

---



---

 논문
 

---



---

## 셸 몰드 주조한 SSC13 엘보우 피팅 주강의 고용화율에 따른 델타 페라이트 분율 변화와 내부식특성

김국진 \*\*\* · 임수근 \*\*† · 주형규 \*\*\* · 박성준 \*\*\*\*

\*㈜하이스텐, \*\*경상대학교 대학원 재료공정융합과, \*\*\*가천대학교 나노물리학과, \*\*\*\*가천대학교 바이오나노연구원

### Effect of Austenitizing Ratio on the Delta Ferrite Volume Fraction and Corrosion Resistance of Shell Mold Cast SSC13 Elbow Fitting

Kuk-Jin Kim\*\*\*, Su-Gun Lim\*\*†, Heong-kyu Ju\*\*\* and Sung-Joon Pak\*\*\*\*

\*HI-STEN Co., Ltd., Gimhae 50877, Korea

\*\*Dept. Materials Manufacturing processes, Graduate School, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

\*\*\*Dept. of Nano-Physics, College of Bionanotechnology, Gachon University, Sungnam 13120, Korea

\*\*\*\*Gachon BioNano Research Institute, Gachon University, Sungnam 13120, Korea

#### Abstract

In this study, the measurement of FN (ferrite volume fraction) and the solution annealing ratio at a temperature of 1130°C were determined with 15A elbow fittings of shell cast SSC13, and the corrosion resistance with and without austenitizing solution annealing were investigated in comparison with AISI304. The delta ferrite phase was observed in the material due to the slow cooling effect of the shell mold casting. However, the delta ferrite phase decreased gradually with the solution annealing at a temperature of 1130°C. The hardness generally decreased with a heat treatment; however, its corrosion resistance was improved with the heat treatment. In addition, when a passivation treatment was applied, its corrosion ratio showed the lowest value. The pattern of general corrosion decreased due to the decrease in the delta ferrite phase with the solution annealing treatment. Consequently, it is suggested that the corrosion resistance of SSC13 elbow fittings can be improved by increasing the ratio of any solution annealing treatment used and by decreasing the ferrite phase. The relationship between the ratio of solution annealing and delta ferrite is expressed as follows: SA (solution annealing ratio,%) = 98 - FN (ferrite volume fraction, %).

**Key words :** Shell mold, SSC13, Solution annealing ratio, Delta ferrite ratio, Corrosion resistance

#### 1. 서 론

그 동안 주철 등의 합금은 오래 전부터 배관 및 관이음쇠 제품에 사용되어왔으나 스테인리스강의 사용은 그 역사가 오래되지 않았으며 특히 재료 개발은 더욱 최근이라 할 수 있을 것이다[1]. 스테인리스 강의 주요 성분인 Cr은 내식성이 우수하므로 다양한 종류의 스테인리스강 합금이 제작되어 경수로 재료 등 각종 구조물에 광범위하게 사용되어지고 있다 [2]. 뿐만 아니라 선박, 해수 파이프, 건설구조용과 고온재료

에 이용하기도 한다[3-6]. 그러나 최근 환경오염의 증대와 더불어 각종 산업구조물에 사용되는 스테인리스강 합금의 경우 더욱 더 우수한 기계적 및 내부식 특성을 요구하고 있다. 그 중에서 SSC13 합금은 우수한 내부식성과 강도를 가지고 있어 가장 널리 사용되는 스테인리스강 합금이다. 그러나 이 합금 주강품은 열처리를 하지 않으면 제품의 부식 특성에 많은 영향을 미치게 되며, 이러한 특성은 합금의 탄소량이 증가할수록 비례관계로 증가하는 것으로 보고되고 있다[7]. 이의 원인으로는 취약한 델타 페라이트 상이 생성되는 것으로

Received: May. 21, 2015 ; Revised: Aug. 12, 2015 ; Accepted: Aug. 12, 2015

†Corresponding author: Kuk-Jin Kim (HI-STEN Co., Ltd)

Tel: +82-55-329-0837, Fax: +82-55-329-0841

E-mail: histen\_m@histen.co.kr

Journal of Korea Foundry Society

2015. Vol. 35 No. 5, pp. 109~113

<http://dx.doi.org/10.7777/jkfs.2015.35.5.109>

pISSN 1598-706X / eISSN 2288-8381

© Korea Foundry Society, All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

알려져 있다[8]. 주강품의 경우 내부식성 및 기계적 성질을 높이기 위해 열처리를 실시하는 경우가 많다[9]. 한국주물공업협동조합의 스테인리스 주강품 규격인 SPS-KFCA-D4103-5006에서 살펴 볼 수 있듯이 고용화 열처리의 조건과 그 기계적 성질에 관하여는 비교적 자세하게 나와있지만 고용화 열처리의 여부판단 기준이 없으며 내부식성과의 관계도 명확히 나와있지 않다. 이에 금속조직검사를 하지 않고 고용화와 델타 페라이트 분율과의 상관 관계를 통해 고용화 열처리 여부를 판단하려 하고 델타페라이트 분율변화에 따른 내부식성변화를 알아보려는 연구가 진행되고 있다[10]. 본 연구에서는 SSC13 스테인리스강을 셀 구조하여 중공형 소형 관이음쇠를 제작하고, 선행 연구 결과에 대한 심화연구 및 일반 AISI304 제품과의 비교를 통하여 스테인리스 주강품의 고용화 열처리 효과를 고찰해 보았고 고용화 열처리 전후 금속조직에서의 페라이트 분율에 따른 손쉬운 고용화율 계산식을 도출해 보았다.

## 2. 실험 방법

SSC13을 고주파용해로에서 용해한 후에 주조하였다. 주형외부는 자연 냉각하였고, 주조재는 실제 상하수도관 등에 사용되는 중공형 소형 엘보우 형태의 관이음쇠(이하 시험편)이며 주조재의 화학적 조성은 Table 1과 같다. 그리고 이들 시험편을 설정온도  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 로 제어되는 열처리로에 장입하고  $1130^{\circ}\text{C}$ 의 열처리온도에서 10분동안 각각 유지한 후에 급냉하였다. 열처리가 완료된 시험편은 두께가 3 mm 가 되는 부위로 두께 방향과 수직이 되는 방향으로 고속의 수냉 회전커트기로 절단하였다. 절단된 면은 연마 및 정마하여 경도 측정, 미세조직을 관찰하고 내식성에 대한 화학적 실험을 실시하였다. 경도 측정은 대경사제 모델의 브리넬 경도기를 사용하였고, 평면으로 연마된 한 개의 시험편에 대하여 4 점의 측정위치에서 브리넬 경도를 측정하였다. 한편, 미세조직을 관찰하기 위하여 다이아몬드로 연마하여 평탄한 거울면을 얻은 후에 칭액 (질산:염산 = 3:1)에 침지하고 에칭이 완료된 후에는 세정하고 건조시켰다.

그리고 내식성 실험을 위해 시험편을 샌드페이퍼로 연마한 후 시험편을 제작하여 ASTM A 262 시험 및 염수분무시험을 하였다. 부식생성물에 의한 실험결과의 오차를 최소화 하기 위해 질산용액을 유동시키면서 측정하였다. ASTM A 262에 근거한 실험 장치에 의해 부식 전 무게와 부식 후 무게 변화를 관찰하였다. 실험에 사용된 측정장치는 Fischer사의 페라이트 측정기를 사용하였다. 페라이트 함량의 변화에 따른

Table 2. List of test conditions for specimens.

Specimen No.	Test conditions
1	No solution annealing & natural passivation
2	Solution annealing & natural passivation
3	Solution annealing & 10 second passivation at $34^{\circ}\text{C}$
4	Solution annealing & 10 second passivation at $23^{\circ}\text{C}$
5	AISI304

자기적 성질의 변화를 측정하기 위하여 Severn Engineering Co.의 투자율 측정기를 사용하였으며 부식된 표면사진은 니콘 금속전자현미경으로 400 배율로 관찰하였다. 최종적으로 준비된 시험편의 실험 조건은 Table 2와 같이 5종류이었다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 기계적 성질에 대한 고찰

Fig. 1은  $1130^{\circ}\text{C}$ 의 일정 온도에서 열처리한 후 급냉하였을 때, 열처리에 따른 브리넬 경도 측정값을 나타내고 있다. Fig. 1에서 알 수 있듯이  $1130^{\circ}\text{C}$ 에서 열처리한 경우 열처리하지 않은 경우에 비해서 낮은 경도 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 5번 시험편(AISI304)은 이미 고용화 열처리된 제품이므로 열처리 이후 시험편으로 간주하고 그 측정값만 나타내었다.

Fig. 2는 열처리 하지 않은 주강품의 광학현미경 조직사진을 보여주고 있는데 오스테나이트 스테인리스 합금에 대한 상태도와 연속냉각에 의한 상변태 곡선에 의하면[8] Fig. 2

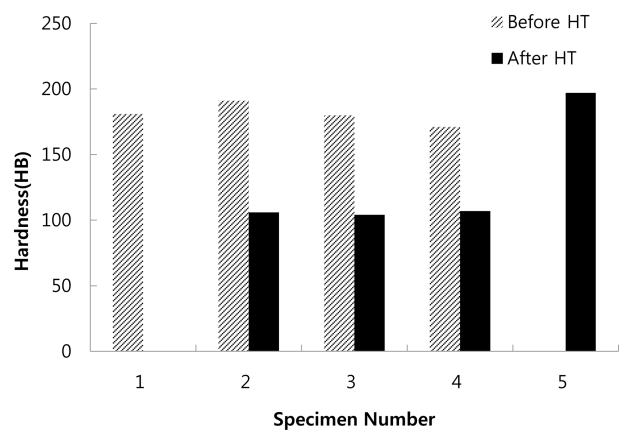


Fig. 1. Brinell hardness of specimens before and after solution annealing.

Table 1. Chemical composition of casting specimen (wt.%).

Elements	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
Composition	0.076	1.299	0.836	0.028	0.002	8.243	18.198

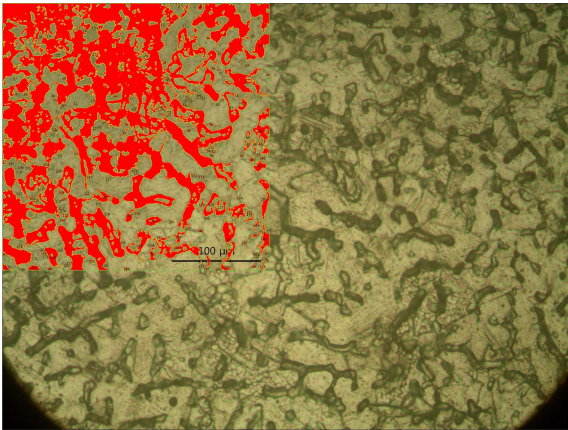


Fig. 2. Optical microstructures of specimen 1 before austenitizing (Austenitizing ratio is 87%).

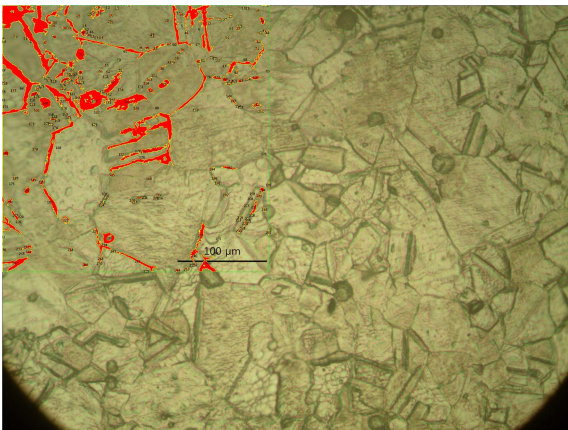


Fig. 3. Optical microstructures of the specimen 1 after 10 minutes at 1120°C (Austenitizing ratio is 97%).

에서 나타나는 밝은 영역의 백색이 오스테나이트 상이다. 또한 Fig. 2에서 짙은 선이 델타 페라이트 상이다. 오스테나이트화율(이하 고용화율)은 이미지 분석에 의하면 87%를 보였다.

Fig. 3는 1130°C에서 10분간 유지했을 경우의 조직사진의 변화를 보여주고 있다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 고용화 열처리에 의해서 고용화율이 97%로 증가하는 경향이 있음을 알 수 있다. 결국 1130°C 열처리에 의해 델타 페라이트 분율이 감소하고 고용화율이 증가하는 것으로 판단된다. 그리고 일부 annealing twin과 재결정이 관찰되는데 이는 시편가공 중 응력이 일부 가해진 것으로 보인다.

### 3.2 내식성에 대한 고찰

Fig. 4는 1130°C에서 10분 유지한 각 시험편의 두께에 따른 델타 페라이트 분율 변화를 나타내고 있다. 열처리 후의 3번 시험편의 경우 낮은 페라이트 분율을 나타내고 있으며 열처리 전 4번 시험편이 가장 높은 페라이트 분율을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그리고 열처리에 따라 페라이트 함량

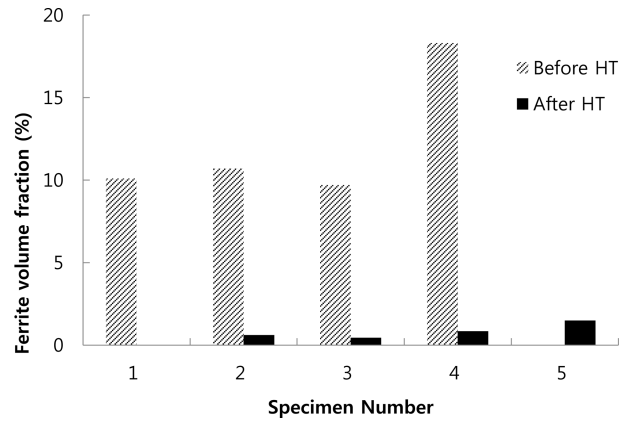


Fig. 4. Ferrite volume fraction(%) of specimens before and after the solution annealing.

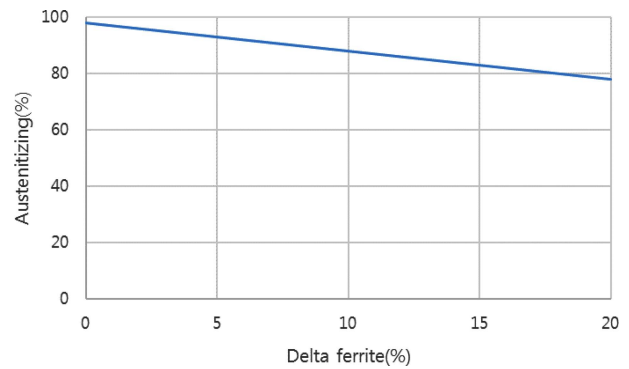


Fig. 5. Relationship between austenitizing ratio(%) and delta ferrite ratio(%).

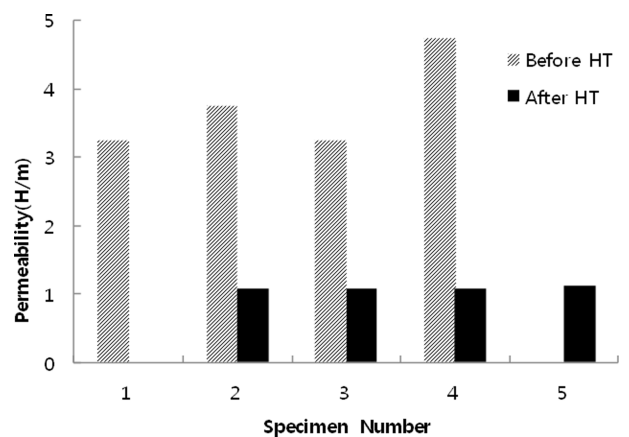


Fig. 6. Permeability( $\mu$ ) of specimens before and after the heat treatment.

은 낮은 값을 나타내는 경향이 있음을 알 수 있었다. Fig. 2과 Fig. 3의 조직사진에서 알 수 있듯이 열처리를 하지 않은 경우 결정립이 미세하고 델타 페라이트 상이 많이 존재하며 특히 결정입계에 델타 페라이트 상이 많이 존재하고 있음

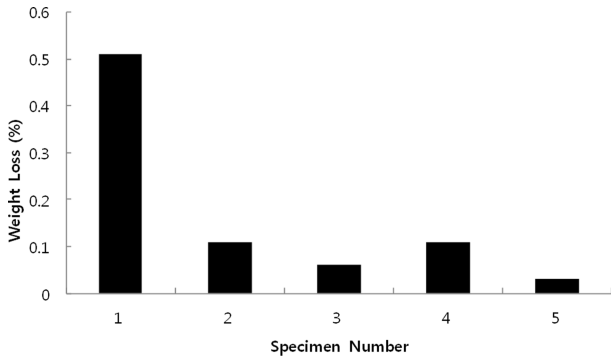


Fig. 7. Relationship between weight loss(%) and the specimens with or without solution annealing.

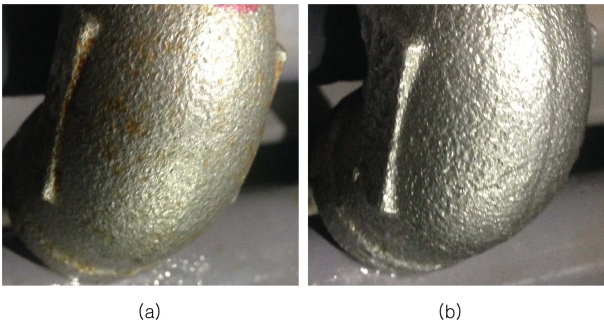


Fig. 8. Variation with salt spray test; (a) Non-solution annealed specimen, (b) Solution annealed specimen.

을 알 수 있었다. 그리고, 시편 2의 고용화율과 페라이트 분율을 비교해 보면 열처리 전에 87:11 그리고 열처리후에 97:1 정도로 매우 밀접한 상관관계를 보였다.

Fig. 5은 오스테나이트 고용화율과 델타 페라이트 분율의 관계를 나타낸 그림으로서 고용화율은 다음식으로 나타낼 수 있다. 실제 고용화율은 100%가 될 수 없으므로 실험 결과에서 유추한 값을 바탕으로 페라이트 함량이 0%인 경우에도 98%로 설정하였다.

$$\text{고용화율(\%)} = 98 - \text{FN (델타 페라이트 분율)}$$

Fig. 6에서 알 수 있듯이 열처리를 한 경우가 열처리를 하지 않은 경우에 비해서 투자율이 5 H/m에서 1 H/m로 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 상자성체 성질을 가지고 있는 페라이트 분율이 감소하는 것과 일치 한다. 일반적으로 델타 페라이트 상이 고용화 열처리에 의해 오스테나이트화가 진행된 것으로 평가된다. 따라서 열처리 시험편이 정성적으로 투자율이 낮은 것으로 판단할 수 있으리라 생각된다. 투자율은 일반적으로 델타 페라이트상의 자기적 성질에 비례하므로 이와 같은 결과를 보인 것으로 생각 된다.

Fig. 7은 1130°C에서 열처리 후 부동태 처리에 따른 부식률 변화를 보여주고 있으며 Fig. 7은 염수 분무 시험 결과

를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 열처리 전후 부식률 변화가 있음을 알 수 있으며 열처리직후 10초 부동태 처리 3번 시험편이 주강품 중에서 가장 적은 값을 나타내고 있으며 5번 시험편 AISI304 봉강의 내부식성에 근접하였다. 자연 부동태 처리 2번 시험편 그리고 열처리 후 15분 냉각 후 10초 부동태 처리 4번 시험편이 동일한 값을 나타내고 있으며 열처리하지 않은 0번 시험편의 경우가 가장 큰 값을 나타내고 있다. 그리고 열처리에 따라 내부식성은 높은 값을 나타내는 경향이 있음을 알 수 있었다. 일반적으로 부식이 해수용액에서 낮은 값을 나타내면 염소이온에 의한 피막의 파괴가 억제되어 정성적으로 내부식성이 좋은 것으로 평가된다. 따라서 열처리 직후 10초 부동태 처리 3번 시험편이 주강품 중에서는 정성적으로 내부식성이 좋은 것으로 판단할 수 있으리라 생각된다.

열처리하지 않은 1번 시험편에서는 델타 페라이트 상에 의해 부식률이 증가하는 것으로 생각된다. 그리고 열처리에 의해 결정립은 조대화되고 점진적으로 델타 페라이트 상은 감소하여 부식률은 감소하는 것으로 판단된다[10].

Fig. 8은 염수 분무 시험 후 관찰한 부식된 표면상태를 보여주고 있다. 열처리를 하지 않은 경우 표면에 일종의 부식 현상이 나타나고 있음을 알 수 있다. 그리고 열처리에 의해서 점차 부식현상이 감소하는 경향이 있으며 열처리 시험편에서는 부식이 거의 관찰되지 않았다. 전술한 바와 같이 열처리를 함으로써 결정립이 조대화되고 점진적으로 델타 페라이트 상은 감소하여 입계부식이 억제되는 것으로 생각된다. 결과적으로 고용화 열처리에 의해서 내부식성의 개선효과를 얻을 수 있다고 판단되었다.

### 4. 결 론

지금까지 셀 몰드 주조한 중공형 소형 엘보우 피팅 SSC13 스테인리스 주강을 1130°C의 일정한도에서 열처리했을 때 고용화율과 델타 페라이트 분율의 상관관계 및 내부식성에 미치는 효과에 대해서 비교 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 주강품의 경우 열처리를 한 경우 열처리를 하지 않은 경우에 비하여 25% 정도의 경도 저하가 있었다.
- 2) 셀 몰드 주조에 사용되는 금형이 서냉되기 때문에 서냉에 의한 효과로 인하여 주조재의 조직에서 델타 페라이트 상이 관찰되었다.
- 3) 열처리에 의해서 오스테나이트화는 97% 되었으며, 델타 페라이트 상이 2.0% 이하로 저하되어 내부식성의 향상이 되었다.
- 4) 따라서, 두께가 얇은 중공형 소물 SSC13 소재 주물에서 고용화율이 증가함에 따라 델타 페라이트 분율은 감소하고 내부식성은 증가하였다. 즉, 고용화율(%) = 98 - FN (페라이트 분율)과 같은 상관 관계를 유추할 수 있었다.

## References

- [1] A.M. Staines, Heat Treatment of Metals, **4** (1990) 85.
- [2] Norio Nagata, NRIM, Japan, "Environmentally Assisted Cracking of Structural Materials for Light Water Reactors", (1994) 2.
- [3] G. Waller and D. J. Cochrane, NiDI Technical Series "Stainless steel for durability, fire-resistance and safety", No.10042.
- [4] E. C. Bain, R. H. Aborn and J. J. b. Rutherford, Trans. Amer. Soc. Steel Treat., **21** (1933) 481.
- [5] S. J. Bullard, D. E. Larson and J. S. Dunning, Corrosion, **48**, (1992) 891.
- [6] Yu SK, Lee KW and Ra TY, J. Korea Foundry Society, "Effect of the solution Treatment & Aging Treatment on the Microstructure & Mechanical property of 17-4 PH Stainless steel", **12** (1992) 397.
- [7] A. Wahid, D.L. Olson, D.K. Matlock and C.E. Cross, "Corrosion of Weldments", Metals Handbook, Vol 6, 1st. ed., ASM International, (1993) 1065-1069.
- [8] C. Z. Wanger, Phys. Chem., **21** (1933) 25.
- [9] Kim DH, Van GH, Seong BH, Cho BH, Eom JP, Park SG and Lim SG, J. Korea Foundry Society, "Effect of Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of the Gravity Cast Superchargers Housing Using A356 Aluminum Alloy", **5** (2014) 32.
- [10] Kim KJ, Lim SG and Pak SJ, Corrosion Science and Technology, "Effects of the Solid Solution Heat Treatment on the Corrosion Resistance Property of SSC13 Cast Alloy", **14** (2015) 93.