

# 열처리조건에 따른 GTD 111DS 용접재의 기계적 특성

\*김문영, 양성호, 박상열, 최희숙, 고원, 채나현  
한전기공(주) GT 정비기술센터

## Mechanical Properties for Specimens Welded GTD 111DS Material According to Heat Treatment Parameters

\*M. Y. Kim, S. H. Yang, S. Y. Park, H. S. Choi, W. Ko, N. H. Chae  
Gas Turbine Technology Service Center. Korea Plant Service & Engineering

Key words : Blade, Bucket, Damage, EOH(Equivalent Operation Hour), DS(Directional Solidification), HIP(Hot Isostatic Pressing)

### 1. 서론

가스터빈의 효율 향상을 위해서 연소온도를 지속적으로 상승시켜 현재는 1,500°C 이상에서 운전되고 있다. 이러한 운전온도의 상승은 가스터빈 블레이드의 재질 개선 및 냉각 방법에 대한 연구 개발에 따라 가능했으나 고온부에서 사용되어지는 재질의 특성상 장시간 사용 후에는 단계적으로 모재에 손상을 주게 마련이다.

동일의 재료는 대부분 석출경화형 니켈기초 초내열합금이 사용되고 있으며, 재료에 따라 다르게 나타나지만 용접성은 매우 좋지 않다. 일반적으로 Al + Ti의 함량이 6% 이상이 되면 용접성이 더욱 나빠지게 되어 있다.<sup>1</sup>

고온 사용 소재의 기계적 특성을 평가하는 일반적인 방법은 일축 상에서 시험되어지는 인장시험, 크리프 시험 등이 있다. 본 연구에서는 이러한 시험법을 적용하여 가스터빈 블레이드로 많이 사용하는 GTD 111DS 재질의 용접 전·후 열처리 조건에 따른 기계적 특성을 분석하였다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 열처리 기본이론

용접 전열처리는 이 소재가 석출경화형 니켈기초의 초내열합금이므로 강화원소인  $\gamma'$ 에 영향을 주는 온도를 설정하여 실험을 실시하였다. 1,121°C의 온도는  $\gamma'$ 을 부분적으로 고용시키는 열처리이고, 1,204°C는  $\gamma'$ 을 완전 고용시키는 열처리 온도이다. 이 두가지 조건에서의 특성을 비교하였다.<sup>2,3</sup>

Fig. 1은 GTD111의 열시차 분석결과이다. 열시차 분석 결과로부터 미세조직내 새로운 상(Phase)의 석출 및 고용의 온도를 예측해 볼 수 있다.

#### 2.2 시험편 제작

용접은 고온의 불활성분위기에서 GTD111 Wire 용접봉을 이용하여 실시하였다. 용접전 가열온도는 Fig. 2를 기초로 검토하여 Longitudinal과 Traverse 방향 모두에 대해 양호한 Strain을 갖는 온도 900°C로 용접전 가열온도를 설정하였다. 용접방법은 GTAW을 선택하였다. Fig. 3은 시험편을 용접후 시험편의 모습과 용접된 시험편을 가공한 사진이다.

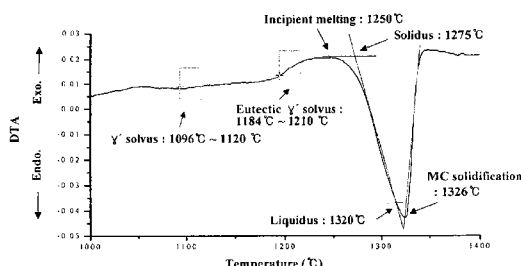


Fig. 1 DTA(Differential Thermal Analysis) data of GTD 111

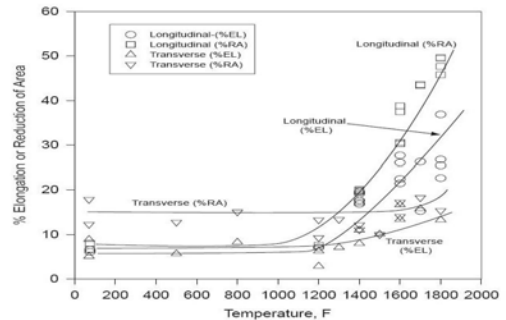


Fig. 2 Variation of ductility of longitudinal and transverse specimens according to temperature<sup>4</sup>

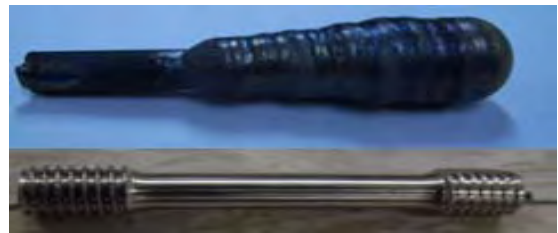


Fig. 3 Build up specimen by GTAW(Upper) and machined specimen for hot tensile test(Lower)

Table 1 Pre & post welding treatment condition

구분	용접전	용접후	
	열처리	HIP	열처리
Condition 1	1,121°C		1,121+843°C
Condition 2	1,204°C	1,175°C, 15ksi	1,204+1,121+843°C

Table 2 Operating history of specimens

구분	운전이력			비고
	실운전시간	기동횟수	EOH(Hr)	
SP 1	12,492	601	24,512	GTD111DS

### 2.3 용접 전·후 열처리 조건설정

Table 1의 내용과 같이 시험편을 용접 전·후처리 조건을 설정하여 열처리 및 고온등방처리(HIP)를 실시하였다. 고온 등방처리는 용접중 발생한 미세균열(Micro-crack)과 기공(Pore)등을 제거하여 용접부의 성질을 개선할 수 있다.

## 3. 실험 결과

### 3.1 미세조직(SP1)

Table 2는 미세조직 및 인장시험에 사용할 시험편의 운전이력이다.

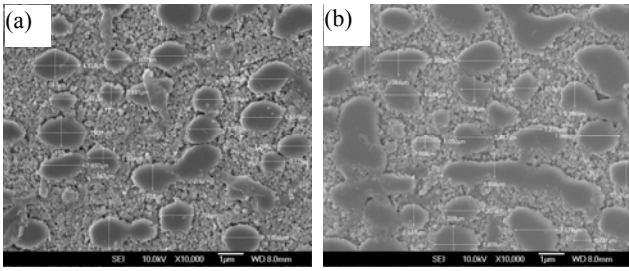


Fig. 4 Microstructure of heat treated SP1 at 1,121°C

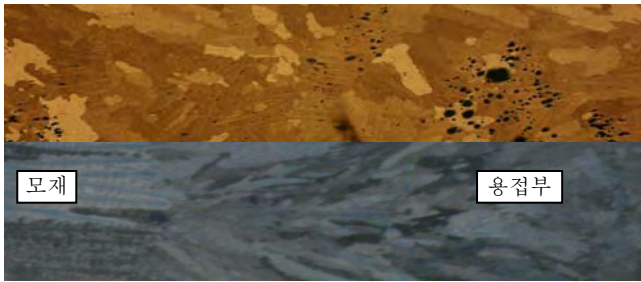


Fig. 5 Non-hipping welding specimen(upper), hiped specimen(lower)

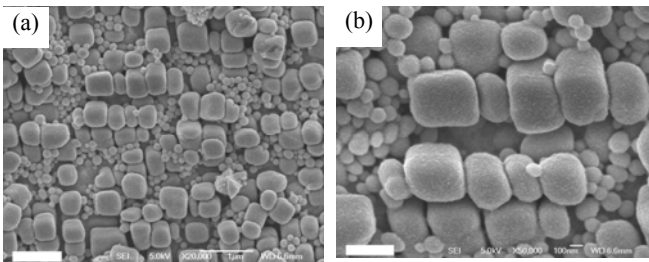


Fig. 6 Microstructure of hiped and heat treated SP1

Table 3 Test results according to condition of pre- and post-welding treatment for welded specimens by GTAW

열처리조건	시험 조건	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	파단 위치
Condition 1	상온	980	1,215	모재
Condition 2	상온	870	982	용접부
Condition 1	760°C	1,057	1,150	모재
Condition 2	760°C	869	1,101	용접부

3.1.1 1,121°C 고온 열처리후 미세조직

Fig. 4 는 등가운전시간 24,512 를 운전한 블레이드의 Airfoil 에서 채취한 시편을 1,121°C에서 2 시간 동안 고온열처리를 수행한 시편의 미세조직 사진이다. (a), (b)는 고온열처리를 실시한 후에도 운전의 영향으로 조대화되고 구상화된 의 모양  $\gamma'$  변화가 거의 관찰되지 않고 있다. Primary  $\gamma'$  의 크기는 0.92 ~ 1.25  $\mu\text{m}$ 의 범위를 나타내고 있다.

Fig. 5 는 용접부 미세조직 사진이다. 용접내부에 많은 기공(Pore)이 존재하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 기공들이 균열 발생시 시작점으로 작용할 가능성이 높다. 모재는 DS 조직을 갖고 있으나, 용접부는 DS 가 아닌 다결정 구조를 갖고 있다. 고온등방처리를 수행한 용접시편에서는 기공이 발견되지 않았다.

3.1.2 1,175°C HIP, 1,204°C 열처리 미세조직

Fig. 6 은 등가운전시간 24,512 시간을 운전한 블레이드의 Airfoil 에서 채취한 시편을 Table 1 의 Condition 2 의 조건으로 용접 전 · 후처리를 실시하였다.

Fig. 6 의 (a), (b)에서 관찰되는  $\gamma'$ 은 입방체 모양을 띠고 있다. Primary  $\gamma'$  사이에는 Secondary  $\gamma'$ 이 잘 발달되어 있는 것을 관찰 할 수 있다. Primary  $\gamma'$ 의 크기는 0.37 ~ 0.55  $\mu\text{m}$  이다.

3.2 상온, 고온 인장 특성

동일한 운전이력을 갖는 시편에 대해서 용접 전 · 후처리 조건의 변화에 따른 상온 및 고온인장 특성을 비교한 결과를 Table 3 에 나타냈다.

4. 결론

운전시간이 같은 동일 재질의 모재를 같은 재료의 용접봉을 이용하여 용접을 하였을 때 용접 전 · 후처리에 따른 미세조직과 고온인장 특성이 어떻게 변화하는지에 대하여 실험을 실시하였다.

1. Table 1 의 Condition 1 의 조건에서는 Primary  $\gamma'$  과 공정조직의 큰 변화는 관찰 할 수 없었다. 용접부에서는 용접중 발생한 기공이 관찰되었고, 미세조직내 불균일이 관찰되었다.

2. Table 1 의 Condition 2 의 조건에서는 균일한 Primary  $\gamma'$  을 얻을 수 있었다. 용접부에서 기공도 발견할 수 없었다.

3. 상온, 고온인장시험에서는 Condition 2 의 조건이 Condition 1 의 조건 보다 좋은 결과를 얻었다.

4. 용접부는 모재와 결정립의 일방향이 아닌 서로 다른 방향의 결정립을 갖고 있으므로, 재료에 가해지는 응력방향에 대하여 일정한 각을 갖게 된다. 이러한 이유로 760°C 의 인장시험에서는 용접부에서 파단이 발생 한 것으로 판단이 되어 진다.

후기

본 논문은 산자부에서 주관하는 전력산업연구개발과제의 2 차년도 보고서를 활용하여 작성한 논문입니다.

참고문헌

- L.C. Lim, J. Z. Yi, N. Liu, Q. Ma, "Mechanism of Post-Weld Heat Treatment Cracking in Rene 80 Nickel Based Superalloy", Materials Science and Technology, 2002.
- S.A. Sajjadi, S.M. Zebajjad, R.I.L. Guthrie, M. Isac, "Microstructure Evolution of High Performance Ni Base Superalloy GTD 111 With Heat Treatment Parameters", Material Processing Technology, 2005.
- 최백규, 김인수, 조창용, "Effect of Thermal Exposure on Microstructural Degradation and Mechanical Properties of Ni Base Superalloy GTD 111", Proceeding of the 6th International Charles Parsons Turbine Conference.
- R. Viswanathan, "Gas Turbine blade Superalloy Material Properties Hand Book", EPRI(TR1004652), 2001.