22%Cr계 2상 스테인리스강의 열영향부 미세조직 변화 및 기계적 특성에 관한 연구

(An Investigation on the Microstructural Changes and Mechanical Properties of Heat Affected Zone in Type 22%Cr Duplex Stainless Steel)

이수찬, 김영태, 안상곤, 이용득
포항제철(주) 기술연구소 스테인리스 연구팀

1. 서 론

현재 화학·발전용으로 널리 사용되고 있는 2상계 스테인리스강은 δ-ferrite 기지내에 γ상이 생성된 것으로 2상의 비율이 거의 1:1을 갖는 강을 말한다. 이러한 2상계 스테인리스강은 기존의 페라이트계 및 오스테나이트계 스테인리스강과 비교하여 응력부식 저항성, pitting 및 틈새부식 저항성이 우수하고, 또한 2상의 존재로 의해서 높은 강도 특성을 나타낸다.

그러나 2상계 스테인리스강은 실용접시 열영향부에서 δ-ferrite량의 증가, Cr_2N의 석출 및 결정립 조대화가 발생하여 충격인성 및 내식성을 저하시키므로 적절한 용접조건이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 22%Cr계 2상 스테인리스강의 열영향부 특성을 조사하기 위하여 열 cycle 재현 실험과 GTA 용접을 실시하여 냉각속도 변화에 따른 열영향부의 미세조직 변화 및 충격특성을 고찰하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용한 재료는 시판의 두께 16mm, 22%Cr계 2상 스테인리스강으로서 표 1에 화학조성을 나타내었다. 이러한 강의 열영향부 특성을 조사하기 위하여 용접 열 cycle 재현 실험 및 GTA(Gas Tungsten Arc) 용접을 실시하였다. 용접 열 cycle 재현 실험은 Gleeble 1500장치를 사용하여 최고온도를 1350℃로 하고, 1200~800℃ 온도구간에서 냉각시간($\Delta t_{12/8}$)을 6~180초 사이로 조절하여 δ와 γ상의 비율을 변화시켰다. 용접 열 cycle 재현실험 후 2mm 노치를 갖는 두께 10mm의 표준시편을 제작하여 상온부터 -110℃사이의 5온도 구간에서 충격시험을 실시하였다.

한편, GTA 용접은 4.6~42kJ/cm의 입열량 범위에서 single pass와 double pass 용접을 각각 실시하여 미세조직 관찰 및 경도측정을 실시하였고, 용접 열 cycle 재현실험 및 GTA 용접후 냉각속도 및 입열량 변화에 따른 δ-ferrite량은 image analyzer와 ferritescope를 사용하여 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 모재의 품질특성

본 연구에 사용한 모재의 δ-ferrite함유량은 약 42%이고, 결정립 크기는 약 10μm로 상당히 미세한 조직을 갖고 있다. 이러한 22%Cr계 2상 스테인리스강은 항복강도 549MPa, 인장강도 760MPa 및 연신율 30%의 인장특성을 나타낸다.

또한 모재의 충격특성을 상온에서 -196℃사이의 온도구간에서 실험한 결과를 그림 1에 나타낸 것과 같이 L방향의 경우 충격값은 43.4~175J, T방향의 경우 충격값은 21.4~106.3J로 L방향의 경우 모든 시험온도에서 우수한 특성 보여주고 있다. 22%Cr계 2상 스테인리스강은 충격특성에서 DBTT(Ductile/Brittle Transition Temperature)는 페라이트계와 유사한 거동을 보여주고 있으나 γ상이 존재하고 있어 충격값이 저온으로 갈수록 급격하게 감소하지 않고 완만하게 감소하고, 파단면에서도 Cleavage 양상이 증가하는 경향을 보인다. 이러한 파단양상의 발생은 저온에서 페라이트상에서 취성파단과 오스테나이트상에서 미세공동합체 기구로 설명되고 있다.

3.2 재현 열영향부의 미세조직 및 충격특성

용접 열 cycle 재현실험 결과 냉각속도가 비교적 빠른 $\Delta t_{12/8}$=6초의 경우에서도 열영향부에서 Cr_2N 석출물이 관찰되지 않았고, 또 δ-ferrite량은 약 55%로서 기존의 보고된 결과[1, 2]와는 다소 상이한 결과를 보여 주고 있다. 한편, 시험조건중 냉각속도가 $\Delta t_{12/8}$=180초 로서 가장 느린 경우에는 열영향부의 δ-ferrite량은 약 45%이고, 페라이트의 결정립 조대화도 크게 나타나지 않았다.

22%Cr계 2상 스테인리스강의 열영향부 재현시편의 충격인성을 고찰하고자 상온, -20, -50, -80, -110℃에서 충격실험을 실시하여 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림 2의 결과를 보면 냉각속도가 빠른 $\Delta t_{12/8}$=6초의 경우 상온에서 충격값이 다른 조건보다 약간 감소하나 전 시험온도 구간에서 냉각속도 변화에 따른 충격값의 차이는 거의 관찰되지 않았다. 이와 같은 결과는 기존에 보고된 냉각속도가 아주 빠른 경우나 느린 경우 충격값이 감소된다는 보고[2,3]와는 상이한 결과로서 모재의 미세조직 특성과 관련된 것으로 사료된다.

한편, 입열량 4.6~42kJ/cm 범위의 조건으로 GTA 용접을 실시한 미세조직에서도 δ-ferrite량은 입열량이 4.6kJ/cm로 가장 작은 경우 약 55%, 입열량이 가장 큰 경우도 약 48%로 크게 변화 되지 않았고, 열영향부의 결정립 조대화도 크게 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 모재의 δ-ferrite량이 초기 42%정도이고, 결정립 크기로 10μm로 상당히 미세하였기 때문으로 사료된다.

4. 결 론

1) 22%Cr계 2상 스테인리스강의 재현 열영향부에서는 냉각속도, $\Delta t_{12/8}$=6초의 매우 빠른 조건에서도 Cr_2N은 관찰되지 않았고, 또한 $\Delta t_{12/8}$=6~180초의 냉각속도 범위에서 전 시험온도 구간에서 충격값의 차이는 거의 나타나지 않았다. 이것은 재현 열영향부의 미세조직의 특성에 의해 기인한 것으로 사료된다.

2) 22%Cr계 2상 스테인리스강의 용접특성을 검토한 결과, 용접부 취화의 직접적인 원인으로 알려진 열영향부의 결정립 조대화도 크게 나타나지 않았고, δ-ferrite의 함량 변화도 10~60kJ/cm의 이론적 입열량 범위에서 55~45% 사이로 크지 않았다. 이와 같은 결과는 모재의 결정립 크기가 10μm으로 상당히 미세하고, δ-ferrite량도 통상의 50%보다 적은 40%정도로 낮게 함유하였기 때문으로 사료된다.

5. 참고문헌

1) Lindblom B.E.S., Lundqvist B. and Hannerz N.E.: Scandinavian Journal of Metallurgy, 20 (1991) pp.305-315
2) Lippold J.C., Lin W. and Brandi S.: Duplex STS '94 (1994) Paper 116
3) Kivineva E.I. and Hannerz N.E. : Duplex STS '94 (1994) Paper 33

Table 1 Chemical compositions of testing material in this study(all in wt%)

Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	N	Cr_{eq}/Ni_{eq}
Type 22%Cr duplex STS	0.023	0.54	1.92	0.020	0.003	22.7	6.12	3.13	0.088	0.155	2.91

Cr_{eq} = %Cr + 1.37%Mo + 1.5%Si + 2%Nb + 3%Ti

Ni_{eq} = %Ni + 0.3%Mn + 22%C + 14.2%N + %Cu

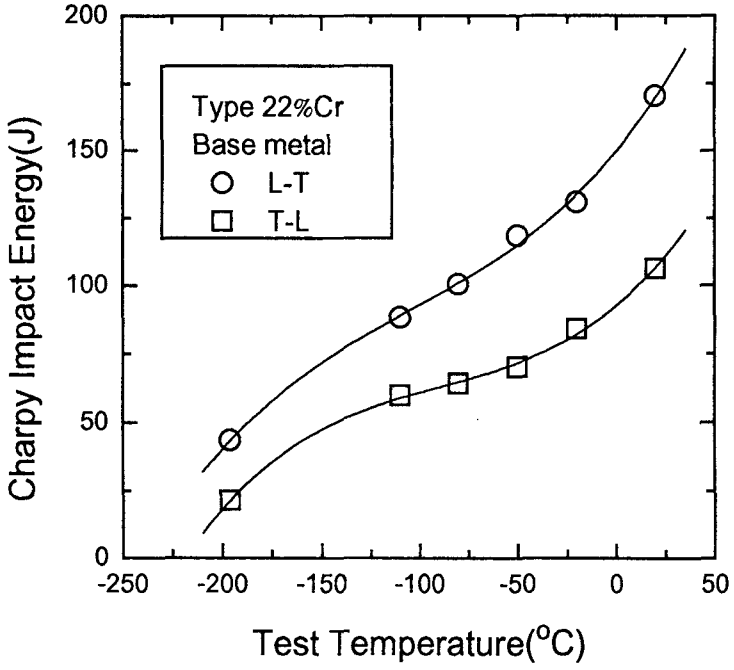

Fig. 1 Charphy impact energy of the base metal as a function of temperature in type 22%Cr duplex stainless steel.

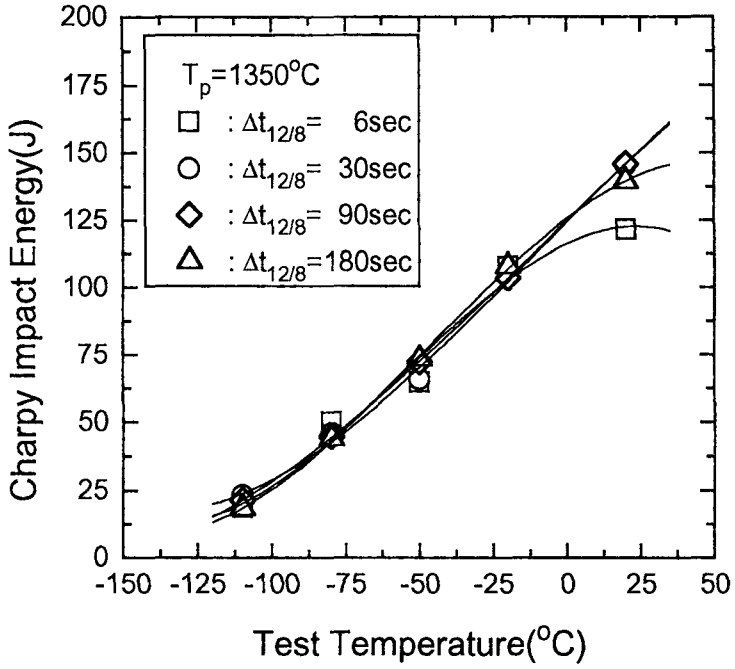

Fig. 2 Charphy impact energy of the simulated HAZ as a function of temperature in type 22%Cr duplex stainless steel.