

Al, Mn을 활용한 Cr-free 경량-저비중 스테인리스강
Light-Low density of Cr-free stainless steel by Al&Mn

김유상^{1*}

¹한국과학기술정보연구원 ReSEAT 전문연구위원 (E-mail:ysk2000@hanmir.com)

초 록: Al과 Mn을 활용한 저비중 경량 스테인리스강에 관한 연구가 진행되고 있다. 경제적으로 고가의 Cr을 대체하거나 소량 첨가함으로써 유해성 6가 크롬발생을 감소시킬 수 있는 기술이다. Ti, Al, Nb을 첨가하여 비중을 낮추고 경량화 함으로써 자동차, 산업플랜트, 해양선박, 플랜트에 사용할 수 있으며 에너지 연료를 절감할 수 있다. 열처리 냉각속도가 빠를수록 미세한 ferrite조직으로 된다. 본고에서는 Al, Mn을 활용한 Cr-free경량-저비중 스테인리스강의 기술동향을 중점 분석하였다.

1. 서론

스테인리스강은 일반적으로 녹슬지 않는 강으로 알려져 있지만 취급방법에 따라서 녹슬지 않는 강이기도 하고 녹슬기 어려운 강이기도 하다. 염분이 많은 해안지대나 공장지대의 선박이나 해양발전 장치에는 스테인리스강이 효과적이다. 2007년 유럽의 유해물질 제한지침(RoHS; Restriction of Hazardous Substances)에 따라 6가 크롬을 함유한 제품은 전면 수출이 금지되었다. Mn은 크리프강도를 향상시키며 Al은 결정립을 미세하게 하는 특징이 있다. 또, Mn, Mo, Cr, B, P, Si, Ni, V, W 등은 항온변태선도(TTT; Time Temperature Transformation diagram)를 장시간축으로 이동시키는 소입성의 개선효과¹⁾가 있다. 스테인리스강은 크롬을 첨가하여 내식성을 증대시킨 비자성의 Austenite강이다. 종래에는 Cr 12~18%, Ni 7~10%, C 0.2%이하를 함유하며 내식성, 내열마모 향상을 위하여 Cr대신에 Mo, W, Ti, Co을 첨가하여 ferrite형으로 제조한다. 스테인리스 새시나 용접강재에 Blast, Wire Brush, Grinding, Buff연마와 산세로써 산화스케일을 제거하지만 해안의 대형구조물에서는 녹이 발생한다. 황(S)을 10ppm 이하로 낮추고 스테인리스와 접촉하는 금속을 비(base)하게 하고 상대 표면적을 크게 하면 붉은 녹은 발생하지 않는다. Si-Al을 첨가한 강²⁾의 내층에는 Al-Si를 함유한 나노철산화물 층이 많이 생겨 염분과 물의 투과를 저하시키고 전기화학적으로 높은 녹 저항과 부식 저항이 생겨 내식성이 증가한다.

2. 본론

Al과 Mn은 강중의 산화, 부식저항을 증가시키고 austenite를 안정화한다. Mn은 <그림 1(c)>³⁾와 같이 Ni, Co, Rh, Pd, Os, Ir, P와 같이 비자성의 austenite개방형 원소로서 Fe-Mn-C, Fe-Mn-Al-C형으로 합금하여 Al과 함께 고강도 고연성 목적의 변태유기소성(TRIP; Transformation Induced Plasticity)강으로 개발되고 있다. Fe-Mn-Al-C형 합금강은 ferrite+austenite나 austenite상으로서 F.C.Chen⁴⁾은 Al을 첨가하지 않은 Fe-24wt%Mn-0.12wt%C합금에서 α' martensite변태 없는 ϵ martensite변태가 일어남을 확인하였다. 고가의 Cr과 Ni을 함유하지 않는 Cr free 스테인리스강으로서 피로저항이 크며 경제적이다. 내식성 향상을 위하여 Ti, Nb, Ta 등을 첨가하기도 한다. Ferrite계의 스테인리스강이 austenite스테인리스강보다 인성과 연성이 낮고 내식성이 떨어지는 이유는 C, N함량이 높기 때문이다. 아르곤-산소탈산법이나 진공탈산법을 이용하고 Ti도는 Nb를 첨가하면 성형성, 용접성, 내식성 및 인성을 개선한 강이 고순도 ferrite스테인리스강이다. Lai와 Wan⁵⁾은 내식성이 뛰어난 극저온의 austenite Fe-Mn-Al강의 변형을 연구하였다. Fe-30wt%Mn합금을 길이 50mm, 두께23mm로 가공하여 Amsler Vibrophore공명시험과 파괴인성을 측정했다. 피로크랙성장(FCG; Fatigue Crack Growth)과 파괴거동에 관한 연구결과를 선박구조에 적용하였다. 사용재료는 0.45%C, 17Mn, 3Al, 0.5Cr과 0.5Ni합금이며 공기유도로를 사용하여 용해했다. 100°C에서 36시간동안 균질화 처리 후, 1,150°C, 25mm두께로 열간 단조하였다. 일부 시료는 1,000°C, 8mm두께로 열간 압연했다. 3mm두께의 평판시료를 10mm폭과 50mm길이로 하여 1.6×10⁻⁴sec속도로 인장시험을 실시했다.

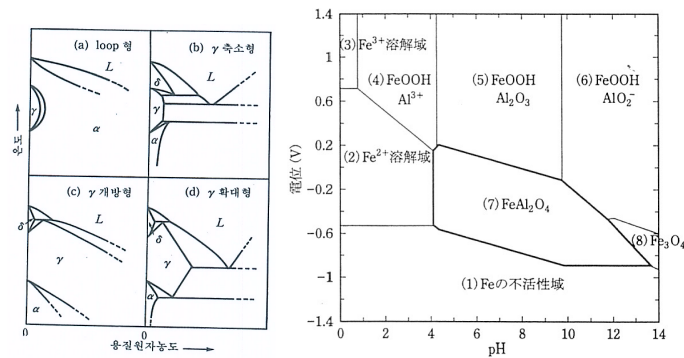


Fig 1. Fe-M계 상태도³⁾ Fig 2. Fe-Al계 2원 전위-pH도⁶⁾

선박, 교량구조용으로서 저탄소, 저망간강의 디강(Ducol-steel)이 있다. 항복점과 인장강도가 매우 높고 전연성 감소가 적기 때문에 철골, 교량구조나 합선용 부품용이며 성분은 C 0.18 ~ 0.32%, Mn 0.8 ~ 2.0%, Cu 0.5%이다. 1985년 Allison, J.E.와 Williams, J.C.⁷⁾는 온도증가에 따른 Ti-Al합금의 균열전과 저항성, Ishii, H.와 Weertman⁸⁾은 Cu와 Cu-Al단결정의 균열전과 저항특성에 대하여 연구한 결과, Ni-Cr free austenitic steel을 대체할 수 있는 가능성을 제시해 주었다. Si, Cr, Mn첨가로 용해도가 감소하고 반대로 Al첨가로 증가한다. 합금원소 Al의 넓은 용해도범위는 저비중, 경량소재로 활용할 수 있는 가능성을 제시해 주고 있다.

Mn강의 기계적 성질은 Ni, Ni-Cr강에 비해서 떨어지나 가격이 저렴하여 교량재료 및 철재로 사용된다. 내식성 향상을 위하여 Ti, Nb, Ta을 첨가한다. Fe-Al계 화합물의 내식성을 열역학적인 생성자유에너지(ΔG)로써 규명하였다. 내식성, 즉 화학적 안정성을 <그림 2>와 같이 2원계의 전위-pH도(Pourbaix Diagram)로써 확인하였다. ΔG 가 최소인 내층에 $FeAl_2O_4$ 복합화합물 부동태 피막이 생성되어 Fe가 불활성하게 되어 염분이 많은 해안에서도 녹슬기 어렵게 된다. 향후 Cr대신에 Ni, Al, Si, Ti, Nb를 첨가하여 내식성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

3. 결론

Nb, Ta, Mo, W 희소금속(Rare Metal)은 초경량 고강도 저합금강과 고합금강, 스테인리스강, 내열강, 공구강용이며 미래의 고급철강재·IT융합제품의 자원절약과 에너지절감에 필수적인 원소이다. 한국과 일본은 고용점 Nb, Ta, Mo, W 금속자원이 부족하여 브라질, 중국, 호주에서 수입에 의존하고 있는 실정이다. 닛산자동차⁹⁾는 최근 저가의 Cr free저비중 강판의 새로운 차체용 고강도 알루미늄합금을 개발했다. 2001년부터 Al-Mg-Si계의 합금을 프론트 후드, 드링크 두껍의 외부패널, 내부패널에 채용하였다. 현재까지 프레스 성형하는 차체용 알루미늄합금으로서 Al-Mg계를 주로 사용했지만 Mg함량을 높일 수 없었다. 아르헨티나 부에노스아이레스 Av. Libertador 8250재료연구실에서는 Al과 Mn을 함유한 austenite스테인리스강의 초소성에 관한 연구를 진행중이다. Al은 C, N과 같이 austenite결정립의 재결정 성장을 억제하는 능력이 있다. Mn, C, N은 austenite은 austenite안정화 원소이며 Cr, Mo, Si, Ti, Nb등은 ferrite생성원소이다. Ti, Nb, Mo는 스테인리스강의 내식성을 증가시키며. Cr대신에 ferrite에 고용시켜 사용할 수 있다. Mn, Ni, Mo는 pearlite층간거리를 짧게 하며 스테인리스강의 내식성향상, 경량화와 함께 향후 에너지절약과 친환경적인 미래의 산업발전에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 양훈영, 신금속재료학, (2011), 198~199
2. NISHIMURA Toshiyasu, 金屬, 81(2011), 661~665
3. 양훈영, 신금속재료학, (2011), 192
4. F.C.Chen, P.Li, S.L.Chu, C.P.Chou., Scripta METALIURGICA et MATERIALIA, 25(1991), 585~590,
5. H.J.Lai and C.M.Wan, Scripta Met., 23(1989), 179,
6. NISHIMURA Toshiyasu, , 金屬, 81(2011), 661~665
7. Allison, J.E & Williams, J.C., Scripta. Metall., 19(1985), 773~778
8. Ishii, H. & Weertman, J., Metall. Trans., 2(1971), 3441~3452
9. <http://cafe.naver.com/cadcam/827>