Mod. 440A 마르텐사이트 스테인리스강의 기계적 성질에 미치는 템퍼링의 영향

권순두 · 김영철 · 강창룡[†]
부경대학교 금속공학과

The effect of Tempering on the Mechanical Properties of Mod. 440A Martensitic Stainless Steel

S. D. Kwon, Y. C. Kim, C. Y. Kang[†]

Dept. of Metallurgical Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739 Korea

Abstract In this study, the effect of tempering treatment on the mechanical properties in modified 440A steel has been investigated. The amount of remaining carbide decreased with increasing the austenitizing treatment temperature, and all carbides were completely dissolved at 1250°C. The amount of remaining carbide decreased with increasing the time of austenitizing, but the carbide remained insoluble up to 120 minutes at 1050°C. With increasing the tempering temperature, tensile strength decreased, and elongation increased slowly, while hardness rapidly decreased, and impact value unchanged and then rapidly increased over 500°C. The strength and hardness slowly decreased, while the elongation and impact absorbed energy increased with increasing the tempering time. Cr₂₃C₆ type carbide was precipitated and sharp decrease of elongation and toughness by tempering did not appear.

(Received March 12, 2013; Revised April 20, 2013; Accepted May 15, 2013)

Key words : Martensitic stainless steel, Austenitizing, Tempering, Tensile properties, Impact absorbed energy

1. 서 론

12~18% Cr을 갖는 마르텐사이트계 스테인리스강은 오스테나이트가 공냉에 의해서도 마르텐사이트로 변태하는 현저한 경화 특성을 지니고 있어 내마모성과 내식성이 요구되는 여러 산업분야에서 사용되고 있고, 그 중 C와 Cr의 양이 많은 440A 강은 공구, 게이지, 캠, 베어링 및 도물류 등의 부품에 사용되고 있다[1, 2]. 그러나 이 강은 가열과 냉각, 용접 중 균열 발생이 쉬워 제조나 취급시 주의가 필요하다[3]. 때문에 인성이 확보될 필요성이 있다.

또한, 마르텐사이트계 스테인리스강의 탄화물은 일반 강의 탄화물과는 달리 오스테나이트화 하는 동안 고용과 확산이 매우 느리게 진행되기 때문에[4] 퀴칭한 상태에서도 탄화물이 잔류할 수 있고, 이것이 내식성과 기계적 성질 등에 영향을 미친다고 알려져 있다[5, 6]. 뿐만 아니라 수요자들은 일반적으로 페라이트와 탄화물의 조직으로 된 강을 구입하여 퀴칭과 템퍼링처리 하여 사용하기 때문에[1] 기계적 성질과 내식성 등을 조절하기 위한 오스테나이트화 및 템퍼링 공정은 대단히 중요하다[7].

따라서 본 연구는 0.7% C와 17% Cr을 갖는 440A 강에서 인성을 확보하기 위해 C를 0.5%로 낮춘 대신에 Ni를 1% 첨가한 강을 만들어서 오스테나이트화 후 템퍼링처리 조건을 변화시켜 템퍼링처리 하여 미세조직과 기계적 성질 변화를 조사하였다.

2. 실험방법

2. 실험방법

2.1 시료

시료는 고주파 진공 용해로에서 용해하여 잉곳으로 만든 후 1200°C에서 열간압연 하여 15 mm 두께의

[†]Corresponding author. E-mail : metkcy@pknu.ac.kr
Copyright © The Korean Society for Heat Treatment

Table 1. Chemical composition of modified 440A martensitic stainless steel (wt.%)

C	Mn	Si	N	S	Cr	Ni	Fe
0.5	0.79	0.49	0.094	0.001	16.98	1.02	bal.

Fig. 1. Micrographs showing the effect of austenitizing temperature in modified 440A martensitic stainless steel. (a) 950°C, (b) 1050°C, (c) 1250°C.

관재로 만들어 사용하였고, 그 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

2.2 열처리

열처리는 950, 1050 및 1250°C의 온도에서 60분 유지 후 수냉하는 오스테나이트화 처리를 하였다. 또한 1050°C에서 60분 오스테나이트화 처리한 시료를 350°C에서 700°C 사이의 여러 온도에서 2시간 그리고 650°C에서 최대 300분까지 시간을 달리하는 템퍼링처리를 하였다.

2.3 미세조직 관찰 및 탄화물의 분석

미세조직은 4% Nital 로 부식하여 광학현미경과 주사전자현미경(SEM, S-2400)으로 관찰하였다. 또

한, 오스테나이트화 이전 탄화물과 템퍼링처리 시 석출된 탄화물은 Cu-K α 특성 X선을 사용하여 20~100° 사이를 2°/mim. 속도로 회절시험 하였을 때 얻은 회절선도로 부터 분석하였다.

2.4 기계적 성질 측정

인장성질은 평행부 길이가 50 mm인(JIS A 370) 시험편으로 제작하여 열처리 후 인장시험 하여 구하였고, 경도값은 마이크로버커스 경도시험기를 사용하여 1 kg의 하중으로 5회 측정하여 평균해서 구하였다. 또한 충격값은 2 mm V 노치(JIS B 7703)를 갖는 샤르피 충격시험편으로 제작하여 열처리 후 상온에서 시험하여 구하였다.

Fig. 2. SEM micrographs showing the effect of austenitizing time at 1050°C in modified 440A martensitic stainless steel. (a) 30 min, (b) 60 min, (c) 120 min.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직관찰

Fig. 1은 0.5%C-17% Cr-1%Ni의 화학조성을 갖는 강을 여러 온도에서 60분 유지 후 수냉하였을 때의 미세조직을 광학현미경과 주사전자 현미경으로 나타낸 것이다. 950°C와 1050°C 온도에서는 마르텐사이트 조직에 탄화물들이 존재하고 있는데 반하여, 1250°C에서는 오스테나이트 단상조직으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 950°C와 1050°C에서는 오스테나이트화 처리 하는 동안 탄화물들이 전부 용해 고용되지 못하여 오스테나이트와 탄화물이 함께 존재하게 되고, 이후 수냉할 때 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태하기 때문이다. 그러나 1250°C에서는 오스테나이트화 하는 동안 전 탄화물들이 용

Fig. 3. SEM micrographs showing the effect of tempering temperature after austenitizing at 1050°C for 60 min. in modified 440A martensitic stainless steel. (a) 350°C, (b) 450°C, (c) 650°C.

해 고용될 뿐만 아니라 이에 기인되어 오스테나이트 내 C, Cr의 농도가 높아져 냉각에 의해 마르텐사이트가 생성되는 온도(Ms)가 상온이하가 된다. 따라서 이후 수냉하여도 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되지 않기 때문이다[8]. 또한 1050°C가 950°C보다 탄화물의 양이 적은데 이는 1050°C의 경우가 온도가 높아 더 많은 탄화물들이 용해 고용되기 때문이다. 한편 마르텐사이트계 스테인리스강에서 석출되는 탄화물은 여러 종류가 있지만[9], 본 시료에서 오스테나이트화 이후 잔류 탄화물은 Cr_{23}C_6 탄화물로 판명되었다.

Fig. 2는 1050°C에서 시간을 달리하여 오스테나이트화 한 시료의 미세조직을 주사전자현미경으로 나타낸 것이다. 오스테나이트화 시간이 길어질수록 탄화물들이 많이 용해 고용되어 남아있는 탄화물의

Fig. 4. SEM micrographs showing the effect of tempering time at 650°C after austenitizing at 1050°C for 60 min. in modified 440A martensitic stainless steel. (a) 60 min, (b) 180 min, (c) 300 min.

양이 적어지고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 1050°C에서 2시간 오스테나이트화 하여도 탄화물이 전부 용해되지 않고 일부 남아있다. 따라서 Mod. 440A 강의 탄화물도 용해 고용되는데 많은 시간이 소요되며, 이러한 탄화물의 분해거동은 기계적 성질과 내식성 등에도 영향을 미칠 것으로 예상된다[3, 4, 6].

Fig. 3은 1050°C에서 60분 오스테나이트화 처리한 다음 여러 온도에서 2시간 템퍼링처리 한 시료의 미세조직을 주사전자현미경으로 나타낸 것이다. 세 시료가 동일하게 템퍼드 마르텐사이트 조직에 탄화물들이 존재하고 있는 것을 알 수 있고, 템퍼링처리 온도가 높아질수록 탄화물의 양이 많아지는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 오스테나이트화 후 650°C에서 시간을 달리하여 템퍼링처리 한 시료의 미세조직을 주사전자현

Fig. 5. X-Ray diffraction patterns of modified 440A martensitic stainless steel tempered at 350°C and 600°C after austenitizing at 1050°C for 60 min.

Fig. 6. Effect of tempering temperature on the tensile strength and elongation after austenitizing at 1050°C for 60 min. in modified 440A martensitic stainless steel.

미경으로 나타낸 것이다. 템퍼링 시간이 길어질수록 탄화물이 많아지고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 템퍼링에 의해 석출되는 탄화물을 조사하기 위하여 오스테나이트화 후 350°C 및 650°C에서 템퍼링 한 시료에서 얻은 회절선도를 분석하여 나타낸 것이다. 템퍼링 온도에 관계없이 모두 Cr_{23}C_6 탄화물이 석출되어 존재하고 있는 것을 알 수 있다.

3.2 기계적 성질에 미치는 템퍼링 온도의 영향

Fig. 6은 1050°C에서 오스테나이트화 후 여러 온도에서 2시간 템퍼링처리 한 시료의 인장강도와 연신율을 조사하여 나타낸 것이다. 템퍼링 온도가 높아질수록 강도는 서서히 낮아지고, 연신율은 서서히 증

Fig. 7. Effect of tempering temperature on the hardness and impact value after austenitizing at 1050°C, for 60 min. in modified 440A martensitic stainless steel.

가하고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 템퍼링처리 온도가 증가할수록 오스테나이트화처리 시 용해 고용되어 있던 C와 Cr이 탄화물로 석출되는 양이 많아지는데 기인되어 기지의 경도가 낮아지기 때문이라 판단된다.

Fig. 7은 1050°C에서 오스테나이트화 후 여러 온도에서 2시간 템퍼링 한 시료의 경도와 충격값을 조사하여 나타낸 것이다. 템퍼링 온도가 높아질수록 경도와 충격흡수에너지는 큰 변화가 없다가 500°C 이상이 되면 빠르게 경도는 감소하고, 충격흡수에너지는 증가하고 있다. 이와 같은 이유는 템퍼링 온도가 500°C까지는 오스테나이트화처리 시 용해 고용되어 있던 C와 Cr이 탄화물로 석출되는 양이 서서히 증가하지만 500°C 이상이 되면 석출되는 양이 빠르게 증가하여 상대적으로 기지의 연성이 높아지기 때문이라 판단된다. 또한 이 결과로 부터 Mod.한 440A 강은 420J2 등과 같은 마르텐사이트계 스테인리스강에서 나타나는 450°C 부근의 급격한 인성저하는[4, 6] 나타나지 않는 것을 알 수 있다.

3.3 기계적 성질에 미치는 템퍼링 시간의 영향

Fig. 8은 오스테나이트화 후 650°C에서 시간을 달리하여 템퍼링처리 한 시료의 인장성질을 조사하여 나타낸 것이다. 시간이 길어짐에 따라 강도는 낮아지고, 연신율은 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 오스테나이트화 후 650°C에서 시간을 달리하여 템퍼링 한 시료의 경도와 충격값을 조사하여

Fig. 8. Effect of tempering time on the tensile properties after austenitizing at 1050°C for 60 min. in modified 440A martensitic stainless steel.

Fig. 9. Effect of tempering time on the hardness and impact value after austenitizing at 1050°C for 60 min. in modified 440A martensitic stainless steel.

나타낸 것이다. 시간이 길어짐에 따라 경도는 서서히 낮아지고, 충격흡수에너지는 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

이와 같이 템퍼링 시간이 길어질수록 강도와 경도가 낮아지고, 연신율과 충격흡수에너지가 증가하는 이유는 시간이 길어질수록 기지에 고용된 C와 Cr이 탄화물로 석출되는 양이 많아지기 때문에 상대적으로 기지의 연성이 높아지기 때문이라 판단된다.

4. 결 론

Mod. 440A 강을 오스테나이트화후 온도와 시간을 달리하여 템퍼링처리 한 다음 기계적 성질을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 오스테나이트화 온도가 증가할수록 잔류 탄화물 양은 적어지고, 1250°C가 되면 모든 탄화물이 용해 고용되었다.
2. 1050°C에서 120분 오스테나이트화 하역도 탄화물은 완전히 용해 고용되지 않고 일부 남아있었다.
3. 템퍼링 온도가 증가함에 따라 강도는 낮아지고, 연신율은 서서히 증가하였고, 경도와 충격값은 큰 변화가 없다가 500°C 이상이 되면 경도는 빠르게 감소하고 충격값은 빠르게 증가하였다.
4. 템퍼링 시간이 길어질수록 강도와 경도는 감소하고, 연신율과 충격값은 증가하였다.
5. 템퍼링처리에 의해 Cr_{23}C_6 탄화물이 석출되었고, 템퍼링에 의한 연신율과 충격값의 큰 저하는 없었다.

2. M. Hasegawa : Handbook of stainless steel (III practical materials), Sewa, Seoul, (1992) 369.
3. POSCO 스테인리스 생산부 : 400계 스테인리스강 제조 이론 및 특성 (1994)5.
4. J. H. G. Monypenny : Stainless Iron Steel, 2 (1954) 33.
5. Y. K. Kim, Y. J. Kim, G. D. Kim, and J. H. Sung : J. of the Korean Society for heat Treatment, 5 (1992) 111.
6. Y. J. Kim, D. W. Joo, S. H. Park, G. D. Kim, and J. H. Sung : J. of the Korean Society for heat Treatment, 7 (1994) 25.
7. 스텐레스 便覽, 日刊工業新聞社, 加工と溶接. 697.
8. K. Fujita : Heat treatment of stainless steels, Nikkan Kogyo Shimbun Ltd., (1970) 19.
9. K. J. Irvin and F. B. Pickering : The Iron and Steel Inst. 12 (1964) 63.

References

1. 育藤, 小林, 吉田, 池田; 日本 ステンレス 情報, No. 19 (1984) 47.