																																	
1	Soak	15.00	0.10	☐	0.00	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
2	Ramp	15.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	Soak	500.00	5.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	Ramp	500.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
5	Soak	760.00	300.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
6	Ramp	760.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
7	Soak	650.00	60.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
8	Ramp	650.00	9999.00	☐	0.00	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
9	Soak	75.00	10.00	☐	0.00	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
10	Soak	75.00	0.10	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
Reason for Revision																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Programmed By	Checked By	Inspected By																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Signature 	Signature 	Signature  (KAL 07)																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Date 170427	Date 170427	Date 170427																																																																																																																																																																																																																																																																																				

그림 215 CFM56 엔진 LPT Shroud Sector 열처리
Program Record

③ 작업 공정 설계

CFM56 엔진 LPT Shroud Sector의 Weld Build up 수리에는 Cycle 21의 인코벨 718 재질 에이징 열처리기술을 적용하여 작업 공정을 설계하였다.

KOREAN AIR WORK ORDER		Maintenance Organization Certificate :	
Work Order: 1247988	Item:	SN:	Instance:
Visit No: 000	Position:	Owner:	Qty:
Origin WO:	NHA Unit:	ENG Unit:	
Program Type: REP/Repair	Re-identify Item:	Ref Doc: (http://nahep/ATA)	
Route No: CAS004H-REP-0	Route Title: WELD REPAIR FOR CRACKS ON THE SHIELD SHROUD SECTORS (REP-25.MTC 16-INSEE-012)	ESM/CFM-TP.SM.10/55/72-54-07	
Seq: ACTION & TASK DESCRIPTION		Resources	
10	Route Number: (D)	REP_SHT	
SUBTASK 72-54-CAS004H-REP-100 REMOVE RIVET Refer to CFM56-7B ESM(PN CFM-TP.SM.10) 72-54-07 REPAIR-001 Refer to CFM56-7B SPM(PN CFM-TP-SP.2) 70-43-11 (1) Remove the rivets which attach the defective riveted item by drilling. (2) Do the inspection of the rivet holes.			
Date:	Tech: T1	Insp: N/A	
20	Route Number: (D)	CLN_GEN	
SUBTASK 72-54-CAS004H-REP-110 CLEAN THE LPT CASE AND SHIELD SHROUD SECTORS. Refer to CFM56-7B ESM(PN CFM-TP.SM.10) 72-54-07 REPAIR-021 Refer to CFM56-7B SPM(PN CFM-TP.SM.10) 72-54-07 REPAIR-025 Refer to CFM56-7B SPM(PN CFM-TP-SP.2) 70-21-13 (1) CLEAN THE LPT CASE PER SPM 70-21-13, STEAM CLANING			
Date:	Tech: SC	Insp: N/A	
30	Route Number: (D)	NDT_FPI	
SUBTASK 72-54-CAS004H-REP-305 F/P/I PER SPM 70-32-13 Refer to CFM56-7B SPM(PN CFM-TP-SP.2) 70-32-13 (1) Do the fluorescent penetrant inspection of the shield shroud sectors per SPM 70-32-13. * RESULT : _____			
Date:	Tech: ND	Insp: N/A	
40	Route Number: (D)	REP_MET_INSP	
Revision Date: 04-JAN-17 Released Date: Page: 1 of 4			
KAL-AM-1391		Rev No/Date: R002011-01-01	

Work Order: 1247988	Item:	SN:	Instance:	Qty:
SUBTASK 72-54-CAS004H-REP-360 THE WELD BUILD-UP Refer to CFM56-7B ESM(PN CFM-TP.SM.10) 72-54-07 REPAIR-025				
(1) Maintenance Preparation * PME Control No: ME000_____				
(2) Weld build-up the shield shroud sector with Inconel 718 * Refer to SPM 70-45-02, Parts Inspection * Refer to SPM 70-45-11, Gas Shielded Tungsten Arc Welding Of Steels, Nickel And Cobalt Alloys				
NOTE: Do not weld in Area H. Refer to Figure 903.				
* Record the Weld Wire No.				
* Wire No. : _____				
* Wire Tracking No. : _____				
Date:	Tech: T1	Insp: I		
50	Route Number: (D)	REP_MET_INSP		
SUBTASK 72-54-CAS004H-REP-370 STRESS-RELIEVE THE SHIELD SHROUD SECTORS Refer to CFM56-7B ESM(PN CFM-TP.SM.10) 72-54-07 REPAIR-025				
(1) MAINTENANCE PREPARATION * PME CONTROL NO: ME000_____				
*** IF PME DOES NOT NEED, DO N/A.				
(2) Stress-relieve the shield shroud sectors in vacuum or locally stress-relieve. * Refer to SPM 70-49-00, Heat Treatment - General * Refer to SPM 70-49-11, Furnace Heat Treatment - Cycle 1 or Cycle 21. * Refer to SPM 70-49-21, Localized Heat Treatment - Cycle 3.				
* RECORD Cycle No : _____				
* RECORD CHART No : _____				
Date:	Tech: T1	Insp: I		
60	Route Number: (D)	REP_SHT		
Revision Date: 04-JAN-17 Released Date: Page: 2 of 4				
KAL-AM-1391		Rev No/Date: R002011-01-01		

Work Order: 1247988	Item:	SN:	Instance:	Qty:
SUBTASK 72-54-CAS004H-REP-390 BLEND THE WELDED AREAS ON THE SHIELD SHROUD SECTORS Refer to CFM56-7B ESM(PN CFM-TP.SM.10) 72-54-07 REPAIR-025				
(1) Blend the welded areas to initial contour. * Refer to SPM 70-41-11 and to Figure 903.				
NOTE: Thickness of the welded areas must not be less or more.				
(2) Reshape the shield shroud sectors to initial pattern by cold metal working.				
Date:	Tech: T1	Insp: N/A		
70	Route Number: (D)	NDT_FPI		
SUBTASK 72-54-CAS004H-REP-470 F/P/I Refer to CFM56-7B ESM(PN CFM-TP.SM.10) 72-54-07 REPAIR-025				
(1) Do the fluorescent penetrant inspection of the LPT case. * Refer to SPM 70-32-13, Fluorescent-Penetrant Inspection Stationary Post-Emulsifiable				
* RESULT : _____				
Date:	Tech: ND	Insp: N/A		
80	Route Number: (D)	REP_SHT		
SUBTASK 72-54-CAS004H-REP-490 INSTALL THE RIVETED PART FOR SB 72-0718 Refer to CFM56-7B ESM(PN CFM-TP.SM.10) 72-54-07 REPAIR-001 Refer to SPM 70-43-11 Refer to CFM56-7B SB 72-0718 (1) INSTALL THE REMOVED PART FROM LPT CASE. - IF ANY BRACKETS HAS BEEN DAMAGED, REPLACE WITH NEW BRACKETS.				
Date:	Tech: T2	Insp: N/A		
90	Route Number: (D)	REP_SHT		
SUBTASK 72-54-CAS004H-REP-495 INSTALL THE NEW RIVETS AND RIVETED ITEMS Refer to CFM56-7B ESM(PN CFM-TP.SM.10) 72-54-07 REPAIR-001				
Revision Date: 04-JAN-17 Released Date: Page: 3 of 4				
KAL-AM-1391		Rev No/Date: R002011-01-01		

Work Order: 1247988	Item:	SN:	Instance:	Qty:
Refer to CFM56-7B SPM(PN CFM-TP-SP.2) 70-43-11 (1) Install the new rivets and riveted items. Refer to Figure 901 and Figure 902.				
Date:	Tech: T1	Insp: N/A		
100	Route Number: (D)	TIM_CFM_INSP		
SUBTASK 72-54-CAS004H-REP-500 TABLE INSPECTION Refer to CFM56-7B ESM(PN CFM-TP.SM.10) 72-54-07 INSPECTION-001				
(1) VISUAL INSPECTION				
Date:	Tech: T2	Insp: I		
Revision Date: 04-JAN-17 Released Date: Page: 4 of 4				
KAL-AM-1391		Rev No/Date: R002011-01-01		

그림 216 CFM56 엔진 LPT Shroud Sector 작업공정서

바. PW4000 엔진 Support Clevis Boss, Bushing Repair 작업공정 설계

(1) 부품 개요

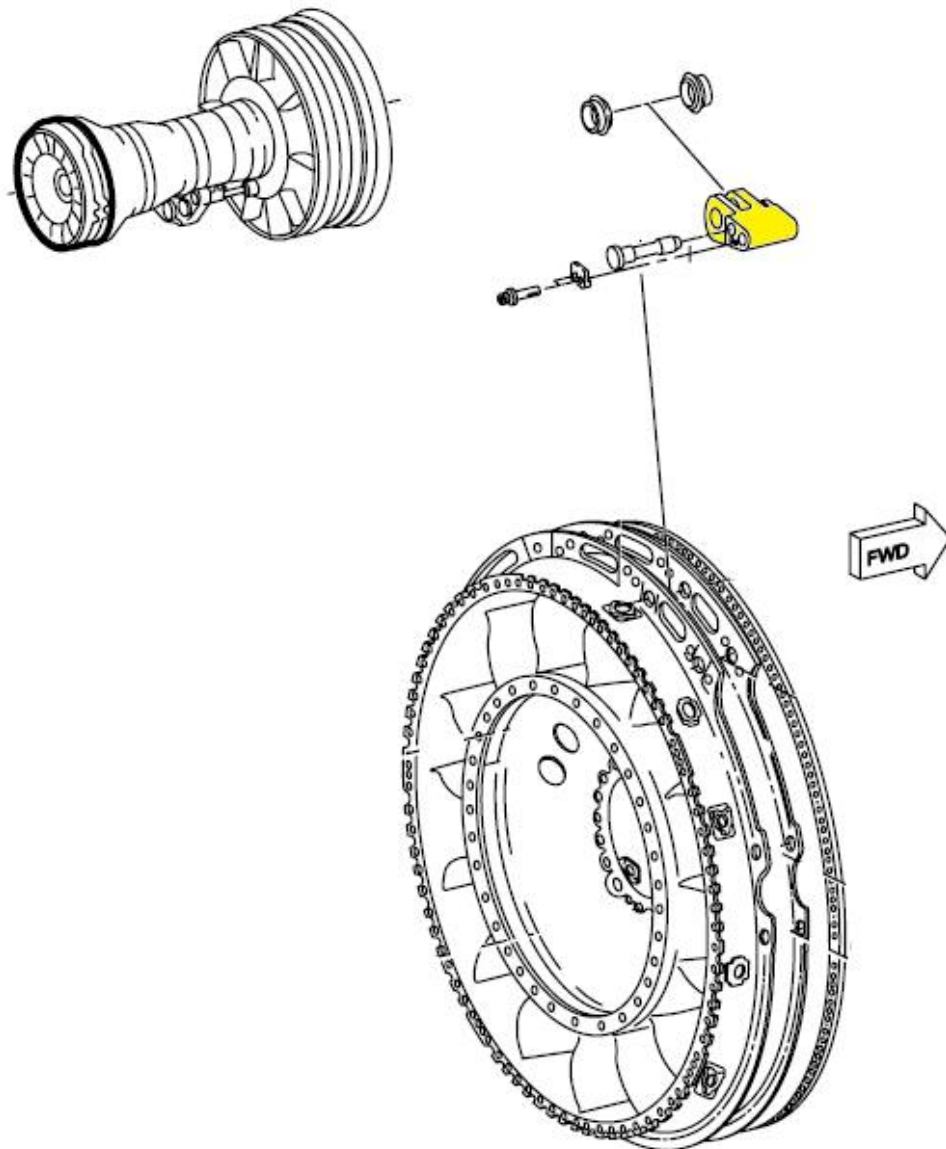


그림 217 PW4000 엔진 Support Clevis Boss

엔진을 항공기 Pylon에 장착하는 연결부품을 포함한 TEC는 구조적으로 엔진의 중요한 부품이다. 엔진의 수직방향, 측방향과 비틀림 하중을 감당하는 Engine AFT Mount와 TEC를 연결하는 Engine Support Clevis Boss Assembly는 엔진 작동 중에 TEC와 Pin으로 연결된 부위에서 마모가 발생이 된다.

(2) PW4000 엔진 Support Clevis Boss 작업 공정 설계

(가) 세척 (Cleaning) 절차 검토

① 알칼리 녹제거 (One-Step Alkaline Rust Remover Long Soak)

② 수용액 세정 (Degreasing of Parts by Aqueous Cleaning)

(나) 검사 (Inspection) 절차 검토

① 형광침투검사 (Fluorescent Penetrant Inspection)

② 육안검사 (Visual Inspection)

㉠ Threaded Hole

- Any Damage

③ 치수검사 (Dimensional Inspection)

- Bushing Diameter

(다) 수리 (Repair) 절차 검토

□ 수리 명칭 : Replace Bushing

엔진 Support Clevis Boss의 Bushing 재장착 수리방법

① 공구 및 장비 (Tools and Equipment)

㉠ Special Tools : 없음

㉡ Standard Tools and Equipment : 없음

㉢ Locally Manufactured Tools : 없음.

② 소모 자재 (Consumable Materials)

㉠ 용접봉 - AMS 5616 (Stainless Steel)

③ 수리 절차 (Procedure)

㉠ 부품에서 마모되거나 손상이 있는 Bushing을 제거한다.

㉡ 부품의 Bushing Hole의 마모상태를 검사한다.

㉢ AMS 5616 Stainless Steel로 Bushing을 제작한다.

㉣ Bushing 제작을 위해 Bushing Hole의 치수를 기록한다.

㉤ Bushing 자재를 열처리한다

㉥ Bushing을 도면의 조건에 맞추어 가공한다.

(Bushing Hole과 억지끼워맞춤 (0.0005 - 0.0025 “)을 충족하도록
Bushing의 Diameter A를 가공한다.)

㉦ 제작 Bushing을 Clevis Boss에 장착한다.

㉧ Bushing의 최종 치수에 맞추어 가공한다.

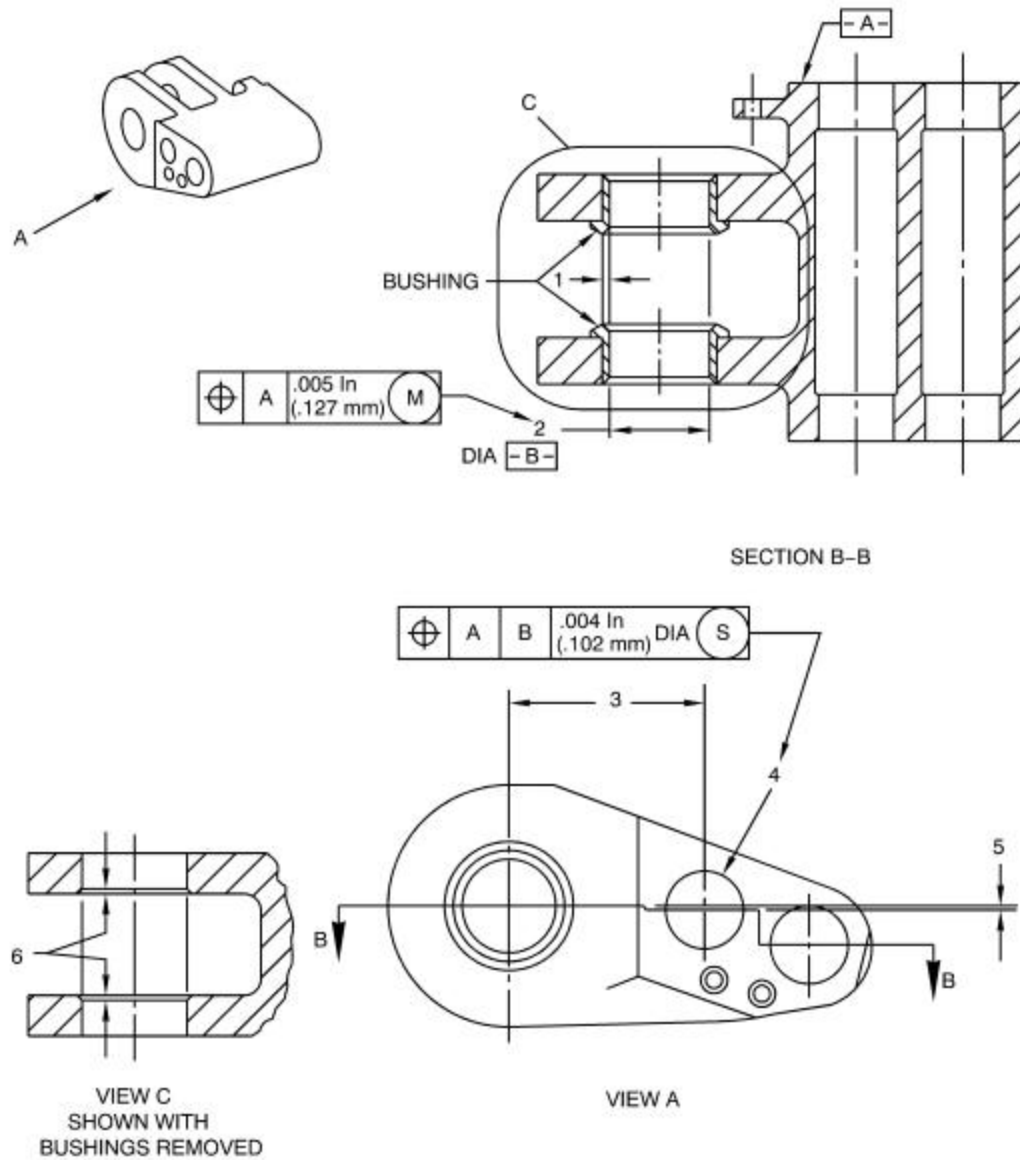


그림 218 PW4000 엔진 Engine Support Clevis Boss의 Bushing 제장착 수리

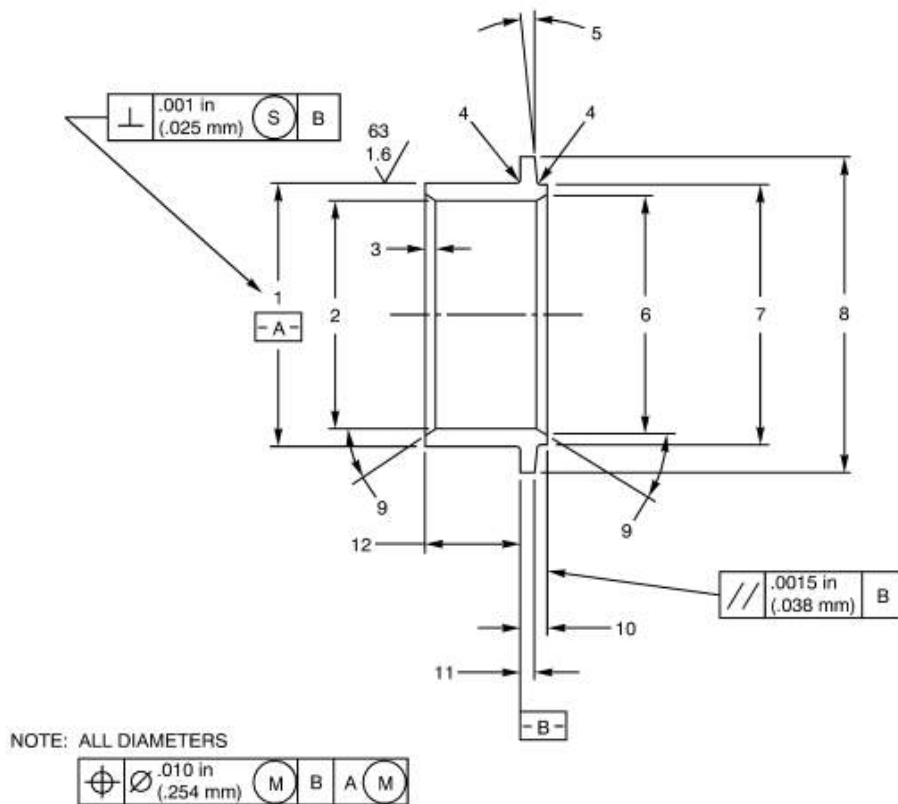


그림 219 PW4000 엔진 Engine Support Clevis Boss의 Bushing 제작

(라) 진공열처리기술 공정설계

① 진공열처리 조건

㉠ 진공도 : 1×10^{-3} 토르 이하

② 열처리공정 검토

㉠ 열처리로 내 부품의 온도를 1,750 - 1,850 °F (954 - 1,010 °C)까지 상승한다.

㉡ 30분간 부품 온도를 유지한다.

㉢ 1,060 °F (571.1 °C) 온도에서 2시간 동안 템퍼링한다.

㉣ 부품을 공냉 한다.

㉤ 부품의 경도를 측정한다. (C30 - 38 HRC)

③ 작업 공정 설계

PW4000 엔진 Engine Support Clevis Boss의 Bushing 재장착 수리에 Bushing 자재의 열처리기술을 적용하여 작업 공정을 설계하였다.

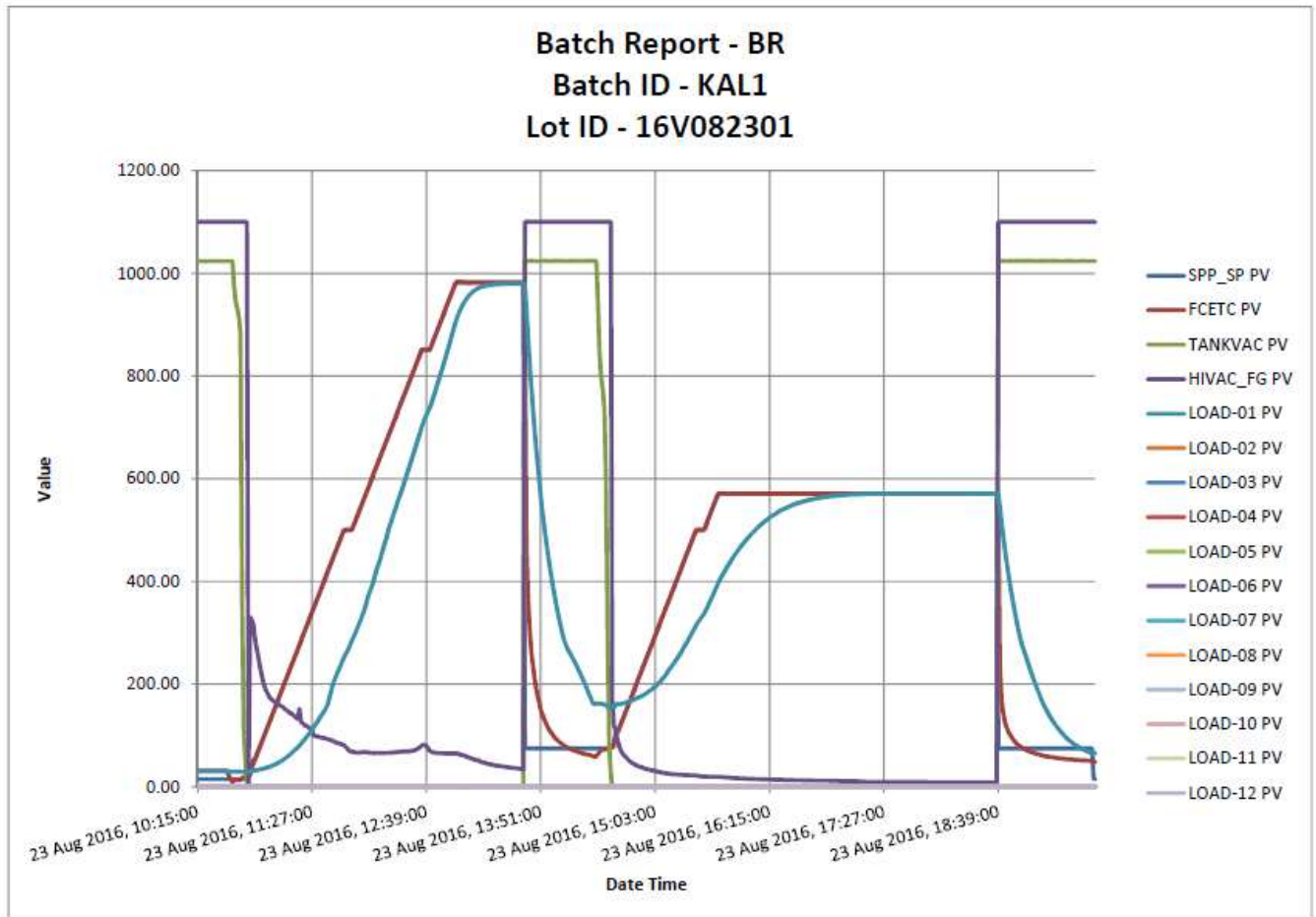


그림 220 PW4000 엔진 Engine Support Clevis Boss의 Bushing 열처리 그래프

Program Record		Department Code	Repair Shop Code																																																																													
Powerplant Maint. Center		SELMEC	881_MET																																																																													
Korean Air		Program No.	Equipment Code																																																																													
CLEVIS BOSS		08-01	VACUUM FURNACE																																																																													
Part Description		Part Number	ATA Chapter																																																																													
CLEVIS BOSS		802473	ENG001P CIR 72-54-02 REP-02																																																																													
Job Description																																																																																
Replace Bushing - Engine Support Clevis Boss Assy																																																																																
Program Description																																																																																
Name: [PW4000-7] Description: [PW4000 72-54-02(REF-02)] Eng Units: [°C] Ramp Type: [DATE] Guard: Heat Type: [Per Seg] Profile Duration: [300] Minutes Time Units: [Minutes] Guard: Heat L Lim: [14.00] Overtemp: [1015] °C Program Control: [Show] <table border="1"> <thead> <tr> <th>Segment</th> <th>Type</th> <th>Start Value/Soak Value</th> <th>Rate/Soak Time</th> <th>Guard Hold</th> <th>Aux Start Value</th> <th>Events</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Soak</td><td>15.00</td><td>0.10</td><td></td><td>0.00</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>Ramp</td><td>15.00</td><td>8.00</td><td></td><td>0.00</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>Soak</td><td>500.00</td><td>5.00</td><td></td><td>0.00</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>Ramp</td><td>500.00</td><td>8.00</td><td></td><td>0.00</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>Soak</td><td>850.00</td><td>5.00</td><td></td><td>0.00</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>Ramp</td><td>850.00</td><td>8.00</td><td></td><td>0.00</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>Soak</td><td>892.00</td><td>30.00</td><td></td><td>0.00</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>Ramp</td><td>892.00</td><td>9999.00</td><td></td><td>0.00</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>Soak</td><td>75.00</td><td>10.00</td><td></td><td>0.00</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>Soak</td><td>75.00</td><td>0.10</td><td></td><td>0.00</td><td></td></tr> </tbody> </table>				Segment	Type	Start Value/Soak Value	Rate/Soak Time	Guard Hold	Aux Start Value	Events	1	Soak	15.00	0.10		0.00		2	Ramp	15.00	8.00		0.00		3	Soak	500.00	5.00		0.00		4	Ramp	500.00	8.00		0.00		5	Soak	850.00	5.00		0.00		6	Ramp	850.00	8.00		0.00		7	Soak	892.00	30.00		0.00		8	Ramp	892.00	9999.00		0.00		9	Soak	75.00	10.00		0.00		10	Soak	75.00	0.10		0.00	
Segment	Type	Start Value/Soak Value	Rate/Soak Time	Guard Hold	Aux Start Value	Events																																																																										
1	Soak	15.00	0.10		0.00																																																																											
2	Ramp	15.00	8.00		0.00																																																																											
3	Soak	500.00	5.00		0.00																																																																											
4	Ramp	500.00	8.00		0.00																																																																											
5	Soak	850.00	5.00		0.00																																																																											
6	Ramp	850.00	8.00		0.00																																																																											
7	Soak	892.00	30.00		0.00																																																																											
8	Ramp	892.00	9999.00		0.00																																																																											
9	Soak	75.00	10.00		0.00																																																																											
10	Soak	75.00	0.10		0.00																																																																											
Reason for Revision																																																																																
Programmed By		Checked By	Inspected By																																																																													
Signature		Signature	Signature																																																																													
Date		Date	Date																																																																													

그림 221 PW4000 엔진 Engine Support Clevis Boss의 Bushing 열처리 Program Record

KOREAN AIR WORK ORDER		Maintenance Organization Certificate	
Work Order: 958219		Item: [Bushing Hole Dia Actual : _____ Inch]	
Visit No: 000		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Origin WO: _____		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Program Type: REP/Repair		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Route No: _____		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Route Title: _____		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Ref Doc: (Subsequent ATA)		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Seq: 30		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
ACTION & TASK DESCRIPTION		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Resources		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
SUBTASK 72-54-BSS002P-REP-030 REMOVE BUSHING		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
(1) Maintenance Preparation		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
• PME Control No: ME000		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
(2) REMOVE WORN OR DAMAGED BUSHING USING PUSHER, OR BY GRINDING. REF: REP-02, FIG 901.		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
NOTE: IF THE ACTUAL DIMENSION IS LESS THAN 1.559 INCH, PLEASE N/A THE OP 050, 100, 105, 106, 109.		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Object Limit (Inch) Actual (Inch)		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
ID 1.559 Inch MAX		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
• BUSHING PN: 802474		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Date: _____ Tech: T1 Insp: I		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Seq: 50		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Route Number: (A)		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
SUBTASK 72-54-BSS002P-REP-050 REMOVE WEAR		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
(1) Maintenance Preparation		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
• PME Control No: ME000		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
(2) MACHINE HOLES TO 1.600 INCH MAXIMUM TO REMOVE WEAR. HOLD TO MINIMUM VALUE.		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Object Limit (Inch) Actual (Inch)		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
HOLE 1.600 MAX		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Date: _____ Tech: T2 Insp: I		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Seq: 100		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Route Number: (A)		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
SUBTASK 72-54-BSS002P-REP-100 MANUFACTURE BUSHING		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
(1) Maintenance Preparation		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
• PME Control No: ME000		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
(2) Locally manufacture replacement bushing using AMS 5616 Stainless Steel.		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
(a) Measure and record bushing hole diameters for oversize bushings.		Date: _____ Tech: T2 Insp: I	
Revision Date: 28-NOV-14		Revision Date: 28-NOV-14	
Released Date: _____		Released Date: _____	
Page: 1 of 3		Page: 2 of 3	

그림 222 PW4000 엔진 Engine Support Clevis Boss 작업공정서

사. PW4000 112인치 엔진 LPT Borescope Plug 수리 작업공정 설계

(1) 부품 개요

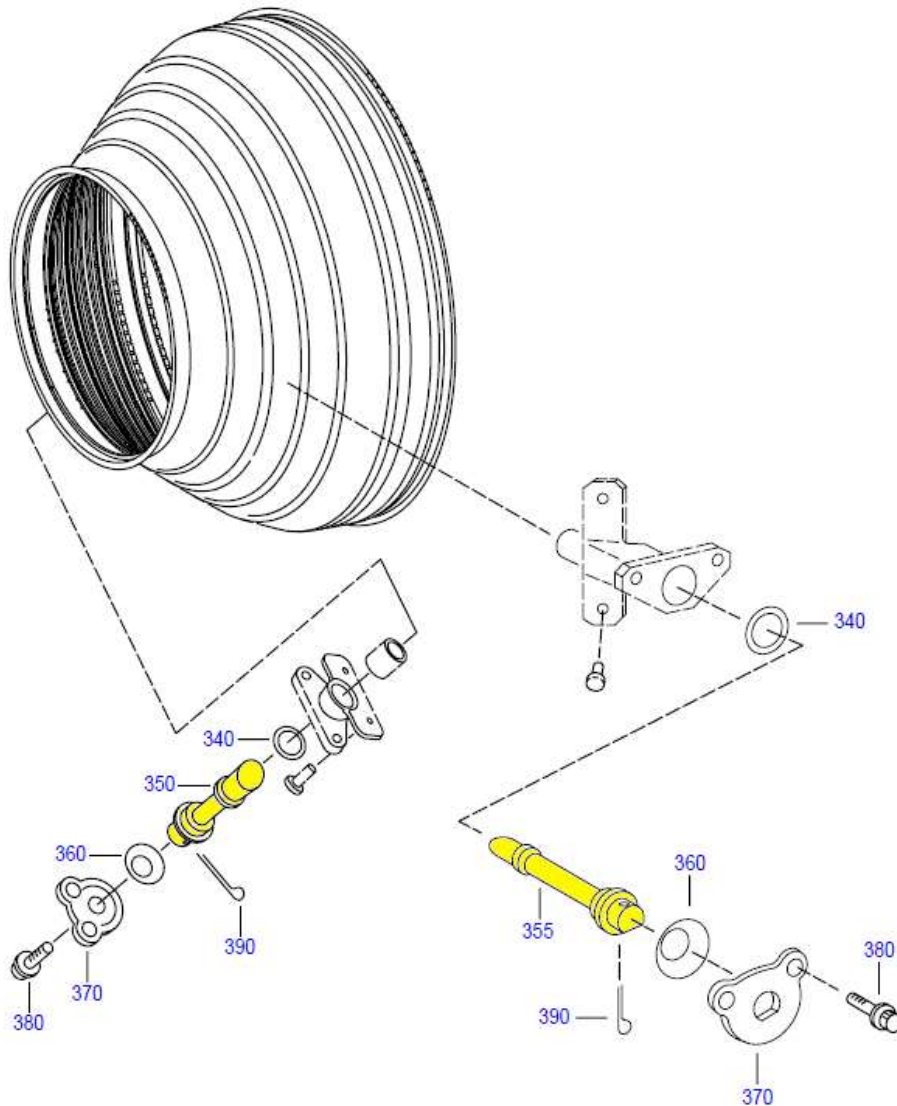


그림 223 PW4000 112인치 엔진 LPT Borescope Plug

저압터빈 모듈(LPT Module)을 엔진에서 장탈 후 또는 엔진에 장착 전에 모듈을 분해하지 않고 저압터빈 모듈 내부의 엔진 성능에 중요한 영향을 미치는 주요 부품의 장착 상태를 확인 및 검사하여 모듈을 완전 분해하여 수리를 수행 할지를 결정하기 위하여 Borescope Inspection을 수행한다.

Borescope Plug는 저압터빈 3단계 후방에 위치하고 있으며, 3단계의 Inner Dect Segments, Vane Cluster Assemblies, Vane airfoil surface, Blade airfoil surface 등을 Borescope Inspection으로 확인 및 검사할 수 있다.

(2) PW4000 112인치 엔진 Borescope Plug 작업 공정 설계

(가) 세척 (Cleaning) 절차 검토

- ① 알칼리 녹제거 (One-Step Alkaline Rust Remover Long Soak)
- ② 수용액 세정 (Degreasing of Parts by Aqueous Cleaning)
- ② 알칼리 및 산 녹제거 (Four-Step Alkaline Rust Remover and Acidic Descaling)

(나) 검사 (Inspection) 절차 검토

- ① 형광침투검사 (Fluorescent Penetrant Inspection)
- ② 육안검사 (Visual Inspection)
 - ㉠ All area
 - Crack
 - Nick
 - Dent
 - Scratch
- ③ 치수검사 (Dimensional Inspection)
 - 없음

(다) 수리 (Repair) 절차 검토

□ 수리 명칭 : Borescope Plug Wear Weld Repair
Borescope Plug의 용접 수리방법

- ① 공구 및 장비 (Tools and Equipment)
 - ㉠ Special Tools : 없음
 - ㉡ Standard Tools and Equipment : 없음
 - ㉢ Locally Manufactured Tools : 없음.
- ② 소모 자재 (Consumable Materials)
 - ㉠ 용접봉 - AMS 5798 (Hastelloy X Weld Wire)
- ③ 수리 절차 (Procedure)
 - ㉠ 부품을 Solution 열처리를 한다.
 - ㉡ 형광침투검사 (Fluorescent Penetrant Inspection)를 한다.
 - ㉢ 용접수리를 위해서 결함 제거 등 사전 준비를 한다.
 - ㉣ Gas Shielded Tungsten Arc Welding(GTAW)로 결함부위를 Build up 용접한다.

- ㉓ 부품을 Solution 열처리를 한다.
- ㉔ 형광침투검사 (Fluorescent Penetrant Inspection)를 한다.
- ㉕ 최종치수에 맞추어 용접부위를 가공한다.
- ㉖ 육안검사, 치수검사 등 최종 검사를 한다.

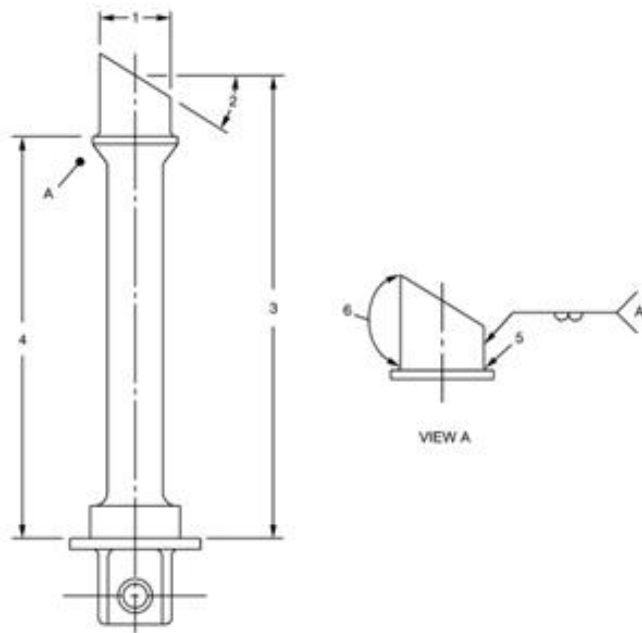
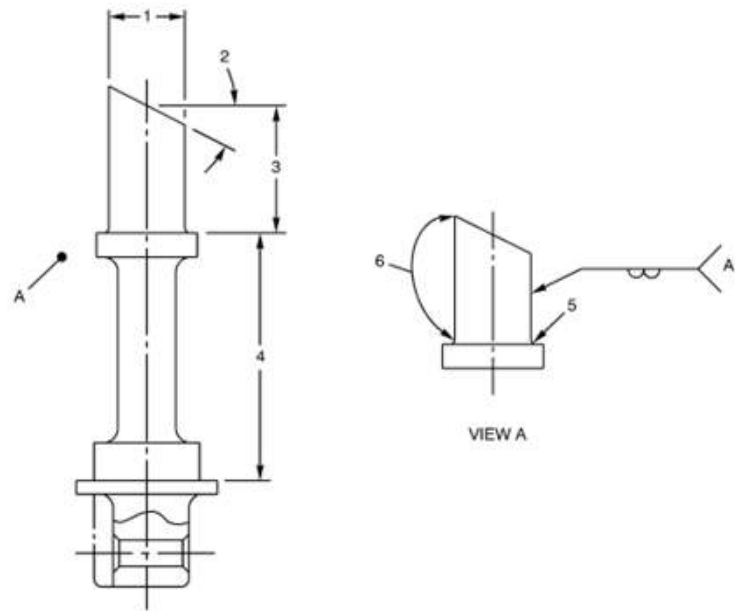


그림 224 PW4000 112인치 엔진 LPT Borescope Plug 용접 수리
및 Finish Dimension

(라) 진공열처리기술 공정설계

① 진공열처리 조건

㉠ 진공도 : 1×10^{-3} 토르 이하

② 열처리공정 검토

㉠ 열처리로 내 부품의 온도를 1,875 - 1,925 °F (1,024 - 1,052 °C)까지 상승한다.

㉡ 1시간 동안 부품 온도를 유지한다.

㉢ 불활성가스를 이용하여 상온까지 냉각한다.

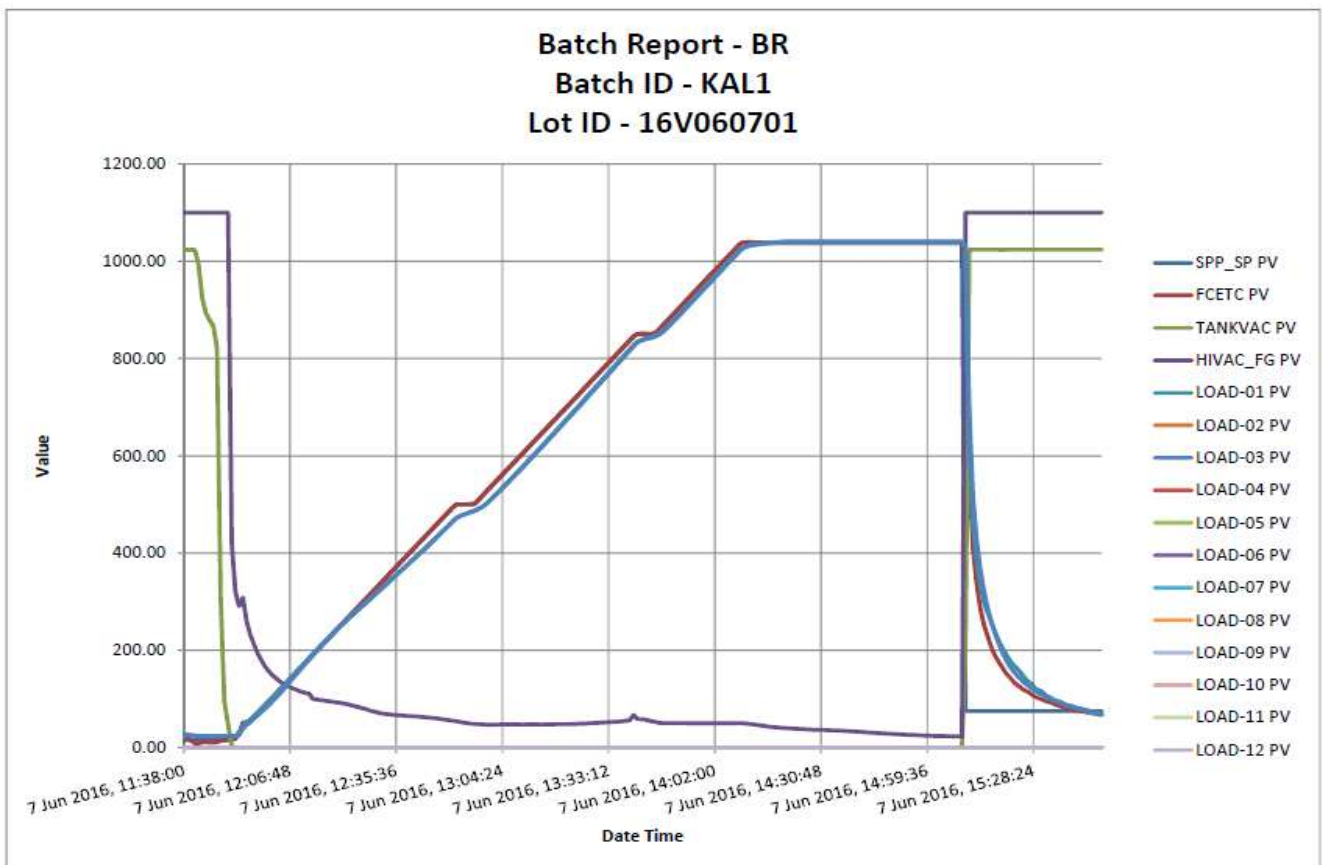


그림 225 PW4000 112인치 LPT Borescope Plug 열처리 그래프

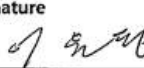
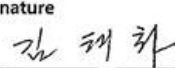
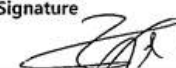
Program Record Powerplant Maint. Center Korean Air	Department Code SELMEC	Repair Shop Code 881 - MET																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	Program No. PW4000-4	Equipment Code VACUUM FURNACE																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Part Description C/C Guide	Part Number 50K364-01	ATA Chapter 72-51-08																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Job Description PW4000 C/C Guide - SOLUTION HEAT TREATMENT																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Program Description Name: PW4000-4 Description: 72-51-08 C/C Guide(SPOP462) Eng Units: °C Ramp Type: RATE Guas. Hold Type: Pre Set Preheat Duration: 300 Minutes Time Units: Minutes Guas. Hold Lo Lim: 14.00 Overtemp: 1000 °C Guas. Hold H Lim: 14.00 Program Control Show																																																																																																																																																																																																																																																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Segment</th> <th>Type</th> <th>Start Value Soak Value</th> <th>Ramp Soak Time</th> <th>Guas Hold</th> <th>Aux Start Value</th> <th colspan="16">Events</th> <th>Event Description</th> </tr> <tr> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th><th>9</th><th>10</th><th>11</th><th>12</th><th>13</th><th>14</th><th>15</th><th>16</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Soak</td> <td>20.00</td> <td>0.10</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Ramp</td> <td>20.00</td> <td>8.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Soak</td> <td>500.00</td> <td>5.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Ramp</td> <td>500.00</td> <td>8.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Soak</td> <td>850.00</td> <td>5.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Ramp</td> <td>850.00</td> <td>8.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Soak</td> <td>1026.00</td> <td>10.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Ramp</td> <td>1026.00</td> <td>9999.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Soak</td> <td>75.00</td> <td>10.00</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Soak</td> <td>75.00</td> <td>0.10</td> <td>☐</td> <td>0.00</td> <td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☒</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td><td>☐</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Segment	Type	Start Value Soak Value	Ramp Soak Time	Guas Hold	Aux Start Value	Events																Event Description							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		1	Soak	20.00	0.10	☐	0.00	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		2	Ramp	20.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		3	Soak	500.00	5.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		4	Ramp	500.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		5	Soak	850.00	5.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		6	Ramp	850.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		7	Soak	1026.00	10.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		8	Ramp	1026.00	9999.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		9	Soak	75.00	10.00	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐		10	Soak	75.00	0.10	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
Segment	Type	Start Value Soak Value	Ramp Soak Time	Guas Hold	Aux Start Value	Events																Event Description																																																																																																																																																																																																																																																																
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																																																																																																																																																																																																																																																																	
1	Soak	20.00	0.10	☐	0.00	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
2	Ramp	20.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
3	Soak	500.00	5.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
4	Ramp	500.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
5	Soak	850.00	5.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
6	Ramp	850.00	8.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
7	Soak	1026.00	10.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
8	Ramp	1026.00	9999.00	☐	0.00	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
9	Soak	75.00	10.00	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
10	Soak	75.00	0.10	☐	0.00	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐																																																																																																																																																																																																																																																																	
Reason for Revision																																																																																																																																																																																																																																																																																						
Programmed By	Checked By	Inspected By																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Signature 	Signature 	Signature  (KAL 07)																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Date 160315	Date 16 03 21	Date 160401																																																																																																																																																																																																																																																																																				

그림 226 PW4000 112인치 엔진 LPT Borescope Plug 열처리 Program Record

③ 작업 공정 설계

PW4000 112인치 엔진 LPT Borescope Plug 용접수리에는 Hastalloy X 재료의 Solution 열처리기술을 적용하여 작업 공정을 설계하였다.

KOREAN AIR WORK ORDER					Maintenance Organization Certificate														
Work Order: 1290212		Item:		S/N:		Instance:		Qty:											
Visit No: 000		Position:		Owner:															
Origin WO:		NHA Unit:		ENG Unit:															
Program Type: REP/Repair		Re-identity Item:																	
Route No		Route Title		Ref Doc (category/Ref/ATA)															
PLU005N-REP-A		Borescope Plug Wear Weld Repair(REF-01, EMI17X1030)		CIR(51A750/73/72-53-99															
Seq		ACTION & TASK DESCRIPTION				Resources													
10		Route Number: (A)				REP_MET, INSP													
SUBTASK 72-53-PLU005N-REP-010 Solution Heat Treatment Refer to PW4000 SPM(PN 585005) 70-42-04 SPOP-482 (1) MAINTENANCE PREPARATION - PME CONTROL NO: ME000 *** IF PME DOES NOT NEED, DO N/A. CAUTION: SPOP 482 MUST BE USED TO SOLUTION HEAT TREAT PWA 1038 HASTELLOY X MATERIAL. (2) Increase the temperature of the part to 1875 – 1925°F (1024 – 1052°C) and hold for one hour, PMC 2232 hydrogen, PMC 2200 argon, or a vacuum is a satisfactory atmosphere. NOTE: When solution treating is to be followed by weld repair that requires complete prior removal of oxides, hydrogen is preferred because of its characteristic and beneficial cleaning action over the entire part. Hydrogen cleaning removes oxides from all surfaces, including those difficult to clean mechanically and, to so extent, from the inside of cracks to be welded. Load thermocouples make sure that parts meet process temperature and rate requirements, (SPM 70-42-04 GENERAL-01) A minimum of one load thermocouple must be attached to the workload or put in a representative work block. NOTE: Do not weld thermocouples to parts unless specified differently in the Engine Manual repair. RECORD LOT ID: _____																			
Date:		Tech: T1		Insp: I															
20		Route Number: (A)				NDT_FPI													
SUBTASK 72-53-PLU005N-REP-020 FPI Refer to PW4000 SPM(PN 585005) 70-33-00 SPOP-62 (1) DO FPI PER SPOP-62 - FPI THE WELD AREA PER SPOP 62, CRACKS ARE NOT PERMITTED. - RESULT : NO CRACK () / CRACK ()																			
Revision Date: 01-JUN-17					Released Date					Page 1 of 4									
KAL-MA-1391										Rev No Date: R00/2011-01-01									

KOREAN AIR WORK ORDER					Maintenance Organization Certificate														
Work Order: 1290212		Item:		S/N:		Instance:		Qty:											
Visit No: 000		Position:		Owner:															
Origin WO:		NHA Unit:		ENG Unit:															
Program Type: REP/Repair		Re-identity Item:																	
Route No		Route Title		Ref Doc (category/Ref/ATA)															
PLU005N-REP-A		Borescope Plug Wear Weld Repair(REF-01, EMI17X1030)		CIR(51A750/73/72-53-99															
Seq		ACTION & TASK DESCRIPTION				Resources													
10		Route Number: (A)				REP_MET, INSP													
SUBTASK 72-53-PLU005N-REP-200 WELD REPAIR Refer to PW4000-112° CIR(PN 51A750) 72-53-99 REPAIR-01 Refer to PW4000 SPM(PN 585005) 70-42-01 GENERAL-01 Refer to PW4000 SPM(PN 585005) 70-21-00 SPOP-208 (1) Remove the damage and prepare the part for weld, (2) Clean the repair area by SPOP 208, (3) Weld build-up the repair area by PWA 16-3. Use GTAW-MA procedure and Welding Wire P05-180, Weld Wire Lot No: _____ Weld Wire T/R No: _____																			
Date:		Tech: T1		Insp: I															
50		Route Number: (A)				NDT_FPI													
SUBTASK 72-53-PLU005N-REP-220 FPI Refer to PW4000 SPM(PN 585005) 70-33-00 SPOP-62 (1) DO FPI PER SPOP-62 - FPI THE WELD AREA PER SPOP 62, CRACKS ARE NOT PERMITTED. - RESULT : NO CRACK () / CRACK ()																			
Date:		Tech: ND		Insp: N/A															
60		Route Number: (A)				REP_MET, INSP													
SUBTASK 72-53-PLU005N-REP-300 Solution Heat Treatment Refer to PW4000 SPM(PN 585005) 70-42-04 SPOP-482 (1) MAINTENANCE PREPARATION - PME CONTROL NO: ME000 *** IF PME DOES NOT NEED, DO N/A. CAUTION: SPOP 482 MUST BE USED TO SOLUTION HEAT TREAT PWA 1038 HASTELLOY X MATERIAL. (2) Increase the temperature of the part to 1875 – 1925°F (1024 – 1052°C) and hold for one hour, PMC 2232 hydrogen, PMC 2200 argon, or a vacuum is a satisfactory atmosphere.																			
Revision Date: 01-JUN-17					Released Date					Page 2 of 4									
KAL-MA-1391										Rev No Date: R00/2011-01-01									

KOREAN AIR WORK ORDER					Maintenance Organization Certificate														
Work Order: 1290212		Item:		S/N:		Instance:		Qty:											
Visit No: 000		Position:		Owner:															
Origin WO:		NHA Unit:		ENG Unit:															
Program Type: REP/Repair		Re-identity Item:																	
Route No		Route Title		Ref Doc (category/Ref/ATA)															
PLU005N-REP-A		Borescope Plug Wear Weld Repair(REF-01, EMI17X1030)		CIR(51A750/73/72-53-99															
Seq		ACTION & TASK DESCRIPTION				Resources													
70		Route Number: (A)				NDT_FPI													
SUBTASK 72-53-PLU005N-REP-350 FPI Refer to PW4000 SPM(PN 585005) 70-33-00 SPOP-62 (1) DO FPI PER SPOP-62 - FPI THE WELD AREA PER SPOP 62, CRACKS ARE NOT PERMITTED. - RESULT : NO CRACK () / CRACK ()																			
Date:		Tech: T1		Insp: I															
80		Route Number: (A)				REP_MAC, INSP													
SUBTASK 72-53-PLU005N-REP-400 FINISH MACHINE Refer to PW4000-112° CIR(PN 51A750) 72-53-99 REPAIR-01 (1) Maintenance Preparation, PME Control No: ME000 *** IF PME DOES NOT NEED, DO N/A, (2) Finish Machine the repaired area to the limits given in figure 901. <table border="1"> <tr> <td>Limit</td> <td>Actual</td> </tr> <tr> <td>INDEX 1 0.432 – 0.438 inch</td> <td>_____ inch</td> </tr> </table>										Limit	Actual	INDEX 1 0.432 – 0.438 inch	_____ inch						
Limit	Actual																		
INDEX 1 0.432 – 0.438 inch	_____ inch																		
Date:		Tech: ND		Insp: N/A															
90		Route Number: (A)				CLN_GEN													
SUBTASK 72-53-PLU005N-REP-450 CLEANING																			
Revision Date: 01-JUN-17					Released Date					Page 3 of 4									
KAL-MA-1391										Rev No Date: R00/2011-01-01									

KOREAN AIR WORK ORDER					Maintenance Organization Certificate														
Work Order: 1290212		Item:		S/N:		Instance:		Qty:											
Visit No: 000		Position:		Owner:															
Origin WO:		NHA Unit:		ENG Unit:															
Program Type: REP/Repair		Re-identity Item:																	
Route No		Route Title		Ref Doc (category/Ref/ATA)															
PLU005N-REP-A		Borescope Plug Wear Weld Repair(REF-01, EMI17X1030)		CIR(51A750/73/72-53-99															
Seq		ACTION & TASK DESCRIPTION				Resources													
100		Route Number: (A)				TIM_FW4, INSP													
Refer to PW4000 SPM(PN 585005) 70-21-00 SPOP-209 (1) MAINTENANCE PREPARATION PME CONTROL NO: ME000 (2) CLEANING PER SPOP-209 <table border="1"> <tr> <td colspan="2">SPOP-209 RECORD USED REQUIREMENT AND ACTUAL STATUS FOR THIS PROCEDURE</td> </tr> <tr> <td>DIP TIME ACTUAL _____ MIN</td> <td>LIMIT: 5-30 MIN</td> </tr> <tr> <td>DIP TEMP ACTUAL _____ DEGREE(C)</td> <td>LIMIT: 54-60 DEGREE(C)</td> </tr> </table>										SPOP-209 RECORD USED REQUIREMENT AND ACTUAL STATUS FOR THIS PROCEDURE		DIP TIME ACTUAL _____ MIN	LIMIT: 5-30 MIN	DIP TEMP ACTUAL _____ DEGREE(C)	LIMIT: 54-60 DEGREE(C)				
SPOP-209 RECORD USED REQUIREMENT AND ACTUAL STATUS FOR THIS PROCEDURE																			
DIP TIME ACTUAL _____ MIN	LIMIT: 5-30 MIN																		
DIP TEMP ACTUAL _____ DEGREE(C)	LIMIT: 54-60 DEGREE(C)																		
Date:		Tech: SC		Insp: N/A															
100		Route Number: (A)				TIM_FW4, INSP													
SUBTASK 72-53-PLU005N-REP-500 TABLE INSPECTION Refer to PW4000-112° CIR(PN 51A750) 72-53-99 INSPECTION/CHECK-03 Refer to PW4000-112° CIR(PN 51A750) 72-53-99 REPAIR-01 (1) VISUAL INSPECTION																			
Date:		Tech: T1		Insp: I															
Revision Date: 01-JUN-17					Released Date					Page 4 of 4									
KAL-MA-1391										Rev No Date: R00/2011-01-01									

그림 227 PW4000 112인치 엔진 LPT Borescope Plug 작업공정서

아. GE90 엔진 Turbine Rear Frame Heat Shield 수리 작업공정 설계

(1) 부품 개요

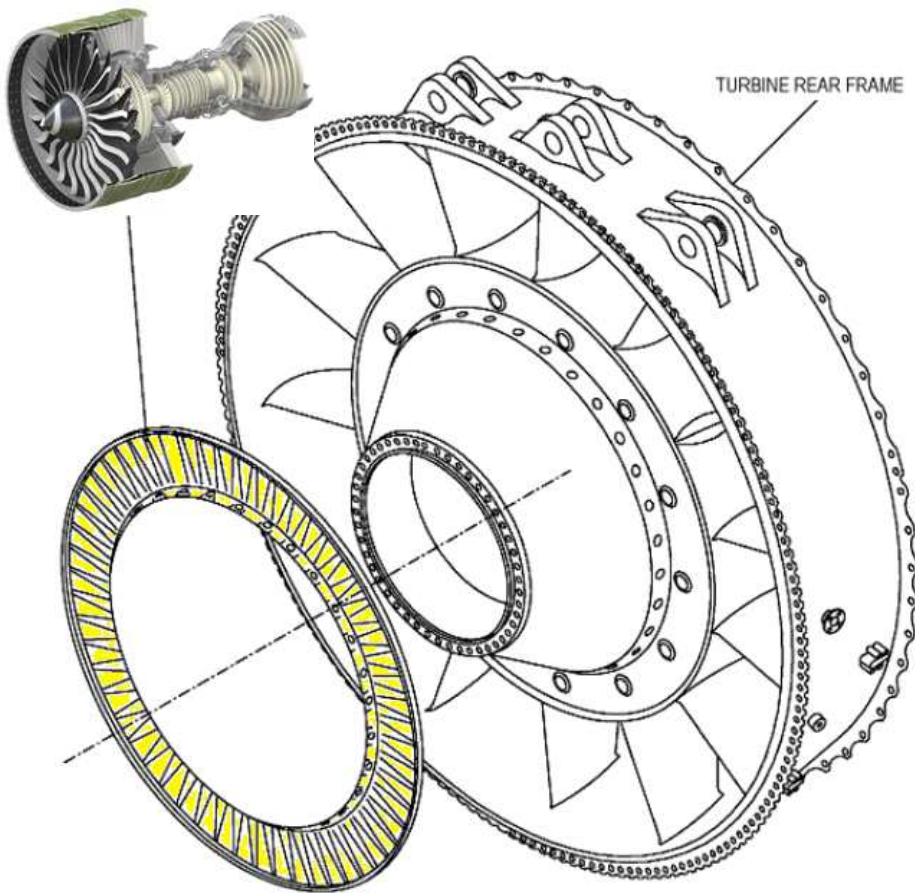


그림 229 GE90 엔진 Turbine Rear Frame Heat Shield

GE90 엔진의 Turbine Rear Frame은 LPT(저압터빈) 모듈에 속하는 부품이며, LPT Rotor를 지지하는 부품이다. Turbine Rear Frame는 엔진을 항공기에 장착하는 After Main Engine Mount를 지지하는 구조물이다. Turbine Rear Frame Heat Shield는 Turbine Rear Frame 전방에 장착된다.

(2) GE90 엔진 Turbine Rear Frame Heat Shield 작업공정 설계

(가) 세척 (Cleaning) 절차 검토

- ① 알칼리 및 산 녹제거 (Four-Step Alkaline Cleaning and Acidic Descaling)

(나) 검사 (Inspection) 절차 검토

- ① 형광침투검사 (Fluorescent Penetrant Inspection)
- ② 육안검사 (Visual Inspection)
 - ㉠ All area

- Cracks

③ 치수검사 (Dimensional Inspection)

- 없음

(다) 수리 (Repair) 절차 검토

□ 수리 명칭 : Turbine Rear Frame(TRF) Heat Shield의 용접 수리방법

① 공구 및 장비 (Tools and Equipment)

㉠ Special Tools : 없음

㉡ Standard Tools and Equipment : 없음

㉢ Locally Manufactured Tools : 없음.

② 소모 자재 (Consumable Materials)

㉠ 용접봉 - AMS 5832 (Inconel 718 Weld Wire)

③ 수리 절차 (Procedure)

㉠ TRF Assembly에서 Heat Shield를 장탈한다.

㉡ Heat Shield를 Steam Cleaning한다.

㉢ Gas Shielded Tungsten Arc Welding(GTAW)로 결함부위를 용접한다.

㉣ 용접부위를 원형으로 가공한다.

㉤ 가공면을 Etching 및 형광침투검사를 한다.

㉥ 부품을 열처리한다.

㉦ 열영향 변색부위를 제거한다.

㉧ 부품을 Etching 및 형광침투검사를 한다.

㉨ 부품을 최종검사를 한다.

㉩ Heat Shield를 Turbine Rear Frame에 장착한다.

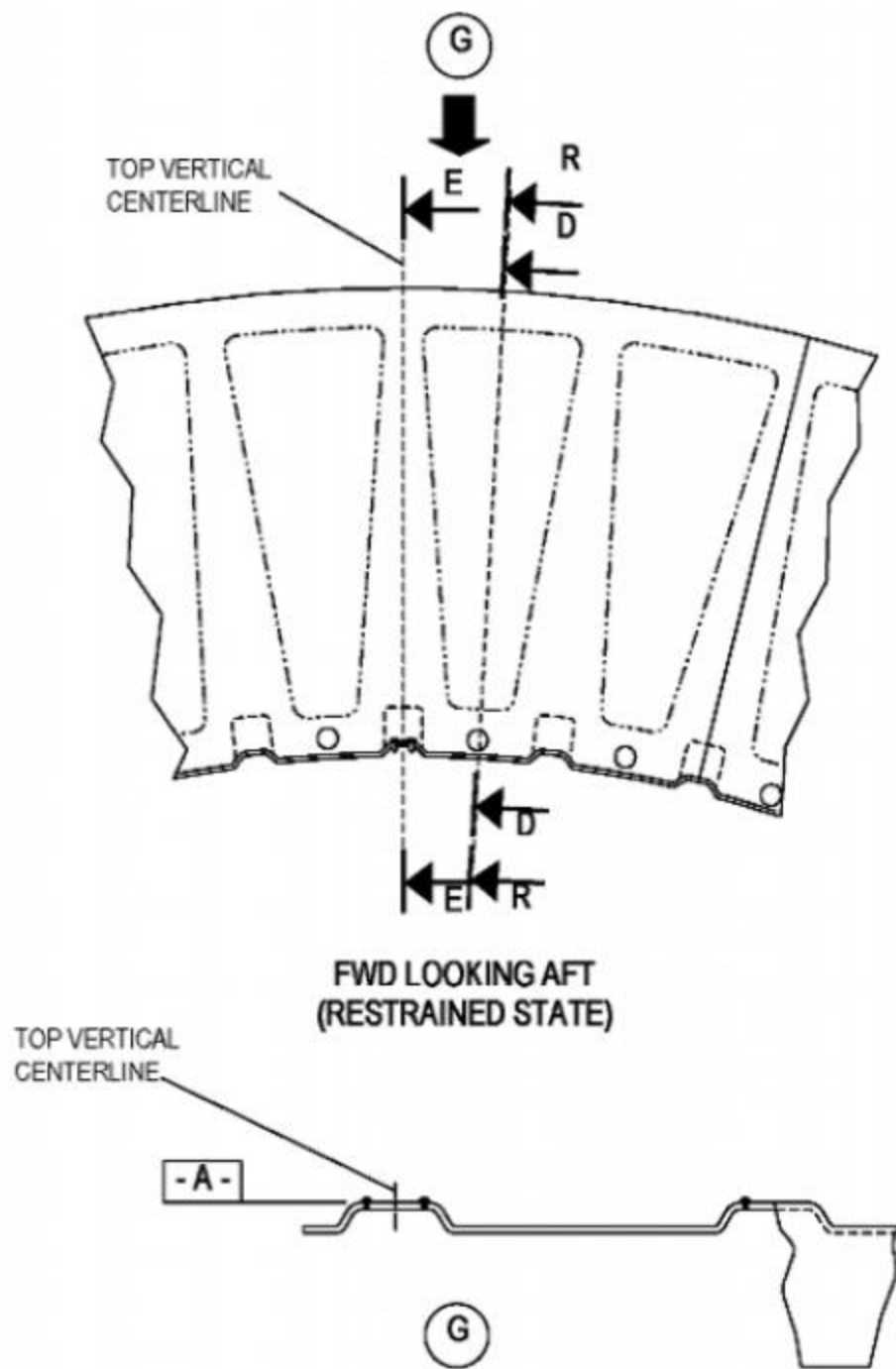


그림 230 GE90-100 엔진 Turbine Rear Frame Heat Shield 용접 수리

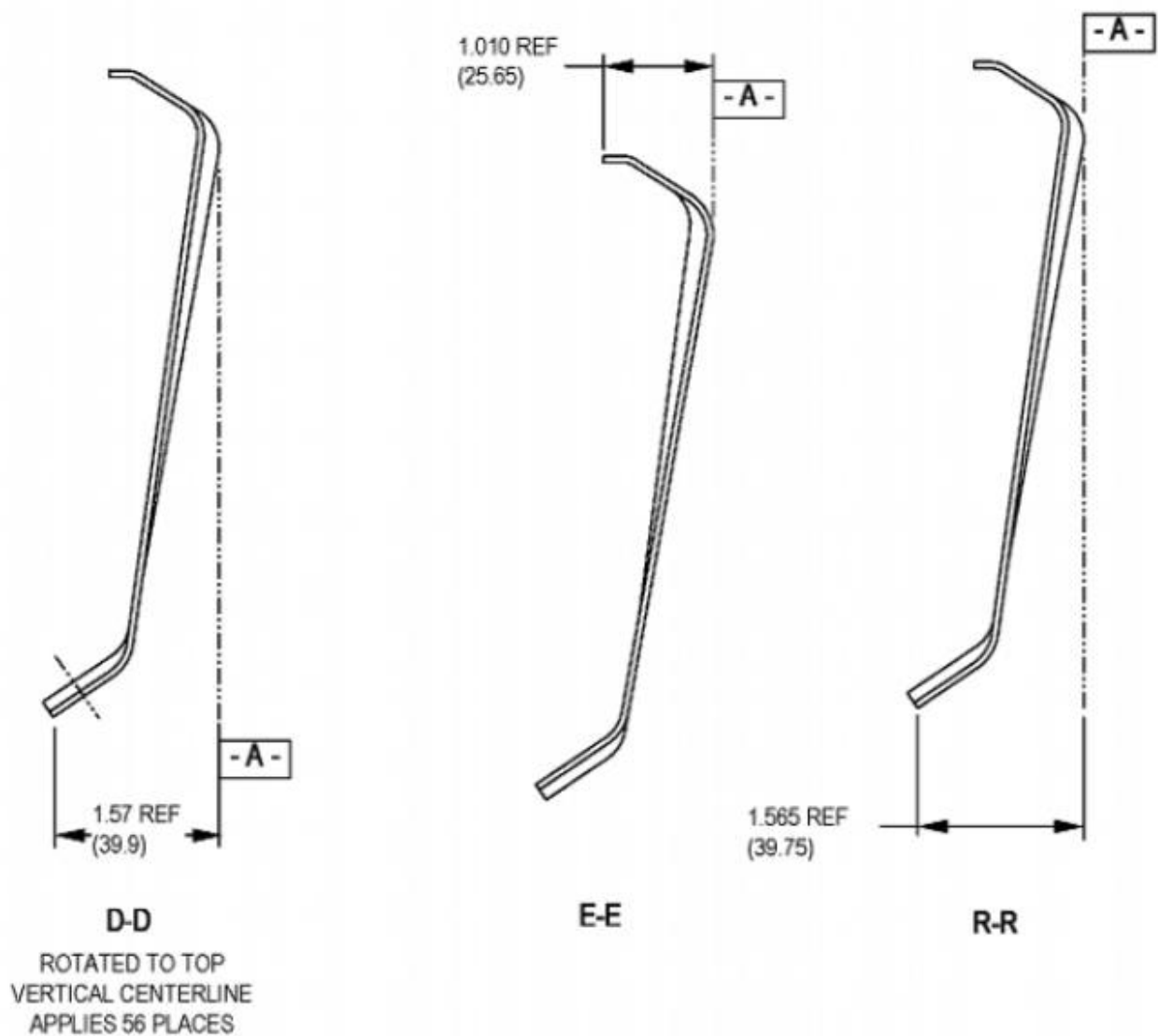


그림 231 GE90-100 엔진 Turbine Rear Frame Heat Shield 육안검사

(라) 진공열처리기술 공정설계

① 진공열처리 조건

㉠ 진공도 : 1×10^{-3} 토르 이하

② 열처리공정 검토

□ 조건1, Short age cycle for Inconel 718 (Cycle V-16)

㉠ 열처리로 내 부품의 온도를 $1,400 \pm 25$ °F (750 ± 14 °C)까지 상승한다.

㉡ 1시간 (± 15 분) 동안 부품 온도를 유지한다.

㉢ 열처리로 내 부품의 온도를 $1,150 \pm 25$ °F (621 ± 14 °C)까지 냉각한다.

㉣ 4시간 (± 15 분) 동안 부품 온도를 유지한다.

㉤ 상온까지 냉각한다.

③ 작업 공정 설계

GE90 엔진 Turbine Rear Frame Heat Shield 용접수리에는 Inconel 718 재질의 Shot age Cycle인 V-16 열처리기술을 적용하여 작업 공정을 설계하였다.

KOREAN AIR WORK ORDER				Maintenance Organization Certificate :			
Work Order: 1203041	Item:	S/N:	Instance:	Qty:			
Visit No: 000	Position:	Owner:					
Origin WO:	NHA Unit:	ENG Unit:					
Program Type: REP/Repair	Re-identity Item:						
Route No:	Route Title:	Ref Desc (Safety/Software/ATAI):					
FRM003L_REP_C	WELD HEAT SHIELD (REP-003)	EM/GEK109993/32/72-57-01					
Seq	ACTION & TASK DESCRIPTION			Resources			
10	Route Number: (C)			REP_MET			
SUBTASK 72-57-FRM003L-REP-205 WELD HEAT SHIELD Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-57-01 Repair-003 (1) WELD REPAIR THE DAMAGE ON THE HEAT SHIELD. (a) USE WELD WIRE AMS 5832. (b) USE COPPER PLATES TO PREVENT DISTORTION. Record weld wire used in this procedure after welding *WELD WIRE LOT NO: _____ *WELD WIRE TRACKING NO: _____							
Date:	Tech: T1	Insp: N/A					
20	Route Number: (C)			REP_SHT			
SUBTASK 72-57-FRM003L-REP-251 BLEND HEAT SHIELD Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-57-01 Repair-003 (1) MAINTENANCE PREPARATION *PME CONTROL NO: _____ (2) BLEND WELD REPAIRED AREAS (a) BLEND TO THE INITIAL THICKNESS OF 0.018 ~ 0.022 inch. (b) BLEND TO THE INITIAL DIAMETER OF 0.190 ~ 0.208 inch.							
Date:	Tech: T1	Insp: N/A					
30	Route Number: (C)			NDT_NDI			
SUBTASK 72-57-FRM003L-REP-428 ETCH HEAT SHIELD Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-57-01 Repair-003 (1) ETCH THE BLEND AREAS.							
Date:	Tech: T1	Insp: I					
40	Route Number: (C)			NDT_FPI			
SUBTASK 72-57-FRM003L-REP-354 FPI HEAT SHIELD Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-57-01 Repair-003 (1) MAINTENANCE PREPARATION *PME CONTROL NO: _____ (2) DO A FPI PER SPM 70-32-03 (a) USE CLASS 'D' PENETRANT. * RESULT : _____							
Date:	Tech: ND	Insp: N/A					
50	Route Number: (C)			REP_MET , INSP			
SUBTASK 72-57-FRM003L-REP-301 HEAT-TREAT HEAT SHIELD Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-57-01 Repair-003 (1) MAINTENANCE PREPARATION *PME CONTROL NO: _____ (2) HEAT-TREAT THE HEAT SHIELD. (a) USE CYCLE 'V-16'. * CHART ID : _____ (3) POLISH TO REMOVE HEAT DISCOLORATION.							
Date:	Tech: T1	Insp: I					
60	Route Number: (C)			NDT_NDI			
SUBTASK 72-57-FRM003L-REP-428 ETCH HEAT SHIELD Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-57-01 Repair-003 (1) ETCH THE BLEND AREAS.							
Date:	Tech: T1	Insp: I					
70	Route Number: (C)			NDT_FPI			
SUBTASK 72-57-FRM003L-REP-357 FPI HEAT SHIELD Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-57-01 Repair-003 (1) MAINTENANCE PREPARATION *PME CONTROL NO: _____ (2) DO A FPI PER SPM 70-32-03 (a) USE CLASS 'A' PENETRANT. * RESULT : _____							
Date:	Tech: ND	Insp: N/A					
80	Route Number: (C)			CLN_SPC			
SUBTASK 72-57-FRM003L-REP-152 CLEANING Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-57-01 Repair-003 Refer to GE90-100 SPM(PN GEK9250) 70-21-03 Refer to GE90-100 SPM(PN GEK9250) 70-21-22 (1) MAINTENANCE PREPARATION * PME CONTROL NO : ME000_____ (2) CLEANING PER SPM 70-21-22 * DIP TIME LIMIT : 15-60 MIN' , DIP TEMP° LIMIT : 54-66°C * CHECKED & ACCOMPLISHED [____]							
Date:	Tech: ND	Insp: N/A					
90	Route Number: (C)			REP_SHT , INSP			
SUBTASK 72-57-FRM003L-REP-751 INSTALL HEAT SHIELD Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-57-01 Repair-002 (1) MAINTENANCE PREPARATION *PME CONTROL NO: _____ (2) INSTALL THE HEAT SHIELD ON THE CONE. (a) SET-UP TO HOLD THE HEAT SHIELD IN POSITION. (b) APPLY A THIN LAYER OF LUBRICANT (C02-058) (c) INSTLL BOLTS AND NUTS * BOLT PN : J813P002A, UPA 28 * NUT PN : J626P03, UPA 28 (d) TORQUE THE NUTS TO 45 ~ 55 lb in. * ACTUAL TORQUE RANGE : _____lb in. (e) INSPECTION OF THE GAPS. (MAXIMUM 0.00 inch)							
Date:	Tech: T1	Insp: I					
100	Route Number: (C)			TIM_PW4 , INSP			
SUBTASK 72-57-FRM003L-REP-800 TABLE INSPECTION Refer to GE90-100-100 ESM(GEK109993) 72-57-01 Inspection-001 (1) VISUAL INSPECTION.							
Date:	Tech: T1	Insp: I					

그림 232 GE90 엔진 Turbine Rear Frame Heat Shield 작업공정서

자. GE90 엔진 HPT 1단계 Nozzle Support 수리 작업공정 설계

(1) 부품 개요

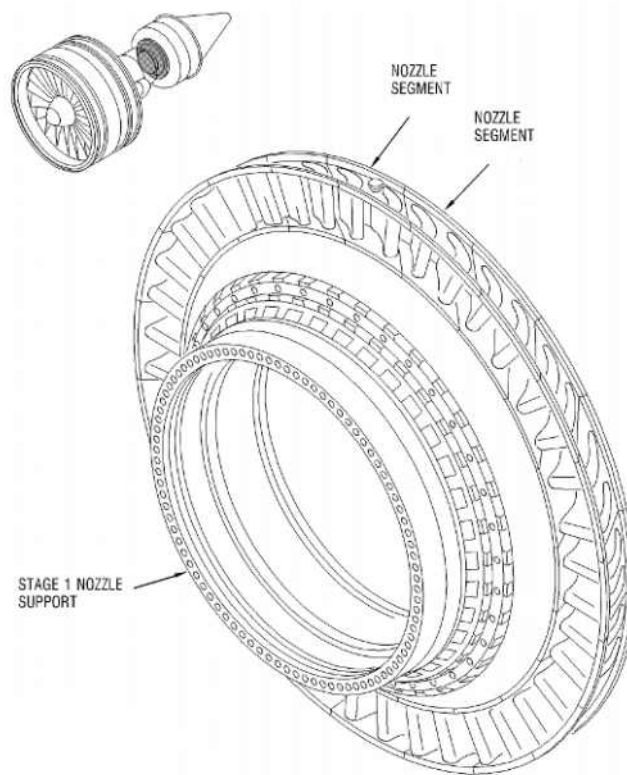


그림 233 GE90 엔진 HPT 1단계 Nozzle Support

GE90 엔진의 HPT Module은 HPC Assembly와 LPT Assembly 사이에 위치하고, 1단계 Nozzle Support는 HPT Module에 속하는 부품으로써, 2개의 Vane을 가진 20개의 Nozzle Segment와 조립되어 1단계 Nozzle Assembly가 만들어진다.

HPT 1단계 Nozzle Assembly는 연소실에서 만들어진 Hot Gas를 보내어 HPT 1단계 Rotor를 구동하는 역할을 한다.

(2) GE90 엔진 HPT 1단계 Nozzle Support 작업 공정 설계

(가) 세척 (Cleaning) 절차 검토

① 탈지 (Degreasing)

- ㉠ 증기 세정 (Vapor Degreasing)
- ㉡ 알칼리 세정 (Heavy-Duty Alkaline Clean)
- ㉢ 알칼리 녹제거 (Three-Step Heavy-Duty Alkaline Descaling)
- ㉣ 알칼리 녹제거 (Four-Step Alkaline Descaling)
- ㉤ 건식 블라스트 세정 (Dry Abrasive Blast Clean)
- ㉥ 습식 블라스트 세정 (Wet Abrasive Blast Clean)

(나) 검사 (Inspection) 절차 검토

① 형광침투검사 (Fluorescent Penetrant Inspection)

② 육안검사 (Visual Inspection)

㉠ All Body Surface & Oter Flange

- Crack
- Dent
- Nick and Scratch
- Buckle
- Corrosion/Pitting

㉡ Honeycomb

- Annular Wear Groove
- Cell Damage/Erosion
- Missing Cells/Visible Housing

㉢ Bayonet Surface

- Wear
- Nick, Dent, Scratch, or other Damage

③ 치수검사 (Dimensional Inspection)

- Diameter : AA, BA, CA
- Runout of surface DA
- Dimension : E, F, H

(다) 수리 (Repair) 절차 검토

□ 수리 명칭 : Dimensional Restoration

- Solution 및 Age 열처리를 이용한 HPT 1단계 Nozzle Support 치수복원 수리방법

① 공구 및 장비 (Tools and Equipment)

㉠ Special Tools : 없음

㉡ Standard Tools and Equipment : 없음

㉢ Locally Manufactured Tools :

- 열처리용 Fixture

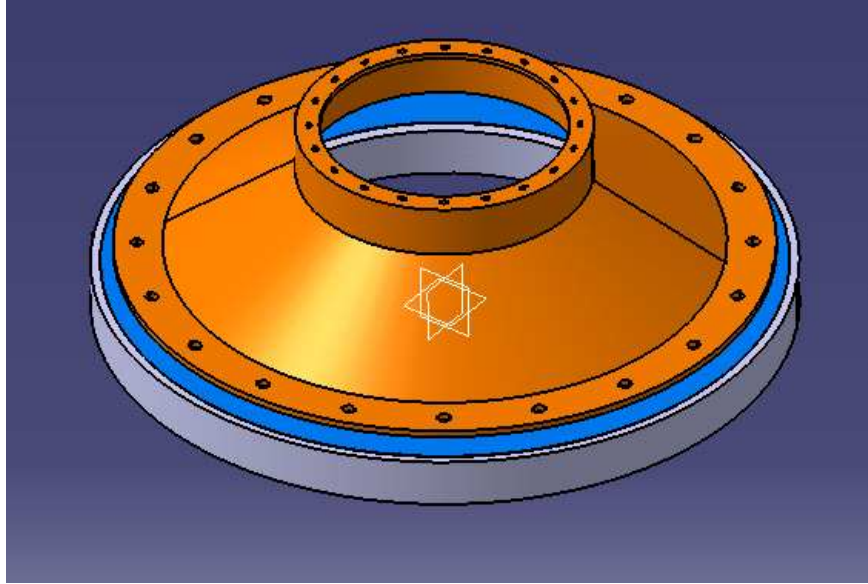


그림 234 GE90 엔진 HPT 1단계 Nozzle Support
열처리용 Fixture

② 소모 자재 (Consumable Materials)
없음

③ 수리 절차 (Procedure)

- ㉠ After Flange에서 Gang Channel Nut Assembly를 제거한다.
- ㉡ Solution 열처리를 한다.
- ㉢ Age 열처리를 한다.
- ㉣ 치수검사를 한다. (Diameter, Run-out, Dimension)
- ㉤ 부품의 Braze Joint를 육안 검사한다.
- ㉥ Gang Channel Nut Assembly를 장착한다.

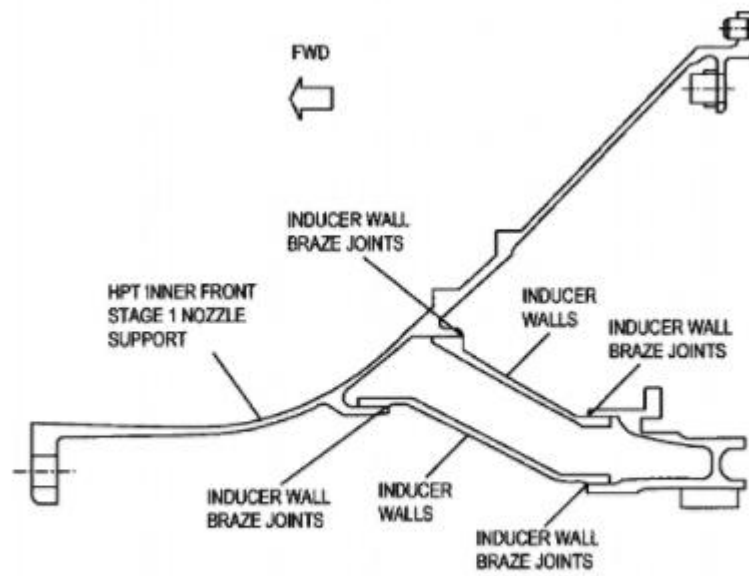


그림 235 GE90 엔진 HPT 1단계 Nozzle Suppor Braze 검사

② 소모 자재 (Consumable Materials)

- ㉠ 용접봉 - AMS 5800 (Rene 41 Weld wire)

③ 수리 절차 (Procedure)

- ㉠ After Flange에서 Gang Channel Nut Assembly를 제거한다.
- ㉡ Solution 열처리를 한다.
- ㉢ 부품의 마모 부위를 Blend 한다.
- ㉣ Gas Shielded Tungsten Arc Welding(GTAW)로 결함부위를 Build-up 용접한다.
- ㉤ 용접부위를 최종치수로 가공한다.
- ㉥ 가공 부위를 Etching 및 형광침투검사(Fluorescent Penetrant Inspection)를 한다.
- ㉦ 부품을 열처리한다.
- ㉧ 형광침투검사 (Fluorescent Penetrant Inspection)를 한다.
- ㉨ 최종 치수검사 (Final Dimension Inspection)를 한다.
- ㉩ Gang Channel Nut Assembly를 장착한다.

(라) 진공열처리기술 공정설계

① 진공열처리 조건

- ㉠ 진공도 : 1×10^{-3} 토르 이하

② 치수복원 수리 (Dimensional Restoration) 열처리공정 검토

- ☐ Solution 열처리.
 - ㉠ 열처리로 내 부품의 온도를 1,875 - 1,900 °F (1,024 - 1,038 °C)까지 상승한다.
 - ㉡ 30분간 부품 온도를 유지한다.
 - ㉢ 30분간 1,000 °F (538 °C)까지 냉각한다.
- ☐ Age 열처리 for Ren. 41, Ren. 77, Ren. 95, and Ren. 120 (Cycle V-13)
 - ㉠ 열처리로 내 부품의 온도를 1400° ± 25° F (760° ± 14° C)까지 상승한다.
 - ㉡ 16시간 동안 부품 온도를 유지한다.
 - ㉢ 불활성가스를 이용하여 1,000 °F (538 °C)까지 냉각한다
(분당 30° F (17° C) 이상의 냉각 비율)
 - ㉣ 상온까지 공냉한다.

③ 용접 수리 열처리공정 검토

- ☐ Solution 열처리
 - ㉠ 열처리로 내 부품의 온도를 1,725 - 1,750 °F (941 - 954 °C)까지 상승한다.
 - ㉡ 10 - 15분간 부품 온도를 유지한다.
 - ㉢ 온도를 1,900 - 1,925 °F (1,038 - 1,052 °C)까지 상승한다.

(분당 20 - 25 °F (11 - 14 °C)의 온도 상승 비율)

㉠ 최고 3분간 부품 온도를 유지한다.

㉡ 온도를 1,750 - 1800 °F (954 - 982 °C)까지 냉각 시킨다.

(분당 최고 20 °F (11 °C)의 냉각 비율)

㉢ 10 - 15분간 부품 온도를 유지한다.

㉣ 온도를 975 - 1,025 °F (524 - 552 °C)까지 30분간 냉각시킨다.

㉤ 상온까지 냉각시킨다.

□ Age 열처리 for Ren. 41, Ren. 77, Ren. 95, and Ren. 120 (Cycle V-13)

㉦ 열처리로 내 부품의 온도를 1400° ± 25° F (760° ± 14° C)까지 상승한다.

㉧ 16시간 동안 부품 온도를 유지한다.

㉨ 불활성가스를 이용하여 1000° F (538° C) 까지 냉각한다.

(분당 최저 30 °F (17 °C)의 냉각 비율)

㉩ 상온까지 냉각시킨다.

④ 작업 공정 설계

㉦ GE90 엔진 HPT 1단계 Nozzle Support의 치수복원 수리에는 Solution 및 에이징 열처리기술을 적용하여 작업 공정 설계 중이다.

(열처리 Fixture 개발 중, 각 세부 공정 테스트 완료 후 최종 작업공정서 설계 예정)

㉧ GE90 엔진 HPT 1단계 Nozzle Support의 용접 수리에는 Solution 및 에이징 열처리 기술을 적용하여 작업 공정 설계 중이다.

(열처리 및 기계가공 Fixture 개발 중, 각 세부 공정 테스트 완료 후 최종 작업공정서 설계 예정)

차. GE90 엔진 HPT 2단계 Shroud Hangers 수리 작업공정 설계

(1) 부품 개요

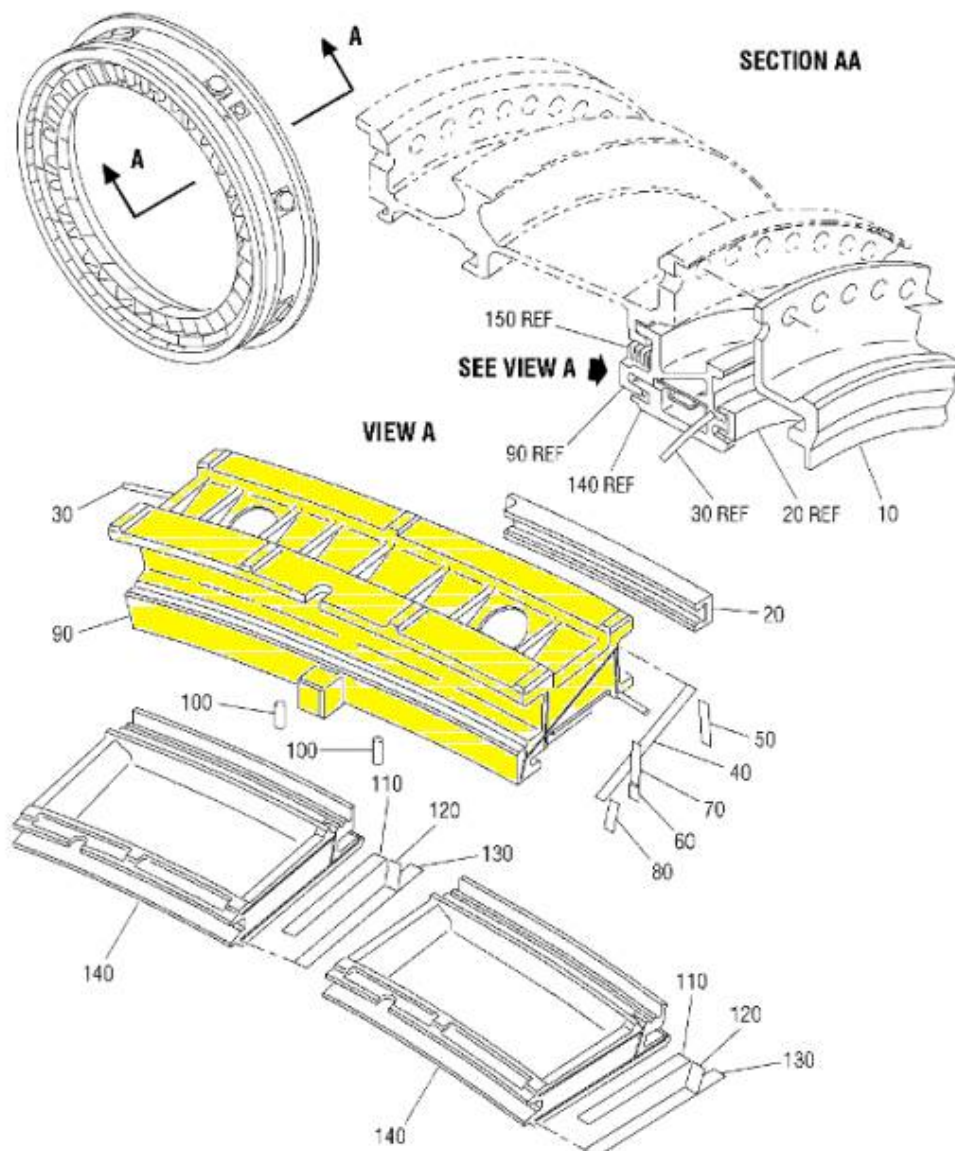


그림 237 GE90 엔진 HPT 2단계 Shroud Hangers

GE90 엔진 HPT 2단계 Shroud Hanger는 HPT 2단계 Nozzle Assembly에 속하는 부품으로써, 21개의 Shroud Hanger는 HPT Stator Case에 Retaining Clip으로 장착된다. HPT 2단계 Nozzle Assembly는 1단계에서 배기된 Hot Gas를 보내어 2단계 HPT Rotor를 구동한다.

(2) GE90 엔진 HPT 2단계 Shroud Hangers 작업 공정 설계

(가) 세척 (Cleaning) 절차 검토

- ㉠ 증기 세정 (Vapor Degreasing)
- ㉡ 알칼리 세정 (Heavy-Duty Alkaline Clean)
- ㉢ 알칼리 녹제거 (Three-Step Heavy-Duty Alkaline Descaling)
- ㉣ 건식 블라스트 세정 (Dry Abrasive Blast Clean)

㉞ 습식 블라스트 세정 (Wet Abrasive Blast Clean)

(나) 검사 (Inspection) 절차 검토

① 형광침투검사 (Fluorescent Penetrant Inspection)

② 육안검사 (Visual Inspection)

㉠ Body Surface

- Crack, Brazing Crack, Nick and Scratch, Blocked Cooling air hole
- Discoloration, Corrosion/Pitting, Fretting wear

㉡ Forward and After Support Rail

- Circumferential Crack, Radial Crack
- Wear, Dent

㉢ Air Baffle

- Dent, Distortion, Blocked Cooling Air Hole, Crack

③ 치수검사 (Dimensional Inspection)

- Dimension : SA, SE, G, R, J, H

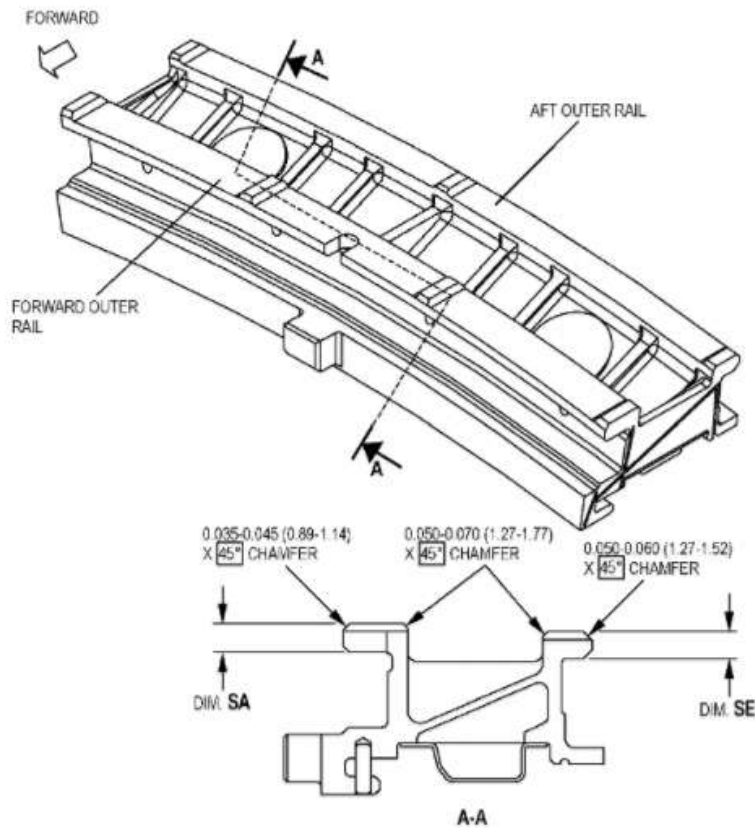


그림 238 GE90 엔진 HPT 2단계 Shroud Hangers 검사

(다) 수리 (Repair) 절차 검토

□ 수리 명칭 : Outer Rail Weld Repair

- HPT 2단계 Shroud Hanger의 FWD & AFT Outer Rail에 발생한 마모의 용접 수리

① 공구 및 장비 (Tools and Equipment)

㉠ Special Tools : 없음

㉡ Standard Tools and Equipment : 없음

㉢ Locally Manufactured Tools : 기계작업용 Fixture

② 소모 자재 (Consumable Materials)

㉠ 용접봉 - AMS 5800 (Rene 41 Weld wire)

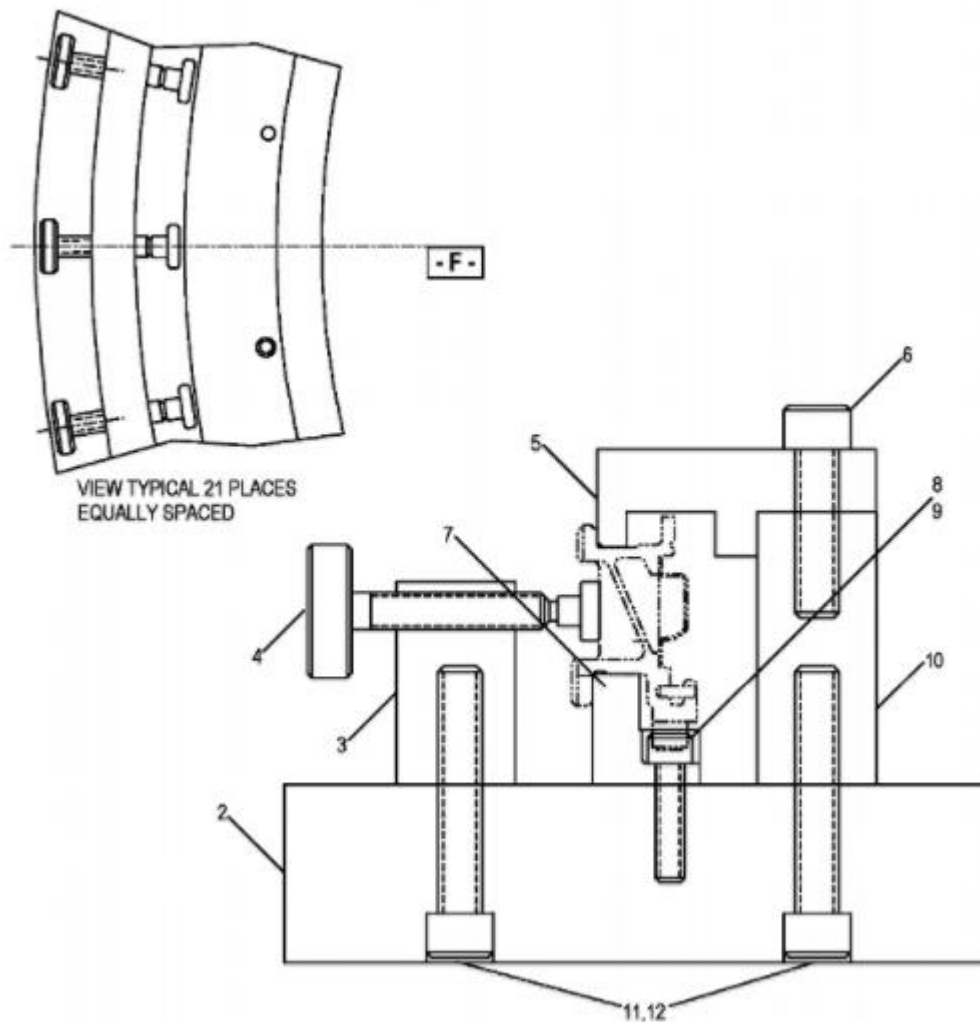


그림 239 GE90 엔진 HPT 2단계 Shroud Hangers After Outer Rail 기계공정 Fixture

③ 수리 절차 (Procedure)

- ㉠ Shroud Hanger의 After와 Forward Rail을 기계가공하여 마모를 제거한다.
- ㉡ 부품의 기계가공 부위를 Etching 및 형광침투검사를 한다.
- ㉢ 부품을 Solution 열처리 한다.
- ㉣ Gas Shielded Tungsten Arc Welding(GTAW)로 용접한다.
- ㉤ 부품을 Solution 열처리 한다.
- ㉥ 부품을 에이징 열처리 한다.
- ㉦ 용접된 Rail을 최종 검사치수로 기계가공한다.
- ㉧ 기계가공 부위를 Etching 및 형광침투검사를 한다.
- ㉨ 부품을 최종 육안 및 치수검사를 한다.

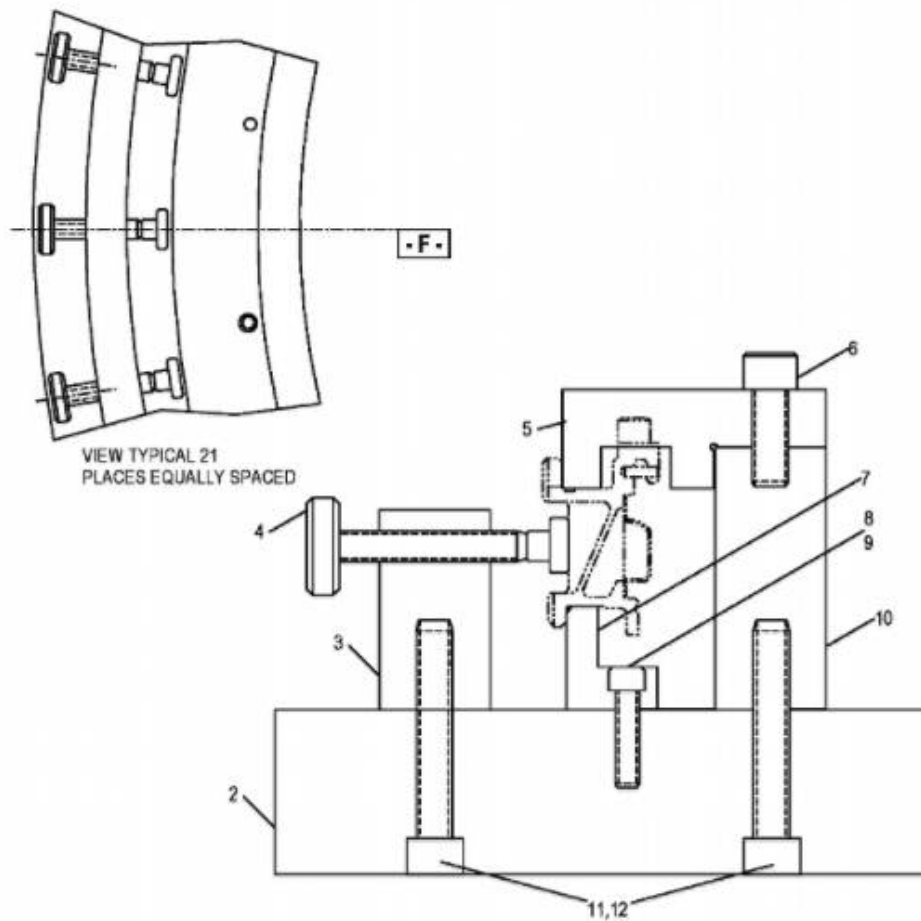


그림 240 GE90 엔진 HPT 2단계 Shroud Hangers Forward Outer Rail
기계공정 Fixture

□ 수리 명칭 : Locating Slot Weld Repair

- HPT 2단계 Shroud Hanger의 Locating Slot에 발생된 마모의 용접 수리

① 공구 및 장비 (Tools and Equipment)

- ㉠ Special Tools : 없음
- ㉡ Standard Tools and Equipment : 없음
- ㉢ Locally Manufactured Tools : 없음.

② 소모 자재 (Consumable Materials)

- ㉠ 용접봉 - AMS 5800 (Rene 41 Weld wire)

③ 수리 절차 (Procedure)

- ㉠ Shroud Hanger의 마모 및 손상된 Locating Slot을 Blend 한다.
- ㉡ Blend 부위를 Etching 및 형광침투검사를 한다.
- ㉢ Solution 열처리를 한다.
- ㉣ Gas Shielded Tungsten Arc Welding(GTAW)로 용접한다.

- ㉞ Solution 열처리를 한다.
- ㉞ 에이징 열처리를 한다.
- ㉞ Locating Slot을 치수에 맞추어 기계가공 한다.
- ㉞ 기계가공 부위를 Etching 및 형광침투 검사를 한다.
- ㉞ 최종 육안 및 치수 검사를 한다

(라) 진공열처리기술 공정설계

① 진공열처리 조건

- ㉞ 진공도 : 1×10^{-3} 토르 이하

② Outer Rail Weld Repair 열처리공정 검토

- ☐ Solution 열처리 (Solution treatment for Ren. 41 and Ren. 77.)

- ㉞ 열처리로 내 부품의 온도를 $1,975 \pm 25$ °F ($1,079 \pm 14$ °C)까지 상승한다.
- ㉞ 30분간 부품 온도를 유지한다.
- ㉞ 온도를 1,000 °F (538 °C)까지 냉각한다.
(분당 최저 30 °F (17 °C)의 냉각 비율)
- ㉞ 상온까지 냉각한다.

- ☐ 에이징 열처리 (Full age cycle for Ren. 41, Ren. 77, Ren. 95, and Ren. 120.)

- ㉞ 열처리로 내 부품의 온도를 1,375 - 1,425 °F까지 상승한다.
- ㉞ 4시간 $\pm$ 15분간 부품 온도를 유지한다.
- ㉞ 온도를 1,000 °F (538 °C)까지 냉각한다.
(분당 최저 30 °F (17 °C)의 냉각 비율)
- ㉞ 상온까지 냉각한다.

③ Outer Rail Weld Repair 열처리공정 검토

- ☐ Solution 열처리 (Solution treatment for Ren. 41 and Ren. 77.)

- ㉞ 열처리로 내 부품의 온도를 $1,975 \pm 25$ °F ($1,079 \pm 14$ °C)까지 상승한다.
- ㉞ 30분간 부품 온도를 유지한다.
- ㉞ 온도를 1,000 °F (538 °C)까지 냉각한다.
(분당 최저 30 °F (17 °C)의 냉각 비율)
- ㉞ 상온까지 냉각한다.

- ☐ 에이징 열처리 (Full age cycle for Ren. 41, Ren. 77, Ren. 95, and Ren. 120.)

- ㉞ 열처리로 내 부품의 온도를 1,375 - 1,425 °F까지 상승한다.
- ㉞ 4시간 $\pm$ 15분간 부품 온도를 유지한다.
- ㉞ 온도를 1,000 °F (538 °C)까지 냉각한다.
(분당 최저 30 °F (17 °C)의 냉각 비율)

㉠ 상온까지 냉각한다.

④ 작업 공정 설계

㉡ GE90 엔진 HPT 2단계 Shroud Hangers의 Outer Rail 용접 수리에는 Solution 및 에이징 열처리기술을 적용하여 작업 공정 설계 중이다.

(열처리 Fixture 개발 중, 각 세부 공정 테스트 완료 후 최종 작업공정서 설계 예정)

㉢ GE90 엔진 HPT 2단계 Shroud Hangers의 Locationg Slot 용접 수리에는 Solution 및 에이징 열처리기술을 적용하여 작업 공정 설계 중이다.

카. GE90 엔진 No. 4 Bearing After Stationary Air Seal 수리 작업공정 설계

(1) 부품 개요

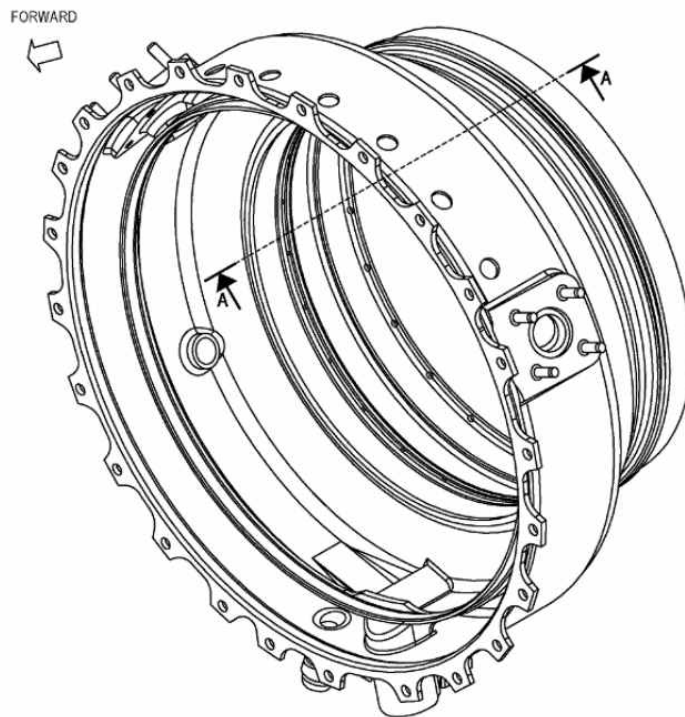


그림 241 GE90 엔진 No. 4 Bearing After Stationary Air Seal

(2) GE90 엔진 No. 4 Bearing After Stationary Air Seal 작업 공정 설계

(가) 세척 (Cleaning) 절차 검토

- ① 증기 세정 (Steam clean)
- ② 알칼리 세정 (Heavy-Duty Alkaline Clean)
- ③ 알칼리 녹제거 (Three-Step Heavy-Duty Alkaline Descaling)
- ④ Light-Duty Aqueous Clean

(나) 검사 (Inspection) 절차 검토

① 형광침투검사 (Fluorescent Penetrant Inspection)

② 육안검사 (Visual Inspection)

㉠ Flange & Inner and Outer Cones

- Cracks, Wear
- Nicks, Dents, and Scratches
- Distortion

㉡ Seal Surface (Diameter M)

- Rubs or Grooves, Missing Coating
- Cracks

㉢ After Surface and Groove (Diameter M)

- Wear

㉣ Diameter P

- Fretting

㉤ Seal Serrations

- Turned Metal, Bending, High Metal, Wear, Nicks and Dents

㉥ Drain Tube

- Braze Joint Cracks, Damage on the Tube Fitting

㉦ Locked Studs and Lockrings

- Loose or Missing Lockring, Loose, Missing, or Broken Locked Stud
- Damaged Threads

③ 치수검사 (Dimensional Inspection)

㉧ After Stationary Seal

- Diameter : E, P, M, N

(다) 수리 (Repair) 절차 검토

□ 수리 명칭 : Weld Repair for Diameter M

Diameter M의 용접수리 방법

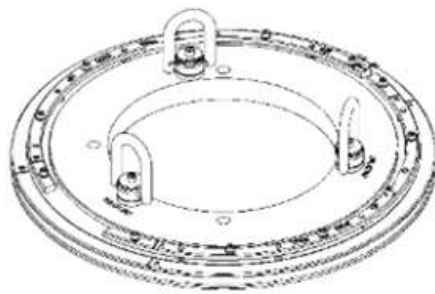
① 공구 및 장비 (Tools and Equipment)

㉠ Special Tools : 없음

㉡ Standard Tools and Equipment : 없음

㉢ Locally Manufactured Tools :

- 기계가공용 Fixture



LEGEND:
 2. BASE PLATE
 3. RESTRAINING PAD
 6. HOIST RING

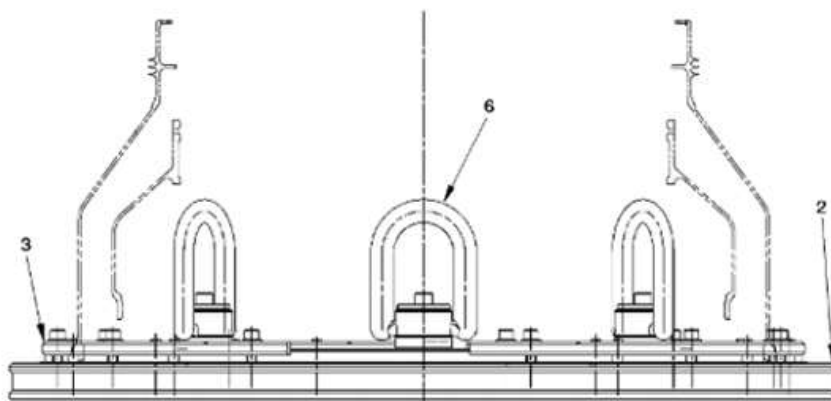


그림 242 GE90 엔진 No. 4 Bearing After Stationary Air Seal Fixture

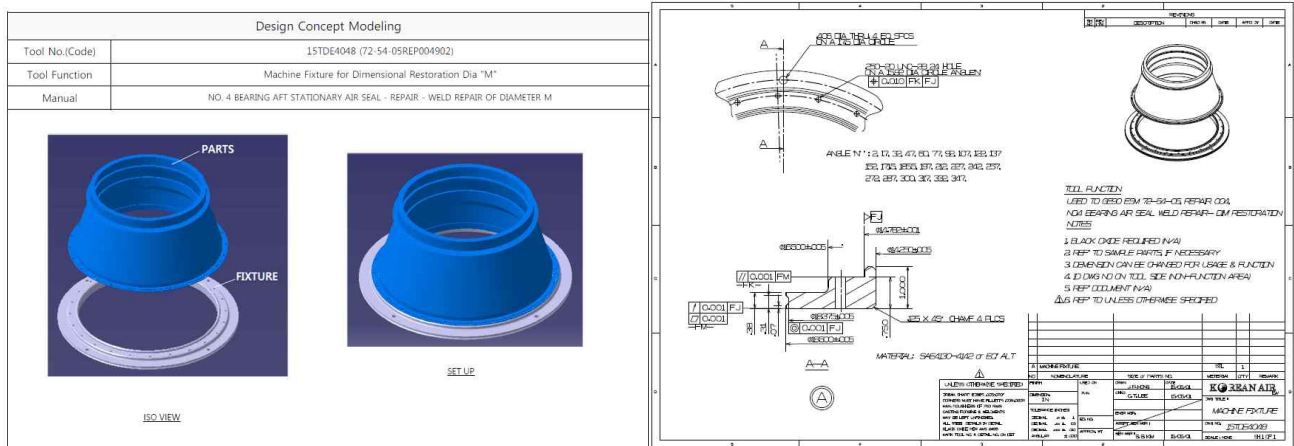


그림 243 No. 4 Bearing After Stationary Air Seal 기계가공 Fixture (Restoration Dia. M)

(라) 진공열처리기술 공정설계

① 진공열처리 조건

㉠ 진공도 : 1×10^{-3} 토르 이하

② 열처리공정 검토

□ 조건1, Short Age Cycle for Inconel 718.

㉠ 열처리로 내 부품의 온도를 $1,400 \pm 25$ °F (760 ± 14 °C)까지 상승한다.

㉡ 2시간 ± 15 분 동안 부품 온도를 유지한다.

㉢ 온도를 $1,150 \pm 25$ °F (621 ± 14 °C)까지 상승한다.

㉣ 4시간 ± 15 분 동안 부품 온도를 유지한다.

㉤ 부품의 온도를 상온까지 냉각한다.

③ 작업 공정 설계

GE90 엔진 No. 4 Bearing After Stationary Air Seal Diameter M 용접수리에는 Inconel 718 Short Age Cycle의 진공열처리기술을 적용하여 작업 공정을 설계한다.

타. GE90 엔진 Turbine Center Frame After Outer Hanger 수리 작업공정 설계

(1) 부품 개요

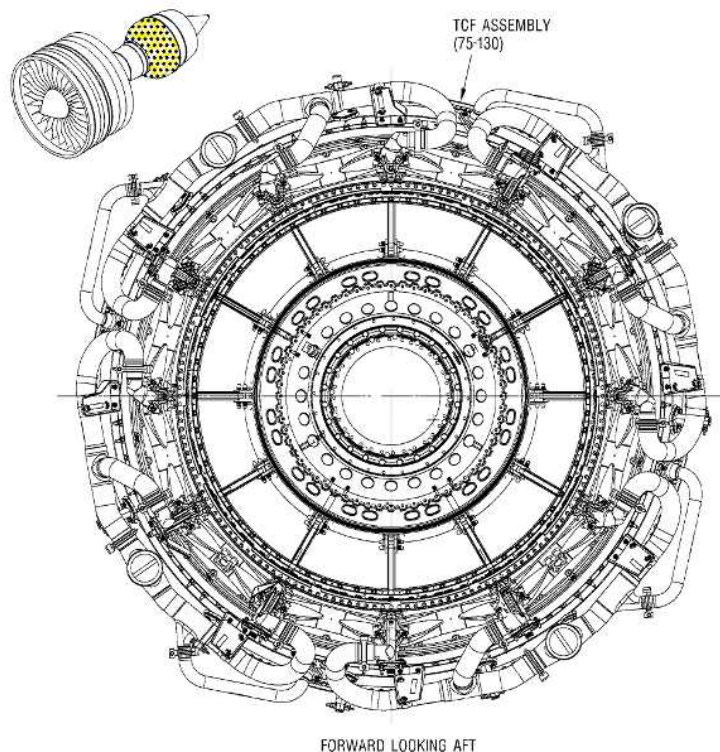


그림 245 GE90 엔진 Turbine Center Frame



그림 246 AFT Outer Hanger Damage 현장

(2) 작업 공정 설계

(가) 세척 (Cleaning) 절차 검토

- ① Degreasing
- ㉠ 증기 세정 (Steam Cleaning)

(나) 검사 (Inspection) 절차 검토

- ① 형광침투검사
- ② 육안검사 (Visual Inspection)
 - ㉠ After Outer Hangers
 - Cracks
 - Nicks, Scores, and Scratches
 - Damaged Threads at Nut Plates
 - Wear form Tripod
 - Wear and Fretting at surface AA, AD and AB
 - Wear at the Anti-Rotation Tab
 - Cracks at the Anti-Rotation Tab
 - Damaged, Worn, or Loose Nut Plates or Seized Bolt in Nut Plate
 - Rivet Hole Size

(다) 수리 (Repair) 절차 검토

- 수리명칭 : Tang Flange Weld Repair
- After Outer Hanger Surface AE의 마모에 대한 용접수리 방법

- ① 장비 공구 (Tools and Equipment)
 - ㉠ Special Tools : Inspection Fixture
 - ㉡ Standard Tools and Equipment : 없음

㉔ Locally Manufactured Tools :

- Machining Fixture
- Setup Block

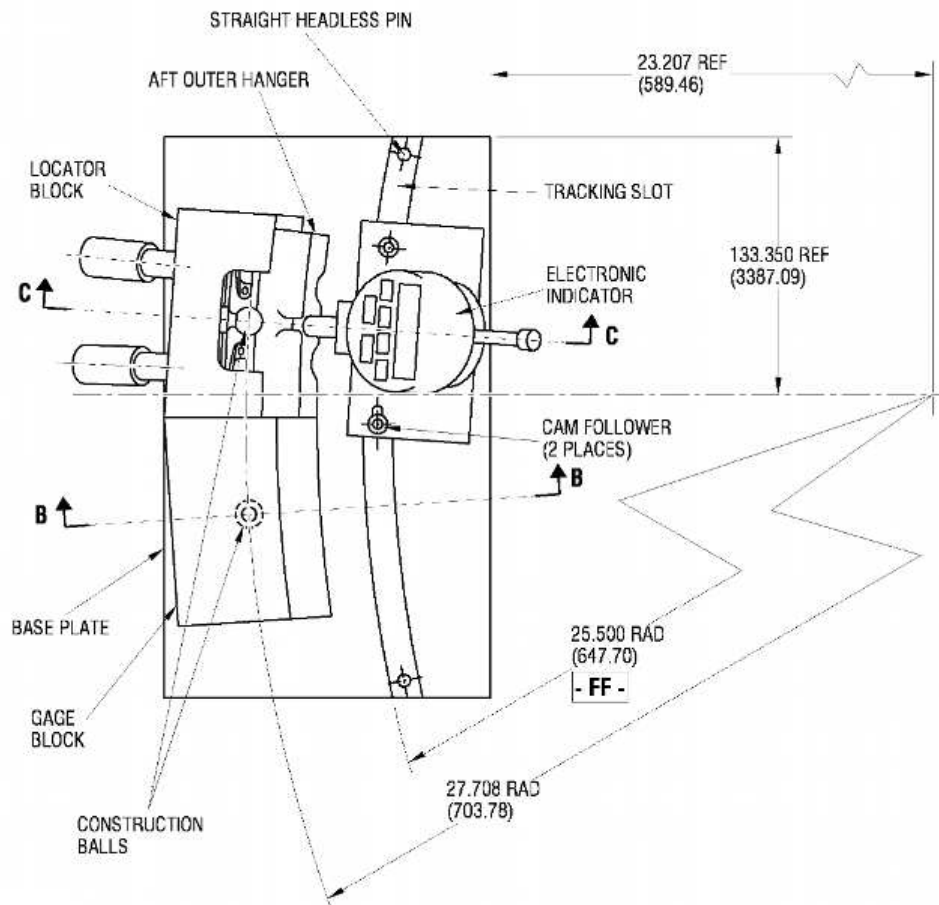


그림 247 GE90 엔진 Turbine Center Frame After Outer Hanger Inspection Fixture

㉠ 부품을 형광침투검사를 한다.

④ 진공열처리기술 공정 설계

㉡ 진공열처리 조건

- 진공도 : 1 x 10⁻³ 토르 이하

㉢ 열처리공정 검토

□ Solution treatment for Ren. 41 and Ren. 77

㉡ 열처리로 내 부품의 온도를 1,975 ± 25 °F (1,079 ± 14 °C)까지 상승한다.

㉢ 30분 동안 부품 온도를 유지한다.

㉣ 온도를 1,000 °F (538 °C)까지 냉각한다.

(분당 최저 30 °F (17 °C)의 냉각 비율)

㉤ 부품의 온도를 상온까지 냉각한다.

□ Final age cycle for Ren. 77 and Ren. 80.

㉡ 열처리로 내 부품의 온도를 1,550 ± 25 °F (843 ± 14 °C)까지 상승한다.

㉢ 16시간 동안 부품 온도를 유지한다.

㉣ 온도를 1,000 °F (538 °C)까지 냉각한다.

(분당 최저 30 °F (17 °C)의 냉각 비율)

㉤ 부품의 온도를 상온까지 냉각한다.

③ 작업 공정 설계

GE90 엔진 Turbine Center Frame After Outer Hanger 수리에는 Rene 77재질의 Solution 및 에이징 진공열처리기술을 적용하여 작업 공정을 설계하였다.

KOREAN AIR WORK ORDER				Work Order: 1280334				Item: SN: Instance: Qty:			
Work Order: 1280334 Item: SN: Instance: Qty:				SUBTASK 72-54-HGR008L-REP-250 REMOVE COATING				Work Order: 1280334 Item: SN: Instance: Qty:			
Visit No: 000 Position: Owner: ENG Unit: Ref Doc: (check/hold/hold/hold)				Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-54-13 Repair-001				SUBTASK 72-54-HGR008L-REP-270 BLEND REPAIR			
Program Type: REPAIR Repair				Refer to GE90-100 SPM(PN GEK2550) 70-44-02				Refer to GE90-100 SPM(PN GEK2550) 72-54-13 Repair-001, Subtask 72-54-13-350-011			
Route No: Route Title				(1) MAINTENANCE PREPARATION				(1) MAINTENANCE PREPARATION			
HGR008L-REP-A RESTORATION OF THE MATTING SURFACE(REF-001)				+ PME CONTROL NO: ME000				+ PME CONTROL NO: ME000			
Seq ACTION & TASK DESCRIPTION Resources				Date: Tech: T1 Insp: N/A				Date: Tech: T1 Insp: I			
39 Route Number: (A) REF_FPI				40 Route Number: (A) NOT_FPI				40 Route Number: (A) REF_MAC, INSP			
SUBTASK 72-54-HGR008L-REP-370 FPI				SUBTASK 72-54-HGR008L-REP-355 FPI				SUBTASK 72-54-HGR008L-REP-070 PRE-MACHINE "AE"			
Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-54-13 Repair-001				Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-54-13 Repair-001				Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-54-13 Repair-001			
Refer to GE SPM (PN CGK2550) 70-32-00/70-32-03				Refer to GE SPM (PN CGK2550) 70-32-00/70-32-03				Refer to GE90-100 SPM(PN GEK2550) 70-44-02			
(1) DO FPI REPAIRED AREA PER 70-32-03				(1) DO FPI REPAIRED AREA PER 70-32-03				(1) MAINTENANCE PREPARATION			
(a) Use class "D" penetrant.				(a) Use class "D" penetrant.				+ PME CONTROL NO: ME000			
(b) Do an inspection of the mating surfaces for thermal spray coating.				(b) Do an inspection of the mating surfaces for thermal spray coating.				+ PME CONTROL NO: ME000			
If you can not find thermal spray coating on the hanger, cancel OP 050/250/355.				If you can not find thermal spray coating on the hanger, cancel OP 050/250/355.				+ PME CONTROL NO: ME000			
* RESULT : No coating () / coating ()				* RESULT : No coating () / coating ()				+ PME CONTROL NO: ME000			
Date: Tech: NO Insp: N/A				Date: Tech: NO Insp: N/A				Date: Tech: NO Insp: N/A			
20 Route Number: (A) REF_MAC, INSP				30 Route Number: (A) REF_MAC, INSP				30 Route Number: (A) REF_MAC, INSP			
SUBTASK 72-54-HGR008L-REP-060 REMOVE COATING				SUBTASK 72-54-HGR008L-REP-070 PRE-MACHINE "AE"				SUBTASK 72-54-HGR008L-REP-070 PRE-MACHINE "AE"			
Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-54-13 Repair-001				Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-54-13 Repair-001				Refer to GE90-100 ESM(PN GEK109993) 72-54-13 Repair-001			
Refer to GE90-100 SPM(PN GEK2550) 70-44-02				Refer to GE90-100 SPM(PN GEK2550) 70-44-02				Refer to GE90-100 SPM(PN GEK2550) 70-44-02			
(1) MAINTENANCE PREPARATION				(1) MAINTENANCE PREPARATION				(1) MAINTENANCE PREPARATION			
+ PME CONTROL NO: ME000				+ PME CONTROL NO: ME000				+ PME CONTROL NO: ME000			
CAUTION : MAKE SURE TO KEEP THE MINIMUM PARENT METAL THICKNESS OR DAMAGE TO THE HANGER CAN OCCUR.				CAUTION : MAKE SURE TO KEEP THE MINIMUM PARENT METAL THICKNESS OR DAMAGE TO THE HANGER CAN OCCUR.				CAUTION : MAKE SURE TO KEEP THE MINIMUM PARENT METAL THICKNESS OR DAMAGE TO THE HANGER CAN OCCUR.			
NOTE : This step applies to surface "AE" only.				NOTE : This step applies to surface "AE" only.				NOTE : This step applies to surface "AE" only.			
(2) Machine to remove the thermal spray coating from surface "AE".				(2) Machine the hanger, Refer to Dimensional Information, Figure 902, Figure 910				(2) Machine the hanger, Refer to Dimensional Information, Figure 902, Figure 910			
Refer to 70-40-03 and Subtask 72-54-13-220-055.				(a) Machine the hanger surface "AE" to remove the wear to remove the wear of the trip-				(a) Machine the hanger surface "AE" to remove the wear to remove the wear of the trip-			
(a) Set-up the hanger for machining.				od clamp contact area, surface AE.				(a) Set-up the hanger for machining.			
(b) Machine the hanger from surface "AE".				(b) Machine the hanger from surface "AE".				(b) Machine the hanger from surface "AE".			
Date: Tech: T1 Insp: I				Date: Tech: T1 Insp: I				Date: Tech: T1 Insp: I			
30 Route Number: (A) REF_MAC, INSP				30 Route Number: (A) REF_MAC, INSP				30 Route Number: (A) REF_MAC, INSP			
Revision Date: 12-11-17 Released Date: Page 1 of 13				Revision Date: 12-11-17 Released Date: Page 2 of 13				Revision Date: 12-11-17 Released Date: Page 3 of 13			

그림 249 Turbine Center Frame After Outer Hanger 작업공정서

3. 자동화 피닝 공정

표 106 Program 개발 List

No.	Program No.	Part Description	Part Number	ATA	REPAIR No.	Engine Type	Media
1	O1001	PW4056 LPC 1.6-4 STG DRUM DISK	51B022-01	72-31-08	09	PW4000	Shot
2	O1003	PW4000-94 FAN HUB SLOT INTENSITY TEST	50B221	72-31-07	License (02)	PW4000	Shot
3	O1004	FAN HUB SLOT INTENSITY TEST (Radius Only)	50B221	72-31-07	License (02)	PW4000	Shot
4	O1005	PW4056 FAN BLADE	56A821	72-31-82	License (03)	PW4000	Ceramic
5	O1008	PW4000 HPC DIFFUSER AIR SEAL	5 3 H 4 3 1 , 54H792	72-35-32	08	PW4000	Shot
6	O1011	PW4 HPT 2T PLATE OUTER FACE	50L242	72-52-23	02,05	PW4000	Shot
7	O1014	PW4056, 4168 MGB IDG SPUR G/S	70R693	72-61-31	04	PW4000	Shot
8	O1015	PW4056,4168 HPC 13~15 DURM	50S813-01	72-35-10	04	PW4000	Shot
9	O1016	MNT BRG HOUSING ID	310T4025-2	71-21-16	4-1	PW4000	Shot
10	O1020	PW4000 HPT REAR HUB INNER	55L102	72-52-06	04	PW4000	Shot
11	O1021	PW4000 HPT REAR HUB ANTI ROTATING SLOT	55L102(REP- 08)	72-52-06	08	PW4000	Shot
12	O1022	PW4000 TURBINE SHAFT NUT	50A432	72-32-84	02	PW4000	Ceramic
13	O1023	PW4056 MGB EEC/PMA ALT SPUR	70R777	72-61-45	01,02	PW4000	Shot
14	O1032	PW4056 FAN BLADE ROOT	56A631	72-31-82	07	PW4000	Shot
15	O1033	PW4056 MGB IDG SPUR	70R508	72-61-31	04	PW4000	Shot
16	O1040	PW4000 HPT REAR HUB FRONT	55L102	72-52-06	10	PW4000	Shot
17	O2002	PW4168 HPT INNER AIR SEAL	50L664	72-52-17	03	PW4000	Shot
18	O2003	PW4168 HPT	53L030,	72-52-22	03,04,05	PW4000	Shot

		2STG AIR SEAL					
19	O2004	PW4168 LPT 6STG DISK FRONT DIA	51N706	72-53-16	10	PW4000	Shot
20	O2005	PW4056, 4168 HPC 13~15 DISK-DRUM	50S813-01	72-35-10	04	PW4000	Shot
21	O2006	PW4056, 4168 HPC 13~15 DISK-DRUM	50S813-01	72-35-10	05	PW4000	Shot
22	O2012	PW4000-100 FAN HUB SLOT INTENSITY TEST	51B321	72-31-07	License (02)	PW4000	Shot
23	O2013	PW4168 FAN BLADE	58A121	72-31-82	License (03)	PW4000	Ceramic
24	O2014	PW4 MGB G/S S T A R T E R CARBON SEAL	70R077	72-61-24	02	PW4000	Shot
25	O2015	PW4000 MGB F/P GEAR SHAFT	70R009	72-61-27	02	PW4000	Shot
26	O2016	PW4168 LPT 5STG AIR SEAL	50N419	72-53-41	08	PW4000	Shot
27	O2018	GEARBOX (REAR H Y D R A U L I C PUMP DRIVE) SPURGEARSHAFT	70R010	72-61-29	01	PW4000	Shot
28	O2019	PW4000 HPC DRIVE SHAFT	54H767	72-35-09	05,06,26	PW4000	Shot
29	O2020	PW4168 LPC 1.3~4STG DRUM DISK	50B882-01	72-31-08	09	PW4000	Shot
30	O2021	FAN HUB SLOT INTENSITY TEST (P W A 7 5 8 8 5 FIXTURE)	51B321	72-31-07	License (02)	PW4000	Shot
31	O2022	PW4 SPUR G/S REAR BRG JOURNAL	71R073	72-61-22	01,03	PW4000	Shot
32	O2023	PW4 MGB FRT HYD PUMP SPUR G/S	70R691	72-61-34	02	PW4000	Shot
33	O2024	PW4 IMC BEVEL G/S UPPER BRG	50A017	72-34-21	01	PW4000	Shot
34	O2025	PW4 AGB BEVEL GEAR SHAFT	51G373	72-62-03	01,02	PW4000	Shot
35	O3000	PW4090 HPC Front Disk Drum	55H206-01	72-35-07	23,24	PW4000	Shot
36	O3003	PW4090 HPC REAR DRUM DISK	57H210-01	72-35-10	07	PW4000	Shot
37	O3004	PW4090 AGB BEVEL GEAR UPPER BR	50G949	72-62-02	01	PW4000	Shot
38	O3005	PW4090 HPC DRIVE SHAFT	50S135	SBPW4G-1 12-72-338		PW4000	Shot

39	O3006	PW4090 LPT,LPC DRIVE SHAFT BLE	51A650-01	72-53-80	06	PW4000	Shot
40	O3007	PW4090 HPC DRIVE SHAFT NO3 BRG	55H190	72-35-09	06	PW4000	Shot
41	O3011	PW4 HPC 5STG DISK SLOT	54H705-001	72-35-06	04	PW4000	Shot
42	O3040	PW4 HPC FRONT HUB	51H572	72-35-05	05,07	PW4000	Shot
43	O5000	GE90 MNT PLATFORM ASSY	1846M33G02	72-09-07	001	GE90	Shot
44	O5001	BOEING SB 777-55A0018 PIVOT	182W6401	SB 777-55A001 8		Boeing	Shot
45	O5002	BOEING UPPER RUDDER PCA PISTON	3861492-102	27-20-13	07	Boeing	Shot

가. GE90 엔진 High Pressure Compressor Inlet Guide Vane 피닝 프로그램 설계

(1) 부품 개요

GE90 엔진의 High Pressure Compressor Inlet Guide Vane(이하 “HPC IGV”)는 Fan Hub Frame Assembly에 장착되는 부품으로서 HPC Assembly로 들어가는 Fan Booster(Low Pressure Compressor)의 저압축공기의 방향을 바꾸어 압축기의 효율을 높이고, 엔진 스톨(Stall)을 감소시키는 역할을 한다. 장착 위치는 Fan Frame Hub Module과 HPC Module이 만나 조립되는 연결부위이다.

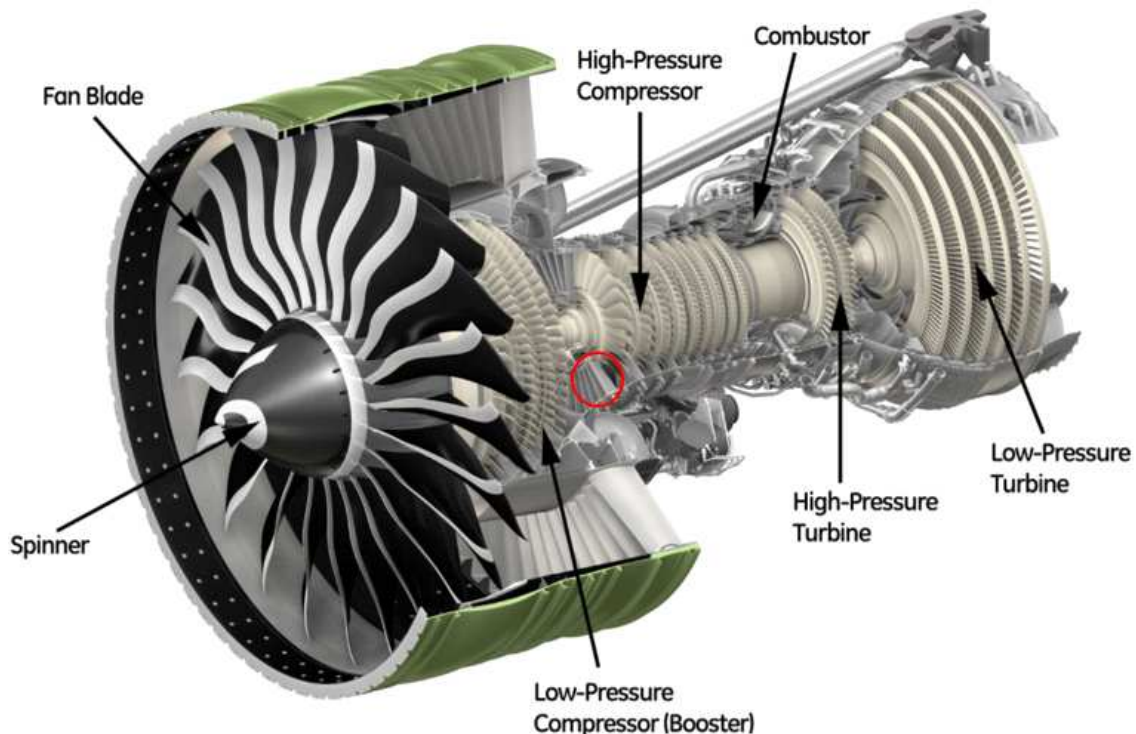


그림 250 GE90 HPC IGV 위치 (빨간 원)

HPC IGV는 EPR(Engine Pressure Ratio), N1(LPC Rotor) 혹은 N2(HPC Rotor) Speed 등의 정보를 바탕으로 실시간으로 움직이며 Fan Booster Discharge Air의 운동방향을 바꾸거나 HPC Assembly의 진입을 억제한다. 따라서 엔진 작동시간 동안 끊임없이 압축공기와 부딪히면서 공기중 먼지 등에 의한 FOD(Foreign Object Damage)에 직접 노출되어 부품 표면, 특히 Leading Edge와 Trailing Edge에 Nick, Dent, Scratch, Erosion, Tear, Crack 등의 표면 결함이 발생한다. 이러한 표면 결함들은 특히 모멘트를 많이 받는 Inner Trunnion과 Outer Trunnion 쪽 Leading Edge와 Trailing Edge에 생길 경우 High Cycle Fatigue(HCF)에 의한 파괴가 발생한다. HPC IGV에 피로파괴가 생기면 HPC IGV가 IOD(Inner Object Damage)가 되어 HPC, HPT(High Pressure Turbine), LPT(Low

Pressure Turbine)의 모든 Blade와 Vane에 손상을 야기하며, 심할 경우 Engine Surge에 의한 In-flight Shut Down(IFSD)을 발생시킬 수도 있다.

이러한 이유로 HPC IGV의 Inner/Outer Trunnion 쪽(이하 "Area A", 그림 XX 참조)의 Leading Edge와 Trailing Edge에 발생한 표면 결함은 사용가능 기준을 초과할 경우 수리가 불가하고 전량 폐기해야한다. 예를 들어 Area A의 Leading Edge에서 발견된 Nick는 개수에 상관없이 0.003 inch 보다 깊이가 깊을 경우 엔진 조립에 사용할 수 없다. 단, 0.003 inch 보다 깊지 않으면 그대로 엔진에 재사용이 가능하다. 그러나 만약 Area A의 Leading Edge에 Tear나 Crack이 발견되었다면 그 크기와 개수와 관계없이 모두 폐기 대상이다.

그러나 표면결함이 Area A를 제외한 Vane의 가운데 부분(이하 "Area C")에 발생한 경우에는 Blend Repair를 수행하여 사용가능한 부품으로 회복시킬 수 있다. 예를 들어 Area C의 Trailing Edge에서 Tear나 Crack이 발견된 경우 그 상태 그대로 엔진 조립에 사용할 수는 없으나, 결함의 개수에 상관없이 그 깊이가 0.060 inch 보다 작다면 Blend Repair를 수행하여 사용가능한 부품으로 만들 수 있다. Blend Repair가 가능한 결함의 종류는 아래와 같다.

- Area C의 Nicks, Dents
- Leading & Trailing Edge의 Tears, Cracks

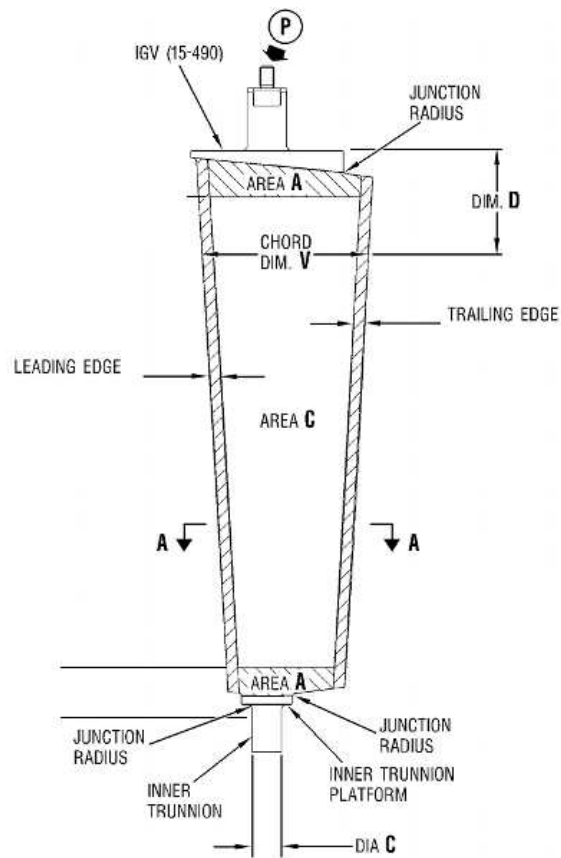


그림 251 GE90 HPC IGV 부위별 명칭

(2) 피닝 장비 및 치공구

GE90 엔진의 피닝은 AMS 2432 Shot Peening, Computer Monitored 시방의 조건을 만족하는 피닝 장비를 필요로 한다. AMS 2432는 피닝 장비의 주요 작동 변수들을 컴퓨터가 자동으로 관찰, 기록, 유지하는 것에 대한 시방이다. AMS 2432 시방을 준수한 피닝 장비는 엔지니어가 피닝 프로그램에서 지정한 주요 작동 변수가 지정 공차를 벗어난 비정상 상황 발생 시 작업자에게 해당 사항을 알람과 메시지의 형식으로 제공하여 장비의 이상 여부를 실시간으로 확인할 수 있게 한다. 동 연구에서는 AMS 2432 시방에 의거 제조된 Progressive Surface 사의 RPB6952 장비를 사용하였다.

HPC IGV의 피닝 부위는 플랫폼을 제외한 Vane 표면만 해당하므로 피닝이 필요치 않은 부위를 가리기 위해 플랫폼 부위는 테프론 소재의 치공구를 제작하여 아래와 같이 고정하였다.

HPC IGV는 형상이 단순하고 피닝 대상면이 외부로 노출되어 있어 3/8 inch ID의 피닝 노즐을 HPC IGV의 피닝 대상면에 90도 각도가 되도록 프로그램 하였다.

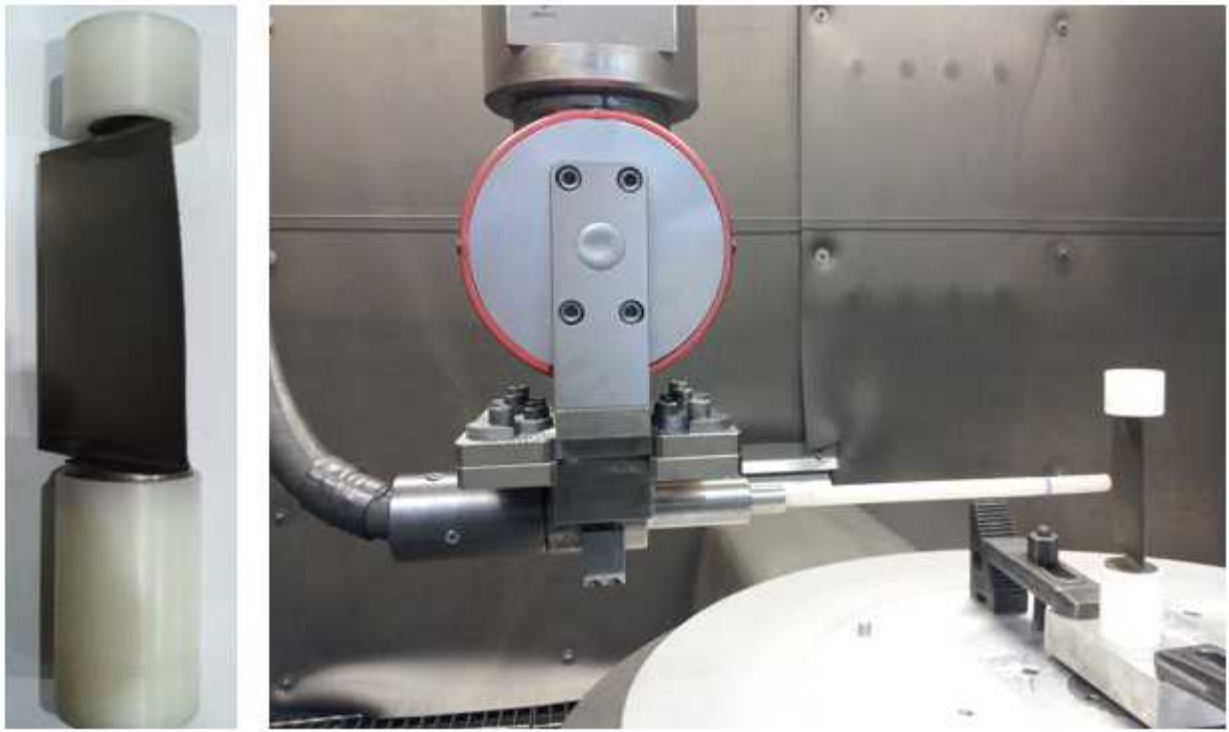


그림 252 GE90 HPC IGV 치공구와 장비에 설치된 모습

(3) 피닝 공정 설계

HPC IGV에 Blend Repair를 수행하면 수리를 한 부분의 모재가 일부 제거되어 내부금속이 외부에 노출된다. 이 때 외부로 드러난 모재는 표면처리가 되지 않은 상태이므로 표면경도 향상과 피로강도를 향상시키기 위해 피닝 작업을 수행해야 한다. HPC IGV는 모재 두께가 얇고, 피닝 작업 면적이 좁으므로 피닝 덤플의 곡률이 작게 피닝하기 위해 Ceramic Bead를 사용한 피닝을 수행하였다. HPC IGV의 피닝 조건은 아래와 같다.

Bead 사이즈	Z300
Almen Intensity	6N - 7.8N
Coverage	125%

부품 형상이 단순하여 Nozzle은 상하 운동만 하는 단순한 설계가 가능하였다. 목표 Intensity는 Stand Off Distance를 8 inch 로 고정한 상태에서 Feed Rate 20 in/sec, 10 in/sec, 5 in/sec, 2.5 in/sec 각각에 대해 Almen Strip Test를 수행하여 Saturation Curve를 생성하였다. 아래 [그림 XX]의 Saturation Curve를 보면 Air Pressure 7 psig, Media Flow 8 lb/min 조건에서 T1이 5.405 sec/in 일 때 Arc Height가 6.7301로 T2(T1의 두 배)가 2.703 sec/in 일 때 Arc Height 7.4003 의 90% 로 Intensity에 해당함을 확인할

수 있다.



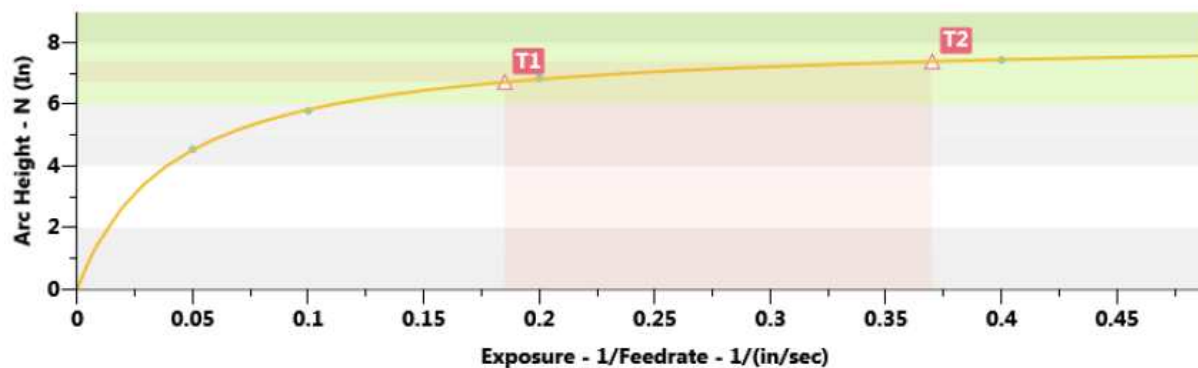
그림 253 GE90 HPC IGV Actual Arc Height

Machine ID:	Enter New Machine ID	Process Sheet:	Enter New Process Sheet
Part Number:	All Media Change	Program:	O0012
Part Description:	Media Change Part Prog	Fixture:	APM002 90DEGREE
Date-Time:	3/2/2017 2:00:05 PM		
Exposure:	Feedrate	Desired Delta:	10
Exposure Units:	in/sec	Air Pressure: PSIG	7
Process Type:	Pressure Blast	Shot Size:	Z300
Almen Fixture Type:	Simple	Media Flow: lb/min	8
Strip Type:	N	Orifice Plate Size:	MV
Arc Height Units:	Inches	Stand Off Distance:	8
Nozzle ID/Type:	3/8	Angle of Impingement:	90
Intensity Range:	6 - 9	Notes:	

Intensity Data - Location: 01

Exposure:	20	10	5	2.5
Arc Height - Run 1:	4.5	5.8	6.9	7.5
Arc Height - Run 2:	4.6	5.8	6.8	7.4

Average Height: 4.55 5.8 6.85 7.45



Location 01 Results: T1: 5.405 in/sec T2: 2.703 in/sec
Data Within Range Intensity: 6.7301 N (In) Arc Height: 7.4003 N (In)

그림 254 GE90 HPC IGV Saturation Curve

(4) 피닝 프로그램

HPC IGV의 피닝 프로그램 결과는 아래와 같다.

N100(O9994)

N101(GE90 VSV AIRFOIL BEAD PEENING)

N102

N103

N104M48 (RESET SURFACE TIMERS)

N105#998=-1 (SET SURFACE NUMBER TO -1)

N106
 N107G00X62Z61.438A0B0 (MOVE ROBOT HOME)
 N108M41 (SELECT MEDIA TYPE #1, NON FERROUS)
 N109
 N110(AIR PRESSURE PARAMS)
 N111#520=[4*10] (AIR PRESSURE LOW SHUTDOWN)
 N112#521=[6*10] (AIR PRESSURE LOW ALARM)
 N113#522=[7*10] (AIR PRESSURE SETPOINT)
 N114#523=[8*10] (AIR PRESSURE HIGH ALARM)
 N115#524=[10*10] (AIR PRESSURE HIGH SHUTDOWN)
 N116
 N117(SPINDLE SPEED PARAMS)
 N118#525=[17*10] (SPINDLE SPEED LOW SHUTDOWN)
 N119#526=[19*10] (SPINDLE SPEED LOW ALARM)
 N120#528=[21*10] (SPINDLE SPEED HIGH ALARM)
 N121#529=[23*10] (SPINDLE SPEED HIGH SHUTDOWN)
 N122
 N123(MEDIA FLOW #1 PARAMS)
 N124#530=[5*10] (MEDIA FLOW #1 LOW SHUTDOWN)
 N125#531=[7*10] (MEDIA FLOW #1 LOW ALARM)
 N126#532=[8*10] (MEDIA FLOW #1 SETPOINT)
 N127#533=[9*10] (MEDIA FLOW #1 HIGH ALARM)
 N128#534=[11*10] (MEDIA FLOW #1 HIGH SHUTDOWN)
 N129M45 (SAVE RECORD)
 N130G04X3 (DWELL)
 N131
 N132G01G90X15.8Z17.1B30F1000
 N133G04X4 (4 SECONDS DWELL)
 N134
 N135M03 S[20*10] (RUN SPINDLE CLOCKWISE AT 20 RPM)
 N136M71 (BLAST AIR ON)
 N137M51 (BLAST #1 MEDIA ON)
 N138G04X3 (DWELL)
 N139
 N140B0F500
 N141Z12.1F5.41
 N142Z17.1

N143B30F500
 N144
 N145M61 (BLAST #1 MEDIA OFF)
 N146G04X4 (4 SECONDS DWELL)
 N147M81 (BLAST AIR OFF)
 N148M05 (STOP SPINDLE)
 N149G04X7
 N150(THIS COMMENT REQD AFTER M05)
 N151G04X1 (DWELL)
 N152M44 (READ MACRO DATA)
 N153G04X4 (DWELL)
 N154G00X62Z61.438A0B0 (MOVE ROBOT HOME)
 N155G04X2 (2 SECONDS DWELL)
 N156C0F10000
 N157G04X2 (2 SECONDS DWELL)
 N158
 N159M02 (END PROGRAM)
 %

나. After Engine Mount 피닝 프로그램 설계

(1) 부품 개요

Engine Mount는 엔진을 항공기 Pylon(항공기와 엔진을 연결하는 구조물)에 장착하는 연결부품으로 엔진의 추력을 항공기에 전달하는 역할을 한다. 추력을 항공기에 전달하는 부품이므로 부품 내부와 표면에 작용하는 응력의 크기가 크다. 그 결과 조립품 내 부분품 간에 작용하는 압축 혹은 전단 응력에 의한 Gallling이나 마모 등의 표면결함이 주로 발생한다.

GE90 엔진의 경우 Fan Frame Hub에 Forward Engine Mount가 조립되고, Turbine Rear Frame에 After Engine Mount가 조립되어 있다. 두 개의 Mount는 Thrust Link에 의해 연결되어 엔진 추력을 두 개 Mount에 골고루 분산될 수 있도록 설계되어 있다.

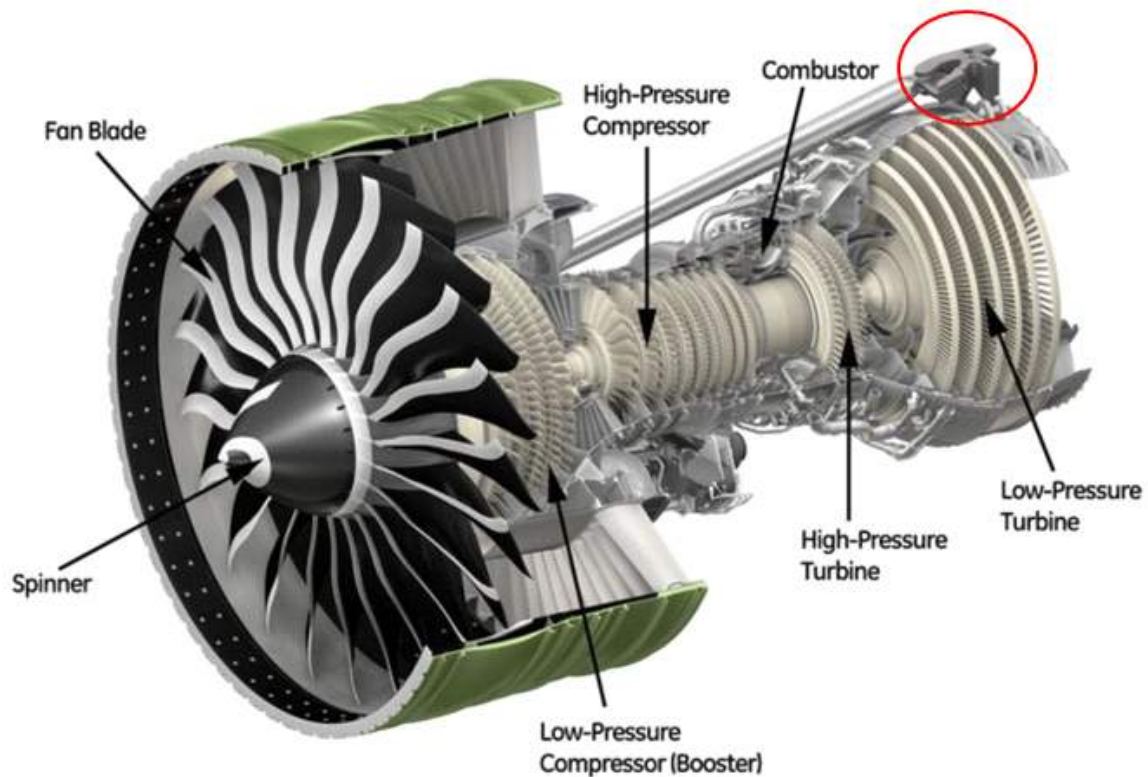


그림 255 GE90 After Engine Mount 위치(빨간 원)

After Engine Mount는 After Engine Mount Platform, Whiffletree, Left Link, Right Link, Failsafe Link 총 5개 부품으로 구성되어있다. Platform은 티타늄 소재이고 나머지 4개 부품은 인코넬 소재이다. After Engine Mount Assembly의 구성은 [그림 XX]와 같다. 동 연구에서는 After Engine Mount Assembly의 Platform과 Left Link에 발생한 표면결함에 대한 Post-Blend Repair Shot Peening 공정을 설계하였다. 각 부품별 Blend Repair가 가능한 결함의 위치와 종류는 아래와 같다.

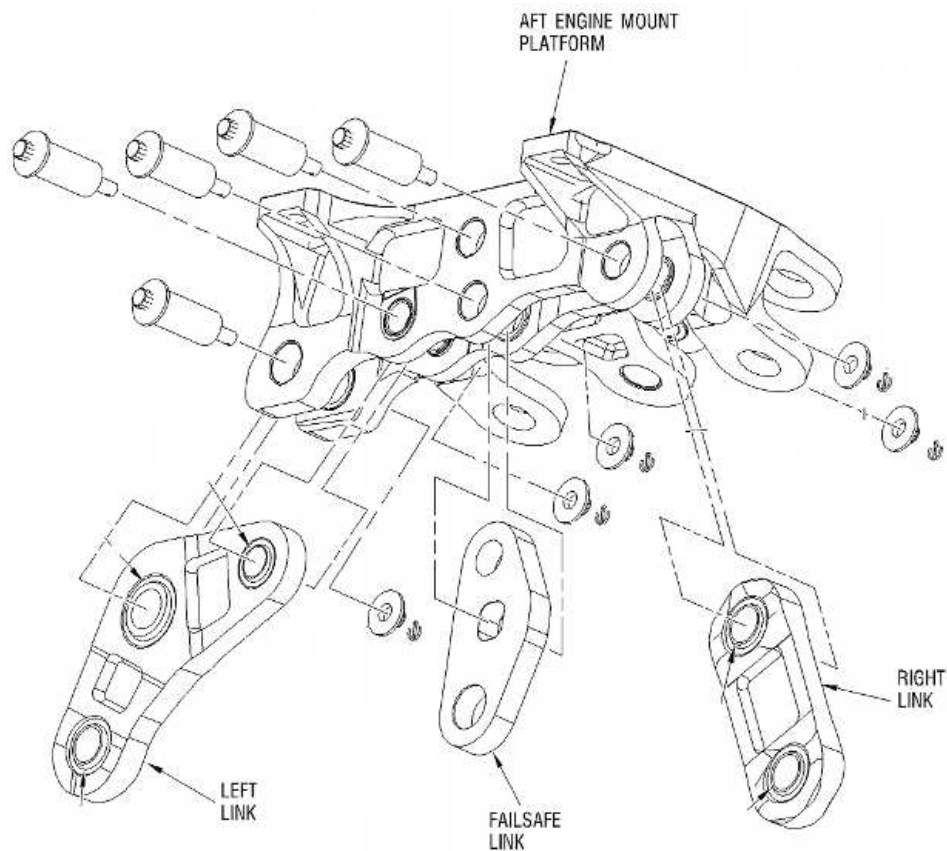


그림 256 GE90 After Engine Mount Assembly의 구성

○ Platform

- Clevis Hole Bore와 Edge 혹은 Bore의 Nick, Scratch
- Left, Right Failsafe Thrust Clevis Bore의 Fretting
- Right Hand Clevis의 Inner Surface의 Fretting
- All Other Area의 Nick, Scratch
- Pylon Interface의 Fretting
- Mating Surface의 Pick Up, High Metal
- Bolthole Outer Surface의 Central Whiffletree Clevis의 Fretting
- Bolthole Outer Surface의 Left, Right Hand Clevis의 Fretting

○ Left Link

- All Plain Bearing Surface와 Lug Hole Bore와 Edge의 Nick, Scratch
- All Other Area의 Nick, Scratch

주요 표면결함들은 Nick, Scratch, Fretting, High Metal 등의 Minor Defect이다. 표면 결함의 크기가 작더라도 해당 결함 부위에 부식이 발생할 확률이 높고, 일단 부식이 시작되면 반복되는 하중과 부식이 동시에 작용하면서 빠른 속도로 결함이 모재 내부로 확산되어 파괴에 이를 수 있다. 이를 방지하기 위해 표면결함에 대해서 Blend Repair를 수행하여 부식이 발생할 수 있는 환경적인 요인을 제거하고, 응력집중이 발생하는 구간을 없애야한다. Blend Repair를 수행한 부위는 이전의 피닝 효과가 모두 제거되기 때문에 재피닝이 필요하다.

(2) 피닝 장비 및 치공구

After Engine Mount Platform의 경우 Platform의 Upper Surface가 평면이므로 별도의 치공구 없이 피닝 장비의 테이블에 올린 상태에서 피닝을 시도하였다. Platform의 Bore의 경우 1/4 inch OD의 Lance [그림 XX] 를 사용하여 Bore Inner Surface에 직각으로 피닝이 될 수 있도록 하였다.



그림 257 GE90 After Engine Mount
Platform 피닝 모습

(3) 피닝 공정 설계

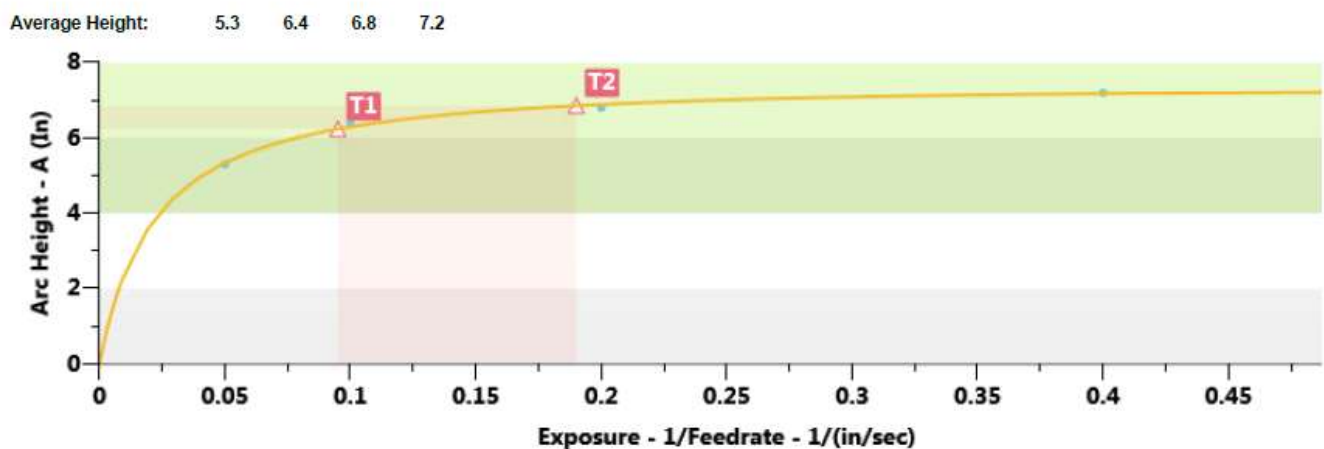
After Engine Mount Platform은 모재의 두께가 두껍고, 피닝 작업 면적이 넓으며, 경도가 높은 티타늄 소재이므로 Conditioned Cut Wire를 사용한 피닝을 수행하였다. Platform의 피닝 조건은 아래와 같다.

Bead 사이즈	CCW14
Almen Intensity	4A - 8A
Coverage	100%

목표 Intensity는 Stand Off Distance를 1/2 inch 로 고정한 상태에서 Feed Rate 20 in/sec, 10 in/sec, 5 in/sec, 2.5 in/sec 각각에 대해 Almen Strip Test를 수행하여 Saturation Curve를 생성하였다. 아래 [그림 XX] 의 Saturation Curve를 보면 Air Pressure 28 psig, Media Flow 4 lb/min 조건에서 T1이 10.526 sec/in 일 때 Arc Height가 6.2369로 T2(T1의 두배)가 5.263 sec/in 일 때 Arc Height 6.8553의 90%로 Intensity에 해당함을 확인할 수 있다.

Machine ID:	1978	Process Sheet:	CCW14
Part Number:	1/4 OD LANCE RDU TEST	Program:	O0050
Part Description:	CCW20, CCW14 FEEDRATE TEST	Fixture:	Enter New Fixture
Date-Time:	7/12/2016 11:36:57 AM		
Exposure:	Feedrate	Desired Delta:	10
Exposure Units:	in/sec	Air Pressure: PSIG	28
Process Type:	Pressure Blast	Shot Size:	CCW14
Almen Fixture Type:	Simple	Media Flow: lb/min	4
Strip Type:	A	Orifice Plate Size:	MV
Arc Height Units:	Inches	Stand Off Distance:	1/2
Nozzle ID/Type:	1/4 OD LANCE	Angle of Impingement:	45
Intensity Range:	4 - 8	Notes:	

Intensity Data - Location: 01				
Exposure:	20	10	5	2.5
Arc Height - Run 1:	5.3	6.4	6.8	7.2



Location 01 Results:	T1: 10.526 in/sec	T2: 5.263 in/sec
Data Within Range	Intensity: 6.2369 A (In)	Arc Height: 6.8553 A (In)

그림 258 GE90 After Engine Mount Platform Saturation Curve

(4) 피닝 프로그램

O5000

N100

N101(GE90 MNT PLATFORM CCW20 1/4OD LANCE)

N102(EM72-09-07)

N103

N104M48(RESET SURFACE TIMERS)

N105#998=-1(SET SURFACE NUMBER TO -1)
 N106
 N107G00X62Z61.438A0B0(MOVE ROBOT HOME)
 N108C0F500
 N109M42(SELECT MEDIA TYPE #2, STEEL)
 N110M91 (CHECK FOR STEEL MEDIA SIZE CCW 14)
 N111
 N112(AIR PRESSURE PARAMS)
 N113#520=[25*10] (AIR PRESSURE LOW SHUTDOWN)
 N114#521=[26*10] (AIR PRESSURE LOW ALARM)
 N115#522=[28*10] (AIR PRESSURE SETPOINT)
 N116#523=[30*10] (AIR PRESSURE HIGH ALARM)
 N117#524=[31*10] (AIR PRESSURE HIGH SHUTDOWN)
 N118
 N119(MEDIA FLOW #2 PARAMS)
 N120#535=[2*10](MEDIA FLOW #2 LOW SHUTDOWN)
 N121#536=[3*10](MEDIA FLOW #2 LOW ALARM)
 N122#537=[4*10](MEDIA FLOW #2 SETPOINT)
 N123#538=[5*10](MEDIA FLOW #2 HIGH ALARM)
 N124#539=[6*10](MEDIA FLOW #2 HIGH SHUTDOWN)
 N125
 N126(ROTARY LANCE SPEED PARAMS)
 N127#540=[143](ROT LANCE SPEED LOW SHUTDOWN)
 N128#541=[145](ROT LANCE SPEED LOW ALARM)
 N129#542=[150](ROT LANCE SPEED SETPOINT)
 N130#543=[155](ROT LANCE SPEED HIGH ALARM)
 N131#544=[156](ROT LANCE SPEED HIGH SHUTDOWN)
 N132M44(READ MACRO DATA)
 N133G04X4(DWELL)
 N134
 N135G01G90X0.93Z36A-16.3B0C0F500(MOVE TO START FLOW)
 N136
 N137M71(BLAST AIR ON)
 N138M78(ROTARY LANCE ROTATION ON)
 N139G04X3(DWELL)
 N140M52(BLAST #2 MEDIA ON)
 N141G04X7(DWELL)

N142
N143G01G90X0.93Z29.39F100(TOP)
N144G01G90X-1.2Z22.74F10.526(BOTTOM)
N145G01G90X0.93Z29.39(TOP)
N146G01G90Z36F500(MOVE TO STOP FLOW)
N147G01G90Z45F500
N148M62(BLAST #2 MEDIA OFF)
N149G04X7(DWELL)
N150M81(BLAST AIR OFF)
N151M88(ROTARY LANCE ROTATION OFF)
N152
N153G00X62Z61.438A0B0(MOVE ROBOT HOME)
N154C0F1000
N155M02(END PROGRAM)
%

다. PW4000 엔진 LPC Blade Root의 재피닝 전후의 표면특성 변화 연구

(1)연구 배경

항공기용 가스터빈엔진 저압압축기(이하 “LPC”) 날개깃 뿌리에 주기적인 쇼트피닝, 즉 재피닝을 적용하는 이유는 크게 두 가지이다. 첫째는 익히 알려진 압축잔류응력 회복을 통한 날개깃의 피로수명 향상이고, 둘째는 마모된 표면의 가공경화를 통해 표면경도를 회복하여 엔진 운영 중 발생하는 Gallling을 방지하고, 이미 발생한 Gallling을 제거하여 균열 생성을 사전에 차단하는 것이다. 일반적으로 Gallling으로부터 균열이 발생하여 부품의 피로수명이 단축되므로 후자가 전자보다 선행하며 더 중요하다고 볼 수 있다.

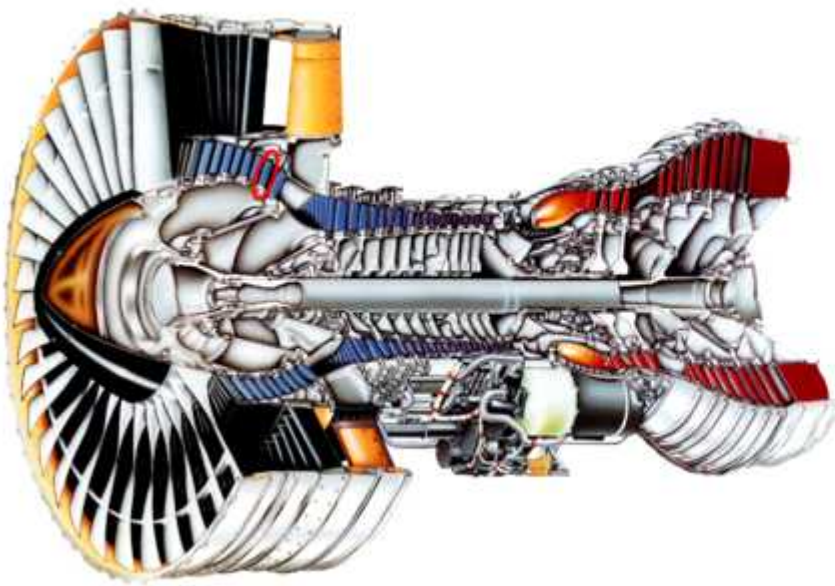


그림 259 PW4000 LPC 4th Blade 위치(빨간 원) 및 형상

부품의 피로수명 향상을 위한 이러한 노력에도 불구하고 LPC Blade Root는 물론, LPC Blade Root와 맞닿는 LPC 드럼 슬롯에서 Gallling에 의한 균열이 현재까지도 발견되고 있어 부품의 기대수명에 채 도달하기도 전에 부품을 폐기해야 하는 상황이 발생하고 있다. 이에 본 연구에서는 중정비 사이클이 도래한 LPC Blade Root에 대해 재피닝 전후의 표면거칠기와 표면경도를 비교하여 재피닝의 Gallling 제거와 방지 효과에 대한 실질적인 효용성을 검증하였다.

2. 실험 방법

시험편은 P&W사의 엔진모델 PW4056-3의 LPC 4단계 날개깃으로 소재는 Ti-6Al-4V(이하 “Ti64”)이다. 시험편의 TSO/CSO는 40,829 /7,045로 중정비 사이클이 도래한 날개깃이며 Fig. 1과 같이 뿌리 표면에 상당 수의 Gallling을 가지고 있다.

시험편에 대한 피닝은 AMS 2432 규격의 장비와 AMS 2431 규격의 Conditioned Cut Wire, CCW20 미디어를 사용하여 수행하였다. 피닝강도와 커버리지는 7A, 100%를 적용하였다. Blade Root의 표면거칠기는 측정 전기식 표면거칠기시험기를 사용, 컷오프 0.8 mm 를 적용하여 피닝 전후의 Ra를 30개 구간에 대해 측정하였다. Blade Root의 표면경도는 UCI(Ultrasonic Contact Impedence) 경도시험기를 사용하였으며, 20개 구간에 대해 측정하였다.

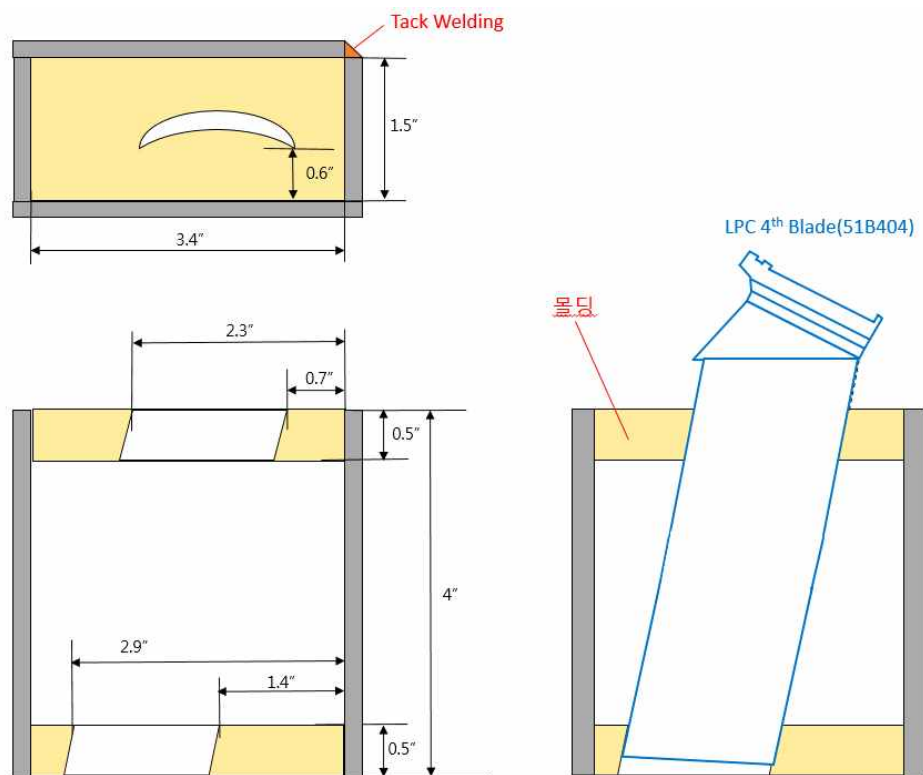


그림 260 PW4000 엔진 LPC 4th Blade Fixture



그림 261 PW4000 LPC 4th Blade Peening 모습

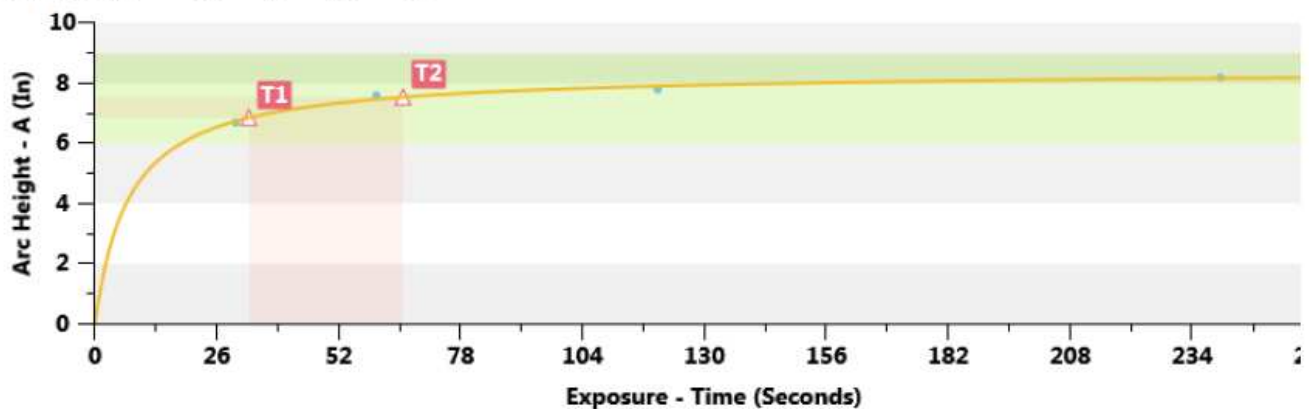
Machine ID:	Enter New Machine ID	Process Sheet:	Enter New Process Sheet
Part Number:	Enter New Part Number	Program:	Enter New Program
Part Description:	Enter New Part Description	Fixture:	Enter New Fixture
Date-Time:	8/12/2016 7:01:25 AM		
Exposure:	Time	Desired Delta:	10
Exposure Units:	Seconds	Air Pressure: PSIG	30
Process Type:	Pressure Blast	Shot Size:	CCW20
Almen Fixture Type:	Simple	Media Flow: lb/min	15
Strip Type:	A	Orifice Plate Size:	MV
Arc Height Units:	Inches	Stand Off Distance:	8
Nozzle ID/Type:	3/8 INCH	Angle of Impingement:	45
Intensity Range:	6 - 9	Notes:	ROTATION SPEED: 10/MIN

Intensity Data - Location: 01

Exposure: 30 60 120 240

Arc Height - Run 1: 6.7 7.6 7.8 8.2

Average Height: 6.7 7.6 7.8 8.2



Location 01 Results: T1: 32.8 Seconds T2: 65.7 Seconds
Data Within Range Intensity: 6.8595 A (In) Arc Height: 7.5458 A (In)

그림 262 PW4000 LPC 4th Blade Saturation Curve



그림 263 PW4000 LPC 4th Blade Actual Arc Height

(3) 실험 결과

[그림 XX]과 [그림 XX]는 재피닝 전후의 표면의 모습을 보여준다. Blade Root의 모든 위치에서 Gallling이 상당히 제거된 것을 육안으로도 확인할 수 있다. 또한 [그림 XX]의 왼쪽 아래 첫번째 사진을 보면 마모에 의해 표면이 매끄러운 부분을 발견할 수 있는데, [그림 XX]의 동일 위치의 사진을 보면 피닝 후 정상적인 거칠기를 회복한 것을 확인할 수 있다. [그림 XX]은 피닝 전후의 표면거칠기를 그래프로 표현한 것이다. 피닝 전에는 Ra가 최소 $0.86 \mu\text{m}$ 에서 최대 $4.08 \mu\text{m}$ 로 마모된 부분과 Gallling이 있는 부분에 의한 거칠기 범위가 넓다. 그러나 피닝 후에는 최소 $1.68 \mu\text{m}$ 에서 최대 $3.24 \mu\text{m}$ 로 표면거칠기가 표준화되었다. 재피닝 전후의 최대 Ra를 비교하면 피닝 후에 Ra가 약 21% 감소하였다. 이를 통해 재피닝은 Gallling 제거를 통한 표면거칠기 향상(균열 생성 방지)과 일부 마모된 표면에 대한 압축잔류응력 회복에 상당히 유효한 효과를 나타내며, Ti64 표준시편을 활용하여 실험한 기존의 연구 결과와 같이 LPC 날개깃의 전반적인 피로수명 유지에 긍정적인 역할을 할 것으로 사료된다.

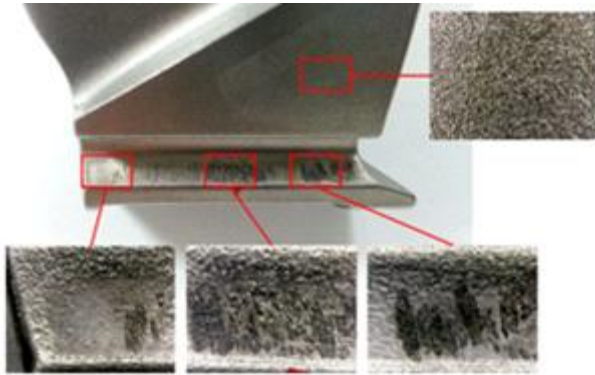


그림 264 피닝 전 표면형상

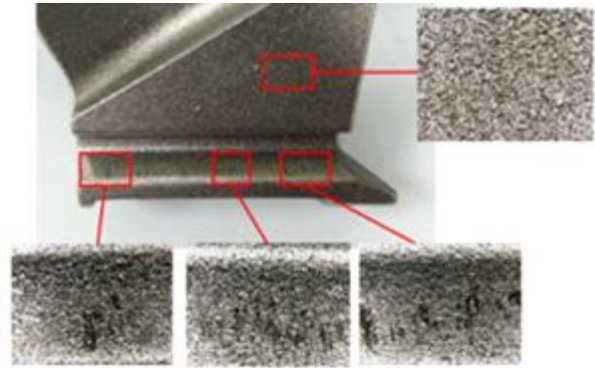


그림 265 피닝 후 표면 형상

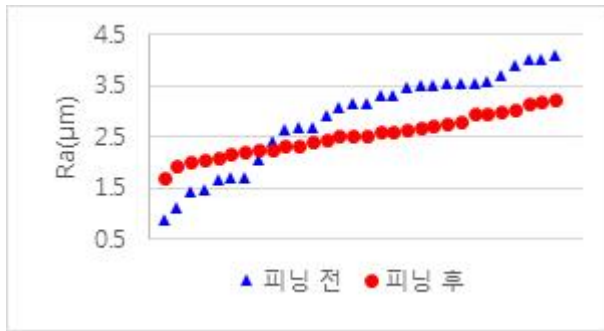


그림 266 피닝 전후 표면거칠기 변화

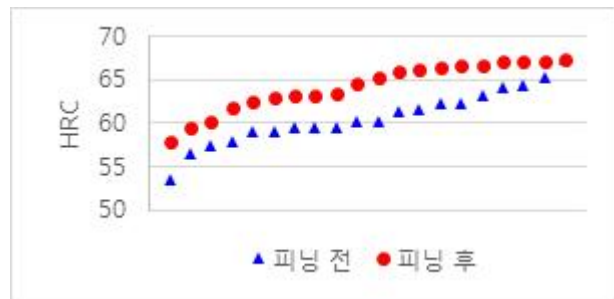


그림 267 피닝 전후 표면경도 변화

Blade Root의 표면경도 또한 [그림 XX]와 같이 재피닝 후에 평균적으로 증가한 것을 확인할 수 있다. 피닝 전에는 표면경도 평균이 약 60.7 HRC 였으나 피닝 후에는 평균 약 64.3 HRC로 약 6% 가량 증가하였다.

재피닝을 통한 평균적인 표면경도 향상에도 불구하고 LPC Blade Root와 드럼 슬롯에서 Gallling과 Gallling에 의한 균열이 지속적으로 발견된다는 것은 재피닝이 Gallling 자체의 생성을 원천적으로 방지할 수 있는 방법은 아니라는 점을 시사한다. Leyen 등(X)은 티타늄 합금의 특징인 낮은 경도와 높은 화학 반응성이 Gallling을 쉽게 유발하는 원인으로 보았다. 앞선 실험을 통해 재피닝은 이러한 티타늄합금의 물리적인 성질, 즉 표면경도를 냉간가공을 통해 강화하는데 효과적인 방법임을 확인하였다. 그러나 티타늄합금의 높은 화학 반응성에 의한 Gallling 생성을 방지하기 위해서는 Gallling에 대한 저항성이 높은 금속 소재를 사용한 별도의 표면처리, 예컨대 구리-니켈합금 코팅 등의 적용이 고려되어야 할 것으로 판단된다. 이에 유사 사례에 대해 제작사인 P&W에 개선 의뢰하였으며 P&W로부터 수리절차 개선에 대한 긍정적인 회신을 아래 [그림 XX]와 같이 접수하였다.

BACKGROUND:

KAL reported crack finding during FPI on PW4090 LPC Drum (PN 52B121-01, SN CBDUB99703), 3rd stage disk lug. Based on provided photo in attachment, it appears the crack initiated from forward to rear of the lug, curved area and 0.2 inch long. TT/TC is 38,470 / 5,917. No engine operational event, FOD, bird strike was reported and no abnormal condition was reported from this engine/module maintenance work at shop.

@@
@@

REQUEST:

Please kindly review this finding report and let me know if you need more info.
Just in case CTS think it need a CPR investigation for this case, please let me know.
KAL is asking if PW is interested in this case for further investigation.

ANSWER:

Thank you for the report of the LPC drum 3rd stage lug crack in drum PN 52B121-01, SN CBDUB99703. As you are aware there have been a number of drums that have experienced similar cracking of the lug. PW has reviewed and investigated several of these drums in our lab. At this time we do not find a need to investigate further cracked drums however we do appreciate KAL's offering of the drum for investigation.

PW has undertaken an engineering task which has investigated the 3rd stage blade slot lug cracking and determined that the cause of the cracking is due to galling and fretting of the contact surface between the disk slots and the blade's root. Corrective action has been identified which will involve the addition of root coating on the blade and anti-gallant to the 3rd stage blade slots. An Engineering Change is in process to add the coatings with expected EC approval by the end of the 3rd Quarter 2016.

@@
@@

그림 268 P&W 기술검토 전문 중 일부 발췌

본 연구를 통해 중정비 사이클이 도래한 LPC Blade Root에 대한 재피닝 적용이 Gallling 제거와 압축잔류응력 회복을 통한 전반적인 피로수명 향상에 긍정적인 역할을 하는 것을 확인하였다. 그러나 Gallling 생성의 원천적인 차단 측면에 있어서 재피닝이 충분한 역할을 하기에는 분명한 한계가 존재하였다. 따라서 재피닝과 더불어 Gallling 저항성이 높은 금속코팅을 Blade Root에 적용함으로써 Gallling의 생성을 근원적으로 차단하는 것이 피닝 본래의 기능인 피로수명 향상을 극대화하기 위한 하나의 방안이 될 수 있을 것으로 사료된다.

(3) 피닝 프로그램

O0070

N10

N11(PW4056 LPC BLADE R&D TEST)

N12

N13(INTENSITY 6~9A)
 N14M48(RESET SURFACE TIMERS)
 N15#998=-1(SET SURFACE NUMBER TO -1)
 N16
 N17#998=01(SET PROCESS OPTION NUMBER)
 N18(90 DEGREE NOZZLE)
 N19G00X62Z61.438A0B0(MOVE ROBOT HOME)
 N20
 N21G01G90X28Z25A0B0F500
 N22
 N23(SPINDLE SPEED PARAMS)
 N24#525=[7*10](SPINDLE SPEED LOW SHUTDOWN)
 N25#526=[9*10](SPINDLE SPEED LOW ALARM)
 N26#528=[11*10](SPINDLE SPEED HIGH ALARM)
 N27#529=[13*10](SPINDLE SPEED HIGH SHUTDOWN)
 N28G04X1(DWELL)
 N29M44(READ MACRO DATA)
 N30G04X4(DWELL)
 N31M03S[10*10](RUN SPINDLE CLOCKWISE AT 10 RPM)
 N32M42(SELECT MEDIA TYPE #2, STEEL)
 N33M92(CHECK FOR STEEL MEDIA SIZE CCW 20)
 N34(AIR PRESSURE PARAMS)
 N35#520=[28*10] (AIR PRESSURE LOW SHUTDOWN)
 N36#521=[29*10] (AIR PRESSURE LOW ALARM)
 N37#522=[30*10] (AIR PRESSURE SETPOINT)
 N38#523=[31*10] (AIR PRESSURE HIGH ALARM)
 N39#524=[32*10] (AIR PRESSURE HIGH SHUTDOWN)
 N40
 N41(MEDIA FLOW #2 PARAMS)
 N42#535=[12*10](MEDIA FLOW #2 LOW SHUTDOWN)
 N43#536=[13*10](MEDIA FLOW #2 LOW ALARM)
 N44#537=[15*10](MEDIA FLOW #2 SETPOINT)
 N45#538=[17*10](MEDIA FLOW #2 HIGH ALARM)
 N46#539=[18*10](MEDIA FLOW #2 HIGH SHUTDOWN)
 N47G04X1(DWELL)
 N48M44(READ MACRO DATA)
 N49G04X4(DWELL)

N50M71(BLAST AIR ON)
N51M52(BLAST #2 MEDIA ON)
N52G04X7(DWELL)
N53X28Z17.43B0F300
N54G04X32.8(T1: 32.8 SECONDS DWELL)
N55
N56Z24.7
N57X13.17
N58B-90
N59A45
N60G04X32.8(T1: 32.8 SECONDS DWELL)
N61
N62M05 (STOP SPINDLE)
N63G04X7
N64(THIS COMMENT REQD AFTER M05)
N65M04 S[10*10] (RUN SPINDLE COUNTER CLOCKWISE AT 10 RPM)
N66
N67X26.7
N68Z13.78
N69A-13.5
N70B26.16
N71G04X32.8(T1: 32.8 SECONDS DWELL)
N72
N73Z30F200
N74X0
N75A0B0
N76Z17.43
N77G04X32.8(T1: 32.8 SECONDS DWELL)
N78G01G90X0Z30A0B0F500
N79
N80N81M62(BLAST #2 MEDIA OFF)
N81G04X7(DWELL)
N82M81(BLAST AIR OFF)
N83G00X62Z61.438A0B0(MOVE ROBOT HOME)
N84M05(STOP SPINDLE)
N85G04X7
N86(THIS COMMENT REQD AFTER M05)

N87C0F10000
N88M45(SAVE RECORD)
N89G04X3
N90
N91M02(END PROGRAM)
%

라. PW4000 Inch 엔진 Fan Blade Airfoil Bead 피닝 연구



그림 269 Airfoil Intensity Check 시편

(1)연구 배경

항공기용 가스터빈엔진 Fan Blade는 Root Area에 Steel Shot을 이용하는 Shot Peening과 Airfoil 표면에 Glass 또는 Ceramic을 이용하여 Peening을 사용하는 Bead Peening으로 나뉜다. 이번연구는 Airfoil 표면의 Glass/Ceramic peening을 이용하는 표면압축응력을 유도하는 기술로 건식과 습식방식으로 구분하여 사용하며 제작사 License 기술이다.

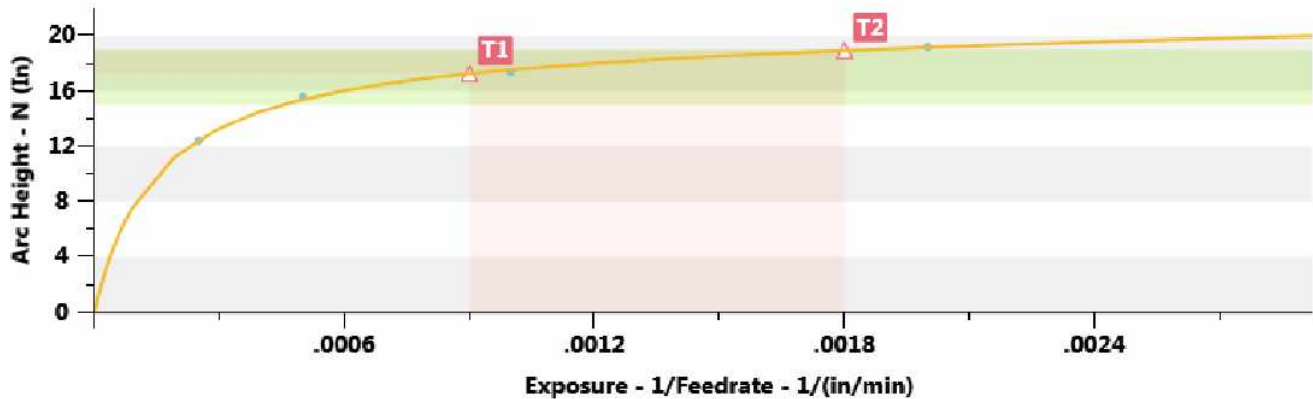
(2) 실험방법

제작사 License 수리 방법을 확보하기 위하여 AMS2430/2431/2432에 명시된 절차 및 요구사항에 대해서 적용하여 제작사의 요구한 Intensity 값을 확보하는 Program을 개발하였다.

Intensity Data - Location: 01

Exposure:	4000	2000	1000	500
Arc Height - Run 1:	12.4	15.6	17.4	19.2

Average Height: 12.4 15.6 17.4 19.2



(4) 피닝 프로그램

O1005

N10

N11(PW4056 FAN BLADE AIRFOIL BEAD PEENING)

N12(MEDIA : CERAMIC BEAD SPMC102-3)

N13(INTENSITY : 15 - 19N)

N14

N15

N16M48(RESET SURFACE TIMERS)

N17#998=-1(SET SURFACE NUMBER TO -1)

N18

N19G00X62Z61.438A0B0C0(MOVE ROBOT HOME)

N20

N21(AIR PRESSURE PARAMS)

N22#520=[27*10] (AIR PRESSURE LOW SHUTDOWN)

N23#521=[28*10] (AIR PRESSURE LOW ALARM)

N24#522=[30*10] (AIR PRESSURE SETPOINT)

N25#523=[32*10] (AIR PRESSURE HIGH ALARM)

N26#524=[33*10] (AIR PRESSURE HIGH SHUTDOWN)

N27

N28(MEDIA FLOW #1 PARAMS)

N29#530=[7*10] (MEDIA FLOW #1 LOW SHUTDOWN)

N30#531=[8*10] (MEDIA FLOW #1 LOW ALARM)
 N31#532=[9*10] (MEDIA FLOW #1 SETPOINT)
 N32#533=[10*10] (MEDIA FLOW #1 HIGH ALARM)
 N33#534=[11*10] (MEDIA FLOW #1 HIGH SHUTDOWN)
 N34
 N35(SPINDLE SPEED PARAMS)
 N36#525=[18*10] (SPINDLE SPEED LOW SHUTDOWN)
 N37#526=[19*10] (SPINDLE SPEED LOW ALARM)
 N38#528=[21*10] (SPINDLE SPEED HIGH ALARM)
 N39#529=[22*10] (SPINDLE SPEED HIGH SHUTDOWN)
 N40G04X1 (DWELL)
 N41M44 (READ MACRO DATA)
 N42G04X4 (DWELL)
 N43
 N44M41(SELECT MEDIA TYPE #1, NON FERROUS)
 N45
 N46G01G90X13Z53F500(MOVE TO THE PART)
 N47
 N48M71(BLAST AIR ON)
 N49M51(BLAST #1 MEDIA ON)
 N50G04X3(DWELL)
 N51
 N52G01G90X2Z48A66B74.5C8F1428
 N53X-6
 N54X2A74C10.5
 N55X-6
 N56X2A80
 N57X-6
 N58
 N59X-5Z56A46.9B0C-346
 N60X12B0.7C350
 N61X-5Z56A46.9B0C-346
 N62X12B0.7C350
 N63
 N64X-4Z48A66B-88
 N65X5
 N66X-4A74C7
 N67X4

N68X-4A80
N69X4
N70
N71
N72X14.4Z50.8A5B1.35C-342.8
N73Z18C31.7
N74X9Z27A55B1.2
N75Z29.3A20B18.2C-8
N76X9Z27A55B1.2
N77Z29.3A15B18.2C-6
N78
N79Z28.8B-5.5C50
N80A60B-5.92C-44.0
N81Z28.8A15
N82A60B-5.92C-41
N83Z28.8A15
N84
N85
N86X15Z21.8A-57C276.
N87B18
N88B-18
N89X15Z20A-68B18
N90B-18
N91X16.5B16
N92B-16
N93
N94X14Z21.8A-57B-20C-100
N95B20
N96B-20
N97X14Z20A-68C-98
N98B18
N99B-18
N100X15.5B16
N101B-18
N102
N103
N104X15.6Z21.8A10.1B3.72C-232.8
N105X16Z48.8A2.9C-168

N106Z39.3C192.5
N107X16.5B-3C175
N108B-30
N109
N110
N111(AIR PRESSURE PARAMS)
N112#520=[22*10] (AIR PRESSURE LOW SHUTDOWN)
N113#521=[23*10] (AIR PRESSURE LOW ALARM)
N114#522=[25*10] (AIR PRESSURE SETPOINT)
N115#523=[27*10] (AIR PRESSURE HIGH ALARM)
N116#524=[28*10] (AIR PRESSURE HIGH SHUTDOWN)
N117
N118(MEDIA FLOW #1 PARAMS)
N119#530=[6*10] (MEDIA FLOW #1 LOW SHUTDOWN)
N120#531=[7*10] (MEDIA FLOW #1 LOW ALARM)
N121#532=[8*10] (MEDIA FLOW #1 SETPOINT)
N122#533=[9*10] (MEDIA FLOW #1 HIGH ALARM)
N123#534=[10*10] (MEDIA FLOW #1 HIGH SHUTDOWN)
N124
N125G04X1 (DWELL)
N126M44 (READ MACRO DATA)
N127G04X4 (DWELL)
N128
N129X16.5Z47A0B-41.2C284F1250
N130B42.4C-228
N131B42.6C-54.4
N132B-41.8C98.4
N133Z46
N134B42.8C-54.4
N135X17.5B39.6C-235.3
N136X16.5B-41.5C278.9
N137Z45
N138B42.6C-234.5
N139X17.5B39.5C-62.2
N140X16.5B-41.1C96.5
N141Z44
N142B42C-55.8
N143X17.5B42.2C-236.8

N144X16.5B-41.1C290.9
N145Z43
N146B39.6C-249.9
N147X17.5B42.3C-67.0
N148X16.5B-41.1C97.53
N149Z42
N150B42.3C-70.43
N151X17.5B41.8C-240.78
N152X16.5B-41.5C284.38
N153Z41
N154B41.9C-260.68
N155X17B41.3C-71.45
N156B-41C99.3
N157Z40
N158B41.3C-68.9
N159B41.9C-249.4
N160B-41.2C287.0
N161Z39
N162B41.4C-264.2
N163B41.8C-74.1
N164B-41.9C108.4
N165Z38
N166B41.8C-71.6
N167B41.4C-255.9
N168B-41.4C293.1
N169Z37
N170B41.9C-262.7
N171B41.3C-67.9
N172B-41C119.6
N173Z36
N174B41.8C-76.0
N175B41C-262.87
N176B-41.85C292.93
N177Z35
N178B41C-266.2
N179B41.8C-79.9
N180B-41C113.8
N181Z34

N182B41.3C-77.4
N183B41.5C-268.1
N184B-41.8C291.4
N185Z33
N186B41.1C-266.8
N187B41.4C-77.19
N188X16.6B-41.5C118.8
N189Z32
N190X16.2B41.6C-84.3
N191B41.2C-259.8
N192B-41.1C293.6
N193Z31
N194B41.2C-269.9
N195B41.6C-76.9
N196B-41.5C120.5
N197Z30
N198B41.3C-83.7
N199B41.9C-270.9
N200B-41.1C294.7
N201Z29
N202B41.3C-270.5
N203B41.7C-80.4
N204B-41.6C127.9
N205Z28
N206B41.3C-84.3
N207B41.5C-271.1
N208B-41C297.8
N209Z27
N210B41.5C-280.8
N211B41.4C-87.85
N212B-41.6C128.4
N213Z26
N214B41.9C-84.8
N215B41.6C-278.9
N216B-41.4C306.0
N217Z25
N218X16.2B41.1C-278.94
N219B41.92C-89.2

N220B-41.2C132.8
N221Z24
N222
N223(AIR PRESSURE PARAMS)
N224#520=[27*10] (AIR PRESSURE LOW SHUTDOWN)
N225#521=[28*10] (AIR PRESSURE LOW ALARM)
N226#522=[30*10] (AIR PRESSURE SETPOINT)
N227#523=[32*10] (AIR PRESSURE HIGH ALARM)
N228#524=[33*10] (AIR PRESSURE HIGH SHUTDOWN)
N229
N230(MEDIA FLOW #1 PARAMS)
N231#530=[7*10] (MEDIA FLOW #1 LOW SHUTDOWN)
N232#531=[8*10] (MEDIA FLOW #1 LOW ALARM)
N233#532=[9*10] (MEDIA FLOW #1 SETPOINT)
N234#533=[10*10] (MEDIA FLOW #1 HIGH ALARM)
N235#534=[11*10] (MEDIA FLOW #1 HIGH SHUTDOWN)
N236
N237G04X1 (DWELL)
N238M44 (READ MACRO DATA)
N239G04X4 (DWELL)
N240
N241B41.9C-95.2F1428
N242B41.4C-288.4
N243B-41.6C304.93
N244Z23
N245B41.9C-294.7
N246B41.1C-98.3
N247B-41.3C142.3
N248Z22
N249B41.2C-98.7
N250B41.4C-292.8
N251B-41.3C308.9
N252Z21
N253X15.2B41.8C-302
N254B41.2C-98.5
N255B-41.6C147.2
N256
N257

N258Z25A25B-42F1428
N259X12.5Z22A15B42C-79.4
N260Z25A25B-21C113.3
N261B22C289.3
N262Z22A15B-36C334.2
N263Z25A25B35C-286.8
N264
N265
N266M61(BLAST #1 MEDIA OFF)
N267G04X3(3 SECONDS DWELL)
N268
N269X18B0F300
N270M04 S[20*10] (RUN SPINDLE COUNTER CLOCKWISE AT 20 RPM)
N271
N272Z50F100
N273Z20
N274
N275M81(BLAST AIR OFF)
N276M05 (STOP SPINDLE)
N277G04X7
N278(THIS COMMENT REQD AFTER M05)
N279
N280G00X62Z61.438A0B0(MOVE ROBOT HOME)
N281C0F3600
N282
N283M02(END PROGRAM)
%

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

첨부 ‘주관연구기관의 자체평가 의견서’ 참조.

과제 초기에 장비 구매 및 설치가 지연되어 실질적인 수리 Demonstration을 수행하는데 다소 지체가 되었으나 이와는 별도로 기술개발에 선행되어야 할 국내외 교육이 계획대로 추진되었으며, 공정설계서, 공정절차서, 피닝프로그램이 연구기간 내에 완성됨.

세부 연구 목표 (연구계획서의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
공정절차서 및 피닝 프로그램 (97건)	80	80	신규 피닝 장비에 대한 엔진 제작사(P&W)의 Source Approval 지연 및 GE90 수리 적용 부품 미발생으로 4건에 대해서 개발 지연되고 있으나, 기존 보유한 피닝 장비에 적용하고 있는 PW4000 부품에 대해서 CPM에 사용하는 New Media를 이용 새롭게 Program 개발하여 초과 달성함.
논문 학술지 게재 및 발표 (3건)	10	10	목표 달성
항공기 엔진부품 수리 감항당국 인가 (27건)	10	10	GE90/PW4090 엔진 오버홀 수리를 국토교통부, FAA, EASA로부터 인가를 획득하여 하위 부품의 수리 개발 대상이 확대되어 목표 초과 달성함

2. 관련 분야 기여도

가. 기술적 측면

- GE90 등 최신형 대형 엔진은 물론 대한항공에서 운영 중인 PW4000 시리즈 엔진, 국내 LCC 및 해외 국내선에서 가장 많은 Fleet을 보유하고 있는 CFM56 엔진의 부품 수리에 범용으로 활용할 수 있는 코팅품질관리, 자동화 피닝, 진공열처리 공정을 개발함으로서 국내에서 수리할 수 있는 엔진부품의 수량을 증대할 수 있음 (2017년 기준 국내 항공기는 대한항공 174대, 아시아나 102대, LCC 57대 등 총 333대이며 항공기 엔진은 대한항공 350대, 아시아나 204대, LCC 174대 등 730대에 달함)

표 110 국내 항공사 보유 기종 및 엔진 종류(2017.02기준)

항공기	B737	A330	B777		B744		A380		B747-8	A320	B767	계
엔진	CFM 56-7 B	PW 4168	PW 4090	GE 90	PW 4056/62	CF 6	GP 727 0	Trent 900	GE nx -2B	V 2500	CF 6	
KOREAN AIR	39	29	18	23	22		10		11			152
JIN AIR	18		4									22
ASIANA AIR		15	11			14		5		30	8	83
AIR BUSAN										16		16
AIR SEOUL										3		3
JEJU AIR	25											25
EASTAR JET	17											17
TWAY	15											15
항공기 소계	114	44	33	23	22	14	10	5	11	49	8	333
엔진 소계	228	88	66	46	88	56	40	20	44	98	16	730

- 국내 유일의 국토교통부, FAA, EASA 인가 항공기 엔진수리업체로서 핵심 수리능력을 확보하여 해외 주요 항공기 엔진 MRO 업체와 동등 혹은 근접한 수준의 기술력을 확보하는 계기가 됨
- 향후 국내 항공기 엔진 MRO 산업이 활성화될 경우 동 연구개발과제의 결과물을 관련 업체와 공유하여 기술력을 확대할 수 있고, 동 연구에 직접 참여한 연구원들은 향후 국내 엔진부품 수리기술의 발전을 주도하는 역할을 할 것으로 기대됨
- 또한 차세대 엔진 부품수리 개발 시 연구 성과를 확대 적용할 수 있음

나. 경제적 측면

- 2017년 이후 연간 GE90 엔진부품의 수리를 포함하여 당사에서 약 380만 달러(한화 42억원) 정도의 외화유출 방지 효과가 기대됨
- 외국항공사의 엔진부품 수리 시 동 연구개발 결과물이 활용되어 외화수익에 기여할 것으로 예상됨

다. 사회적 측면

- 연구개발과제를 통해 구입한 장비(진공열처리로, 자동화 피닝 장비, 코팅품질시험평가연구실)은 산업체의 범용장비로 당사 생산성에 영향을 주지 않는 범위에서 국가기관 및 국내 기업체가 활용할 수 있도록 지원 예정
- 수리기술의 축적을 통하여 국내 항공기 부품 수리 산업의 시장 확대와 엔진부품의 국내 인프라 구축에 기여
- 항공기 엔진의 적기 정비 지원으로 항행 안정성 제고
- 국내 항공사 소형 엔진의 해외업체 위탁정비에 대한 수리지원 시 자체기술 활용하여 수리하는 부분이 증대되어 외화유출을 방지하고 적기 엔진 지원이 가능해짐

제5장. 연구개발성과의 활용계획

첨부 ‘연구개발성과 활용계획서’ 참조.

연구개발성과는 대한항공이 운영하고 있는 항공기 엔진 및 국내외 수주엔진의 부품수리에 즉시 적용 예정임. 향후 항공기 엔진 정비 유관 산업체와의 기술 교류 및 이전을 통해 국내 항공기 엔진 MRO 산업의 초석으로서 활용 가능함.

- (엔진정비 협조) LCC 자체 엔진정비 능력 부족에 따른 대한항공에 엔진정비 의뢰 요청시 협조 요청
- (일반분야 이용 지원) 항공기 분야 이외의 일반분야(일반엔진, 일반기계, 부품 등)에서도 이용할 수 있도록 장비이용(대여) 지원 요청
- (지속적 교류, 상호 협력) 국가 R&D로 개발한 장비의 효율적 활용을 위한 유관기관과 지속적 교류 및 상호 협력 요청

단계	단계명	주요 활동내용
I	기술 개발 단계	연구개발 목표 달성
II	기술 검증·보완 단계	연구개발 기간 중 검증 완료(연구성과 직접실시)
III	실용화 추진 단계	해당없음(연구성과 직접실시)
IV	시장 수용 단계	연구성과 즉시 당사 현장 적용(연구성과 직접실시) - 연구기간 중 입고된 대한항공, 아시아나항공, 델타항공 엔진에 기술 적용 - 현재 입고된 수주엔진(아시아나항공, 터키항공) 엔진에 필요 시 기술 적용 예정 - 향후 수주되는 국내외 항공사 엔진에 기술 적용 예정 - 국내 R&D 기관 및 기업체에 기술 지원 가능

단 계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
I	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	☐ 완료	☐ 완료	☐ 완료	☐ 완료	☐ 완료
II	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	☐ 준비 ☐ 진행중 ☐ 완료	☐ 준비 ☐ 진행중 ☐ 완료	☐ 준비 ☐ 진행중 ☐ 완료	☐ 준비 ☐ 진행중 ☐ 완료	☐ 준비 ☐ 진행중 ☐ 완료
III	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	☐ 준비 ☐ 진행중	☐ 준비 ☐ 진행중	☐ 준비 ☐ 진행중	☐ 준비 ☐ 진행중	☐ 준비 ☐ 진행중
IV	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	☐ 초기발생 ☒ 지속발생	☐ 초기발생 ☒ 지속발생	☐ 초기발생 ☒ 지속발생	☐ 초기발생 ☒ 지속발생	☐ 초기발생 ☒ 지속발생

단 계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
I	기술 개발 단계				
II	기술 검증·보완 단계				
III	실용화 추진 단계				
IV	시장 수용 단계	대한항공 직접 실시	현장적용/지속	R&D 종료시점	대한항공 항공기 엔진정비 현장(원동기정비공장)에 즉시 기술 적용 - 주요 고객사 : 진에어, 아시아나항공, 델타항공, 터키항공, 홍콩항공, 하이난항공, 중국남방항공 등 - 국내 R&D 기관 및 기업체에 지원가능

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

없음.

제7장. 연구개발성과의 보안등급

1. 보안등급의 분류

보안	일반
	○

2. 보안등급 결정 사유

동 연구개발 대상 기술인 코팅품질 관리, 자동화 피닝, 진공열처리 공정이 항공기 가스터빈 엔진의 부품수리에 특화된 기술이기는 하나 해외 전문 MRO 업체에서는 이미 상용화된 기술이므로 보안과제로 관리할 필요성이 없음.

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호
대한항공	진공열처리로	V A V 6 6 4 8 HV-2	1	2016-01-26	1,329,611	Vac Aero	대한항공 부 천공장 시험 공장 1층	NFEC-2016-03 -208292
대한항공	정밀절단기	B R I L L A N T 220	1	2015-07-09	38,045	Atm	대한항공 본 사 2층 김포 시험실	NFEC-2016-03 -208297
대한항공	도립 현미경	Axio Observer A1	1	2015-07-01	33,105	Carl Ziess	대한항공 본 사 2층 김포 시험실	NFEC-2016-03 -208316
대한항공	성형기	OPAL 460	1	2015-07-09	17,597	Atm	대한항공 본 사 2층 김포 시험실	NFEC-2016-03 -208376
대한항공	자동경도측정 시스템	A M T - X 7 F S TYPE B	1	2015-06-05	55,688	Matsuzawa	대한항공 본 사 2층 김포 시험실	NFEC-2016-03 -208377
대한항공	특수 습식 피 이닝 장비	VLH 6048	1	2015-09-10	80,522	Vapor Blast	대한항공 부 천공장 수리 공장 1층	NFEC-2016-03 -208378
대한항공	만능재료시험 기	5982	1	2015-07-09	129,393	I n s t r o n Corporation	대한항공 본 사 2층 김포 시험실	NFEC-2016-03 -208380
대한항공	절삭연마기	S y s t e m Combination 4	1	2015-07-09	47,217	Atm	대한항공 본 사 2층 김포 시험실	NFEC-2016-03 -208384
대한항공	자동화 피닝 머신	RPB6952	1	2016-06-29	940,121	Progressive Surface	대한항공 부 천공장 수리 공장 1층	NFEC-2016-07 -210764

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 실적

1. 용접장비

가. 위험요소 : 감전, 화재, 유해가스, 시력손상

나. 안전조치 : 접지시설(기설치), 소화기(기확보), 환기시설(기설치), 보호장구(기확보)

2. 코팅장비

가. 위험요소 : 감전, 화재, 유해분진, 청력손상

나. 안전조치 : 접지시설(기설치), 소화기(기확보), 집진시설(기설치), 보호장구(기확보)

3. 진공열처리로

가. 위험요소 : 감전, 화재, 화상

나. 안전조치 : 접지시설(기설치), 소화기(기확보), 보호장구(기확보)

4. 화공약품세척

가. 위험요소 : 폐수

나. 안전조치 : 폐수처리시설(기설치)

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	중정비 사이클이 도래한 가스터빈엔진 저압압축기 날개깃에 대한 재피닝 효과 연구	대한항공	-	한국항공우 주학회 2016년도 추계 학술대 회	없음	2016.11.16	단독 사사	없음
2	논문	항공기 가스터빈엔진용 니켈-그라파이 트 코팅의 화염 용사 운영 매개변수에 따른 코팅 품질 영향 연구	대한항공	-	한국항공우 주학회 2017년도 춘계 학술대 회	없음	2017.04.19	단독 사사	없음
3	논문	Inconel 718 합금에 대한 PWHT가 Ni-Cr-Al 코팅품질에 미치는 영향	대한항공	-	한국항공우 주학회 2017년도 춘계 학술대 회	없음	2017.04.19	단독 사사	없음

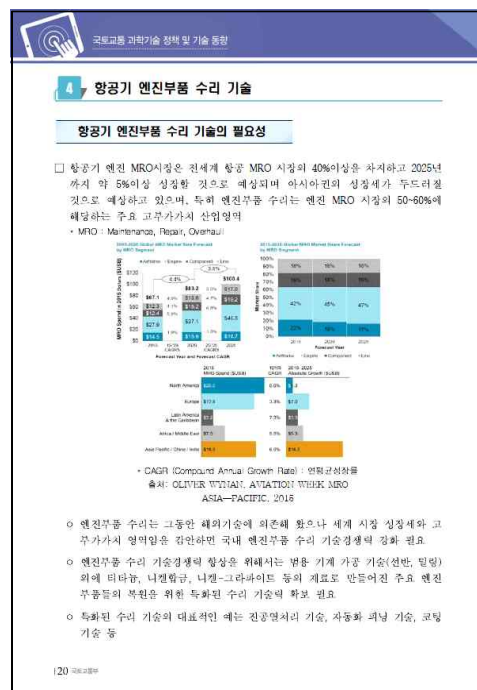
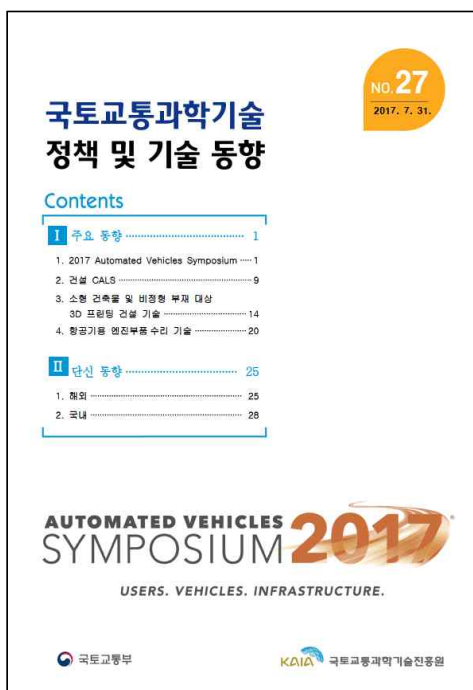
제11장. 기타 사항

○ 2017.5 가스터빈 MRO 활성화를 위한 기술 교류회 개최

- 1) 목적: 항공 R&D 연구성과물에 대한 국내적용 확대를 위한 국내 항공사 실무자 의견 청취
- 2) 참석자 : 대한항공, 아시아나항공, 제주항공, 국토교통과학기술진흥원



○ 2017.7 국토교통부 국토교통과학기술 정책 및 기술 동향집 (No. 27) 수록 - 항공기용 엔진 부품수리 기술



국토교통과학기술정책 및 기술 동향

진공열처리 기술

- 진공열처리 기술은 열처리로 내부에 외부공기기를 차단한 후 진공상태에서 열처리함으로써 부품 표면의 산화 예방 및 표면 스케일의 생성을 방지
 - ▶ 프레스케일: 프레스 공정에 생긴 이물질로, 프레스 공정의 시작점으로 작용하므로 진공열처리된 부품은 대기열처리된 부품보다 공정에 대한 저항성이 높음



<진공열처리 기술 용해제거 기술>

- 국내 항공기 엔진 부품수리기술은 PW4000, CFM56-7B 엔진 등에 대한 대기 열처리를 수행하는 능력만 보유하고 있으나, GE90과 같은 차세대 엔진 부품은 진공열처리 기술의 적용 비중 증가 추세
- 엔진부품은 특수합금(티타늄 합금, 니켈 합금 특수합금 등)재료로 만들어진 부품으로 엔진 제작사에 따라 계절별 열처리 방식 다양

자동화 피닝 기술

- 자동화 피닝 기술은 엔진 부품 중 회전체에 적용되는 기술로서 부품 표면에 쇠구슬을 분사하여 부품 표면에 표면압축응력을 유도하는 기술
 - ▶ 프레스압축력: 부품에 발생하는 인장응력을 상쇄하여 프레스 공정에 걸리는 것을 방지하는 역할을 함



<쇠구슬 (송) 피닝 공정 기술>

국토교통과학기술정책 21 |

국토교통과학기술정책 및 기술 동향

- 신형엔진 및 차세대 엔진 부품들의 치구들의 속도, 압축공기 압력은 물론 가공 대상 부품의 회전속도 등의 주요 가공 변수들을 실시간으로 모니터링 할 수 있는 케이스스텝과 최적화된 프로그램

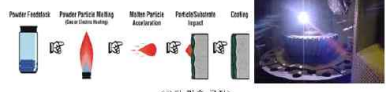


<자동화 피닝 장비 및 자동화 사진>

코팅 기술

- 코팅기술은 금속, 비금속 입자 등의 다양한 코팅가스를 Plasma, Wire Arc, Frame를 다양한 열원을 이용하여 부품에 흡수 집착하는 기술로 엔진 부품의 마모된 부위를 치수 복원하거나 모체 보호를 위해 표면을 강화하는 것으로 내구성 향상 및 엔진 효율을 향상시키기 위한 수리 기술

Thermal Spray Coating Process



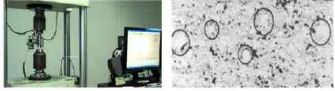
<코팅 기술 공정>

- 코팅 수리 적용 시, 코팅재료는 엔진제작사와 관계없이 동일하나 엔진제작사별로 코팅 수리 절차 및 코팅 품질 검증 요건이 다양함
- 코팅품질 검증은 항공기 엔진의 높은 작동온도, 압력, 진동에 견뎌내고, 부품 설계 시의 기대수명을 보장하기 위해서 코팅의 용착력과 경도 등 검사

22 국토교통부

국토교통과학기술정책 및 기술 동향

- 코팅 집착력의 인장테스트, 미세조각품질 검사를 위한 마이크로 형미경 검사, 코팅 표면경도 검사를 위한 경도시험 등을 통하여 검증



<인장시험 및 미세조각검사 예>

시사점

- 항공기엔진 부품수리 기술은 특화된 수리 공정 분야로서, 미국, 유럽, 싱가포르 등의 해외 주요에서 정비 관련 기업은 대부분 보유함으로써 우리나라는 핵심 기술 및 기반 부족으로 해외수리에 의존하고 있어 외화 절감 및 국내 MRO 기반 확보를 위해서는 기술격차를 극복하기 위한 노력 필요
 - 제작사 라이선스 기술을 확보하기 위해서는 엔진제작사 또는 해외 전문 MRO업체 등의 투자 유치(조인트벤처) 검토
 - 장기적으로는 높은 기술력이 요구되는 고부가가치 수리공정(재압탄 분레이드 베인 및 고압탄 분레이드)도 개발하여 그동안 외국에 의존했던 가스터빈 엔진 정밀부품 정비기술의 국산화 실현 검토
- 엔진부품 수리의 표준 기술인 용접기술 및 금속 코팅 표면처리 기술 개발하여 수리능력 확보 후 국내외 엔진 부품수리사업에 활용하여 기술력을 확대하고 있으나, 고부가가치 수리공정기술 확보를 위한 적극적인 지원 필요
- 핵심 정비능력 확보 지원, 국내항공사 등이 활용 가능한 MRO 클러스터화 육성
- 엔진제작사 및 엔진공류에 따라 부품수리 요건이 다양하여, 관련 기술개발에 많은 인력과 시설투자 필요
 - 경제성과 효율성을 면밀히 분석하여 경쟁력 있는 단일 기술 개발을 출발점으로 하여 효과적이며 단계적인 확대 전략 필요
- 국내 엔진 MRO 활성화 및 경쟁력을 갖추기 위해 국내·외 엔진수리 수주 동향 확보 필요

국토교통과학기술정책 23 |

국토교통과학기술정책 및 기술 동향

- 국내 항공사 간의 협력체계 구축 및 국내항공사 엔진의 MRO 수주 발굴 및 지원 필요
- 외국항공사 PW4000 시리즈, CFM56-7B 및 GE90엔진의 MRO 수주 발굴 및 지원 필요

24 국토교통부

○ 2017.8 가스터빈엔진 연구장비 활용을 위한 설명회 개최

1)장소 : 대한항공 부천원동기정비공장

2)총 참석자 : 27명

항공사 : 이스타항공(4명), 티웨이항공(2명)

기업: 한화테크윈(9명), 팔 네트워크 (1명)

연구소: 항공안전기술원(2명), 한국산업기술시험원(2명), 항공우주연구소(1명)

대학: 카이스트 (3명), 건국대학교(1명)
진흥원 (1명), 국토교통부 (1명)

3) 주요 사항

- 가. (엔진 정비 협조) LCC 자체 엔진정비 능력 부족에 따른 대한항공에 엔진정비 의뢰 요청 시 협조 요청
- 나. (일반분야 이용 지원) 항공기 분야 이외의 일반분야(일반엔진, 일반기계, 부품 등)에 서도 이용할 수 있도록 장비이용(대여) 지원 요청
- 다. (지속적 교류, 상호 협력) 국가 R&D로 개발한 장비의 효율적 활용을 위한 유관기관과 지속적 교류 및 상호 협력 요청



설명회 개요 설명(부천)



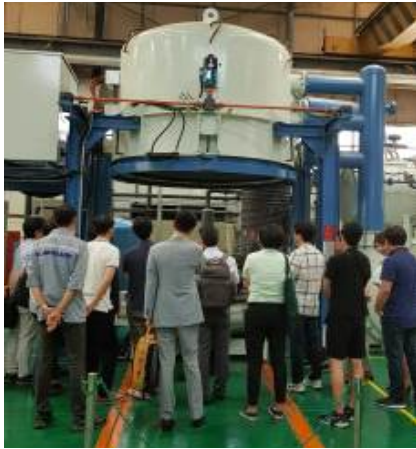
설명회 개최 취지 설명(부천)



엔진정비 현장 견학(부천)



엔진정비 현장 견학(부천)



진공열처리장치 설명(부천)



자동화 피닝장치 시연회(부천)



부천원동기 공장 견학 종료 후 전체사진(부천)



플라즈마 코팅 후 인장장치 설명(김포)

제12장. 참고 문헌

항공정비산업(MRO) 중장기 발전방안 기획 최종보고서, 항공안전기술센터, 2014

열처리 가이드북 · 기초편, 한국열처리공학회, 2009

재료과학과 공학, William D Callister, Jr., David G. Rethwisch, Wiley 시그마프레스, 2015

실무중심의 기계공작법, 이종찬 외, 문운당, 2015

Shot Peening Overview, Electronics Inc, 2001

Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications, Wiley-Vch, Weinheim, 2003

Effect of Shot Peening on Fatigue Performance of Two Titanium Alloys, International Conference on Shot Peening, 2008

PW4000 Series Engine Standard Practice Manual

PW4000 Series Engine Cleaning, Inspection, Repair Manual

CFM56-7B Engine Standard Practice Manual

CFM56-7B Engine Shop Manual

GE90-100 Engine Standard Practice Manual

GE90-100 Engine Shop Manual

METCO 9MC Operating Manual

VAC AERO Vacuum Furnace Specification (VAV6648 HV-2)

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.