

10%Cr Martensite계 내열주강 용접부의 Creep파단 특성 및 미세 조직

(Creep Characteristics and Micro-structure
for 10%CrMoVNbN Cast Steel Welded Joints)

지 병하, 양 병일, 이 경운, 권 회경
두산중공업(주) 기술연구원

1. 서 론

최근 전세계적으로 활발히 진행되고있는 화력발전소용 내열강의 연구는 화력발전소의 열효율 향상을 위한 주증기 조건의 고온·고압화를 실현하기 위해 고온 크리프 파단강도 개선에 모든 연구력이 집중되고있다. 주요 발전용 내열강 중 용접이 허용되지 않는 로터, 블레이드 등의 소재는 주로 모재의 크리프 파단 특성에 의해 사용가능 온도가 좌우되나, 각종 배관재, 주강소재 등은 용접에 의해 조립되거나 결합을 보수하게 되므로 모재와 용접부 중 낮은 쪽의 크리프 파단 특성에 의존하게 된다. 복잡한 열이력을 겪는 용접부는 모재에 비해 일반적으로 열화하는 경향을 나타내며, 특히 다양한 강화기구에 의해 모재의 특성을 개선하면 할수록 용접에 의한 특성저하도 뚜렷해지는 경향을 나타낸다.

본 연구에서는 발전용 10%Cr-1Mo-VNbN Martensite계 내열주강소재의 용접부에 대하여 Creep파단 특성과 미세조직과의 관련성을 조사함으로써 용접 중 발생하는 용접부 크리프 특성 저하의 원인과 억제 방안을 모색하였다.

2. 실험 방법

연구에 사용된 모재 및 용가재의 화학 조성을 Table 1에 나타내었다. 용가재는 모재인 10%Cr-1Mo-VNbN 내열주강에 비해 Cr과 Mo의 함량이 낮고 W를 함유한 차이를 가진다.

용접시편의 제작은 4mm 직경의 피복아크 용접봉을 사용하여 실제 공정에서 일반적으로 적용되는 범위(10~20kJ/cm) 내에서 입열량을 변화한 3종류의 시편과, 용접후열처리 온도를 710°C~750°C에서 20°C간격으로 변화한 3종류의 시편을 각각 제작하여 크리프 파단 특성 및 미세조직에 미치는 영향을 조사하였다. 용접시편 취저예열온도 및 최고 증간온도는 각각 200°C 및 300°C로 관리하였다.

Table 1 Chemical composition of base and filler metal. (wt. %)

	C	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Nb	W	N
Base	0.13	0.72	0.5	9.6	1.0	0.2	0.07	--	0.04
Filler	0.10	0.45	0.6	8.8	0.4	0.2	0.06	1.6	0.04

3. 실험 결과

3.1 Creep 파단 특성

Fig. 1에 모재 및 용접부에 대해 실시한 크리프 시험 결과를 10⁵시간 크리프 파단 외삽강도로 정리하였다. 사용목표 온도인 593°C에서 모재의 10⁵시간 외삽강도가 약 94MPa인데 비해 용접부의 경우 약 73MPa로서 20% 이상의 저감을 나타낸다. 100MPa를 기준으로 할 경우 10⁵시간 크리프 파단 외삽온도는 각각 587°C 및 565°C로서 약 22°C의 내용온도의 차이를 나타낸다.

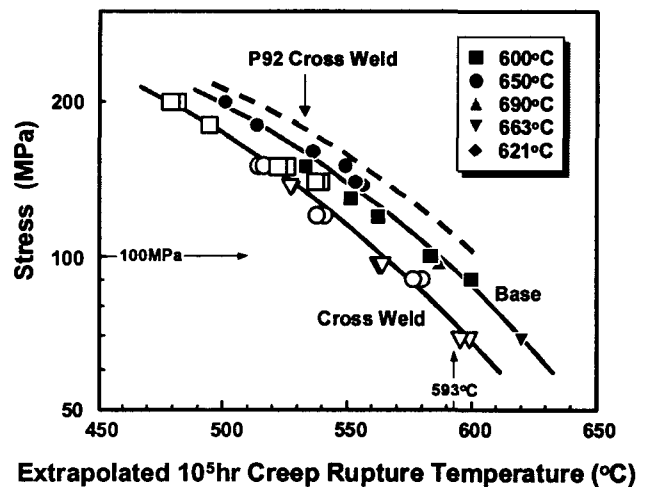


Fig.1 Comparison of extrapolated 10⁵hr creep rupture temperature for base metal and cross weld specimen.

이와 같은 용접부의 크립 파단 강도 저하는 조질처리된 고강도 강에서 나타나는 일반적인 현상으로 이해되나, 용접부 FGHZ(Fine Grain HAZ)에서 용접선에 평행하게 발생하는 Type IV균열을 조장하거나 직접적인 원인으로 작용할 우려가 있다.

용접부 크리프 파단 강도에 미치는 용접 Parameter의 영향을 조사하기 위해 입열량과 후 열처리 온도를 변화한 용접시험편에 대한 크리프 파단시험 결과를 Table 2에 나타내었다. 표에서와 같이 전 시험조건에서 오차범위를 넘어서는 파단 시간의 차이를 발견할 수 없었다. 따라서 통상의 현장 시공상 선택 가능한 범주 내에서의 용접 Parameter 변경에 의한 크리프 파단 강도의 개선은 기대하기 어려운 것으로 생각된다.

Table 2 Creep rupture time at 650°C under 90MPa.

ID	Rupture Time (hr)	
TL	369	328
TH	358	379
TPS	649	351
TPH	486	452
TPL	521	504

한편 파단위치는 크리프 변형에 의해 응력방향으로 극심하게 연신 되어 정확히 상정하기는 어려우나 정밀한 Dimension 측정결과, 파단 위치는 용접입열에 의한 Peak Temperature가 Ac1 ~ Ac3 구간에 도달하는 Intercritical HAZ(ICHAZ)에 해당되며 이 구간 내에서는 Ac3점에 더욱 가까운 것으로 추정된다.

3.2 용접부 경도 측정 결과

Fig. 2는 용접입열량을 변화한 TL, TPS, TH 시험편의 용접부 경도 분포를 나타낸 것이다. 최저 경도를 나타내는 지점의 위치는 입열량의 증가에 따라 용융선으로부터 멀어지며 경도의 최저점은 약간 높아짐을 알 수 있다. 2차원 열전달로 가정 한 Rosenthal 식에 의해 용융선으로부터의 거리에 따른 Peak Temperature의 계산 결과와 비교하면 Peak Temperature가 Ac1점까지 승온한 거리는 Fig. 2의 최저 경도점과 잘 일치하며, 후술하는 광학 현미경에 의해 뚜렷이 구분되는 HAZ 폭(실제 진열영향부는 Ac1점 이하로 가열된 Tempered HAZ도 포함하여야 하나 본 연구에서는 편의상 Ac1점 이상으로 가열된 부분만을 HAZ로 표기)과도 잘 일치한다.

용접후열처리 온도를 변화한 TPL, TPS, TPH 시

편의 HAZ 부근의 경도분포 측정 결과, Fig. 3에 나타낸 것과 같이 용접후열처리온도의 변화는 최저경도 점까지의 거리 및 최저 경도 값에는 거의 영향을 미치지 않으나 연화역의 폭에는 다소의 차이를 나타낸다.

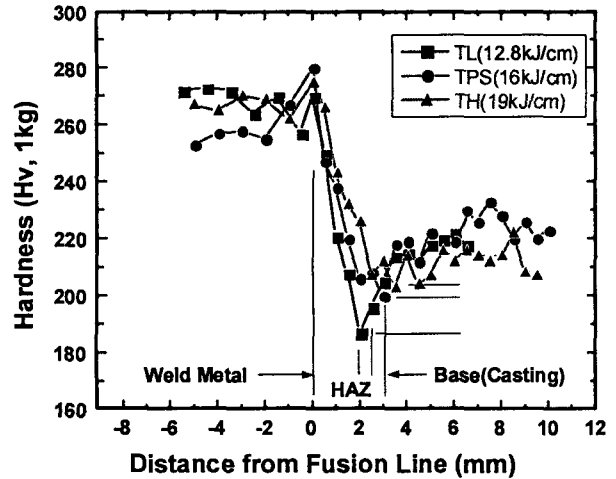


Fig.2 Hardness distribution changes in the weld joint with welding heat input.

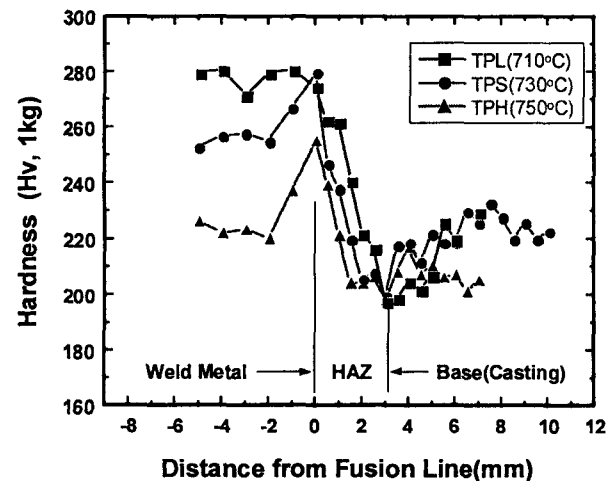


Fig.3 Hardness distribution changes in the weld joint with PWHT temperature.

3.3 용접부 미세조직 관찰 결과

표준 용접조건(TPS)으로 제작된 용접부 미세조직을 Fig. 4에 나타내었다. 용융경계부 부근에서 Ferrite Band가 관찰되며 ICHAZ영역은 CGHAZ, FGHZ, Tempered HAZ와 약간 다른 불균질한 조직을 나타낸다. 이는 냉각 시 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 변태 후 PWHT에 의해 형성된 Tempered Martensite와 미변태된 α' 의 Over Tempering된 영역이 혼재된 것에 기인한 것으로 생각된다.

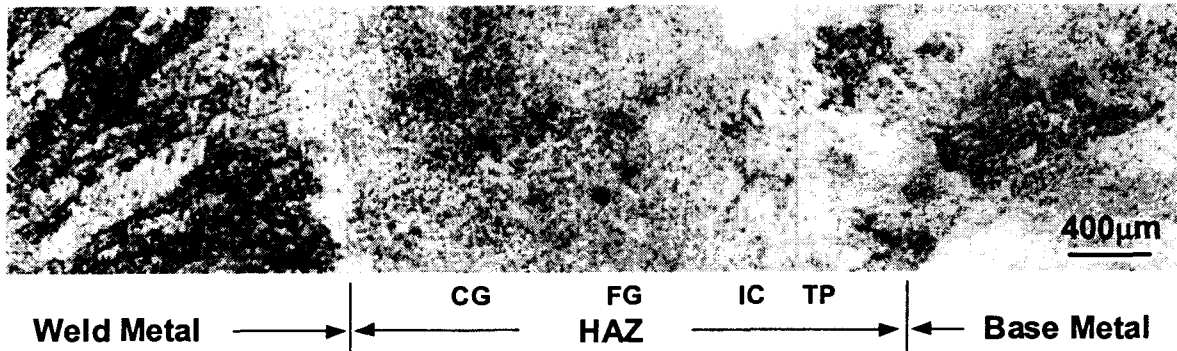


Fig. 4 Optical micro-structure of weld joint.

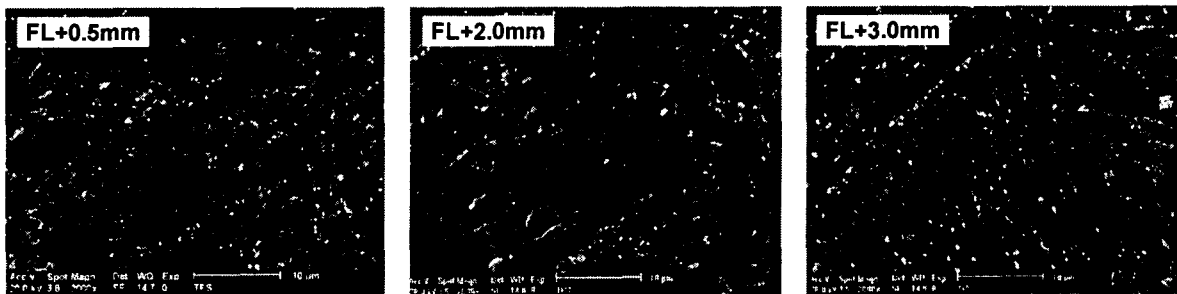


Fig. 5 SEM micro-structure of HAZ.

SEM을 이용하여 CGHAZ(FL+0.5mm), ICHAZ(FL+2.0mm), Tempered HAZ(FL+3mm)에 해당하는 위치의 미세조직 관찰 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 용융경계부에 인접한 CGHAZ에서는 극히 미세한 석출물이 관찰되는데 비해 용융경계부에서 2mm 떨어진 ICHAZ의 경우 PAGB를 따라 상당히 조대한 석출물이 관찰 된다. 결정립의 크기도 FGHAZ의 비교적 균일한 미세 결정립에 비해 조대한 결정립과 미세한 결정립이 혼재된 조직을 나타낸다.

Tempered HAZ에 해당하는 용융경계로부터 3mm 떨어진 곳은 PAGB와 Lath 경계를 따라 석출물이 관찰되는 전형적인 Tempered Martensite 모재의 특징을 나타낸다.

4. 요약 및 결론

10%Cr-1Mo-VNbN Martensite계 내열주강 용접부의 Creep 파단 특성 및 미세조직과의 관계를 조사하여 다음과 같은 결과가 얻어졌다.

1) 용접부는 동일한 시험조건의 모재에 비해 20% 정도의 크리프 파단강도의 감소를 나타낸다.

- 2) 용접부의 Creep파단재의 분석 결과 파단 위치는 Intercritical HAZ 범위에 해당하며, Peak Temperature가 Ac3 부근까지 승온한 위치에서 파단이 발생하였다.
- 3) 용접부의 Creep 파단 강도 저하는 통상의 시공범위 내에서의 입열량 및 PWHT 조건의 조절에 의해서는 개선이 어려운 것으로 생각된다.

참고문헌

1. H.Cerjak et al. : Proc. Materials for Advanced Power Engineering,(1998), pp.401
2. N. Komai et al. : ISIJ International, Vol.42(2002), No.12, pp.1364
3. S.Albert et al. : ISIJ Int., Vol.42(2002), No.12, pp.1497
4. K.Shinozaki et al. : ISIJ International, Vol.42(2002), No.12, pp.1578
5. J.S.Lee et al., : CAMP-ISIJ, Vol.16(2003), pp.
6. T.Watanabe et al. : Tetsu to Hagane, Vol.90 (2004), No.4, pp.206