

30Cr-4Mo 페라이트 스테인리스강의 용접부 인성에 미치는 W 및 Ni의 영향

Effect of tungsten and nickel on the toughness of 30Cr-4Mo ferritic stainless steel welds

김성욱*, 이하미*, 이창희*, 안상곤**, 이용득**

*한양대학교 공과대학 재료공학부

**POSCO 기술연구소 STS연구그룹

1. 서론

최근들어 연구자들의 많은 주목을 받을 뿐 아니라 여러 산업 분야에서 상용화되고 있는 페라이트 스테인리스강은 기존의 오스테나이트 스테인리스강과 비교해 뒤떨어지지 않는 내식성을 가지고 있을 뿐만 아니라 고가인 Ni, Mo의 함량을 낮춤으로써 가격도 훨씬 저렴하다는 장점을 가지고 있다. 특히 해수면에서의 내부식성과 SCC(Stress Cracking Corrosion) 저항성이 오스테나이트 스테인리스강보다 아주 우수하다. 반면 페라이트 스테인리스강은 고Cr계(12-30%Cr)를 가지기 때문에 탄소와 질소 첨가에 많은 제한을 받는다.¹ 이러한 침입형 원소인 탄소, 질소, 산소의 고용도가 낮기 때문에 열처리나 용접시 과포화된 탄소, 질소등이 입계 및 입내에 석출되어 재료의 인성과 연성을 떨어뜨리는 결과를 초래할 뿐 아니라 내공식성 저하, embrittlement, notch susceptibility 증가등 용접성이 좋지 않다는 단점을 가지게 된다.^{2,3} 따라서 이러한 탄소와 질소의 영향을 배제하기 위하여 그 함량을 제한시키는 공정으로 VIM(Vacuum-induction melting), VOD(Vacuum-oxygen decarburization) 혹은 VAR

(Vacuum-arc remelting)과 공정을 거치게 되었는데, 이러한 공정들은 많은 비용을 요하기 때문에 페라이트 안정화 원소인 Ti, Nb, Zr, Ta 같은 합금 원소를 첨가시킴으로 안정한 석출상을 만들어 재료의 기계적 성질을 향상시켰다. 이에 본 연구에서는 이러한 안정화 원소들이 석출상에 미치는 영향과 그 외에 다른 합금 원소로써 W, Ni이 석출상 형성 및 재료의 충격인성에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

2. 본론

2.1 실험방법

본 연구에서 사용된 강종은 Table 1에서 보는 바와 같으며 W, Ni의 영향을 살펴보기 위하여 합금 원소의 성분을 조절하여 제조한 후 GTA 용접을 실시하였다. 용접한 시편의 기계적 성질을 평가하기 위하여 Charpy V-notch impact test를 실시하여 재료의 천이온도(Ductile-Brittle Transition Temperature)를 알아보았고 V-notch tensile test로 재료의 파괴 mode 및 균열 전파 기구를 규명하였다. 미세 조직 관찰은 광학현미경과 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy), 투과전자현미경(Transmission Electron Microscopy)을 이용하여 결정립의 크기, 석출물의 형상, 크기, 분포등을 관찰하였다. 또한 석출물의 정성 분석을 위하여 EDS(Energy Dispersive Spectroscopy)와 SAD(Selected Area Diffraction) pattern으로 분석하였고, Back Scatter Mode와 Extraction으로 전체 석출물의 양을 정량화하였다.

2.2 실험결과

여러 합금 원소중 W, Ni 첨가시 재료의 인성에 미치는 영향을 살펴보고자 Charpy V-notch impact test를 실시한 결과를 Table 2에 나타내었다. W이 각각 1%, 2.15% 첨가된 강종에서는 재료의 인성이 현저히 낮고 Ni이 첨가된 강종에서는 우수한 인성값을 가진다. 이것은 W이 재료를 취하게 하는 sigma상의 석출을 늦추고 strong ferrite former로 재료의 국부적 부식을 막아주는 역할을 함에도 불구하고 석출물의 생성 온도 영역을 증가시키기 때문에 고온에서 제일 먼저 석출되는 TiN; Ti(C,N) 석출량을 많게 하여 이러한 조대한 Ti계 석출물들이 crack의 initiation site를 제공하기 때문에 낮은 인성값을 갖게 된다.⁴ Ni이 첨가된 강도의 경우는 Ni이 먼저 matrix에 치환되고 탄소와 질소를 Ni 격자내에 distortion 시킴으로 침입형 원소들의 고용도를 증가시킨다. 따라서 Ni

첨가량의 경우 용접부의 입내, 입계 석출물의 양을 줄여 재료의 인성을 향상시킨다.³

재료의 충격 인성에 미치는 석출상을 알아보기 위해 미세구조를 관찰하였다. Figure 1과 같이 가장 많이 석출되는 상은 입내에서는 Cr₂N이고 입계에서는 Cr₂₃C₆와 같은 석출물들이다. 입내 석출상인 Cr₂N은 크기는 작지만 Figure 1처럼 연속적으로 석출될 때 재료의 인성을 저하시키는 요인으로 작용할 수 있다. 또한 재료의 충격 인성이 나쁜 W 첨가강에서 석출물중 많은 부분을 차지하는 것이 TiN, Ti(C,N)로서, 이러한 석출물이 matrix에 미치는 size, morphology contribution을 Figure 2에서 확인할 수 있다. 각진 모양의 Ti(C,N)에 많은 응력이 집중되어 외부 충격시 crack의 initiation site가 될 수 있음을 알 수 있다. 이를 확인하기 위해 dynamic v-notch tensile test를 실시하여 crack initiation site and propagation을 규명하였다. Figure 3에서 보듯이 W이 2.15% 첨가된 강과 Ni이 첨가된 강을 fracture가 발생하기 바로 전까지 하중을 주었을 때 응력 집중부인 notch 부근에서 많은 slip bands 및 deformation twinning이 생성됨을 확인할 수 있다. W 첨가강의 경우는 slip bands 생성이 많고 Ni 첨가강의 경우는 deformation twinning 발생이 많음으로 인해 재료의 인성이 더 우수하다. 그러나 이러한 slip bands와 deformation twinning은 취하한 second phase인 Ti(C,N)을 만나 crack의 생성 및 전파가 일어나게 된다.^{5,6}

3. 결론 및 요약

- (1) W 첨가량이 많을수록 입내에 TiN, Ti(C,N) 석출을 증가시키고 이러한 석출물들이 crack initiation site가 되어 재료의 충격 인성을 현저히 떨어뜨리게 된다.
- (2) 재료내에 Ni을 첨가시킨 강은 침입형 원소들의 고용도를 증가시켜 취하한 석출물 생성을 줄이게 되어 우수한 충격 인성값을 갖게 한다.
- (3) 파괴가 발생시 slip bands 혹은 deformation twin이 취하한 second phase를 만나 crack initiation 및 propagation 된다.

4. 후기

본 연구는 포항종합제철주식회사의 연구비 지원을 받아 수행되었으며, 이에 많은 도움을 주신 POSCO 기술 연구소에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Binder, W.O and H.R. Spindelov, Influence of chromium on the Mechanical Properties of Plains Chromium Steels , Trans. Am. Soc. Met., 43(1951), pp759-777
2. J.J.Demo, Structure, Constitution, and General Characteristics of Wrought Ferritic Stainless Steels, ASTM STP 619(1977), pp57-71
3. A. Plumtree and R. Gullberg, Influence of Interstitial and Some Substitutional Alloying Elements, Toughness of Ferritic Stainless Steels, ASTM STP 706(1980), pp34-55
4. M.K. Ahn, Quantitative comparison of the influences of tungsten and molybdenum on the passivity of Fe-29Cr ferritic stainless steels , Corrosion Science, 40-2/3(1998), pp307-322
5. A.N. Stroh, A theory of the fracture of metals , Adv, Phys. 6(1957), pp418-465
6. C.J.Mcmahon, Initiation of cleavage in polycrystalline iron , Acta Metallurgica, 13(1965), pp591-604

Table 1. Chemical composition of 30Cr ferritic stainless steels

No	Cr	Mo	C	N	Ti	Nb	Al	Ni	W	P	Ca	Si	Mn	S	O
5	30.1	4.0	.008	.01	.05	.26	.05	NA	NA	0.03	*	.33	.3	.002	.007
6	29.8	3.54	.01	.011	.059	.31	.047	NA	1.0	0.03	*	.27	.3	.0015	.007
7	29.9	3.2	.011	.01	.06	.26	.05	NA	2.15	0.03	*	.3	.3	.002	.005
9	29.7	3.2	.015	.01	.06	.26	.06	2.15	2.18	0.03	*	.29	.3	.002	.004
10	30.0	4.1	.008	.006	*	*	*	*	*	0.03	NA	.29	.3	.002	.012

Table 2. Charpy V-notch impact test results of weld metal in 30Cr-4Mo ferritic stainless steel

No. of STS	5	6	7	9	10
Upper shelf E(J)	34.4	42.6	77.7	43.2	34.3
DBTT(°C)	51.7	94.5	137.9	-0.5	38.2

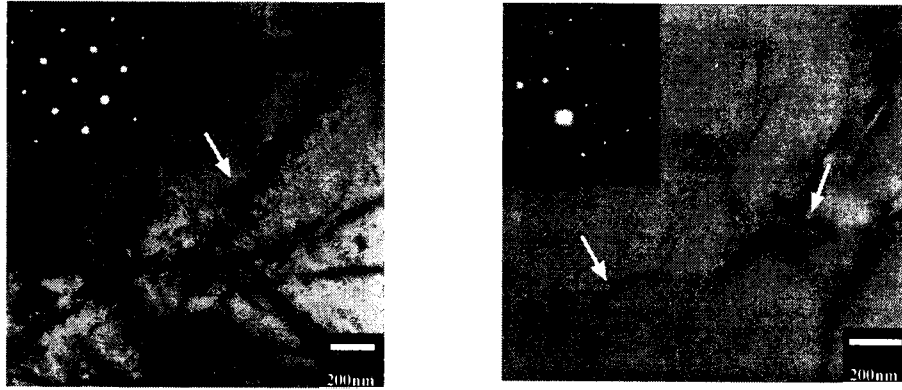


Figure 1. TEM thin foil images of Cr_2N and $Cr_{23}C_6$ precipitates with SAD pattern

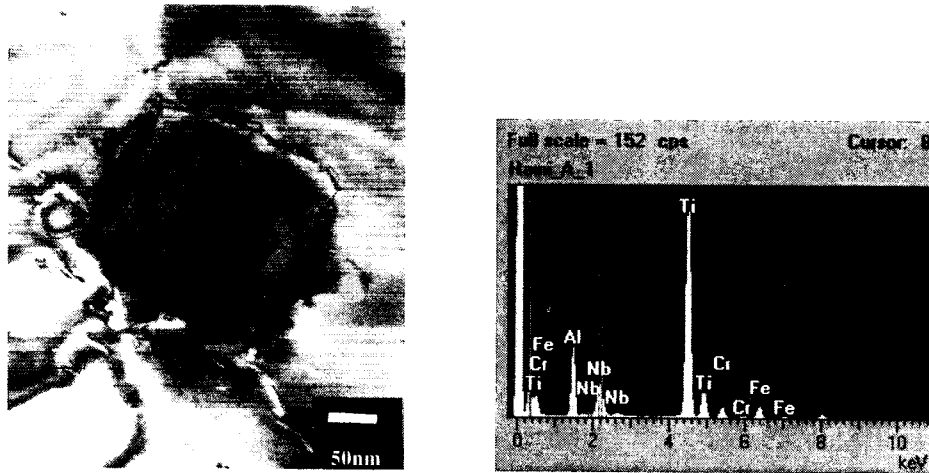


Figure 2. TEM thin foil image of $Ti(C,N)$ and precipitate analysis by EDS

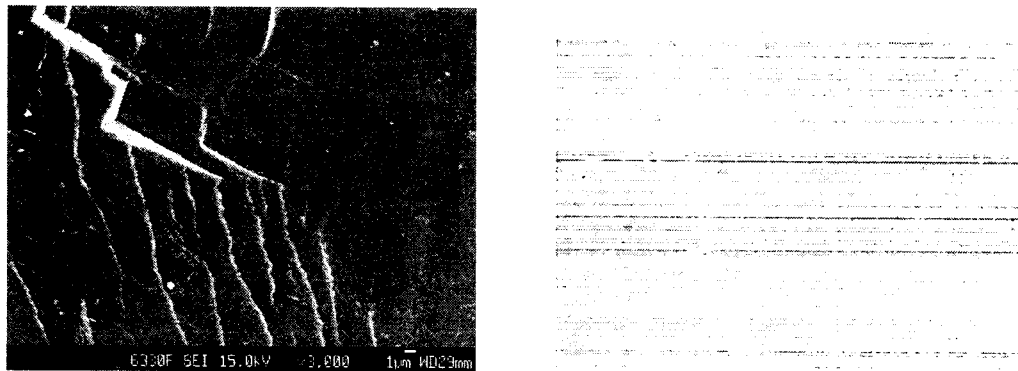


Figure 3. Crack propagation mechanism of welded metals
(a) Alloy type no. 7 (b) Alloy type no. 9