

가스터빈 고온부 정비기술

한전기공 김 승 태

1. 개요

가스터빈 발전은 연료를 연소하여 연소가스로 직접 터빈을 회전시켜 터빈에 연결된 발전기에 의해 발전하는 방식으로 연료로는 중유, 원유, 경유, 가스등을 사용한다. 주요설비는 공기압축기, 연소기, 터빈 및 발전기로 구성되며 이중 고온부는 연소기와 터빈이다.

가스터빈의 효율은 연소가스의 터빈입구온도 (T I T : TBN INLET TEMP) 에 의존하는데 현재까지 약 1,300° C 급의 가스터빈이 운전중이며 앞으로 1,500° C급의 고효율 가스터빈에 도전하고 있으며 연소가스의 고온화는 고온부의 재료개발, 냉각기술, 코팅기법의 향상과 더불어 이루어질 수 있다.

가스터빈의 고온부 부품인 연소기, 터빈의 동익(Moving blade) 및 정익(Fixed blade) 재료로 초내열합금이 계속 개발중이며 또한 각 부품에 대한 공기냉각기술, 코팅재료 및 기법도 개발중이다. 그러나 현재 국내에서 가동중인 가스터빈은 빈번한 기동정지로 열사이클에 의한 부품의 손상이 심각한 실정이므로 고효율 가스터빈 개발과 이에 대한 정비기술 개발이 병행하여야만 안정된 전기공급을 이룰 수 있다는 차원에서 가스터빈 고온부품의 정비기술에 대한 그 현황과 전망에 대해 살펴보고자 한다.

2. G / T 고온 부품

가스터빈의 고온부품은 연소기, 터빈의 동익 및 정익으로 이루어져 있으며 각 부품에 요구되는 주요 특성은 표 1 과 같다.

2.1 연소기

가스터빈의 연소기는 Combustion Liner 와 Transition Piece 로 구성된다.

주요 사용재료는 니켈기 초내열합금, 코발트기 초내열합금이며 주 손상기구는 열피로, 고 사이클피로 및 고온가스부식이다.

니켈기 초내열합금으로 주로 Hastelloy X 가 사용되는데 내식성 및 내산화성을 향상시키기 위해 20 % 이상의 Cr 을 함유하며 판금가공성이나 용접성을 위해 C 량은 0.1 % 이하이다. 또한 연소기의 내부에는 금속모재의 표면에 열전도율이 작은 세라믹을 코팅 (T B C : Thermal Barrier Coating) 하여 모재를 고온으로부터 보호한다.

2.2. 터빈정익

터빈의 정익은 연소기에서 연소된 고온가스를 터빈동익에 전달하는 역할을 담당하는 것으로써 손상원인은 고온부식 (Hot corrosion) 및 고온가스에 의한 침식 (High temp. erosion)이다. 정익에 사용되는 부품은 진공정밀주조법(Lost wax Investment casting) 에 의한 코발트기 초내열합금으로 제조되므로 열피로강도 및 고온부식 저항성이 우수하며 니켈기 초내열합금보다 용접성이 우수하다.

2.3. 터빈동익

터빈동익은 고온가스에 의해 회전되며 주 손상원인은 고온크립과 고온부식이다. 사용재료는 진공정밀주조법에 의해 제조된 크립성질이 좋은 석출경화형 니켈기초내열합금이다. 그러나 이 재료는 용접성에 문제점이 있다. 또한 운전중 발생하는 Na_2SO_4 의 내고온 부식 및 내산화성을 향상시키기 위해 동익 표면에 코팅을 실시한다.

3. 가스터빈 정비기술

가스터빈 정비기술은 각 부품별 손상원인 및 손상정도에 따라 다르지만 일반적인 정비절차는 표 2 와 같다.

3.1. 용접

가스터빈 고온 부품은 초내열합금이므로 손상부 정비방법으로 주로 가스 - 텅스텐 아크 용접 (GTAW) 법을 사용한다. 특히 석출경화형 니켈기 초내열합금의 경우 용접 전후의 열처리가 용접부의 기계적성질에 미치는 영향은 매우 크다. (그림 1 참조)

3.2. A. D. H (Activated Diffusion Healing)

A.D.H 는 1978년 G E 에서 개발하여 가스터빈 부품정비의 한 방법으로 사용되고 있으며 주로 코발트기 초내열합금에만 적용하고 있으며 니켈기 초내열합금에 대해 개발중이다. A.D.H 는 Filler Metal 을 사용하여 고온에서 처리하는 일종의 Brazing 방법이며 주로 터빈정익에 미세한 균열이 넓은 범위에 존재할 경우 또는 표면에 Cr 함량이 부족하여 입계 균열이 발생하였을 때 사용하는 정비방법이다. 그러나 높은 응력을 받는 부위에 발생한 큰 균열은 강도를 유지하기 위해 용접에 의해 정비하여야 한다.

A.D.H 에 사용되는 Filler Metal 은 Paste, Tape, Pre - sintered Preform 형태로 사용되며 재질은 모재의 화학성분과 유사하지만 Cr함량이 높다. A.D.H 공정은 균열부위를 깨끗이 Grinding 한 후 Filler Metal 을 침투량을 고려하여 충분히 바른 후 진공열처리한다. A.D.H 를 완료한 후 과잉 Filler, 흘러내린 부분은 Blending 하여 제거한다.

3.3. 코팅

가스터빈 고온부 부품의 코팅방법은 열차단 코팅(TBC)과 내고온부식 코팅의 두종류로 대별되며 그 특징은 다음과 같다.

3.3.1. 열차단 코팅 (TBC : Thermal Barrier Coating)

열차단 코팅이란 금속모재의 표면에 열전도율이 작은 세라믹을 코팅하여 모재를 고온가스로부터 보호하는 것이다. 코팅방법은 주로 Plasma spray 법이 사용되며 이때 형성된 용사피막이 열전도 방향에 수직인 층상구조를 갖고 5 - 12 μ m 정도의 기공을 갖고 있으므로 열전도율을 더욱 작게한다.

3.3.2. 내고온 부식 코팅

가스터빈의 열효율을 향상시키기 위해서 TIT가 증가되고 그에 따라 고온 강도가 큰 내열합금이 필요하다. Cr함량이 크면 γ' 상 {Ni₃(Al,Ti), (Ni,Co)₃(Al,Ti) 등}의 용해도 온도가 감소하므로 고온강도에 필요한 γ' 량이 감소한다. 따라서 γ' 석출경화형 니켈기 초내열합금에서는 통상 5 - 15 wt% Cr의 조성을 갖으므로 내식성이 감소된다. 운전중 Na,K 등 알칼리금속 오염물과 연료중의 S가 반응하여 형성된 용융상태의 Na₂SO₄에 의해 모재내부에 Cr - Sulfide가 형성되고 Cr 고갈지역이 형성되어 고온 부식이 발생하므로 가스터빈의 정익,동익 등에 고온강도 및 내식성을 부여하기 위해 코팅이 필수적이다. 내고온 부식 코팅은 확산코팅, Overlay 코팅법이 주로 사용되며 코팅재는 Al, MCrALY 합금 등이 주로 사용된다.

4. 결론

가스터빈의 주요부품인 Hot Gas Path 계통의 손상원인 및 정비방법을 설명했다.

주요 손상원인은 열피로, 고온크립 및 고온부식이며 이에 대한 정비방법은 용접 및 코팅이 주가 된다. 니켈기 초내열합금은 용접보수시 열처리가 부품의 기계적 특성에 미치는 영향이 크다. TBC는 주로 연소기에 적용되며 터빈동익에는 내고온 부식 코팅을 사용하며 LPPS를 이용한 Overlay 코팅 및 확산코팅이 주요 기술이다.

참고문헌

1. Elihu F. Bradley : ' Superalloys ' ASM (1988)
2. Introductory Welding Metallurgy : AWS
3. Advanced Gas Turbine Materials and Coatings : GE (1992)
4. Gas Turbine - Generator Operation Training : GE
5. GE Turbine State - of - Art Technology Semina :GE

표 1 G/T 고온부품 주요 재료

		연 소 기	정 익	등 익
요 구 되 는 특 성	크립 강도		○	○
	크립 파단 강도	○		○
	열 피로 강도	○	○	○
	고 사이클 피로 강도	○		○
	내 고온 가스 부식성	○	○	○
	인 성			○
	고온 조직 안정성	○	○	○
	단 조 성			○
	주 조 성		○	○
	용 접 성	○	○	
	판금 가공성	○		
	고 용 접	○		
주요 사용 재료		Ni-based S/A Hastelloy X	Co-based S/A	Ni-based S/A
비 고		<ul style="list-style-type: none"> • 내식성 내산화성 → Cr 20% 이상 • 판금 가공성, 용접성 → C 0.1% 이하 	<ul style="list-style-type: none"> • 열피로 강도, 주조성 내 고온 부식성 우수 • Ni-based S/A 보다 용접성 우수 (냉각용 부속 부품 용접, 보수) 	<ul style="list-style-type: none"> • 고온 강도 우수 • 가장 가혹한 조건에서 사용 (고온가스, 원심력, 진동응력) • 진공 정밀 주조 (Al, Ti → 고온강도 ↑ 열간 가공성 ↓)

표 2 고온부품 정비절차

STEP # OPERATION	COMB LINER	TRANS DUCT	NOZZLE STG 1-2-3	BUCKETS STG 1-2-3
1) WORKSHEET PREP (Inspect)	X	X	X	X
2) INCOMING (Inspect)	X	X	X	X
3) DISASSEMBLY	X	X	X	
4) BLAST/ VIBROCLEAN	X	X	X	X
5) VISUAL/DIMENSION (Inspect)	X	X	X	X
6) ZYGLO (Inspect)		X		X
7) RED DYE (Inspect)		X	X	
8) METALURGICAL EVALUCATION			X	X
9) DEGREASE	X	X	X	X
10) SOLUTION ANNEAL		X	X	X
11) ULTRA SONIC CLEAN				X
12) WORKSHEET PREP (Repair)	X	X	X	X
13) STRIP COATING		X	X	X
14) SOLUTION AGE		X	X	X
15) FLUORIDE ION CLEAN			X	
16) COLD/HOT FORM	X	X	X	
17) PREP TO WELD/ ADH	X	X	X	X
18) WELD	X	X	X	X
19) A.D.H			X	X
20) GRIND/POLISH	X	X	X	X
21) HOT ISOSTATIC PRESS				X
22) MACHINE	X	X	X	X
23) X-RAY	X	X	X	X
24) SHOT PEEN				X
25) COAT	X	X	X	X
26) MOMENT WEIGH AND CHART				X
27) HARMONIC ANALYSIS			X	
28) FINAL INSPECT	X	X	X	X

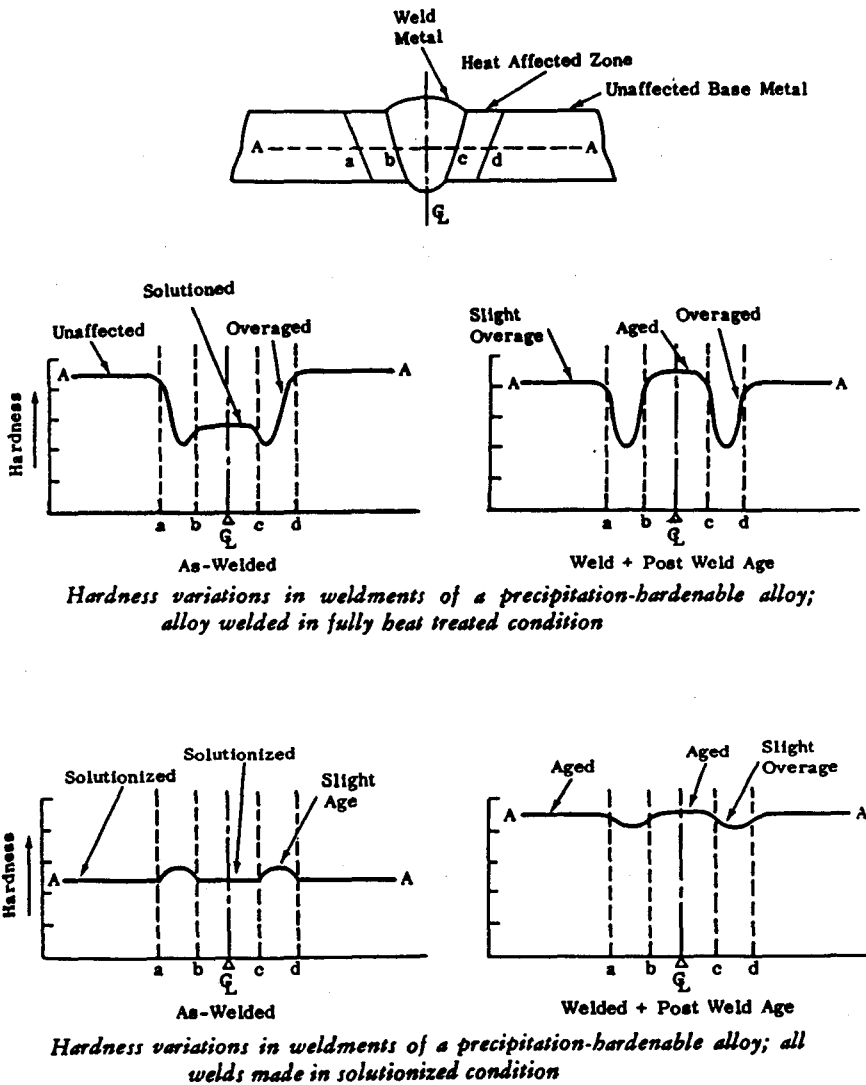


그림 1 석출경화형 니켈기 초내열합금의 용접부 기계적 성질