

# 석출경화형 17-4PH 스테인레스강 용접부의 용접후열처리 조건에 따른 기계적 성질의 변화

## Effect of the Post Weld Heat Treatment on the Mechanical Properties of 17-4PH Stainless Steel Welds

이호일\*, 김경주, 김대순  
현대중공업(주), 산업기술연구소

### 1. 서 론

석출 경화형 스테인레스강은 고강도와 내부식성이 동시에 요구되는 환경 적용을 목적으로 개발된 강재이다. 석출 경화형 스테인레스강의 고강도는 기지 조직에 석출상을 미세하게 분포시킴으로서 보장받을 수 있으며, 동시에 내부식성은 12% 이상으로 첨가되는 Cr에 의한 산화 피막에 의해 확보될 수 있다. 석출 경화형 스테인레스강은 모두 Fe-Ni-Cr 3원소 합금에 석출경화에 기여하는 소량의 첨가원소, 예를 들면 Cu, Al, Mo, Ti, Nb 등을 1종 또는 그 이상 첨가한 것이고 일반적으로 석출상이 분포하는 기지 조직에 따라 마르텐사이트계, 준 오스테나이트계, 오스테나이트계로 분류할 수 있다. 이 중 마르텐사이트계 석출경화형 스테인레스강은 오스테나이트가 가장 안정한 고용화 열처리 온도에서 상온으로 냉각한 경우, 상온 이상에 오스테나이트→마르텐사이트 변태점(Ms)이 존재하기 때문에 상온에서 마르텐사이트 기지 조직을 갖고 고용화 열처리후 파포화된 석출원소를 석출경화 열처리를 거쳐 석출시키므로써 최종 강도를 얻게 된다. 17-4 PH 강은 대표적인 마르텐사이트계 석출경화형 스테인레스강으로서 일반적으로 최종 시효열처리 후에 100 kgf/cm<sup>2</sup> 이상의 인장 강도와 304 스테인레스강과 유사한 내부식성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 17-4PH는 용접중의 예열이나 충전온도의 준수가 매우 중요하게 여겨진다. 최종 시효열처리는 일반적으로 용접후열처리로서 행해지고 있다. 본 연구에서는 이러한 용접 후열처리 조건에 따른 17-4PH 스테인레스강의 기계적 성질의 변화를 검토하여 산업 현장에서 요구되는 적절한 기계적 성질을 확보할 수 있고 동시에 현실성 있는 열처리 조건을 확립하고자 하였다.

### 2. 실험 방법

용접재 전용착 시험을 위해 용접후 열처리를 행하였다. 이후 인장 시험, 경도시험, 미세조직 관찰을 행하였다.

전용착 시험후 표 2의 조건으로 50mm 두께의 17-4PH 강재를 용접하여 적당한 크기로 절취한 후 용접후열처리를 행하였다. 용접시에 예열과 충전온도가 반드시 준수되어야 하며, 예열보다 충전온도가 높아야한다. 이면 가우징 및 보수 용접시에도 급열 급냉에 의한 균열 발생을 방지하기 위해서는 필히 예열 조건이 준수되어야한다.

용접 후열처리는 강제 메이커에서 권장한 표준 열처리 조건 S10A와 용체화 열처리 온도를 대폭 낮춘 S79A조건, 그리고 용체화 처리를 거치지 않고 용접후 직접 시효 열처리를 행하는 조건 S00A의 세조건으로 나누어 행하였다. 그림 1에는 열처리 조건이 상세하게 나타나있다.

as-welded, S00A, S10, S10A, S79, S79A 각각의 열처리 조건별 시편에 대하여 인장시험, 경도시험, 미세조직 관찰을 행하였다. 용접부의 항복강도 및 연신율도 인장강도와 함께 용접부의 변형 거동을 고찰하기 위해 조사하였다. 경도 시험은 모재, 열영향부, 용접부로 나누어 각각 10회씩 비커스 경도측정을 행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

1) 전용착 인장 시험 결과, 열처리 시간이 증가함에 따라 인장 강도 및 항복 강도가 소폭 감소함을 볼 수 있다. 이는 용접재의 화학성분 표 1에서 보는 바와 같이 주요 석출원소인 Cu의 함량이 매우 낮은 관계로 석출에 의한 시효 효과와는 관계없는 마르텐사이트 기지조직의 응력 완화 효과에 의한 것으로 생각할 수 있다. 경도값의 경우에도 열처리 조건에 따라 강도값과 유사한 양상을 나타내었다. 미세조직 관찰 결과 용체화 시편에 대해서는 마르텐사이트 기지 조직을 보여주었으며, 시효 시편에 대해서도 유사한 조직을 나타내었다.

2) 용체화 열처리에 의해 강도는 감소하고 연신율은 증가하는 일반적인 경향을 보였다. (그림 2)

3) 1050°C/1hr.+552°C/4hr. 열처리한 전용착 시험재, 동일 조건에서 열처리한 용접 시험재의 파단 용접부 강도를 비교해보면 용접 시험재의 강도가 상대적으로 높았다. 이 사실로부터 주요 석출원소인 Cu가 모재로부터 희석되어 용접부의 석출강화에 기여하고 있음을 알 수 있다.(그림 2)

3) 용체화 열처리에 이은 연속적인 시효 열처리에 의해 항복강도는 대폭증가, 인장강도 및 연신율은 소폭 감소하거나 증가하는 경향을 나타내었다. (그림 2)

4) 파단부위와 용접부 경도값으로부터 판단해 볼 때, 모재의 경도값이 용접부의 경도값보다 높은 것은 석출 강화가 모재쪽에서 보다 우세하게 일어났기 때문인 것으로 생각할 수 있다. (그림 3)

Table 1 Chemical Composition of the Consumable

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu
0.030	0.86	0.23	0.011	0.014	12.5	4.7	0.62	0.07

Table 2 Welding Condition

Base metal	17-4PH stainless steel (50mmt)
Base metal specification	ASTM A693 Gr. 630, UNS S17400
Consumable specification	AWS A5.4 E410NiMo-16
Consumable dia.(mm)	4.0
Welding position	Horizontal
Welding Joint	X type
Polarity	AC
Welding current(A)	152-250
Interpass temperature(°C)	150 min.
Preheating temperature(°C)	150

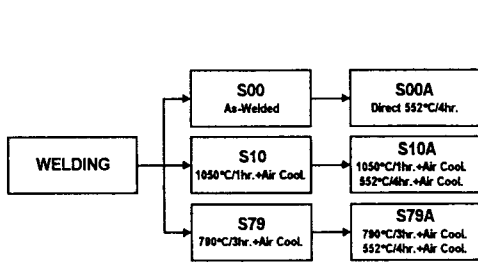


Fig. 1 Schematic Diagram of Post Weld Heat Treatment Process

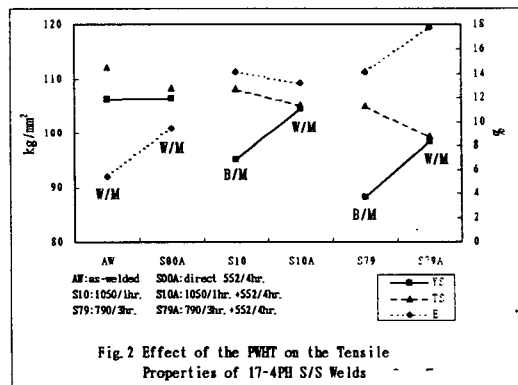


Fig. 2 Effect of the PWHT on the Tensile Properties of 17-4PH S/S Welds

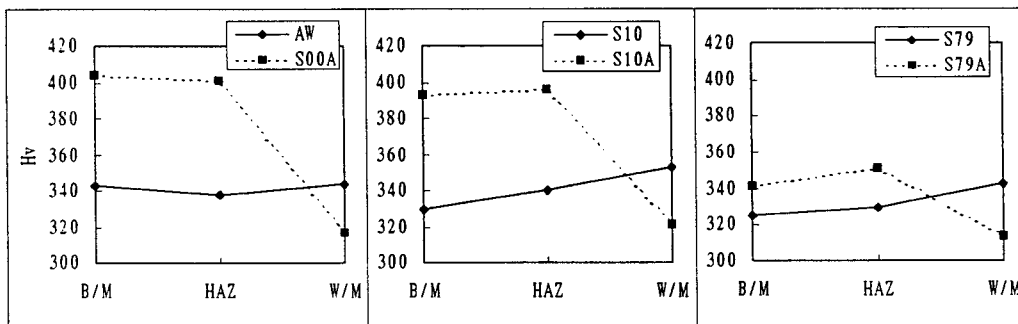


Fig. 3 Effect of the PWHT on the Hardness of the 17-4PH Welds