

CrMoV강의 재열균열 민감도에 관한 연구

Reheat Cracking Susceptibility of CrMoV Steel

김 광 수

순천향대학교 신소재공학과

1. 서 론

터빈로터는 발전설비 중에서 가장 핵심 부분이며 동시에 심한 고온 응력을 받는 부분이다. 터빈로터 재료로는 Ni-Cr-Mo-V강과 CrMoV 강등이 사용된다. CrMoV 강은 발전 설비로 장시간 사용 중 열적피로나 크립손상, 고온 부식 등의 문제가 단독 혹은 복합적으로 발생하여 재료에 손상을 입히게 되고 결국에는 설비의 수명을 단축 시키곤 한다. 이와 같은 경우 손상된 부분만을 용접 등에 의하여 회복할 수 있다면 매우 효과적일 것이다. 그러나 주조와 단조에 의하여 만들어지는 CrMoV 강은 0.3% 이상의 탄소 함량과 첨가원소들의 영향으로 용접성이 매우 불량한 재료로 알려져 있다. CrMoV 강을 용접하는 경우에는 용접 후열처리 과정이나 또는 용접후 서비스 중에 발생하는 재열균열 등으로 용접성이 특히 나쁜 재료로 알려져 있기 때문에 거의 용접에 대한 고려가 이루어지지 않았었다. 그러나 최근 들어서는 CrMoV 강으로 만들어진 부품의 수명 연장이 절실히 요구되고 또한 CrMoV 강을 이용한 플랜트 설비에 필요한 용접기술에 관한 많은 관심이 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 스팀 발전 설비중 터빈로터강으로 장시간 사용되던 CrMoV 강에 대하여 용접 시뮬레이션으로 만들어진 모의 열영향부와 실제 용접에 의하여 만들어진 용접 열영향부 및 용접부를 관찰하여 재열균열의 발생 여부와 그 민감도에 대한 조사를 하였다.

2. 용접 및 재열균열 실험

CrMoV강 용접시 용접부 및 열영향부에서 발생하는 재열균열을 관찰하기 위하여 모의 열영향

부와 mock-up 용접부를 만들었다. 모의 열영향부는 peak temperature를 달리하여 3 종류의 열영향부를 만들고, 다시 다층 용접에 주안점을 두기 위하여 단일사이클과 중복 사이클로 열영향부를 만들도록 하였다. 이때 열영향부 시험편은 재열균열 민감도를 측정하기 위해 고안된 V노치 3점 굽힘 시험에 적용할수 있도록 Charpy 시험편으로 하였다. 실제 용접 공정에 의한 용접부 제조는 두가지 공정을 적용하여 만들었다. 초기 분리된 두개의 모재에 각각 저입열의 용접공정으로 버터링 용접하였고, 버터링된 용접부를 다시 결합하는 방법으로 mock-up 용접부를 만들었다. 용접에 적용된 공정변수는 모의 열영향부에서 얻어진 결과를 토대로 하였다. 모의 열영향부 시험편을 이용한 재열균열 민감도 평가 결과 중 열영향부의 미세조직이 안정하고 재열균열 민감도가 가장 적은 것으로 판단된 열영향부를 재현할 수 있는 용접 공정을 실시하였다. 만들어진 모의 열영향부 시험편과 실제 용접부는 재열균열 민감도를 조사하기에 앞서 광학현미경과 전자현미경을 이용한 미세조직 관찰 및 미세경도 측정시험이 이루어졌다. 먼저 모의 열영향부에 대한 재열균열 민감도는 단시간에 걸친 V노치 3점 굽힘시험을 실시하여 그 결과로 재열균열 민감도를 조사하였다. Mock-up 용접부에 대하여는 단시간 그리고 장시간에 걸친 3점 주기적 열처리를 통하여 재열균열 민감도에 대하여 검토하였다.

3. 실험 결과

3.1 모재와 모의 열영향부 재현

Table 1은 실험에 사용된 모재의 화학 분석한 결과와 동급의 화학조성을 갖는 CrMoV강의 ASTM 규격을 나타냈다.

Table 1. Chemical Composition of CrMoV Steel

Specification	Base Metal	ASTM A-470 Class 8
C	0.31	0.25-0.35
Si	0.18	0.15-0.35
Mn	0.75	1.0 max.
Cr	1.04	0.9-1.50
Mo	1.14	1.0-1.50
V	0.24	0.2-0.3
Ni	0.11	0.75 max.
P	0.016	0.015 max.
S	0.012	0.018 max.

용접에 사용된 모재는 분석결과 70년대 후반에 만들어진 전형적인 CrMoV 스팀 터빈 강인 것으로 확인되었다.

Table 2는 모의 열영향부를 만들기 위하여 Gleeble에 의하여 계획된 열사이클을 보여준다.

Table 2. Gleeble Thermal Cycle of Test Specimens

Peak Temperature(°C), 1st cycle	950, 1150, 1350
Peak Temperature(°C), 2nd cycle	800, 950, 1050
Preheat temperature(°C)	250
Heating Rate(°C/s)	200
Cooling Rate(°C/s)($\Delta T_{800-500}$)	10, 8, 6
Interpass Temperature(°C)	250
Postweld Temperature(°C)	677

선택된 열사이클은 예비 SAW 용접에서 얻을 수 있었던 열 사이클을 참고하여 최고 온도를 정하였고 다층 용접을 고려하여 중복사이클을 적용하였다.

Fig 1.은 모의 열사이클로 만들어진 열영향 미세조직을 보여준다. 최고온도의 증가에 따라 결정립이 매우 조대하게 나타났다. 중복 사이클을 적용한 경우에도 최고 온도가 높을수록 결정립의 크기는 조대하였으나 단일사이클에 비하여 결정립의 크기는 현저하게 감소하는 것으로 나타났다.

3.2 Mock-up 용접부

Fig. 2는 저입열의 SAW 공정으로 만들어진

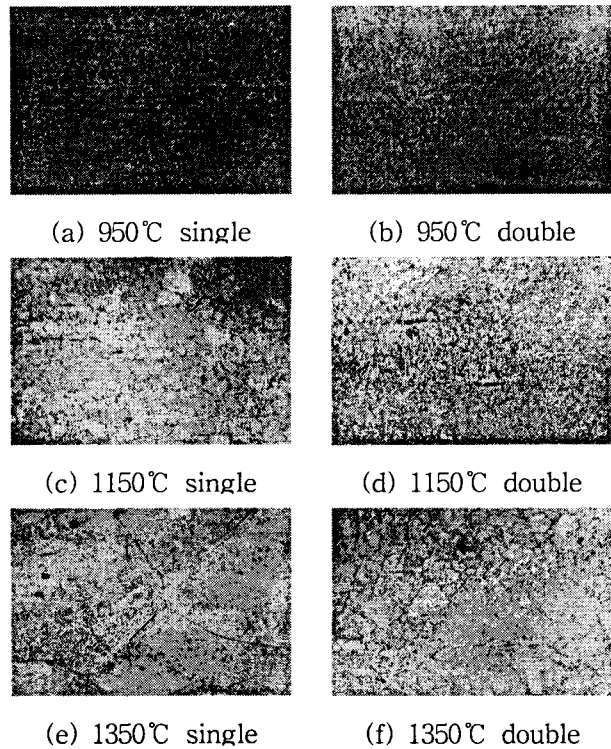


Figure 1. Microstructure of simulated heat affected zone.

mock-up 용접부의 거시 조직을 보여준다. 용접부는 대략 4개의 다른 영역으로 구분되게 나타났다. 초기 용접에 의하여 만들어진 버터링 용접부와 모재 열영향부 그리고 각각의 모재를 결합하기 위한 주용접부 그리고 열영향을 받지 않은 모재부로 확인되었다. 한편 Fig. 2에는 나타나지 않았지만 버터링 용접부에는 주용접이 이루어져서 만들어진 열영향부도 미세조직에서 확인 할 수 있었다.

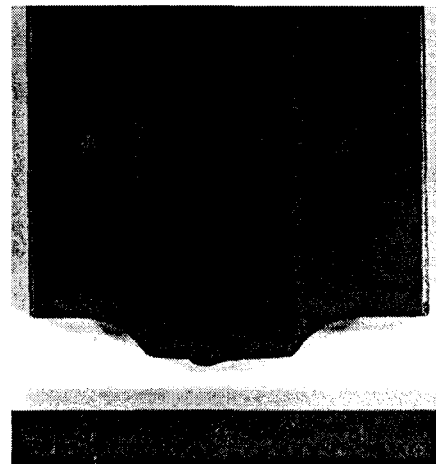


Figure 2. Macrostructure of the mock-up weldment

Fig. 3은 mock-up 용접부의 각 세부영역에서 측정된 미세경도의 프로파일 결과를 보여준다. 가장 높은 경도 값은 모재의 열영향부에서 얻어졌고 가장 경도가 낮은 곳은 버터링 용접된 곳으로 나타났다. 열영향부를 제외하고는 모든 영역에서 모재의 경도 값에 비하여 낮은 것으로 나타났다.

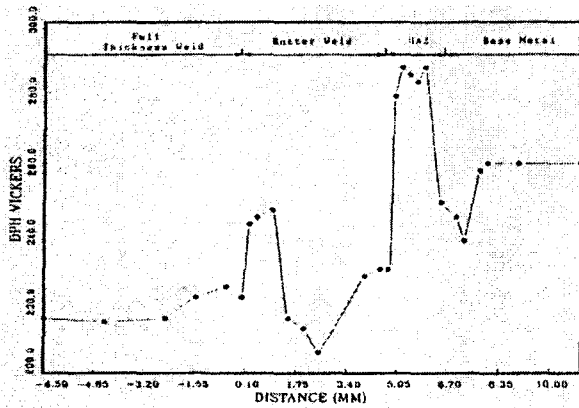


Figure 3. Microhardness profiles across the mock-up weld.



(a) mock-up weld (b) simulated HAZ

Fig. 4 Result of reheat cracking sensitivity

Fig. 4(a)(b)는 모의 열영향부와 mock-up 용접부 열영향부에 대하여 3점 굽힘 V 노치 재열균열 민감도 시험을 하고난 시험편에서 V 노치 부근을 관찰한 결과를 보여준다. (a)는 실제 용접 열영향부에 만들어진 노치 선단을 보여주는데 균열이 발생하지 않았다. (b)는 최고온도 1350℃에서 만들어진 모의 열영향부에서 발생된 재열균열을 보여준다. 재열균열은 결정립 경계를 따라 노치의 선단에서 아래 방향으로 진전된 것을 관찰할 수 있었다.

4. 결 론

CrMoV강 용접시 발생하는 재열균열 민감도에 대하여 모의 열영향부와 실제 용접부의 열영향부를 대상으로 검토하였다. 모의 사이클로 만들어진 열영향부에서 최고온도가 높은 경우에 중박사이클에 의하여 결정립의 크기가 미세해지기는 하나 초기에 만들어진 취약한 미세조직의 인성을 크게 향상시키지는 못하는 것으로 나타났다. 이러한 인성 저하는 재열균열 민감도를 예민하게 하는 것으로 나타났다. 저입열의 용접공정을 대상으로 이루어진 최고온도 950℃ 인 경우에는 재열균열은 발생하지 않았다. 이 열사이클 시험에서 얻어진 결과로 만들어진 mock-up 용접부의 열영향부는 매우 미세한 결정립과 경도가 낮은 미세조직을 소유하므로써 재열균열에 매우 안전한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. R. T. Hagaman : Electric Power Research Institute Proceedings, WS/79/235, Sept(1081)
2. R. R. E. Munson and N.D. Russell : EPRI Proceedings GS/6233(1989)
3. R. Viswanathan and A. Joshi : Met. Trans vol 6A(1975)