

SSC13 주강품의 내부식특성에 미치는 고용화 열처리 영향

김 국 진^{1,†} · 임 수 근² · 박 성 준³¹(주)하이스텐²경상대학교 대학원 재료공정융합과³가천대학교 바이오나노연구원

(2015년 2월 2일 접수, 2015년 4월 27일 수정, 2015년 4월 27일 채택)

Effects of the Solid Solution Heat Treatment on the Corrosion Resistance Property of SSC13 Cast Alloy

Kuk-Jin Kim^{1,†}, Su-Gun Lim², and S. J. Pak³¹Hi-Sten Co., Ltd., Gimhae City, Korea²Dept. Materials Manufacturing Processes Graduate School, Gyeongsang National University, 501 Jinju Main Street, Jinju, 660-701³Gachon BioNano Research Institute, Gachon University, Sungnam City, Korea

(Received February 02, 2015; Revised April 27, 2015; Accepted April 27, 2015)

Recently, Stainless steels have been increasingly selected as the fitting or the valve materials of water pipes as the human health issue is getting higher and higher. Therefore, the connectors attached at pipes to deliver water are exposed to more severe environments than the pipes because crevice or galvanic corrosion is apt to occur at the fittings or the valves. Effects of the solid solution annealing, cooling rate after this heat treatment, and passivation on the corrosion properties of the shell mold casted SSC13 (STS304 alloy equivalent) were studied. The heating and quenching treatment more or less reduced hardness but effectively improved corrosion resistance. It was explained by the reduction of delta ferrite contents. Independent of heat treatment, the chemical passivation treatment also lowered corrosion rate but the improvement of corrosion resistance depended on temperature and time for passivation treatment indicating that the optimum conditions for passivation treatment were the bath temperature of 34 °C and operating time of 10 minutes. Therefore it is suggested that the corrosion resistance of SSC13 can be effectively improved with the heat treatment, where SSC13 is heated for 10 minutes at 1120 °C and quenched and passivation treatment, where SSC13 is passivated for at least 10 seconds at 34 °C nitric acid solution.

Keywords : SSC13, ferrite content, fittings, heat treatment, passivation

1. 서 론

상하수도 배관에서 사용되는 관이음쇠 및 밸브의 부식에 의해 발생하는 녹은 수도물의 안정성과 수질에 큰 영향을 끼치고 누수를 상승의 주요 요인이 되므로 국민 생활 건강 및 경제에 파급되는 영향이 크다. 이로 인해 토양 환경 등에 대한 내부식성과 기계적 성질이 우수한 스테인리스강이 배관뿐만 아니라 관이음쇠 및 밸브 재료로 사용되는 추세이다. 하지만 스테인리스강 주강품의 경우 다양한 제조 조건에 따라서 내식성이 달라진다. 우수한 내식성을 지닌 스테인리

스강 주강품의 개발을 위해서는 새로운 기술 표준의 제정이 필요하다. 그 동안 주철 등의 합금은 오래 전부터 사용되어 왔으나 스테인리스강의 사용은 그 역사가 오래되지 않았으며 특히 상수도 분야에서 재료는 최근에 개발되었다¹⁾. 스테인리스강의 주요 성분인 크롬은 내식성이 우수하므로 다양한 종류의 스테인리스강 합금이 제작되어 경수로 재료 등 각종 구조물에 광범위하게 사용되고 있다²⁾. 뿐만 아니라 우수한 내식성으로 인하여 의료, 선박, 해수 파이프, 건설구조물과 고온재료에 적용되어왔다³⁻⁴⁾. 그러나 최근 환경오염의 증대와 더불어 각종 산업구조물에 사용되는 스테인리스강 합금의 경우 더욱 더 우수한 기계적 및 내부식성 특성을 요구하고 있다. 그 중에서 SSC13 합금은 우수한 내부식

[†] Corresponding author: histen_m@histen.co.kr

Table 1. Chemical composition of stainless steel casting material (SSC13)

(wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
SSC13	0.07	1.29	1.11	0.02	0.01	8.26	18.22

Table 2. Summary on treatments used for these tests

Treatment No.	Heat Treatment	Passivation
1	No heat treatment	No passivation
2	Annealing and quenching	No passivation
3	Annealing and quenching	Passivation for 10s at 34 °C
4	Annealing and quenching	Passivation for 30s at 34 °C
5	Annealing and quenching	Passivation for 60s at 34 °C
6	Annealing and quenching	Passivation for 10s at 23 °C
7	Annealing and quenching	Passivation for 30s at 23 °C
8	Annealing and quenching	Passivation for 60s at 23 °C

성과 강도를 가지고 있어 가장 널리 사용되는 스테인리스강 합금이다. 스테인리스 주강품의 경우 내부식성 및 기계적 성질을 높이기 위해 고용화 열처리를 실시하는 경우가 많다. 한국주물공업협동조합의 스테인리스 주강품 규격인 SPS-KFCA-D4103-5006에 언급된 바와 같이 고용화 열처리의 조건과 관련 열처리에 따른 기계적 성질에 관해서는 자세 히 언급되어있지만 열처리에 따른 내식성의 변화와 내식성의 판정 기준에 대하여는 언급되어 있지 않다. 이외에 현재 주강품의 고용화 열처리 필요성에 대한 인식 부족 및 비용 문제로 대부분의 업체에서 열처리가 시행되지 않는다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 스테인리스강(SSC13)을 셀 몰드 주조하여 관이음쇠를 제작하고, 고용화 열처리 후 금속 조직에서의 페라이트 함량이 내부식성에 미치는 영향과 페라이트 함량에 따른 고용화 열처리의 판정 유무에 대하여 고찰해 보았다.

2. 연구 방법

SSC13을 고주파용해로에서 용해하여 주조한 이후 주형 외부를 공냉하였다. 주조재는 실제 상하수도관에 사용되는 50 A의 90도 엘보우 형태의 관이음쇠(이하 시편)이며 주

조재의 화학적 조성은 Table 1과 같다. 시편을 설정온도대 비 ± 2 °C 이내로 제어되는 열처리 노에 장입하고 1120 °C에서 10 분 동안 유지시켰다. 이후 Table 2에 표시된 바와 같이 시편을 급냉하였다. 열처리가 완료된 시편은 두께가 7.7 mm, 3 mm 가 되는 부위로 두께 방향과 수직이 되는 방향으로 마찰열을 방지하기 위해 밴드쏘를 사용하여 절단하였다. 절단된 면은 연마하여 경도 측정하고, 에칭액 (질산:염산 = 3:1) 을 사용하여 미세조직을 관찰하고 ASTM A 262-02C 에 언급된 오스테나이트 스테인리스강 부식 감수성 탐지를 위한 질산 시험에 따라 질산 65 % 용액을 사용하여 스테인리스강 내식성에 대한 화학적 실험을 실시하였다. 내식성 실험 전에 Table 2에 표시된 바와 같이 일부 시편은 질산 5 % 용액에서 23°C 와 34°C에서 부동태 처리를 실시하여 부동태 처리에 따른 내식성 변화를 조사하였다. 또한, 염도가 4.6 %인 온도 25 °C 염수에서 2 시간 최대 속도 분무 시험 후 관찰한 부식된 표면상태를 보여주고 있다.

페라이트 측정실험에 사용된 측정장치는 Fischer사의 페라이트 함량 측정기를 사용하였다. 부식된 표면사진은 멀티미디어 영상현미경(Nikon사)으로 400 배율로 관찰하였다.

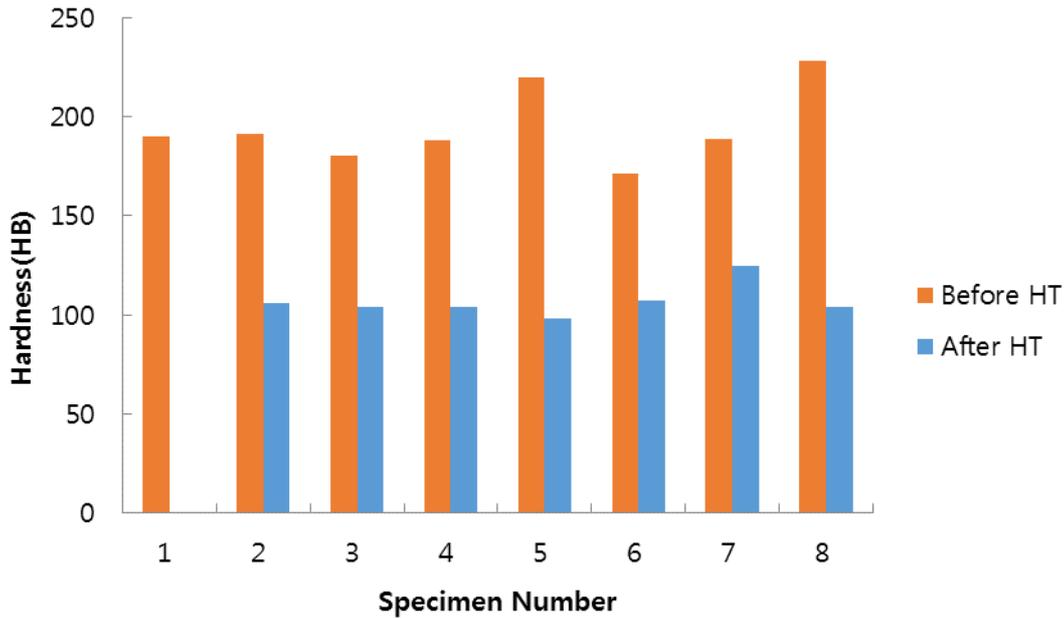


Fig. 1. Brinell hardness of specimens before and after annealing at 1100 °C for 10 minutes.

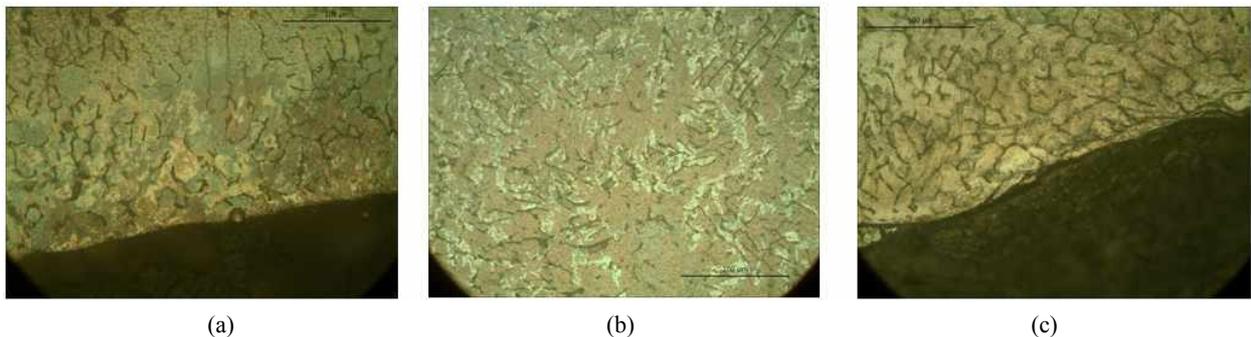


Fig. 2. Optical microstructures of (a) inner cross sectional area, (b) middle cross sectional area and (c) outer cross sectional area of shell mold casted SSC13 alloy (Scale bar indicates 100 μm).

3. 연구결과 및 고찰

3.1 기계적 성질에 대한 고찰

Fig. 1은 1120 °C에서 10 분 유지후 급냉한 열처리 유무에 따른 경도 값을 나타내고 있다. 열처리를 하지 않은 시편은 SPS-KFCA-D4103-5006에서 규정한 183이하의 경도 유지를 대부분 위배하였으나 열처리 이후에는 모든 시편이 SPS-KFCA-D4103-5006의 경도 규정을 만족시켰다.

Fig. 2는 열처리 하지 않은 주조재의 400배 광학현미경 조직사진을 보여주고 있다. 오스테나이트 스테인리스 합금에 대한 상태도와 연속냉각에 의한 상변태 곡선⁵⁾으로부터 Fig. 2에 나타난 백색의 밝은 영역은 오스테나이트 상이며 짙은 선은 델타 페라이트 상임을 보여준다. 낮은 냉각속도에서 관찰되는 델타 페라이트 상이 몰드 주조재에서도 관찰

되는 이유는 주조에 사용되는 몰드가 실제 낮은 속도로 냉각되기 때문으로 생각된다.

Fig. 3는 고용화 열처리후 내면, 중간부 그리고 외면 근처의 단면 조직 사진으로 열처리 전에 비해 델타 페라이트 함량이 감소하고 오스테나이트 상(에칭되지 않은 부분)이 증가하였으며 또한 결정립이 선명하게 관찰되었다. 그러므로 Fig. 1에 나타난 열처리에 따른 경도의 감소는 Fig. 3과 Fig. 4에 나타난 바와 같이 열처리에 따른 델타 페라이트 상의 감소와 오스테나이트 상인 기지의 결정립 성장에 의한 것으로 판단된다.

3.2 고용화 열처리에 의한 투자율 및 내부식성의 변화

Fig. 4는 1120 °C에서 10 분 유지한 후 수냉된 (Treatment No. 2) 각 시험편의 두께에 따른 델타 페라이트 함량 변화를 나타내고 있다. 시험편에 따라 차이가 있으나 열처리되고 시

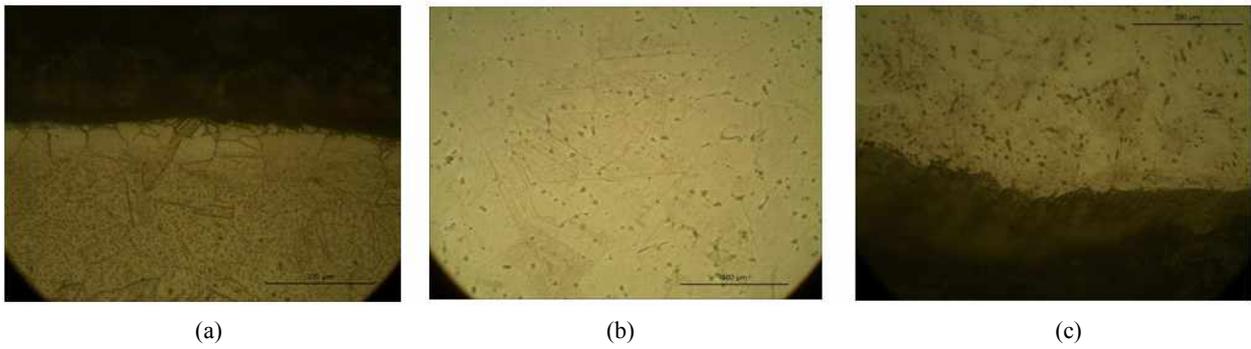


Fig. 3. Optical microstructures of (a) inner cross sectional area, (b) middle cross sectional area, and (c) outer cross sectional area of shell mold casted SSC13 alloy annealed at 1120 °C for 10 minutes. (Scale bar indicates 100 μm).

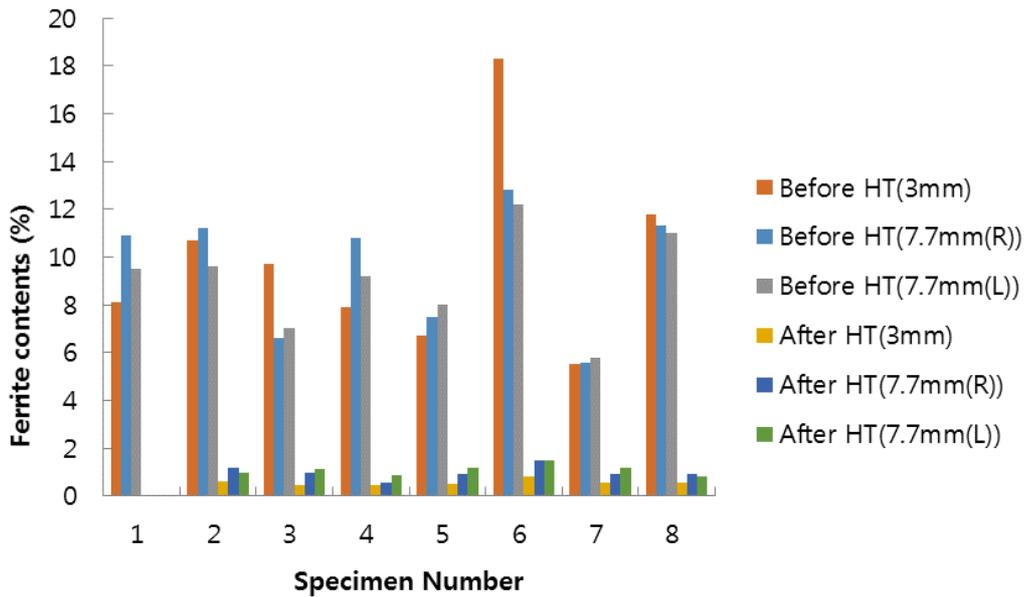


Fig. 4. Ferrite content (%) of specimens before and after the heat treatment with thickness 3mm and 7.7 mm (right and left side of the specimens).

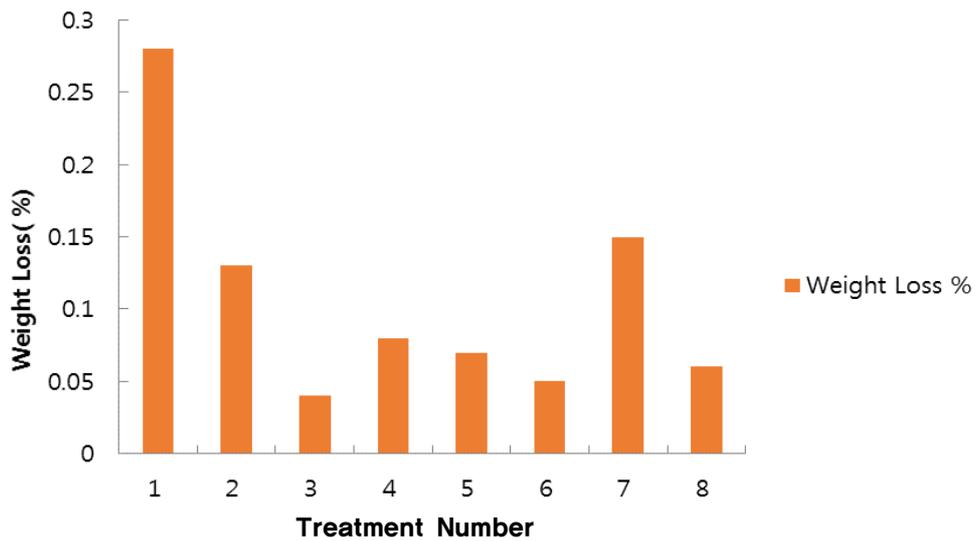


Fig. 5. Relationship between weight loss (%) and the specimens with or without heat treatment.



Fig. 6. Result of 2-hr salt spray test of (a) and (c) heat treated specimen and (b) and (d) non-heat treated specimen.

편의 두께가 얇은 시편 일수록 낮은 델타 페라이트 함량을 지니고 있다. 그러나 7.7 mm 두께의 시편의 경우 오른편과 왼편의 함량이 유사한 것으로 보아 두께 좌우방향으로 페라이트 함량의 변화는 없는 것으로 판단된다. 이는 Fig. 2의 사진에 나타난 열처리된 시편에서 상대적으로 델타 페라이트 함량의 감소와 일치하였다.

Fig. 5은 1120°C에서 고용화 열처리 후 부동태 처리에 따른 화학 부식에 의한 무게 감소율 변화를 보여주고 있으며 Fig. 6은 최대 분무 속도를 사용한 염수 분무 시험 결과를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 열처리 전후 무게 감소율 변화가 있음을 알 수 있으며 특히 열처리후 부동태 처리된 시편 (Treatment No. 3)에서 가장 적은 값을 나타내고 있으며 열처리되지 않은 시편 (Treatment No. 1)의 경우가 가장 큰 값을 나타내고 있다. 그리고 열처리에 따라 내부식성은 높은 값을 나타내는 경향이 있음을 알 수 있었다.

열처리하지 않은 시편 (Treatment No. 1)에서는 델타 페라이트 상의 영향으로 부식속도가 증가한 것으로 생각된다. 그리고 열처리에 의해서 결정립은 조대화 되고 점진적으로 델타 페라이트 상은 감소함에 따라 부식속도는 감소하는 것으로 판단된다. Fig. 5에서 볼 수 있듯이 특히 Treatment No. 3과 Treatment No. 6 처리된 시편에서 내부식성이

가장 좋았다. 이것은 시험편의 열처리와 더불어 최적 부동태화 공정으로 내부식성이 좋은 것으로 생각된다. 또한 Treatment No. 7 처리된 시편에서 다시 내부식성이 저하하는 이유는 미흡한 부동태 처리에 의한 것으로 생각되나, 이에 관하여 향후 좀더 구체적인 연구고찰이 필요하다.

Fig. 6은 염도 4.6 %인 온도 25°C 염수에서 2 시간 최대 속도 분무 시험 후 관찰한 부식된 표면상태를 보여주고 있다. 고용화 열처리를 하지 않은 경우 표면에 부식 현상이 나타나고 있음을 알 수 있다. 그리고 고용화 열처리에 의해서 점차 부식 현상이 감소하고 고용화 열처리된 시편에서는 부식이 거의 관찰되지 않았다. 전술한 바와 같이 고용화 열처리를 함으로써 결정립이 조대화되고 점진적으로 델타 페라이트 상은 감소하여 부식이 억제되는 것으로 생각된다. 결과적으로 고용화 열처리에 따른 델타 페라이트 및 크롬 농도의 변화에 의해서 내부식성의 개선효과가 얻어졌다고 판단되었다⁶⁻⁹⁾.

4. 결 론

지금까지 셀 몰드 주조한 스테인리스강을 1120°C의 일정 온도에서 열처리했을 때 기계적 성질과 내부식성에 미치는

효과에 대해서 비교 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 열처리를 통하여 경도의 감소 뿐만 아니라 내식성의 향상이 관찰되었으며, 이는 델타 페라이트 함량의 감소에 의한 것이다.
2. 열처리후 부동태 온도와 시간이 내식성에 영향을 미쳤다. 상온에서 10초간 부동태처리가 내식성을 가장 효과적으로 향상시켰다.
3. 소형 SSC13 소재 주물의 내부식성 향상에 가장 적합한 열처리 기술 개발의 중요한 참고 자료를 제시하였다.

References

1. Y. Hyun, H. Kim, Y.-H. Kim, H. Jang, Y. Park and Y. Choi, *Corrs. Sci. Tech.*, **11**, 56 (2012).
2. H. C. Choe, K. T. Moon and K. H. Kim, *J. Corros. Sci. Soc. of Kor.*, **21**, 239 (1992).
3. E. C. Bain, R. H. Aborn and J. J. B. Rutherford, *Trans. Amer. Soc. Steel Treat.*, **21**, 481 (1933).
4. S. J. Bullard, D. E. Larson and J. S. Dunning, *Corrosion*, **48**, 891 (1992).
5. G. K. Allan, *Ironmaking and Steelmaking*, **22**, 465 (1995).
6. S. T. Kim, K. H. Kong, I. S. Lee, Y. S. Park, J. H. Lee, and D. H. Kim, *Corrs. Sci. Tech.*, **13**, 95 (2014).
7. M. H. Brown, *Corrosion*, **30**, 1 (1974).
8. S. H. Jeon, S. T. Kim, I. S. Lee, J. S. Kim, K. T. Kim, and Y. S. Park, *Corrs. Sci. Tech.*, **9**, 209 (2010).
9. S. Y. Kim, H. S. Kwon, H. S. Kim, *Solid State Phenom.*, **124**, 1533 (2007).