Mod. 440A 마르텐사이트 스테인리스강의 미세조직과 기계적 성질에 미치는 오스테나이트화 처리의 영향

Effect of Solution Annealing on the Microstructure and Mechanical Properties of Modified 440A Martensitic Stainless Steel.

김영철*, 권순두**, 정병호***, 강창룡****†

Young-Chul Kim*, Soon-Doo Kwon**, Byong-Ho Jung***
and Chang-Yong Kang****†

(접수일 : 2013년 04월 12일, 수정일 : 2013년 05월 27일, 채택확정 : 2013년 06월 10일)

Abstract: This study was investigated the effect of austenitizing treatment the microstructure and mechanical properties in modified 440A steel, and the results were as follows. The amount of remaining carbide decreases with increasing the austenitizing treatment temperature, and all carbide is completely dissolved at 1250℃. The amount of remaining carbide decreases with increasing the austenitizing treatment time, but the carbide remains insoluble up to 120 minutes at 1050℃. The strength and hardness gradually decrease with increasing the austenitizing treatment temperature and is significantly lower at 1250℃, while the elongation and the impact value rapidly increase. The strength and hardness rapidly decrease, the elongation and impact value rapidly increase with increasing the austenitizing treatment time and exhibit no change at above 120 minutes. The austenitizing treatment modified 440A steel is required for temperature of above 1050℃ and time of above 60 minutes.

Key Words : Martensitic stainless steel, Austenitizing, Strength, Impact value, Carbide

1. 서 론

Cr을 12~18% 지니고 있는 마르텐사이트계 스테인리스강은 고온의 오스테나이트 조직이 공냉에 의해서도 마르텐사이트 조직으로 변태하는 현저한 경화 특성을 지니고 있어 그 용도는 내식성을 중

심으로 한 정유, 화학 및 발전플랜트 산업 및 기계 구조물 등에 이르기 까지 광범위하게 사용되고 있는 강이다¹⁾.

마르텐사이트계 스테인리스강 중 많은 C와 Cr을 갖는 440A 강은 퀴칭에 의한 경도가 마르텐사이트 스테인리스강 중 최고로 높을 뿐만 아니라

**** 강창룡(교신저자) : 부경대학교 금속공학과
E-mail : metkcy@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6346

*김영철 : 부경대학교 금속공학과

**권순두 : 부경대학교 금속공학과

***정병호 : 부경대학교 금속공학과

****† Chang-yong Kang(corresponding author) : Department of Metallurgical Engineering, Pukyong National University.

E-mail : metkcy@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6346

*Young-chul Kim : Department of Metallurgical Engineering, Pukyong National University.

**Soon-doo Kwon : Department of Metallurgical Engineering, Pukyong National University.

***Byong-ho Jung : Department of Metallurgical Engineering, Pukyong National University.

Table 1 Chemical composition of mod. 440A martensitic stainless steel(Wt.%)

C	Mn	Si	S	N	Cr	Ni	Fe
0.5	0.8	0.5	0.004	0.09	16.98	1.02	Bal.

내마모성과 내식성이 우수하여 고급 날물, 외과용 칼날, 게이지, 베어링, 캠, 부쉬, 롤러 등과 같은 내식성과 내마모성이 요구되는 부품에 사용이 되고 있다²⁾. 그러나 이러한 강은 인성이 다소 부족하다. 따라서 경도와 내식성을 유지하면서 인성이 확보될 필요성이 있고, 그러한 방법으로서 C를 낮추는 대신에 합금원소를 첨가하는 방법을 생각할 수 있다.

한편, 마르텐사이트계 스테인리스강에서 생성되는 탄화물은 오스테나이트화 처리시 일반 탄화물과는 달리 고용과 확산이 매우 느리게 진행되기 때문에^{3,4)} 켈칭한 상태에서도 잔류 탄화물이 많이 존재할 수 있고, 이것이 내식성과 기계적 성질에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다^{4,5,6)}. 뿐만 아니라 수요자들은 일반적으로 페라이트와 탄화물이 혼합되어 있는 강을 구입하여 켈칭 및 템퍼링 처리 하여 사용하고 있기 때문에 기계적 성질과 내식성 등을 조절하기 위해서는 오스테나이트화 및 템퍼링 처리 공정은 대단히 중요하다. 때문에 최적의 오스테나이트화 공정을 개발하기 위해서는 오스테나이트화 처리에 따른 미세조직의 변화, 특히 탄화물의 분해거동과 이러한 탄화물의 분해거동이 기계적 성질에 미치는 영향을 조사하는 것이 필요하다

따라서 본 연구는 0.7%C를 갖는 440A 강에서 C를 0.5%로 낮추는 대신에 Ni를 1% 첨가한 강을 만든 다음 최적 오스테나이트화 조건을 얻기 위해 여러 조건으로 오스테나이트화 처리 후 미세조직과 기계적 성질 변화를 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 시료

시료는 고주파 진공용해로에서 용해하여 잉곳을 만들었다. 다음 이를 1200℃ 온도에서 열간압

연 하여 15mm 두께의 판재로 만들어 시료로 사용하였고, 화학조성을 Table 1에 나타낸다.

2.2 열처리

미세조직 및 기계적 성질에 미치는 오스테나이트화 처리의 영향을 조사하기 위한 열처리는 시료를 850℃에서 1250℃ 사이의 여러 온도에서 60분 유지 후 수냉하는 오스테나이트화 처리와 1050℃에서 최대 300분까지 시간을 달리하는 오스테나이트화 처리를 하였다.

2.3 미세조직 관찰

오스테나이트화 조건 변화에 따른 미세조직 관찰은 광학현미경과 주사전자현미경(SEM, VEGA 2)을 사용하여 관찰하였다.

2.4 기계적 성질 측정

시료의 인장성질은 시료를 평행부 길이가 50 mm인 ASTM - A 370 의 규격을 따라 제작한 다음 열처리 후 인장시험 하여 구하였고, 경도값은 마이크로 비커스 경도시험기를 사용하여 1kg의 하중으로 5회 측정하여 평균해서 구하였다. 또한 충격값은 2mm V 노치를 갖는 샤르피 충격시험편(JIS B 7703)으로 제작한 다음 열처리 후 상온에서 충격시험 하여 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직관찰

Fig. 1은 오스테나이트화 온도변화에 따른 탄화물의 분해거동 등 미세조직 변화를 알아보기 위하여 0.5%C-17%Cr-1%Ni 를 갖는 Mod. 440A 마르텐사이트 스테인리스강을 여러 온도에서 60분 유지 후 수냉하였을 때의 미세조직을 광학현미경과 주사전자현미경으로 나타낸 것이다.

Fig. 1 Microstructure micrographs showing the effect of austenitizing temperature in modified 440A martensitic stainless steel.

(a) 950℃ (b) 1050℃ (c) 1250℃

950℃와 1050℃의 오스테나이트화 온도에서는 마르텐사이트 조직에 미용해 탄화물들이 존재하고 있는데 반하여, 1250℃에서는 탄화물들이 완전히 용해되어 있는 오스테나이트 단상으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 950℃와 1050℃의 온도는 오스테나이트와 탄화물이 공존하는 영역이다. 따라서 오스테나이트화 처리하는 동안 일부 탄화물이 용해되어 오스테나이트 중에 고용되고 있지만 그 양이 적어 냉각에 의해 마르텐사이트가 생성되는 온도(Ms)가 상온 이상에

있다. 때문에 오스테나이트화 후 수냉시 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되어 마르텐사이트에 탄화물들이 존재하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 1250℃ 온도에서는 이전에 존재하고 있던 탄화물들이 오스테나이트화 하는 동안 전부 용해, 고용되고, 그 결과 오스테나이트 내 C와 Cr의 양이 많아지게 되어 Ms 온도가 상온 이하가 된다. 때문에 오스테나이트 후 수냉하여도 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되지 않기 때문이라 판단된다⁷⁾.

또한 950℃ 보다는 1050℃의 경우가 용해되지 않고 남아있는 탄화물의 양이 적는데 이는 1050℃가 950℃ 보다 온도가 높기 때문에 더 많은 탄화물들이 용해 고용되기 때문이라 판단된다. 한편 오스테나이트화 처리 이전에 존재하는 탄화물들은 X-선 회절시험 분석에 의해 $Cr_{23}C_6$ 탄화물로 판명되었다.

Fig. 2 SEM micrographs showing the effect of austenitizing time in modified 440A martensitic stainless steel.

a) 30min. b) 60min. c) 120min.

Fig. 2는 시료를 1050℃에서 시간을 달리하여 오스테나이트화 하였을 때의 미세조직을 주사전자 현미경으로 조사하여 나타낸 것이다.

오스테나이트화 시간이 길어짐에 따라 마르텐사이트 내 남아있는 탄화물의 양이 작아지고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 오스테나이트화 시간이 길어질수록 탄화물들이 용해 고용되는 양이 많아지기 때문이라 판단된다.

또한 c)의 결과로부터 1050℃에서 120분 오스테나이트화 처리를 하여도 탄화물들이 전부 용해 고용되지 않고 일부 남아있는 것을 알 수 있다. 이 결과를 420J2 등과 같은 마르텐사이트계 스테인리스강에서 오스테나이트화 조건 등을 연구한 결과⁸⁾와 비교하여 볼 때 C와 Cr이 많이 존재하고 있는 이 강의 탄화물은 용해 고용되는데 많은 시간이 소요된다는 것을 알 수 있다.

이상의 미세조직관찰 결과로부터 Mod. 한 440A 강은 C와 Cr을 많이 함유하고 있기 때문에 이 강의 탄화물들은 오스테나이트화 처리 하는 동안 분해되어 고용되는 속도가 크게 느린 것을 알 수 있고, 이러한 이유는 C와 Cr의 양이 많이 첨가되어 있기 때문에 탄화물이 용해되는데 시간이 많이 소요될 뿐만 아니라, 고용이 지연되기 때문이라 판단된다.^{5,9)}

3.2 기계적 성질에 미치는 오스테나이트화 처리의 영향

Fig. 3은 Mod. 440A강의 오스테나이트화 온도변화에 따른 인장성질 변화를 조사하기 위하여 온도를 달리하여 60분 유지 후 수냉하는 오스테나이트화 처리 한 다음 인장성질을 조사하여 나타낸 것이다.

오스테나이트화 온도가 높아짐에 따라 강도는 서서히 낮아지다 1250℃가 되면 빠르게 낮아지고 있는데 반하여, 연신율은 서서히 증가하다 온도가 1050℃ 이상이 되면 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 오스테나이트화 온도 변화가 경도와 충격인성에 미치는 영향을 조사하여 나타낸 것이

Fig. 3 Effect of austenitizing temperature on the tensile properties of modified 440A martensitic stainless steel.

Fig. 4 Effect of austenitizing temperature on the hardness and impact value of modified 440A martensitic stainless steel.

다. 오스테나이트화 온도가 증가함에 따라 경도는 서서히 감소하다 1250℃가 되면 크게 낮아지고 있는데 반하여, 충격값은 오스테나이트화 온도 증가와 함께 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 오스테나이트화 온도가 높아짐에 따라 강도와 경도가 서서히 감소하다 1250℃가 되면 크게 낮아지고, 연신율과 충격값은 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 Fig. 1의 미세조직 관찰 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 오스테나이트화 온도가 높아질수록 탄화물들이 용해 고용되는 양이 많아지는데 기인되어 잔류 탄화물의 양이 적어지기 때문이고, 또한 1250℃가 되면 탄화물들이 전부 용해 고용되어 잔류 탄화물들이 없기 때문이라 판단된다. 또한

이 결과로부터 판단해 볼 때 이 강의 오스테나이트화 온도는 1050℃보다는 높아야 한다는 것을 알 수 있다.

3.3 오스테나이트화처리 시간이 기계적 성질에 미치는 영향

Fig. 5는 오스테나이트화 시간이 인장성질에 미치는 영향을 알아보기 위하여 1050℃에서 시간을 달리하여 유지 후 수냉하는 오스테나이트화 한 다음 인장성질을 조사하여 나타낸 것이다.

Fig. 5 Effect of austenitizing time on the tensile strength and elongation of modified 440A martensitic stainless steel.

Fig. 6 Effect of austenitizing time on the hardness and impact value of modified 440A martensitic stainless steel.

오스테나이트화 시간이 길어짐에 따라 강도는 서서히 감소하고, 연신율은 서서히 증가하다 120분을 넘어서면 강도와 연신율 모두 큰 변화가 없

는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 오스테나이트화 시간 변화가 경도와 충격 인성에 미치는 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 오스테나이트화 시간이 길어짐에 따라 경도는 빠르게 감소하고 충격값은 빠르게 증가 한 다음 120분 이상이 되면 모두 큰 변화가 없는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 오스테나이트화 시간이 길어짐에 따라 강도와 경도가 서서히 낮아지고, 연신율과 충격값이 빠르게 증가하다 시간이 120분보다 길어지면 큰 변화가 없는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 Fig. 2의 미세조직 결과로 부터 알 수 있다. 즉, 오스테나이트화 처리 시간이 길어짐에 따라 용해되어 고용되는 탄화물들의 양이 많아지기 때문에 상대적으로 남아있는 탄화물의 양이 적어지기 때문이다. 또한 오스테나이트화 시간이 120분이 이상이 되면 모두 크게 변화하지 않는 이유는 시간이 120분 보다 길어져도 용해 고용되는 탄화물의 양이 적기 때문에 남아있는 탄화물의 양이 크게 변화되지 않기 때문이다.

4. 결 론

Mod. 440A 강 의 미세조직 및 기계적 성질 변화에 미치는 오스테나이트화 처리의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 오스테나이트화 온도가 증가할수록 잔류 탄화물의 양은 적어지고, 1250℃가 되면 모든 탄화물이 완전히 용해 고용되었다.
- 2) 오스테나이트화 시간이 증가할수록 남아있는 탄화물의 양은 적어지지만, 1050℃에서 120분이 되어도 완전히 용해되어 고용되지 않았다.
- 3) 오스테나이트화 온도 증가와 함께 강도와 경도는 서서히 감소하다 1250℃ 이상이 되면 크게 낮아지고, 연신율과 충격값은 빠르게 증가하였다.
- 4) 오스테나이트화 처리시간이 길어짐에 따라 강도와 경도는 빠르게 감소하고, 연신율과 충격값은 빠르게 증가하다 120분 이상이 되면 크게 변화하지 않았다.
- 5) Mod. 440A강의 오스테나이트화 온도는 1050℃

이상, 시간은 60분 이상이 요구 된다.

References

1. M. Hasegawa, 1992, "Handbook of stainless steel (III practical materials)", Sewa, Seoul, pp. 369-402.
2. T. Zinkai, 1989, "Usage of stainless steels", part of speciality steel, pp. 158-1597.
3. Y. J. Kim, D. W. Joo, S. H. Park, G. D. Kim and J. H. Sung, 1994, "Influence of Austenitizing Condition on the Mechanical Properties in 420J1 Martensitic Stainless Steel", J. of the Korean Society for heat Treatment, Vol. 7, No. 1, pp. 25-34.
4. J. H. G. Monypenny, 1954, "Stainless Iron Steel", Vol. 2, pp. 33.
5. Y. C. Kim, B. H. Jung and C. Y. Kang, 2011, "The Effect of Alloying Elements and Heat Treatment on the Intergranular Corrosion of 440A Martensitic Stainless Steel", J. of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 15, No. 3, pp. 52-57.
6. Y. C. Kim, C. Y. Kang and B. H. Jung, 2011, "The Effect of Alloying Elements and Heat Treatment on the Uniform Corrosion of 440A Martensitic Stainless Steel", J. of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 15, No. 4, pp. 42-48.
7. K. Fujita, 1970, "Heat treatment of stainless steels", Nikkan Kogyo Shimbun, Ltd., pp. 19-78.
8. Y. S. Park, 1995, "Effect of austenitization on the microstructure and mechanical properties in 420 J2 stainless steel", Pukyong national university, master's thesis, pp. 7-54.
9. Allegheny Ludlum Corporation, 1998, "Technical Data Blue Sheet, Martensitic Stainless Steels Type 410, 420, 425Mod, and 440A, Pittsburgh, PA, pp. 1-8.