creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공 학 석 사 학 위 논 문

마르텐사이트와 오스테나이트 2상 조직을 갖는 202 스테인리스강의 기계적 성질에 미치는 오스테나이트의 영향

2018년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

금 속 공 학 과

구 정 엽

공 학 석 사 학 위 논 문

마르텐사이트와 오스테나이트 2상 조직을 갖는 202 스테인리스강의 기계적 성질에 미치는 오스테나이트의 영향

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

지도교수 강 창 룡

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2018년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

금 속 공 학 과

구 정 엽

구정엽의 공학석사 학위논문을 인준함.

2018년 2월 23일

주 심 공학박사 왕 제 필 (인)

위 원 공학박사 김 권 후 (인)

위 원 공학박사 강 창 룡 (인)

목 차

Abstract ····ii

1. 서론 ····1

2. 실험방법 ····4

2.1 시료 ····4

2.2 마르텐사이트와 오스테나이트의 2상 조직 강의 제조 ····4

2.3 미세조직 관찰 ····5

2.4 X-선 회절시험 ····5

2.5 인장성질 측정 ····5

3. 실험결과 및 고찰 ····7

3.1 미세조직 관찰 ····7

3.2 잔류 및 역변태 오스테나이트의 변태 거동 ····16

3.3 인장성질에 미치는 잔류 및 역변태 오스테나이트의 영향 ····22

3.4 인장성질에 미치는 오스테나이트의 영향 ····28

4. 결론 ····33

참고문헌 ····34

Effect of Austenite on the Mechanical Properties of 202 Stainless Steel with Two Phase of Martensite and Austenite

Jeong Yeub Koo

Department of Metallurgical Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

The mechanical properties of 202 austenitic stainless steels were investigated using specimens with different volume fractions of retained and reversed austenite, by deformation and reverse annealing treatment after deformation, respectively.

The results obtained from this study are as follows:

The two phase structure of martensite and retained austenite was obtained by deformation with different temperature and degree of deformation. The two phase structure of martensite and reversed austenite was obtained reverse annealing treatment with different temperature and time after deformation. The ultra fine reverse austenite with less than 0.5 ㎛ in size was obtained by reverse annealing. As the volume fraction of retained and reversed austenite has increased, strength have rapidly decreased, while elongation has increased. With regard to each austenite, reversed austenite obtained by reverse annealing at 700℃ for different time has indicated higher value of strength, while elongation has suggested a lower value. Tensile properties were affected greatly by obtained by reverse annealing at 700℃ for different time.

1. 서론

스테인리스강은 내식성을 목적으로하여 개발된 강으로서 여러 산업분야에서 다양하게 사용되고 있는 강이다. 스테인리스강은 화학조성에 따라 Cr계와 Cr-Ni계로 대별되고 있고, 이러한 합금계에서 상온에서 갖는 조직에 따라 페라이트계, 마르텐사이트계, 오스테나이트계, 페라이트와 오스테나이트의 2상계 그리고 석출경화계로 분류되고 있다[1,2].

스테인리스강 중 상온에서 오스테나이트 조직을 갖는 오스테나이트계 스테인리스강은 많은 Cr과 Ni을 가지고 있기 때문에 특히 내식성이 우수하고, 면심입방결정(FCC)이기 때문에 가공성 등이 뛰어나 여러 산업 분야에서 많이 사용되고 있는 강이다[2]. 그러나 상온에서 FCC결정 구조인 면심입방결정구조로 되어 있기 때문에 가공성은 우수하지만 항복강도 등이 낮아 내식성과 강도가 동시에 요구되는 구조재로서는 다양하게 사용되지 못하고 있다. 때문에 이러한 강에서 강도를 높여 사용범위를 확대하려는 많은 연구가 수행되어 왔다[3,-14].

일반적으로 오스테나이트계 스테인리스강과 같이 상온에서 오스테나이트 조직을 갖는 강에서 강도를 높일 수 있는 방법으로서는 모든 강에 적용하고 있는 가장 일반적인 열처리에 의한 방법을 생각할 수 있다. 그러나 이러한 강은 상온에서부터 고온에 이르기 까지 오스테나이트 조직으로 되어 있기 때문에 가열과 냉각에 따른 상변태가 일어나지 않아 강도를 높이는 것이 어렵다. 따라서 합금원소 첨가에 의한 고용강화와 석출강화 등을 생각 할 수 있다[9]. 그러나 강도 향상을 위해 합금원소를 첨가하게 되면 합금원소 첨가에 따른 가격 상승과 용접성 등이 낮아지는 여러 형태의 문제가 발생되기 때문에 바람직한 방법이 되지 못한다. 때문에 오스테나이트 조직

을 가공에 의해 마르텐사이트 조직으로 변태시킨 다음 역변태 어닐링 처리하여 초 미세립 오스테나이트로 만들어 강도를 높이거나[11,12,14] 또는 마르텐사이트와 오스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직을 갖는 강으로 만드는 방법 등을 생각할 수 있다[15].

마르텐사이트와 오스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직을 갖는 강을 만드는 방법은 오스테나이트 조직을 갖는 강을 가공온도와 가공 량을 달리하는 가공에 의해 오스테나이트를 전부 마르텐사이트로 가공유기변태시키지 않고 일부 잔류시켜(잔류 오스테나이트) 만들 수 있고[16], 가공에 의해 전부 마르텐사이트로 만든 다음 온도와 시간을 달리하는 역변태 어닐링처리에 의해 가공에 의해 생성된 마르텐사이트의 일부를 오스테나이트로 역변태시켜(역변태 오스테나이트) 만들 수 도 있고[17], 가공과 역변태 어닐링처리를 함께 행하는 가공열처리 등에 의해서도 만들 수 있다[18]. 그러나 이와 같이 제조방법을 달리하여 마르텐사이트와 오스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직을 갖는 강을 만들게 되면 그 제조방법에 따라 마르텐사이트와 오스테나이트 조직의 성상이 서로 달라지게되고, 그 결과 이들 강이 갖는 감쇠능도 달라지지만, 기계적 성질 등도 달라질 것으로 판단된다[19]. 그러나 아직 이와 같이 다양한 방으로 2상 조직을 갖는 강을 만든 다음 기계적 성질에 미치는 오스테나이트의 영향을 정량적으로 폭넓게 연구한 논문은 없다. 또한 이러한 강에서 강도를 높혀 사용범위를 확대할 뿐만 아니라 사용상의 안정성 등을 확보하기 위한 측면에서도 마르텐사이트와 오스테나이트 2상 조직을 갖는 강에서 이들 강의 기계적 성질에 미치는 다양한 방법에 의해 제작된 오스테나이트의 영향을 연구하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구는 대표적인 오스테나이트계 스테인리스강에서 가격을 낮추기 위하여 Ni의 양을 낮추는 대신에 Mn을 많이 첨가한 상온에서 오스테나이트 조직을 갖는 202 오스테나이트 스테인리스강을 사용하여 상온에

서 가공을 달리하는 가공과 가공한 다음 시간을 달리하는 역변태 어닐링처리와 온도를 달리하는 역변태 어닐링처리를 하는 3가지 방법으로 마르텐사이트와 잔류 또는 역변태 오스테나이트가 존재하는 2상 조직 강으로 만든 다음 이들 강의 기계적 성질에 미치는 제조방법에 따라 달리 얻어진 오스테나이트의 영향을 조사하였다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

2. 시료 및 실험방법

2.1 시료

본 실험에 사용한 시료는 약 14%의 Cr, 약 5%의 Ni 그리고 기존 스테인리스강에 비해 고가인 Ni의 양을 낮추는 대신에 가격이 Ni보다는 저렴한 Mn이 6% 첨가되어 있는 상온에서 오스테나이트 조직을 갖는 202 오스테나이트계 스테인리스강의 공시재를 구입하여 사용하였다. 이 시료의 화학조성을 표 1에 나타내었다.

2.2 마르텐사이트와 오스테나이트의 2상 조직 강의 제조

가공유기 마르텐사이트와 잔류 오스테나이트가 함께 존재하는 2상조직을 갖는 강은 상온에서 가공도를 달리하는 냉간압연을 행하여 가공에 의해 생성된 가공유기 마르텐사이와 마르텐사이트로 변태되지 않고 잔류하고 있는 오스테나이트(이후 잔류 오스테나이트라 한다)가 공존하도록 하여 제조하였다. 이에 반하여 가공유기 마르텐사이트와 역변태 오스테나이트의 2상 조직을 갖는 강의 제조는 오스테나이트 조직으로 되어 있는 강을 상온에서 70% 냉간 압연하여 오스테나이트의 97% 이상을 마르텐사이트로 변태시킨 후 500~700℃ 사이의 온도에서 10분 역변태 어닐링처리하여 마르텐사이트의 일부를 오스테나이트(이후 역변태 오스테나이트라 한다)로 역변태 시켜서 가공유기 마르텐사이트와 역변태 오스테나이트가 공존하는 2상 조직을 갖는 강과 70% 가공하여 오스테나이트의 97% 이상을 마르텐사이트 로 만든 다음 700℃에서 시간을 달리하는 역변태 어닐링 처리하여 가공유기 마르텐사이트와 역변태 오스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직을 갖는 세가지 종류의 2상 조직을 갖는 강을 제조 하였다.

2.3 미세조직 관찰

실험에 사용된 원시료와 가공도를 달리하여 냉간압연한 시료의 미세조직을 광학현미경, 주사전자현미경 및 투과전자현미경(Hitach, 200㎸) 등을 사용하여 관찰하였다. 또한 냉간가공 한 다음 온도와 시간을 달리하여 역변태 어닐링처리한 시료의 미세조직도 투과전자현미경으로 관찰하였다. 이때 투과전자현미경(Hitach, 200㎸) 관찰은 시료를 얇은 두께로 절단 한 다음 연마와 정마를 거친 다음 jet 연마에 의해 박막으로 만든 후 관찰하였다.

2.4 X-선 회절시험

가공도를 달리하여 냉간가공한 시료와 가공한 다음 500~700℃ 사이의 온도에서 10분 역변태 어닐링처리 한 시료 및 700℃에서 시간을 달리하여 역변태 어닐링처리한 시료에서 존재하고 있는 오스테나이트와 마르텐사이트의 체적분율은 X-선 회절시험법으로 측정하였다. 이 때 X-선 회절시험은 Cu-Kα선을 이용하여 2Θ를 10˚ ~ 80˚ 범위로 정하여 1˚/min의 속도로 시험하였고, 이때 얻은 회절선도로부터 상대적분강도 값을 가공유기 마르텐사이트 변태를 일으킨 시료에서 측정하는 방법과 동일한 방법으로 구하였다[20].

2.5 인장성질 측정

제조 방법을 달리하여 제작한 마르텐사이트와 오스테나이트의 2상 조직을 갖는 202 스테인리스강의 인장성질을 조사하기 위한 인장시험은 가공도를 달리하여 냉간 압연한 시료와 70% 냉간가공한 다음 온도와 시간을 달리하여 역변태 어닐링처리한 시료로부터 방전가공에 의해 ASTM E-8의 규격을 따라서 평행부 길이가 50㎜인 인장시험편을 제작한 다음 cross head speed를 2㎜/min 하여 인장시험하였다.

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

C	S	P	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Mo	Co
0.06	0.01	0.08	0.6	6.2	5.6	14.2	1.91	0.1	0.16

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직 관찰

Fig. 1은 본 연구에 사용된 비교적 많은 Mn을 갖는 202 오스테나이트계 스테인리스강 공시재의 미세조직을 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다.

오스테나이트 조직 내에 부분적으로 쌍정들이 존재하고 있는 조직으로 되어 있는 것을 알 수 있고, 이 결과로부터 전형적인 오스테나이트계 스테인리스강이 갖는 오스테나이트 조직임을 알 수 있다[17,19].

Fig. 2는 가공에 의해 생성되는 가공유기 마르텐사이트를 조사하기 위하여 시료를 70% 냉간 압연 한 시료의 미세조직을 광학현미경[사진 a]과 주사전자현미경[사진 b]으로 조사하여 나타낸 것이다.

냉간가공에 의해 오스테나이트 조직이 마르텐사이트 조직으로 변태되는데 기인하여 대부분 마르텐사이트 조직으로 되어 있는 것을 확인 할 수 있다. 또한 주자전자현미경사진으로부터 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트는 특정한 방향성을 지니며, 그리고 일부는 교차하면서 생성되어 있는 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라 이와 같이 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트도 표면기복을 일으키면서 생성되어 있는 것을 알 수 있다[17,19].

Fig. 3은 가공에 의해 생성되는 가공유기 마르텐사이트를 보다 상세히 결정학적으로 조사하고 또한 마르텐사이트와 오스테나이트가 함께 존재하는 강으로 만들기 위하여 오스테나이트 조직을 갖는 강을 30% 냉간 압연한 시료의 미세조직을 투과전자현미경으로 조사하여 나타낸 것이다. 여기서 사진 a)는 가공에 의해 생성된 미세조직을 명시야상으로 관찰하여 나타낸 것이고, b)는 명시야상과 암시야 상에서 나타낸 상의 제한시야 회절패

턴(SADP)과 이를 분석하여 나타낸 것이며, c)는 미세조직을 암시야상으로 관찰하여 나타낸 것이다.

이 투과전자현미경사진의 관찰 결과로부터 오스테나이트 조직의 일부가 가공에 의해 BCT결정 구조를 갖는 α′- 마르텐사이트로 변태되고 있는 것을 알 수 있다. 또한, 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트는 밴드형상으로, 방향성을 띄고 생성되어 있는 것도 확인 할 수 있다.

한편 상온에서 오스테나이트 조직을 갖는 304 등과 같은 오스테나이트계 스테인리스강을 가공하면 α′-마르텐사이트가 생성되고, 또한 어떤 경우에 따라서는 감쇠능에 크게 영향을 미치는 것으로 알려진 HCP결정 구조를 갖는 ε-마르텐사이트도 생성된다고 알려져 있지만[21] 본 연구의 범위 내에서는 ε-마르텐사이트는 관찰되지 않았다. 따라서 이러한 결과로부터 많은 Mn을 갖는 오스테나이트계 스테인리스강에서는 ε-마르텐사이트는 가공에 의해 잘 생성되지 않는 것으로 판단되고 이러한 이유는 오스테나이트의 안정도에 따라 달라지기 때문이라 판단된다[18].

Fig. 4는 역변태 어닐링처리하면 가공에 의해 생성된 마르텐사이트 조직이 오스테나이트 조직으로 변태되고, 또한 이러한 마르텐사이트와 오스테나이트 조직이 함께 존재하는 2상 조직을 갖는 강을 제작하는데 미치는 역변태 어닐링처리 온도의 영향을 조사하기 위하여 오스테나이트 조직을 갖는 시료를 70% 냉간가공 하여 대부분의 오스테나트 조직을 마르텐사이트 조직으로 변태시킨 시료에 대하여 550℃ 와 700℃에서 10mim. 역변태 어닐링 처리하였을 때의 미세조직을 투과전자 현미경으로 조사하여 나타낸 것이다.

역변태 어닐링처리에 의해 가공에 의해 생성된 마르텐사이트의 일부가 결정립 크기가 0.2㎛ 크기보다도 적은 초미세립 오스테나이트로 변태되고 있는데 기인되어 마르텐사이트와 오스테나이트 조직이 함께 존재하고 있는

2상 조직으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 역변태 처리 온도가 500℃보다 700℃로 높은 경우가 역변태되어 있는 오스테나이트 조직의 양이 많은 것을 알 수 있고 결정립의 크기도 약간 커지고 있는 것을 알 수 있다. 또한 700℃에서 10분 정도 역변태 어닐링처리하면 가공에 의해 생성된 마르텐사이트 조직의 대부분이 초미세립의 오스테나이트 조직으로 변태되고 있는 것을 알 수 있다[19].

Fig. 5는 역시 역변태 어닐링처리에 의해 가공에 의해 생성된 마르텐사이트가 오스테나이트 조직으로 변태되고, 또한 이러한 마르텐사이트와 오스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직을 갖는 강을 만드는데 미치는 역변태 어닐링처리 시간의 영향을 조사하기 위하여 오스테나이트 조직을 갖는 시료를 70% 냉간가공 하여 대부분의 오스테나트 조직을 마르텐사이트 조직으로 변태시킨 시료에 대하여 700℃에서 3min. 및 10min. 역변태 어닐링처리한 시료의 미세조직을 투과전자 현미경으로 조사하여 나타낸 것이다.

역시 역변태 어닐링처리에 의해 가공에 의해 생성된 마르텐사이트의 일부가 결정립 크기가 0.2㎛ 크기보다도 적은 초미세립 오스테나이트로 변태되는데 기인되어 마르텐사이트와 오스테나이트 조직이 함께 존재하고 있는 2상 조직으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 역변태 어닐링처리 시간이 길어지면 역변태되는 오스테나이트의 양도 많아지고, 결정립의 크기도 약간 커지고 있는 것을 알 수 있다.

이상의 미세조직 관찰 결과로부터 오스테나이트 조직이 가공에 의해 마르텐사이트 조직으로 변태되고 있는 것을 알 수 있고, 이 때 생성되는 마르텐사이트는 방향성을 지니고 생성되며, 일부는 서로 교차하면서, 그리고 표면기복을 일으키며 생성되고 있는 것을 알 수 있다. 또한 오스테나이트 조직을 갖는 시료를 가공량을 달리하는 가공을 하게 되면 서로의 체적분율이 다른 가공유기 마르텐사이트와 잔류오스테나이트가 함께 존재하는 2상

조직을 갖는 강의 제조가 가능한 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라 오스테나이트 조직을 가공에 의해 대부분 마르텐사이트 조직으로 만든 다음 온도를 달리하는 역변태 어닐링과 동일 온도에서 시간을 달리하는 역변태 어닐링 처리에 의해서도 서로의 체적분율이 다른 가공유기 마르텐사이트와 역변태 오스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직을 갖는 강의 제조도 가능한 것을 알 수 있다. 한편 가공후 역변태 어닐링처리에 의해 생성된 오스테나이트는 0.2㎛ 보다도 크기가 작은 초 미세립의 크기를 갖는 것을 알 수 있고, 가공량이 적어짐에 따라서 , 또한 역변태 어닐링처리 온도가 높아지거나 역변태 어닐링처리 시간이 길어지면 역변태된 오스테나이트이 양도 많아지고 있는 알 수 있으며, 가공량과 역변태 온도 및 시간을 달리하면 서로의 체적분율이 다른 마르텐사이트와 오스테나이트 조직을 갖는 2상 조직강의 제조가 가능함을 알 수 있다.

Fig. 1 Optical micrograph of high manganese austenitic stainless steel

Fig. 2 Micrographs of 70% cold-rolled high manganese austenitic stainless steel.
(a) optical, (b) SEM

Fig. 3 TEM micrographs showing the deformation-induced martensite in 30% cold-rolled high manganese austenitic stainless steel.

(a) bright field, (b) SADP by index, (c) dark field, Z=[$\bar{1}$23]

Fig. 4 TEM micrographs showing the effect of reverse treatment temperature in 70% cold-rolled high manganese austenitic stainless steel
(a) 550℃, (b) 700℃

Fig. 5 TEM micrographs showing the effect of reverse treatment time at 700℃ in 70% cold-rolled high manganese austenitic stainless steel
(a) 3min., (b) 10min.

3.2 잔류 및 역변태 오스테나이트의 변태 거동

앞절의 미세조직 관찰 결과로 부터 상온에서 오스테나이트 조직을 갖는 강을 가공하면 마르텐사이트가 생성되고, 가공량을 달리하여 가공하면 가공유기가 생성되는 마르텐사이트의 양이 달라지고 있는 것을 알 수 있었다. 또한 오스테나이트 조직을 갖는 강을 가공하여 마르텐사이트 조직으로 만든 다음 500-700℃ 사이의 온도에서 역변태 어닐링처리하면 마르텐사이가 오스테나이트 조직으로 역변태 되고 있을 뿐만 아니라 역변태 어닐링처리 온도에 따라 그리고 역변태 어닐링처리 시간에 따라 역변태 되는 오스테나이트의 양도 달라지며 이로부터 오스테나이트와 마르텐사이트의 량이 다른 2상 조직강의 제조도 가능한 것을 알 수 있다. 따라서 가공과 역변태 어닐링처리에 따른 잔류 및 오스테나이트의 변태 거동을 조사 하였다.

Fig. 6은 가공유기 마르텐사이트와 가공에 의해 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되지 않고 남아있는 잔류 오스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직강을 만들기 위하여 오스테나이트 조직을 갖는 강을 상온에서 가공도를 달리하여 냉간압연 하였을 때 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되지 않고 남아 있는 잔류 오스테나이트 양과 가공에 의해 생성된 가공유기 마르텐사이트 양의 변화를 조사하여 나타낸 것이다[19].

가공량이 증가함에 따라 가공에 의해 오스테나이트 조직이 마르텐사이트 조직으로 변태되는데 기인되어 마르텐사이트의 양이 많아지고 있고, 상대적으로 마르텐사이트로 변태되지 않고 남아있는 잔류 오스테나이트의 양은 빠르게 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 가공량이 70% 정도가 되면 오스테나이트의 대부분이 마르텐사이트로 변태되고 있는 것도 확인 할 수가 있다. 따라서 이러한 결과로부터 많은 Mn을 갖는 202 오스테나이트계 스테인리스강은 상온에서 70% 정도 가공하면 대부분의 오스테나이트가 마르텐사이로 변태되고 있는 것을 알 수 있고[15], 이러한 결과로부터 가공

량을 달리하여 가공하면 마르텐사이트와 오스테나이트 조직이 함께 존재하는 2상 조직을 갖는 강의 제조가 가능한 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 온도를 달리하여 역변태 어닐링처리하여 마르텐사이트와 오스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직강을 만들기 위하여 오스테나이트 조직을 갖는 시료를 70% 냉간압연 하여 오스테나이트 조직의 대부분을 마르텐사이트 조직으로 변태시킨 다음 500℃에서 700℃ 사이의 여러 온도에서 10분 어닐링처리 하였을 때 생성된 역변태된 오스테나이트의 체적분율과 오스테나이트로 변태되지 않고 남아있는 가공에 의해 생성된 마르텐사이트의 양을 조사하여 나타낸 것이다[19].

역변태 어릴링처리 온도가 증가함에 따라 역변태 되는 오스테나이트의 양이 서서히 증가하다 특정 온도 이상이 되면 빠르게 증가하고 있으며, 역변태 어닐링처리 온도가 700℃ 이상이 되면 큰 변화가 없는 것을 알 수 있다. 또한 역변태 어닐링처리 온도가 700℃가 되면 97% 이상의 가공에 의해 생성된 마르텐사이트 조직이 오스테나이트 조직으로 역변태되고 있는 것을 알 수 있다[15,19]. 뿐만 아니라 오스테나이트 조직을 가공에 의해 마르텐사이트 조직으로 만든 다음 온도를 달리하는 역변태 어닐링처리에 의해 마르텐사이트와 오스테나이트 조직이 함께 존재하는 2상 조직강의 제조가 가능함을 알 수 있다.

Fig. 8은 역변태 어닐링처리 시간을 달리하는 역변태 어닐링처리하여 마르텐사이트와 오스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직강을 만들기 위하여 역변태 어닐링처리 시간변화에 따른 역변태되는 오스테나이트의 변태거동을 조사하기 위하여 오스테나이트 조직을 갖는 시료를 70% 냉간압연 하여 오스테나이트 조직의 대부분을 마르텐사이트 조직으로 변태시킨 다음 700℃ 온도에서 시간을 달리하여 어닐링처리 하였을 때 생성된 오스테나이트의 체적분율과 오스테나이트로 변태되지 않고 남아있는 가공유기 마르텐사

이트의 양을 조사하여 나타낸 것이다.

역변태 어릴링처리 시간이 길어짐에 따라 역변태 된 오스테나이트의 양이 빠르게 증가하다 역변태 어닐링처리 시간이 5분보다 길어지면 서서히 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 역변태 어닐링처리 시간이 10분 정도가 되면 97% 이상의 마르텐사이트 조직이 오스테나이트 조직으로 역변태되고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 202 오스테나이트계 스테인리스강을 70% 가공하여 오스테나이트 조직의 대부분을 마르텐사이트로 변태 시킨 다음 700℃에서 10분 역변태 어닐링처리하면 가공에 의해 생성된 마르텐사이트 조직의 대부분이 오스테나이트 조직으로 변태되고 있는 것도 알 수 있을 뿐만 아니라 오스테나이트 조직을 가공에 의해 마르텐사이트 조직으로 만든 다음 시간을 달리하는 역변태 어닐링처리에 의해서도 마르텐사이트와 오스테나이트 조직이 함께 존재하는 2상 조직을 갖는 강의 제조도 가능한 것도 알 수 있다.

이상의 결과로부터 많은 Mn을 갖는 상온에서 오스테나이트조직을 갖는 202 오스테나이트계 스테인리스강을 가공량을 달리하여 가공하면 가공량에 따라 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트의 량이 달라지는데 기인하여 마르텐사이트로 변태되지 않고 남아있는 잔류 오스테나이트와 가공유기 마르텐사이의 양이 다른 2상 조직을 제조하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있다. 또한 70% 냉간 가공하여 오스테나이트 조직의 대부분을 마르텐사이트 조직으로 만든 다음 500℃에서 700℃ 사이의 온도에서 10분 역변태 어닐링처리와 700℃에서 시간을 달리하는 역변태 어닐처리에서도 체적분율이 다른 마르텐사이트와 오스테나이트 조직이 함께 존재하는 2상 조직을 갖는 강의 제조가 가능하다는 것을 확인 할 수가 있다.

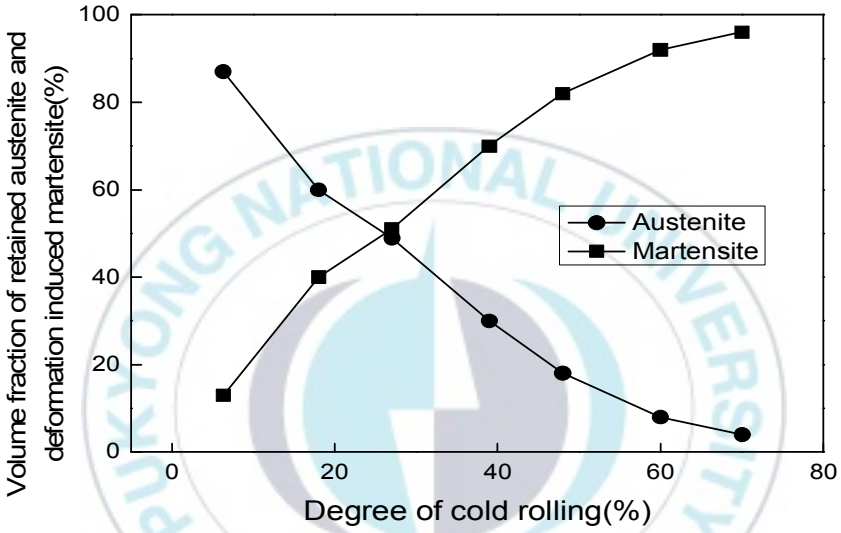

Fig. 6 Effect of degree of cold rolling on the volume fraction of retained austenite and deformation induced martensite in 202 austenitic stainless steel.

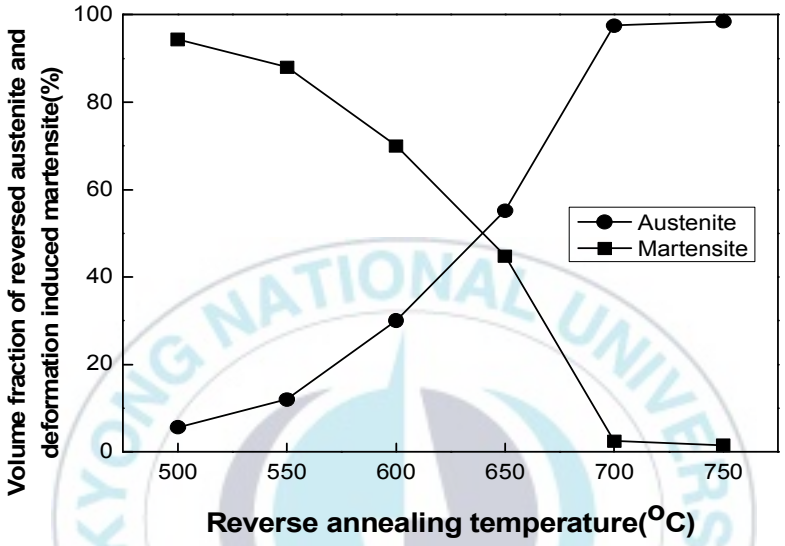

Fig. 7 Effect of reverse annealing time at 700℃ on the volume fraction of reversed austenite and deformation induced martensite in 202 austenitic stainless steel.

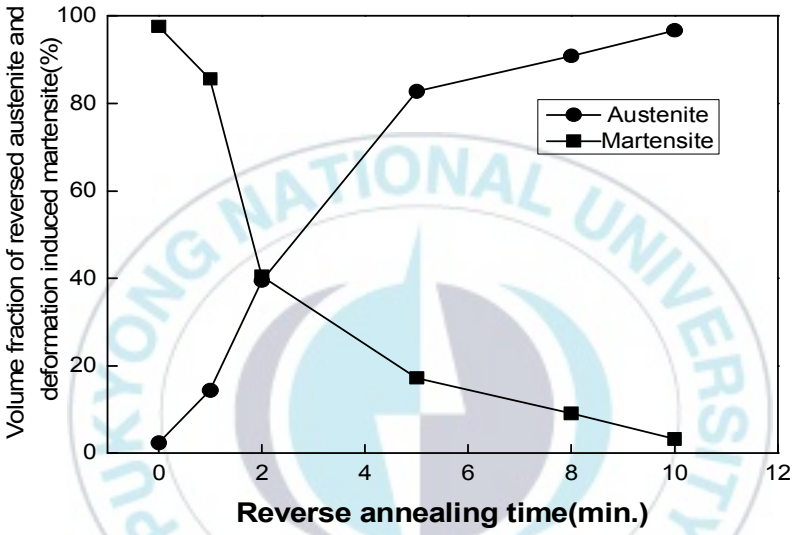

Fig. 8 Effect of reverse annealing temperature on the volume fraction of reversed austenite and deformation induced martensite in 202 austenitic stainless steel.

3.3 인장성질에 미치는 잔류 및 역변태 오스테나이트의 영향

앞절인 3.2 절의 실험결과로부터 가공량을 달리하는 가공과 가공하여 오스테나이트의 대부분을 마르텐사이트로 가공유기변태시킨 다음 온도와 시간을 달리하는 역변태 어닐링처리에 의해 잔류 및 역변태 오스테나이트와 가공유기 생성된 마르텐사이트의 체적분율이 다른 2상 조직을 갖는 강의 제조가 가능한 것을 알 수 있었다. 또한 이러한 2상 조직을 갖는 강에서 2상 조직을 갖는 강의 제조 방법에 따라 마르텐사이트와 오스테나이트 조직의 성상과 그 체적분율이 달리는데 기인되어 인장성질등도 달라질 것으로 판단된다. 따라서 이러한 미세조직의 성상이 달라지는 것과 미세조직의 성상이 다른 이러한 상들의 체적분율 변화에 따른 인장성질 변화를 조사하였다.

Fig. 9는 가공에 의해 생성된 마르텐사이트 조직과 가공에 의해 마르텐사이트 조직으로 변태되지 않고 잔류하는 오스테나이트 조직의 2상 조직을 갖는 202 스테인리스 강에서 인장강도와 연신율에 미치는 잔류 오스테나이트의 영향을 조사하기 위하여 오스테나이트 조직을 갖는 202 스테인리스강에서 가공량을 달리하는 가공을 하여 잔류오스테나이트의 체적분율을 달리한 다음 인장강도와 연신율을 조사하여 가공에 의해 마르텐사이트로 변태되지 않고 남아있는 잔류 오스테나이트 조직의 체적분율에 대해 나타낸 것이다[19].

가공에 의해 마르텐사이트로 변태되지 않고 남아있는 잔류 오스테나이트의 양이 많아질수록 빠르게 인장강도는 감소하고 연신율은 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 이러한 이유는 오스테나이트 조직이 자신보다 강도가 높은 마르텐사이트로 변태되는 양이 많아지기 때문이다

Fig. 10은 온도를 달리하여 만든 가공유기 마르텐사이트와 역변태 오스테나이트의 2상 조직을 갖는 202 스테인리스 강에서 인장강도와 연신율에

미치는 역변태 오스테나이트의 영향을 조사하기 위하여 오스테나이트 조직을 갖는 강을 70% 냉간 가공하여 오스테나이트의 대부분을 마르텐사이트로 변태 시긴 다음 500℃에서 700℃ 사이의 여러 온도에서 10분 역변태 어닐링처리하여 오스테나이트의 체적분율을 달리한 다음 인장강도와 연신율을 조사하여 역변태 어닐링처리에 생성된 역변태 오스테나이의 양에 대해 나타낸 것이다[19].

온도를 달리하여 역변태 어닐링처리하였을 때 생성된 역변태된 오스테나이트의 양이 많아질수록 빠르게 인장강도는 감소하고 연신율은 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 이러한 이유 역시 오스테나이트 조직이 자신보다 강도가 높은 마르텐사이트로 변태되는 양이 많아지기 때문이다

Fig. 11은 역변태 어닐링처리 시간을 달리하여 만든 가공유기 마르텐사이트와 역변태 오스테나이트의 2상 조직을 갖는 202 스테인리스 강에서 인장강도와 연신율에 미치는 역변태된 오스테나이트의 영향을 조사하기 위하여 오스테나이트 조직을 갖는 강을 70% 냉간 가공하여 오스테나이트의 대부분을 마르텐사이트로 변태 시긴 다음 700℃ 온도에서 최고 10분 까지 시간을 달리하여 역변태 어닐링처리한 다음 인장강도와 연신율을 조사하여 역변태 어닐링처리에 생성된 역변태된 오스테나이의 양에 대해 나타낸 것이다.

온도를 달리하여 역변태 어닐링처리한 시료에서와는 다른 거동으로 역변태된 오스테나이트의 양이 많아질수록 인장강도는 서서히 감소하다 빠르게 감소하고 있는데 반하여 연신율은 서서히 증가하다 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 이와 같이 온도를 달리하여 역변태 시켜 마르텐사이트와 오스테나이트 조직의 2상 조직을 갖는 강과 다른 거동을 타나내는 이유는 역변태 되는 조건이 달라지는데 기인되어 역변태된 오스테나이트 조직의 성상이 달라지기 때문이라 판단된다.

이상의 결과로부터 가공유기 마르텐사이트와 잔류 및 역변태 오스테나이트의 2상 조직을 갖는 강의 인장성질은 잔류 및 역변태 오스테나이트의 양이 많아 질수록 강도는 낮아지고 연신율은 증가하고 있는 것을 알 수 있고, 이러한 이유는 오스테나이트 조직이 자신보다 강도가 높은 마르텐사이트로 변태되는 양이 많아지기 때문이라 판단된다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

Fig. 9 Effect of volume fraction of retained austenite on the tensile properties in 202 austenitic stainless steel.

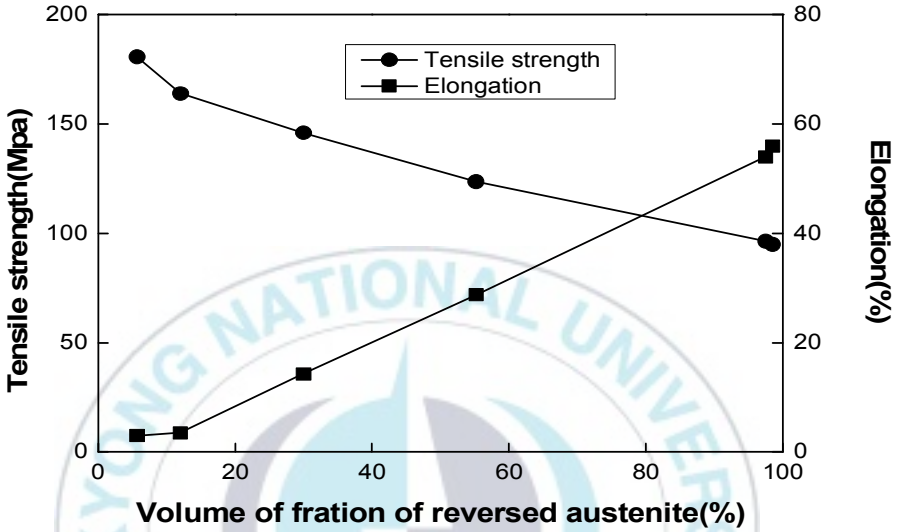

Fig. 10 Effect of volume fraction of reversed austenite obtained by annealing treatment at various temperature for 10min. after 70% cold rolling on the tensile properties in 202 austenitic stainless steel.

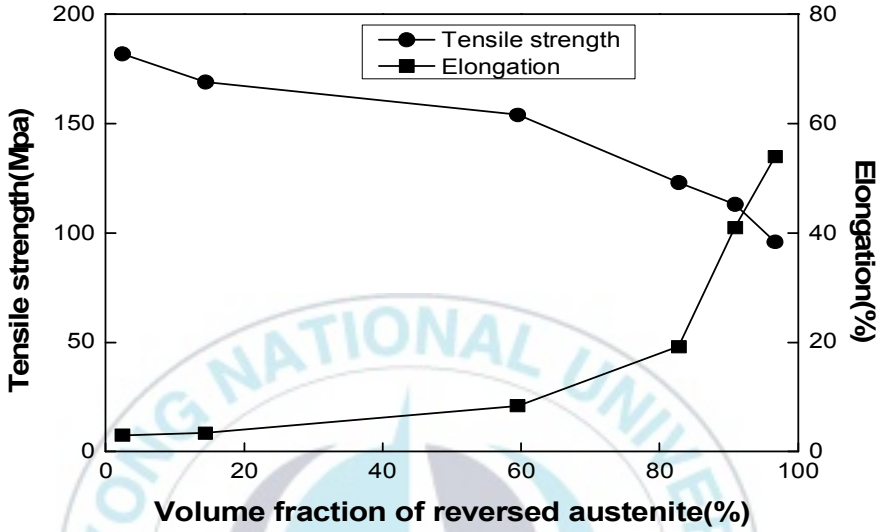

Fig. 11 Effect of volume fraction of reversed austenite obtained by annealing treatment at 700℃ for various time after 70% cold rolling on the tensile properties in 202 austenitic stainless steel.

3.4 인장성질에 미치는 오스테나이트의 영향

앞절인 3.3의 결과로부터 마르텐사이트와 잔류 및 역변태 오스테나이트의 2상 조직을 갖는 강의 인장 성질은 잔류 및 역변태 오스테나이트의 양이 많아 질 수록 강도는 낮아지고 연신율은 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 제조 방법에 따라 인장강도가 증가하고 연신율이 감소하는 거동이 달라지고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 제조 방법에 따라 달리하여 제작한 마르텐사이트와 오스테나이트 조직의 2상 조직을 갖는 강에서 생성된 오스테나이트가 인장성질에 미치는 영향을 조사하였다.

Fig. 12는 오스테나이트 조직을 갖는 많은 Mn을 갖는 2020 오스테나이트계 스테인리스강을 가공량을 달리하는 가공과 가공에 의해 오스테나이트 조직의 대부분을 마르텐사이트 조직으로 변태시킨 다음 500℃에서 700℃사이의 온도 범위에서 온도를 달리하는 역변태 어닐링과 700℃에서 시간을 달리하는 역변태 어닐링처리와 같이 제조방법을 달리하여 두상의 체적분율이 서로 다른 오스테나이트와 마르텐사이트 조직의 2상 조직을 을 갖는 강을 만든 다음 인장강도에 미치는 제조방법에 따른 오스테나이트 조직의 영향을 조사하여 나타낸 것이다.

제조 방법에 관계없이 세 시료가 동일하게 오스테나이트의 양이 많아질수록 인장강도는 빠르게 감소하고 있는 것을 알 수 있고, 이와 같은 이유는 오스테나이트 조직의 경우가 마르텐사이트 보다 강도가 낮기 때문이라 판단 된다19). 또한 동일 오스테나이트의 양에서 700℃ 온도에서 시간을 달리하여 역변태 어닐링처리하였을 때 얻은 오스테나이트의 경우가 인장강도가 가장 높고, 그 다음 온도를 달리하여 역변태 어닐링처리 하였을 얻은 오스테나이트가 높으며, 가공량을 달리하여 압연하였을 때 얻은 오스테나이트의 경우가 가장 낮은 인장강도를 나타내고 있는 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 13은 오스테나이트 조직을 갖는 많은 Mn을 갖는 2020 오스테나이트계 스테인리스강을 가공량을 달리하는 가공과 가공에 의해 오스테나이트 조직의 대부분을 마르텐사이트 조직으로 변태시킨 다음 500℃에서 700℃사이의 온도 범위에서 온도를 달리하는 역변태 어닐링과 700℃에서 시간을 달리하는 역변태 어닐링처리와 같이 제조방법을 달리하여 두상의 체적분율이 서로 다른 오스테나이트와 마르텐사이트 조직의 2상 조직을 을 갖는 강을 만든 다음 연신율에 미치는 제조방법에 따른 오스테나이트 조직의 영향을 조사하여 나타낸 것이다.

제조 방법에 관계없이 세 시료가 동일하게 오스테나이트의 양이 많아질수록 연신율은 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있고, 이와 같은 이유 또한 오스테나이트 조직이 마르텐사이트 보다 강도가 낮아 연신율이 높기 때문이라 판단 된다[19]. 또한 동일 오스테나이트의 양에서 700℃ 온도에서 시간을 달리하여 역변태 어닐링처리하였을 때 얻은 오스테나이트의 경우가 연신율이 가장 낮고, 그 다음 여러 온도에서 온도를 달리하여 역변태 어닐링처리하였을 생성된 오스테나이트가 낮으며, 가공량을 달리하여 압연하였을 때 얻은 오스테나이트의 경우가 가장 높은 연신율 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 제조방법에 관계없이 동일하게 잔류 및 역변태 오스테나이트의 양이 증가함에 따라 강도 값이 비교적 비례관계로 빠르게 감소하고 있고, 연신율이 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 이와 같은 이유는 잔류 및 역변태 오스테나이트의 양이 많아지면 상대적으로 오스테나이트보다 강한 마르텐사이의 양이 적어지기 때문이다[16,-19].

한편, 동일 오스테나이트의 양에서 700℃에서 시간을 달리하여 어닐링처리하였을 때와 500℃에서 700℃사이의 온도에서 시간을 달리하여 역변태 어닐링처리 하였을 때 생성된 역변태 오스테나이트가 가공량을 달리하여

가공하였을 때의 잔류 오스테나이트 보다 인장강도가 가장 높고 연신율이 높은 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 또한 이와 같은 이유는 역변태 오스테나이트는 가공에 의해 생성된 마르텐사이트가 역변태 어닐링처리에 의해 오스테나이트로 변태된 조직이기 때문에 결정립의 크기가 약 0,2~0.5 ㎛ 사이의 초 미세립으로 잔류 오스테나이트 결정립보다 대단히 적을 뿐만 아니라, 조직내 전위, 적층결함 등과 같은 가공시 도입된 결함을 많이 지니고 있기 때문이라 판단 된다[12,19].

또한 동일 역변태 오스테나이트의 량에서 700℃에서 시간을 달리하여 역변태어닐링처리하였을 대 생성된 오스테나이트가 온도를 달리하여 역변태 어닐링처리하였을 때 생성된 오스테나이트 보다 강도가 높고 연신율이 낮은 이유는 온도를 달리한 경우는 500℃에서 700℃ 사이의 여러온도에서 10분 역변태어닐링처리 하였고, 시간을 달리하여 역변태 어닐링처리한 경우는 700℃에서 1분에서 10분 역변태 어닐링처리 하였기 때문에 700℃의 경우가 온도는 높지만, 시간이 짧아 가공시 생성된 결함들이 충분이 소멸되지 못하고 많이 남아 있어 이러한 결함 등이 강도와 연신율에 영향을 미치기 때문이라 판단된다.[12,13,19].

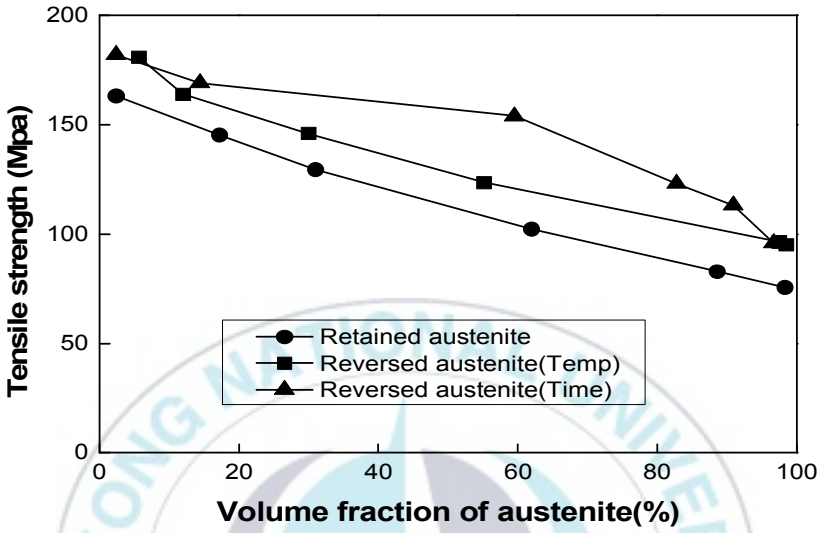

Fig. 12 Effect of volume fraction of retained and reversed austenite on tensile strength in 202 austenitic stainless steel.

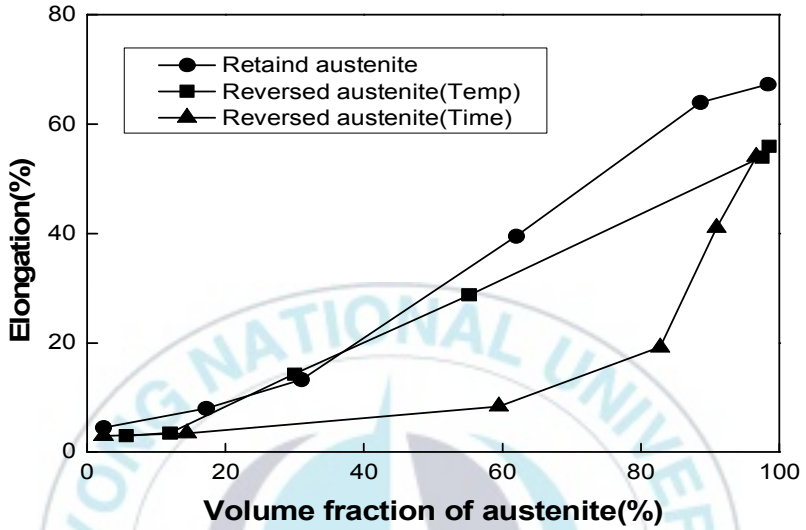

Fig. 13 Effect of volume fraction of retained reversed austenite on the elongation 202 austenitic stainless steel.

4. 결론

마르텐사이트와 잔류 및 역변태 오스테나이트가 함께 존재하고 있는 2상 혼합조직을 갖는 고 Mn 오스테나이트계 스테인리스강의 기계적 성질에 미치는 제조방법에 따른 잔류 및 역변태 오스테나이트의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 마르텐사이트와 잔류 오스테나이트가 함께 존재하는 2상 조직 강은 가공량을 달리하는 냉간 압연과 가공한 다음 온도와 시간을 달리하는 역변태 어닐링처리에 의해 얻어졌다.
2) 역변태 어닐링처리에 의해 내부에 많은 전위등과 같은 결함을 갖는 0.5㎛ 보다 적은 크기의 초 미세립의 오스테나이트가 생성되었다.
3) 잔류 및 역변태 오스테나이트의 양이 증가함에 따라 강도는 빠르게 감소하고, 연신율은 빠르게 증가하였다.
4) 동일 역변태 및 잔류 오스테나이트이 양에서 역변태 오스테나이트가 잔류 오스테나이트 보다 경도와 강도 및 연신율이 높게 나타났다.
5) 동일 역변태 오스테나이트량에서 700℃에서 시간을 달리하여 어닐처리한 경우가 온도를 달리하여 어닐링 처리한 경우보다 강도가 높고 연신율이 낮게 나타났다.
6) 인장성질과 연신율은 잔류 오스테나이트보다 역변태 오스테나이트에 더 크게 영향을 받고, 동일 역변태의 경우에서도 시간을 달리하여 얻은 오스테나이트에 더 크게 영향을 받았다.

참 고 문 헌

1. 長谷川正義 : “Stainless steel 便覽”, 「日刊工業新聞社」, (1980).
2. D. Pecker and I. M. Bernstein(eds) ; "Handbook of Stainless Steel," McGrawHill, New York, (1977).
3. 瀨尾省逸, 宮奇亨, 矢鳥悅次郎 ; 日本金屬學會誌, 27, 170 (1963).
4. M. G. Kwoon, C. Y. Kang ; Kor. J. Mater. Res., 24, 1(2014), p. 1
5. G. H. Eichelman and F. C. Hu11 ; Trans.ASM, 45, 77 (1953).
6. 平山俊成 小切間正彦 ; 日本金屬學會誌, 34, 507 (1970).
7. 平山俊成 小切間正彦 ; 日本金屬學會誌, 34, 511 (1970).
8. J. E. Truman ; ISI Spec. Rep., 86, 84 (1964).
9. K. J. Irivine ; JISI, 8, 63 (1960).
10. H. M. Ledbetter, N. V. Frederick and M. W. Anstin ; J. Apple. Phys., 51, 305 (1980).
11. H. Laddach and P, Schuler ; Dew-Tech. Bar., 13, 58 (1973).
12. Y. H. Kim, Y. S. Ahn, H. Y. Jeong, C. Y. Kang, B. H. Jeong, C. G. Kim ; J. of the Korean Inst. of Met. & Mater., 33, 1, 42 (1995).
13. Y. H. Kim, Y. S. Ahn. H. Y. Jeong, C. Y. Kang, B. H. Jeong, C. G. Kim ; J. of the Korean Inst. of Met. & Mater., 33, 1, 143 (1995).
14. Y. K. Lee, O. J. Kwon ; J. of the Korean Inst. of Met. & Mater., 10, 1, 208 (1993).
15. C. Y. Kang and T. Y. Hur ; Kor. J. Met. Mater., .50, 6 (2012), p.206
16. Y. H. Kim, S. H. Lee, S. G. Kim, C. Y. Kang ; Korean J. Mater. Res., 25, 1(2015), pp.9-15

17. T. H. Hwang, C, Y. Kang, Korean J. Met. Mater., 51(9) 645(2013).
18. J. Y. Lee, J. N. Kim, C. Y. Kang ; Kor. J. Met. Mater., 62, 12(2015), p.919
19. Y. H. Kim, J. H. Kim, T. H. Hwang, J. Y. Lee, and C. Y. Kang ; Met. Mater. Int., 21(3), pp.485-489
20. R. L. Miller; Trans. ASM, 57,892(1964)

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교