



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](#)

공학석사 학위논문

Elbow의 인장 성질에 미치는 제조공정의 영향



금속공학과

김 학 철

공학석사 학위논문

Elbow의 인장 성질에 미치는 제조공정의 영향

지도교수 강 창 룡

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2019년 8월

부경대학교 산업대학원

금속공학과

김 학 철

김학철의 공학석사 학위논문을 인준함.

2019년 8월



주 심 교 수 김권후 (인)

위 원 교 수 왕제필 (인)

위 원 교 수 강창룡 (인)

목 차

Abstract.....	ii
1. 서론	1
2. 실험방법	5
2. 1 시료 및 시험편.....	6
2. 2 열처리.....	6
2. 3 미세조직 관찰	6
2. 4 X-선 회절시험.....	7
2. 5 인장 성질 측정.....	7
3. 실험결과 및 고찰.....	9
3.1 미세조직에 미치는 제조 공정의 영향.....	10
3.2 인장성질에 미치는 제조 공정의 영향.....	35
4. 결론.....	48
참고문헌.....	51

Effect of Manufacturing Process on Tensile Properties of Elbow Manufactured

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

Abstract

The following conclusions have been reached by evaluating and comparing microstructure, tensile properties of each part of Elbow, which is manufactured through the cold and the hot-expanding forming using 304Lseamless and welded pipe. Hot-expanding formed specimen showed the presence of austenite single-phase, while the cold displayed the presence of some martensite in austenite structure. This result was obtained from 304L Elbow before heat treatment. Heat treated Elbows after the cold and the hot-expanding forming also consist of austenite single-phase. It can be well known that martensite produced by cold forming is all inversely transformed into austenite, and therefore there is no difference in microstructure of specimens regardless of heat treatment and forming methods. Grains of the cold formed specimen are larger than that of hot-expanding, which is mainly attributed to a growing of grain.

The growing of grain was caused by heat treatment after the cold and hot-expanding forming. The cold formed specimen displayed higher strength but lower elongation than hot-expanding specimen before heat

treatment. This is clearly attributed to transformation of some austenite into martensite, dislocation, and vacancy generated during heat treatment.

The Elbows subjected to the heat treatment after the cold and the hot-expanding forming exhibit no significant difference in tensile strength, elongation regardless of forming methods. Microstructures remained unchanged regardless of forming methods. The Elbows manufactured using the Seamless Pipe and the Welded Pipe display no significant difference in tensile strength, while elongation have a tendency to be lowered in the Welded Pipe than in the Seamless, but the difference can be negligible by heat treatment. No significant difference in strength is not located in both the Seamless Pipe and the Welded before and after heat treatment. However, elongation is slightly lower in the Welded than the Seamless before heat treatment, after which the difference is negligible. In conclusion, it can be found that there is no significant difference in structures and tensile properties between the Elbows produced the cold and the hot-expanding forming.



1. 서 론

배관에 사용되고 있는 Butt-welding type Elbow는 304L 및 316L 등과 같은 오스테나이트계 스테인리스강을 사용하여 주로 냉간 가공으로 성형한 다음 고용화 열처리하는 공정으로 제작하고 있다. 냉간성형공법에 의해 Elbow를 제작하게 되면 제작된 Elbow 제품의 치수 정밀성이 높고, 표면상태가 미려하며, 제작과정에서 가열공정이 필요 없기 때문에 가열로 등과 같은 설비도 필요 없을 뿐만 아니라, 공정이 간단한 등의 장점을 지니고 있다^{1,2)}.

또한, 이러한 스테인리스강은 상온에서 면심입방(FCC) 결정구조인 오스테나이트 조직으로 되어 있기 때문에⁴⁻⁷⁾ 냉간성형 과정에서 오스테나이트 조직의 일부가 마르텐사이트로 변태[이를 가공유기 마르텐사이트 변태(Deformation Induced Martensite Transformation)라 하고, 이러한 마르텐사이트를 가공유기 마르텐사이트(Deformation Induced Martensite)라 한다] 된다⁸⁻¹³⁾. 또한 이 때 마르텐사이트는 체심정방정(BCT) 결정구조를 갖는 α' -마르텐사이트와 조밀 육방정을 갖는 ϵ -마르텐사이트로 생성된다고 알려져 있다⁸⁾. 또한 마르텐사이트는 표면 기복을 일으키며⁹⁻¹²⁾, 특정 방위관계를 갖고, 일부는 서로 교차 하면서 생성된다고 알려져 있다¹³⁾. 뿐만 아니라 이를 다시 가열하여 수냉하는 고용화 열처리 하면 고용화 열처리 과정에서 오스테나이트로 역변태되는데 기인되어 결정립크기가 작아 강도와 인성 등과 같은 기계적성질 등이 좋아지는 등 여러 장점을 지니고 있다^{14,15)}. 그러나 냉간성형 공법은 가공성이 열간성형 공법보다 떨어져 생산성이 크게 낮아지는 등의 단점

이 있다. 따라서 최근 관련업계에서는 생산성 향상을 위하여 열간공법으로 성형하여 Elbow를 제작하려는 연구 및 개발 노력이 활발히 이루어지고 있다. 그러나 열간성형공법으로 Elbow를 제작하면 열간성형을 위한 가열과 성형공정에서 온도와 시간이 부적절할 경우 탄화물 등과 같은 석출물의 석출이 일어날 수 있고, 또한 이와 같은 탄화물 등이 석출되면 성형공정에서 제품에 균열을 발생하게 하거나 또는 제품의 기계적 성질 및 내식성 등을 크게 낮추는 것으로 알려져 있다¹⁶⁾. 때문에 열간성형공정에서의 최적 제조기술의 개발은 대단히 중요하다. 이러한 배경에서 Elbow의 기계적 성질 및 내식성 등에 미치는 냉간성형에 의한 제조법과 열간성형에 의한 제조법의 차이를 계통적으로 명확하게 조사하는 것이 필요하다. 그러나 아직 이러한 두 제조공법에 의해 Elbow를 제작하였을 때 Elbow 제품이 갖는 기계적 성질, 충격인성 및 내식성 등에 미치는 두 제조공법 간의 차이가 명확하게 규명되지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 Fig.1에서 나타낸 바와 같이 냉간 성형공법과 열간 성형공법에 의해 Elbow를 제작한 다음 두 가지 제조공법별 조직과 인장성질 등을 비교함으로써 두 제조공법의 차이를 조사함과 동시에 이러한 결과를 근거로 하여 열간에 의한 Elbow 성형공법의 기초 자료를 얻고자 하였다.

<냉간성형 공법>

<열간성형 공법>

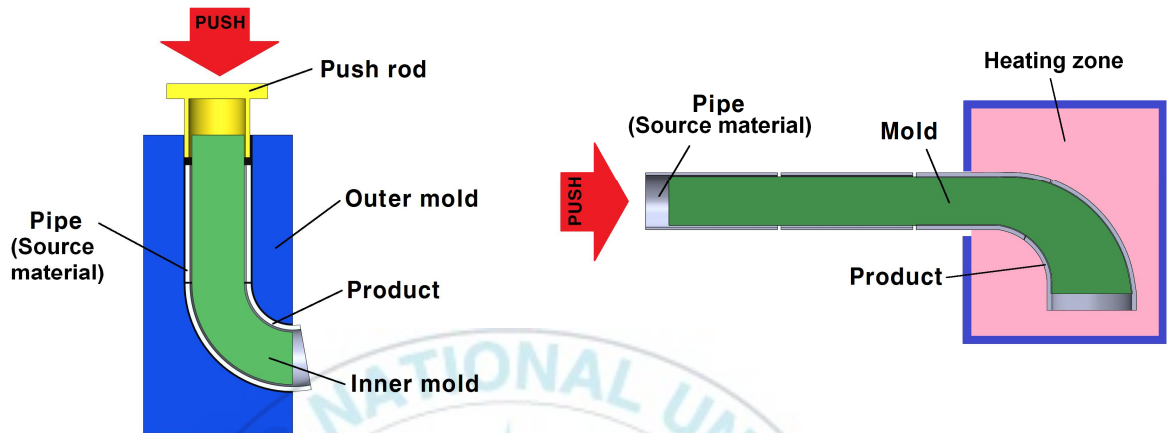


Fig. 1 Elbow manufacturing method by cold forming and hot expanding forming

제 II 장

실험 방법



2. 실험 방법

2.1 시료 및 시험편

본 연구에 사용된 시료는 상용재인 304L 및 316L 스테인리스 원소재를 사용하여 냉간 및 열간 성형공법으로 제작한 Elbow를 시료로 사용하였다. 사용된 원소재 및 Elbow의 상세한 내역은 Table1에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of specimens (wt.%)

Specimen	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe
304L	0.02	0.58	1.2	0.001	0.002	18.2	10.4	0.1	bal

한편, 냉간 및 열간 성형공법에 의해 제작된 Elbow로부터 미세조직과 인장성질 등을 조사하기 위한 시험편은 Fig.2에서 나타난 외부(A), 중심부(B) 내부(C)에서 채취하여 시험하였다.

2. 2 열처리

냉간 및 열간 성형공정으로 Elbow를 제작한 후의 고용화 열처리는 1060℃에서 20분간 유지 후 수냉하는 고용화 열처리를 하였다.

2. 3 미세조직 관찰

냉간 및 열간 성형공법에 의해 제작된 Elbow의 미세조직 관찰은 각

Elbow로부터 Fig. 2에서 나타낸 부위에서 시험편을 채취하여 통상의 연마와 정마 과정을 거친 다음 왕수 등을 사용하여 부식한 후 광학현미경으로 관찰하였다. 또한 연신율, 인성 등의 값이 예상을 벗어난 일부의 시료에 대해서는 주사전자현미경으로도 미세조직을 관찰하였다.

2. 4 X-선 회절 시험

제조공정에 따른 미세조직 변화, 탄화물 및 석출물의 존재여부 등을 조사하기 위한 일부 시료에 대한 X선 회절시험은 Cu-K α 특성 X선을 사용하여 20-80° 사이의 각도를 2°/min 속도로 시험하였다. 또한 각 상과 탄화물의 분석은 이러한 회절시험에 의해 얻은 회절선도로부터 분석하였다.

2. 5 인장성질 측정

성형공정에 따른 강도, 연신율 등의 인장성질을 평가하기 위한 인장시험은 냉간 및 열간 성형공법에 의해 제작된 seamless 및 welded Elbow의 각 위치에서 (Fig.2 참조) 인장시험편을 ASTM E-8의 규격을 따라 제작한 다음 cross head speed를 2 mm/min. 으로 시험 하였다.

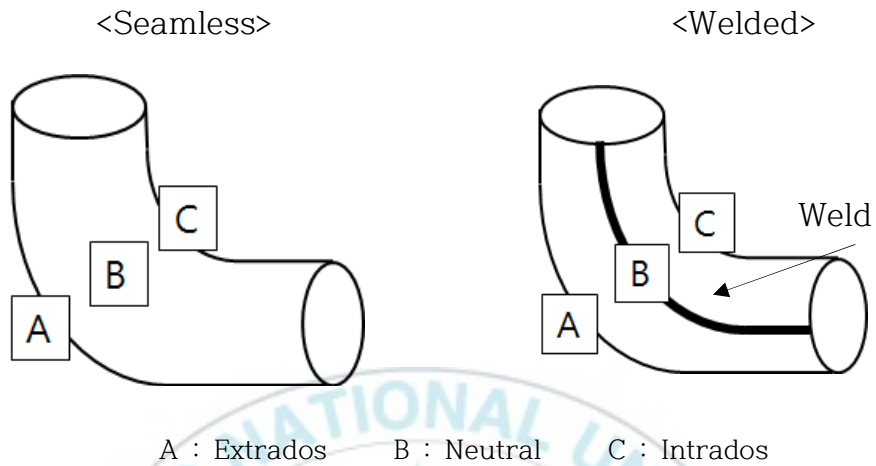


Fig. 2 Location of specimen

제 Ⅲ 장

실험결과 및 고찰



3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직에 미치는 제조공정의 영향

Fig. 3은 Elbow를 제작하는데 사용된 여러가지 304L 강의 미세조직을 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 전형적인 오스테나이트 단상조직으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 한편 welded pipe가 seamless pipe에 비해 오스테나이트의 결정립 크기가 약간 작은 것을 알 수 있다. 이는 잉곳으로부터 압출, 인발 등의 공법으로 제조하는 seamless pipe와 압연 코일을 벤딩하여 용접하는 welded pipe의 제조공법 특성에 의해 발생하는 것으로 추정된다. 또한 용접한 재료가 결정립 크기가 적은 것은 용접에 의해 생성된 비드 부분이 용접 시 일단 용융되었다 응고하는데 용접시에 용융된 금속의 양이 적어 상대적으로 빠르게 응고되었기 때문이라 판단된다.

Fig. 4는 304L 4" Elbow의 열처리 전 미세조직을 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 냉간성형 공법으로 제작한 Elbow에서는 위치에 관계없이 기존 오스테나이트 조직에 성형시 생성된 소량의 마르텐사이트가 함께 존재하고 있는 2상 조직으로 되어 있는데 반해 열간 성형한 Elbow에서는 위치에 관계없이 동일하게 오스테나이트 단상조직으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 한편 냉간 성형한 시료에 비해 열간 성형한 시료의 경우 오스테나이트의 결정립 크기가 큰 것을 알 수 있는데, 이는 열간 성형을 위해 가열하였을 때 결정립의 성장이 일어나기 때문이라 판단된다.

Fig. 5는 Elbow 의 미세조직에 미치는 열처리의 영향을 조사하기 위하여 304L 4" Elbow를 냉간 및 열간 성형공법으로 제작한 다음 1060℃에서 고용화 열처리 후 미세 조직을 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다.

냉간 및 열간성형에 관계없이 모두 고용화열처리 후는 오스테나이트 단상 조직으로 되어 있고 결정립 성장도 일어나 있는 것을 알 수 있다. 또한 이 결과로부터 냉간에 의해 생성된 마르텐사이트는 고용화 열처리에 의해 전부 오스테나이트로 역변태되고 있는 것을 알 수 있다.



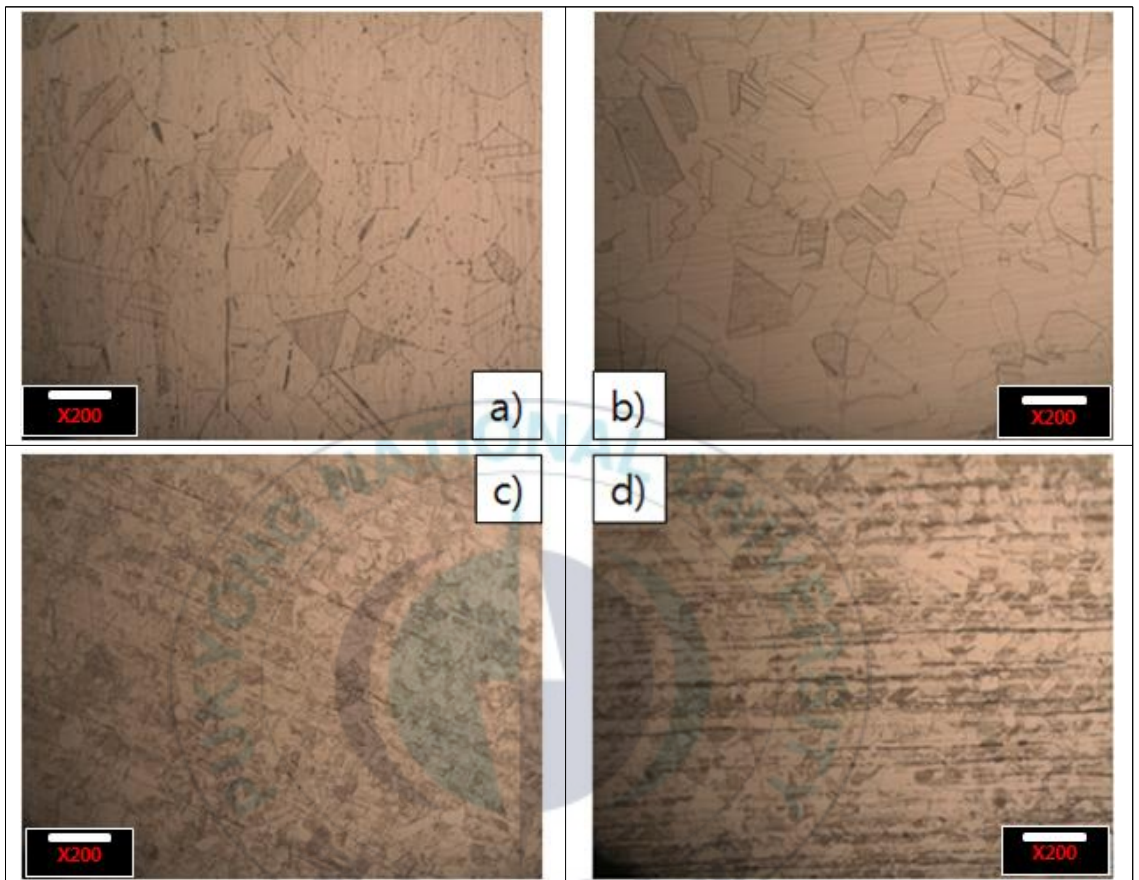


Fig. 3 Optical micrographs of base metal of 304L stainless steel pipes

- a) 4" Seamless b) 8" Seamless
c) 8" Welded d) 14" Welded

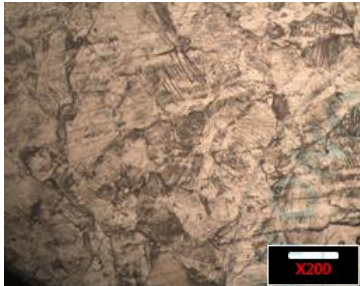
Before Heat treatment	Extrados [A]	Neutral [B]	Intrados [C]
Cold formed (4" Elbow)			
Hot-expanding formed (6" Elbow)			

Fig. 4 Optical micrographs of 304L Elbow before heat treatment
(Source material : 4" seamless pipe)

After Heat treatment	Extrados [A]	Neutral [B]	Intrados [C]
Cold formed (4" Elbow)			
Hot-expanding formed (6" Elbow)			

Fig. 5 Optical micrographs of 304L Elbow after heat treatment

(Source material : 4" seamless pipe)

이상의 미세조직 관찰로부터 열간성형한 Elbow에서는 오스테나이트 단상 조직으로 되어 있지만 냉간성형한 Elbow에서는 오스테나이트에 적은 량이지만 마르텐사이트가 존재하고 있는 것을 알 수 있고, 이러한 마르텐사이트는 냉간성형시에 생성되는 것으로 판단할 수 있다.

Fig. 6는 냉간성형 공법으로 Elbow를 제작할 때 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되는지 여부를 조사하기 위하여 4" 304L Seamless Pipe를 사용하여 냉간성형 공법으로 Elbow를 제작한 다음 내부를 X선 회절시험 하였을 때 얻은 회절선도를 분석하여 나타낸 것이다. 오스테나이트에 해당되는 피크 외 마르텐사이트에 해당되는 피크들이 함께 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 이 결과로부터 냉간성형 공법으로 Elbow를 제작하게 되면 오스테나이트의 일부가 마르텐사이트로 변태되고 있다는 것을 알 수 있다⁸⁻¹²⁾.

Fig. 7는 열간성형 공법으로 Elbow를 제작할 때 가공유기 마르텐사이트가 생성되는지 여부를 알아보기 위하여 4" 304L Seamless Pipe를 사용하여 열간성형 공법으로 Elbow를 제작한 다음 외부를 X선 회절시험 하였을 때 얻은 회절선도를 나타낸 것이다

냉간성형한 시료에서와는 달리 오스테나이트의 피크만이 존재하고 있는것을 알 수 있다. 따라서 열간성형에 의해서는 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되지 않는다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 냉간성형한 Elbow의 미세조직에 미치는 열처리의 영향을 알아보기 위하여 4" 304L Seamless Pipe를 사용하여 냉간성형 공법으로

로 Elbow를 제작한 다음 고용화 열처리 후 Elbow의 외부를 X선 회절 시험 하였을 때 얻은 회절선도를 분석하여 나타낸 것이다. 오스테나이트에 해당되는 피크만이 존재하고 있어 오스테나이트 단상 조직으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 이전의 Fig. 6의 결과로부터 냉간성형을 하면 가공유기 마르텐사이트가 생성되지만, 이때 생성된 마르텐사이트는 고용화 열처리에 의해 전부 오스테나이트로 역변태 되고 있는 것을 알 수 있다.



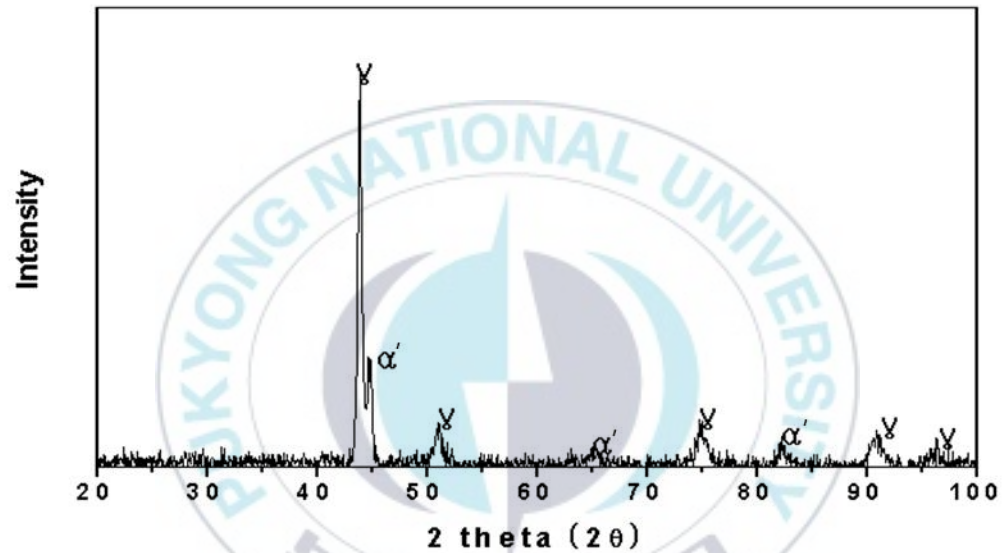


Fig. 6 X-Ray diffraction pattern obtained after cold forming of 304L 4"
Seamless Elbow
(Source material : 4" seamless pipe)

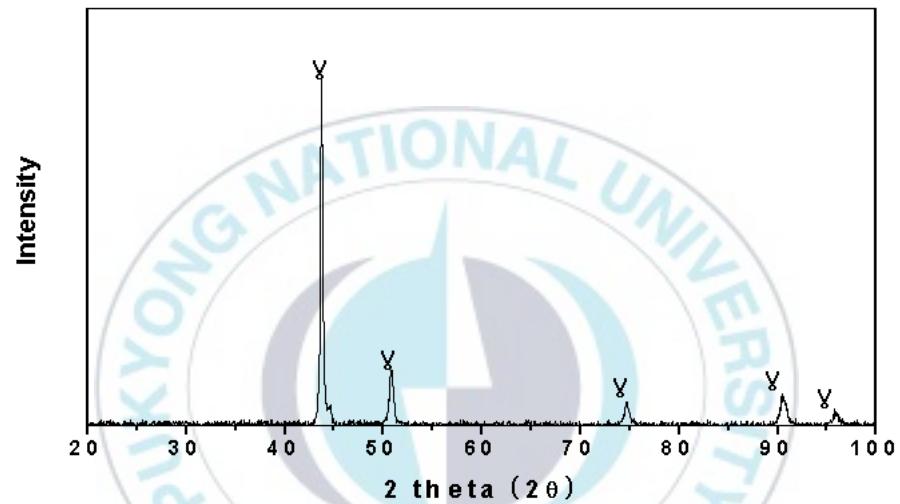


Fig. 7 X-Ray diffraction pattern obtained after hot forming of 304L 6" Seamless Elbow

(Source material : 4" seamless pipe)

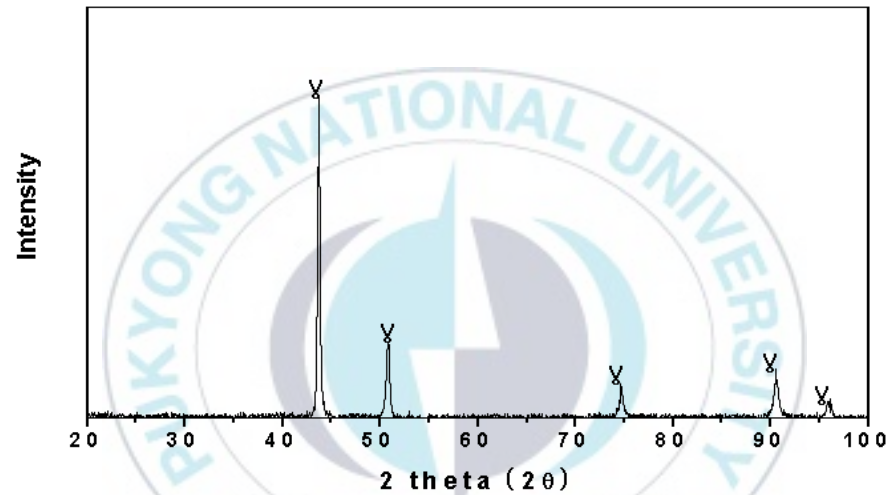


Fig. 8 X-Ray diffraction pattern obtained by heat treatment after cold forming of 304L 4" Seamless Elbow (Source material : 4" seamless pipe)

Fig. 9는 Elbow의 미세조직에 미치는 제조공정의 영향을 상세히 관찰하기 위하여 4" 304L Seamless Pipe를 사용하여 냉간성형 공법으로 Elbow를 제작한 다음 외부의 미세조직을 주사전자현미경으로 관찰한 것이다. 오스테나이트 조직에 냉간성형시 생성된 마르텐사이트가 부분적으로 표면기복을 일으키며, 방향성을 띄고, 일부는 서로 교차하면서 소량 생성되어 존재하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 열간성형공법에 의해 제조된 Elbow의 미세조직을 보다 상세하게 조사하기 위하여 4" 304L Seamless Pipe를 사용하여 열간성형 공법으로 제작한 Elbow의 미세조직을 주사전자현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 냉간성형과는 달리 오스테나이트 단상조직인 것을 알 수 있다. 따라서 열간성형공정에서는 마르텐사이트가 생성되지 않는다는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 냉간성형한 Elbow의 미세조직에 미치는 열처리의 영향을 상세하게 알아보기 위하여 4" 304L Seamless Pipe를 사용하여 냉간성형 공법으로 Elbow를 제작한 다음 고용화 열처리 후의 미세조직을 주사전자현미경에 의해 나타낸 것이다. 역시 오스테나이트의 단상 조직으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 따라서 이 결과로부터 냉간성형에 의해 생성된 마르텐사이트는 고용화 열처리에 의해 오스테나이트 조직으로 역변태되고 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 12은 8" 304L Seamless Pipe를 사용하여 냉간 및 열간 성형공법으로 Elbow를 제작한 다음 미세 조직을 광학현미경으로 관찰하여 나타

낸 것이다. Fig. 5의 시료에서와 동일하게 냉간성형하여 제작한 Elbow에서는 위치에 관계없이 동일하게 오스테나이트 조직에 냉간성형 시 생성된 적은 량의 마르텐사이트가 함께 존재하고 있는 2상 조직으로 되어 있는데 반하여 열간 성형한 Elbow에서는 위치에 관계없이 동일하게 오스테나이트 단상조직으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 냉간 성형한 시료에 비해 열간 성형한 시료의 경우가 오스테나이트의 결정립 크기가 큰 것을 알 수 있고, 이는 열간 성형을 위해 가열하였을 때 결정립의 성장이 일어나기 때문이라 판단된다.



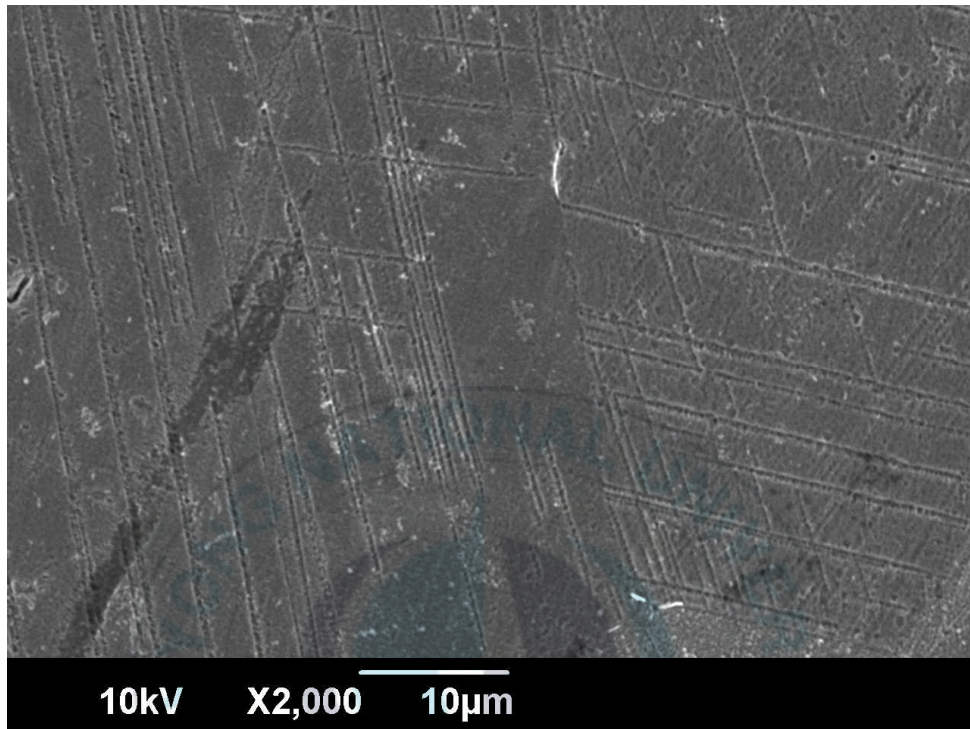


Fig. 9 SEM micrographs after cold forming of 304L
4" Seamless Elbow
(Source material : 4" seamless pipe)

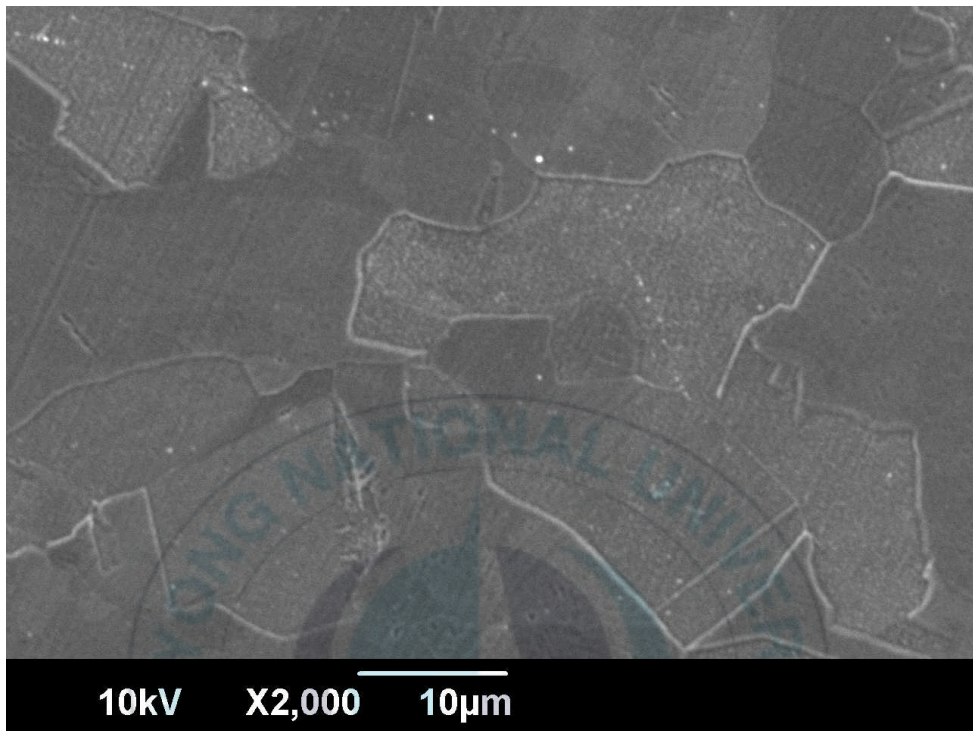


Fig. 10 SEM micrographs after hot forming of 304L
4" Seamless Elbow, Intrados
(Source material : 4" seamless pipe)

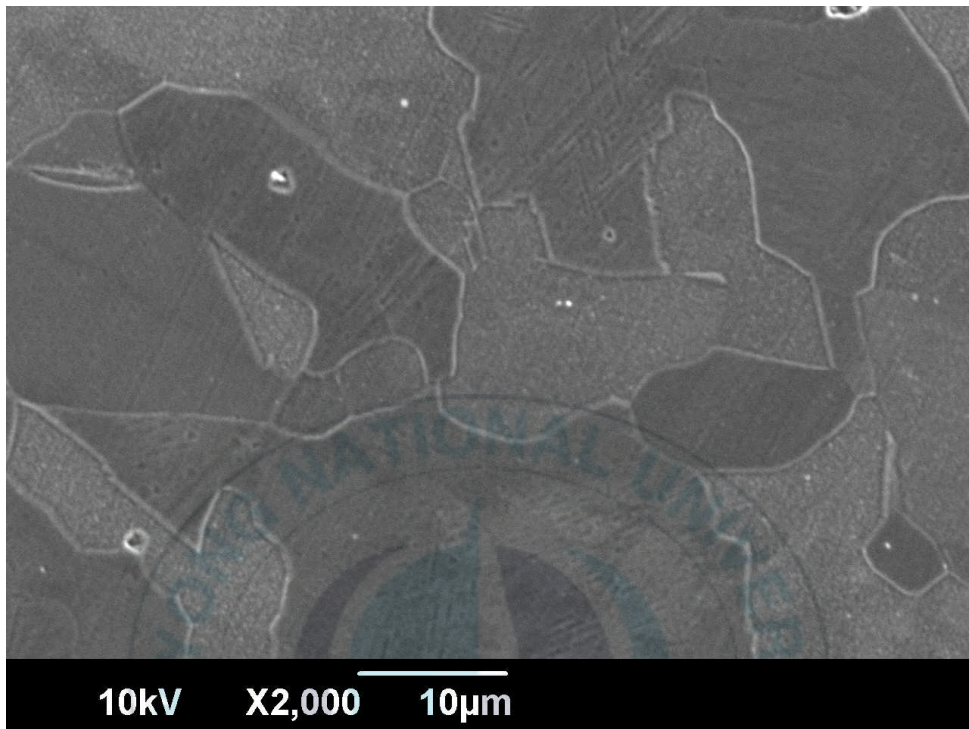


Fig. 11 SEM micrographs after heat treatment of cold formed 304L 4" Seamless Elbow, Intrados
(Source material : 4" seamless pipe)

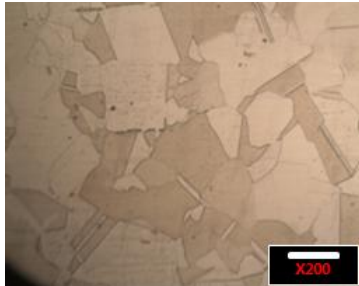
Before heat treatment	Extrados [A]	Neutral [B]	Intrados [C]
Cold formed (8" Elbow)			
Hot-expanded formed (12" Elbow)			

Fig. 12 Optical micrographs of 304L Elbow before heat treatment

(Source material : 8" seamless pipe)

Fig. 13은 냉간 및 열간성형 공법으로 제작한 Elbow의 미세조직에 미치는 열처리의 영향을 조사하기 위하여 8" 304L Seamless Pipe를 사용하여 냉간 및 열간 성형공법으로 Elbow를 제작한 다음 1060℃에서 고용화 열처리한 후의 미세 조직을 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. Fig. 5에서와 동일하게 냉간 및 열간 성형에 관계없이 모두 고용화열처리 후는 오스테나이트 단상 조직으로 되어 있는 것을 알 수 있고, 결정립도 고용화 열처리에 의해 약간 성장되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 이 결과로부터 냉간성형 과정에서 생성된 마르텐사이트는 고용화열처리에 의해 전부 오스테나이트로 역변태 되고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 14는 8" 304L Welded Pipe를 사용하여 냉간 및 열간성형 공법으로 Elbow를 제작한 다음 미세 조직을 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 냉간성형 공법으로 제작한 Elbow에서 위치에 관계없이 동일하게 오스테나이트 조직에 냉간성형시 생성된 극소량의 마르텐사이트와 용접 후 응고 시 생성된 극히 미세한 화합물들이 입계를 따라서 또는 방향성을 띄면서 생성되어 존재하고 있는데 반하여 열간 성형한 Elbow에서는 위치에 관계없이 동일하게 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트가 존재하지 않는 오스테나이트 조직에 용접시 생성된 화합물들이 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 냉간성형한 시료에 비해 열간 성형한 시료의 경우가 오스테나이트의 결정립 크기가 약간 큰 것을 알 수 있고, Seamless Elbow에 비해서도 오스테나이트의 결정립 크기가

적은 것을 알 수 있다. 이러한 현상의 이유는 Fig. 3에서 설명된 것과 동일한 것으로 판단된다.



After heat treatment	Extrados [A]	Neutral [B]	Intrados [C]
Cold formed (8" Elbow)			
Hot-expanding formed (12" Elbow)			

Fig. 13 Optical micrographs of 304L Elbow after heat treatment

(Source material : 8" seamless pipe)

Before Heat treatment	Extrados [A]	Neutral [B]	Intrados [C]
Cold formed (8" Elbow)			
Hot-expanding formed (12" Elbow)			

Fig. 14 Optical micrographs of 304L Elbow before heat treatment

(Source material : 8" welded pipe)

Fig. 15는 8" 304L Welded Pipe를 사용하여 냉간 및 열간성형 공법으로 제작한 Elbow를 1060℃에서 고용화 열처리 후 Elbow의 미세조직을 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 냉간 및 열간성형에 관계없이 모두 고용화열처리 후에는 서로가 동일하게 오스테나이트 조직에 용접 시 생성된 화합물들이 방향성을 띄면서 존재하고 있는 것을 알 수 있고, 오스테나이트의 결정립크기도 약간 커져 있는 것을 알 수 있다. 따라서 이 결과로부터 역시 냉간성형에 의해 생성된 마르텐사이트는 고용화 열처리에 의해 전부 오스테나이트로 역변태 되고 있음을 알 수 있고, 고용화 열처리시에 약간의 결정립 성장도 일어나고 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 16은 14" 304L Welded Pipe를 사용하여 열간성형공법으로 Elbow를 제작한 다음 Elbow 각 위치에서의 미세조직을 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이고, Fig. 17은 이 Elbow를 열처리한 다음 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다. 열간성형한 시료 및 이를 고용화 열처리한 시료 모두 오스테나이트 조직에 용접 시 생성된 화합물들이 부분적으로 소량 존재하고 있는 조직으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 또한, 열처리한 경우가 오스테나이트의 결정립 크기가 약간 성장되어 있지만, 그 크기 차이는 크지 않은 것을 알 수 있다.

After Heat treatment	Extrados [A]	Neutral [B]	Intrados [C]
Cold formed (8" Elbow)			
Hot-expanding formed (12" Elbow)			

Fig. 15 Optical micrographs of 304L Elbow after heat treatment

(Source material : 8" welded pipe)

Before heat treatment	Extrados [A]	Neutral [B]	Intrados [C]
Hot-expanding formed (20" Elbow)			

Fig. 16 Optical micrographs of 304L Elbow before heat treatment

(Source material : 14" welded pipe)

After heat treatment	Extrados [A]	Neutral [B]	Intrados [C]
Hot-expanding formed (20" Elbow)			

Fig. 17 Optical micrographs of 304L Elbow after heat treatment
(Source material : 14" welded pipe)

이상의 미세조직 관찰 결과로부터 냉간성형 공법으로 Elbow를 제작하게 되면 성형과정에서 오스테나이트의 일부가 마르텐사이트로 변태되고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같이 성형에 의해 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되는 것을 가공유기 마르텐사이트 변태라 하고, 이렇게 생성된 마르텐사이트를 가공유기 마르텐사이트라 한다. 또한 성형에 의해 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태하는 정도는 그 재료가 갖는 오스테나이트의 안정도에 지배되고, 오스테나이트의 안정도는 그 재료가 갖는 화학조성과 가공온도에 크게 지배되지만 결정립크기 등에도 영향을 받는다고 알려져 있다⁵⁻⁸⁾.

또한 Elbow 성형과정에서 생성된 마르텐사이트는 고용화 열처리 시 전부 오스테나이트로 역변태하는 것을 알 수 있다. 한편 seamless pipe 및 welded pipe로 제작한 Elbow에서 동일하게 열간성형한 경우가 가열 과정에서 결정립의 성장이 일어나는데 기인되어 냉간성형한 경우보다 결정립의 크기가 약간 큰 것을 알 수 있고, 냉간 및 열간성형 후 고용화 열처리하는 과정에서 결정립 성장이 일어나는데 기인되어 성형 후 고용화 열처리한 경우가 역시 결정립의 크기가 큰 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라 용접한 시료의 용접부 조직은 용접부가 용접시 액상으로 된 다음 빨리 냉각되는데 기인되어 용접되지 않은 시료에 비해 오스테나이트의 결정립 크기가 약간 작은 것을 알 수 있다.

한편 304L의 용접한 시료에서는 오스테나이트에 용접시 생성된 화합

물들이 소량 방향성을 띄면서 오스테나이트의 결정입계를 따라서 생성되어 존재하고 있으며, 또한 고용화 열처리한 이후에도 이들 화합물들은 여전히 존재하고 있으나 그 양은 약간 적어지는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.

3.2 인장성질에 미치는 제조공정의 영향

Fig. 18 304L seamless 및 welded pipe로 제작한 Elbow의 인장성질을 조사하여 나타낸 것이다. 모든 시료가 동일하게 200MPa 이상의 항복강도, 500MPa 이상의 인장강도, 60% 이상의 연신율을 나타내고 있으며, 이 값들은 모두 ASTM A312에서 규정하는 항복강도 170MPa, 인장강도 485MPa, 연신율 35% 보다 높은 값을 알 수 있다.

Fig. 19 ~ Fig. 22는 304L seamless 및 welded pipe를 사용하여 냉간 및 열간 성형공법으로 제작한 Elbow의 고용화열처리 전 후의 항복강도와 인장강도를 조사하여 나타낸 것이다.

열처리 전에는 냉간성형한 경우가 열간성형한 경우보다 높은 항복 및 인장강도를 나타내고 있다. 그리고 열처리 후에도 냉간성형한 Elbow의 항복 및 인장강도 값이 열간성형한 Elbow보다 약간 높은 경향을 나타내고 있으나 대체적으로 거의 비슷한 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

이와 같이 냉간성형한 경우가 열간성형한 경우보다 항복 및 인장강도 값이 더 높은 이유는 냉간성형에 의해 오스테나이트 조직의 일부가 자

신보다 경도(강도)가 높은 마르텐사이트로 변태되고 또한 강도 등에 영향을 미치는 전위, 공공 등과 같은 결함들이 도입되기 때문이라 판단된다. 또한, 냉간 및 열간 성형한 다음 고용화열처리를 하면 전반적으로 항복 및 인장강도 값이 낮아지고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 역시 경도와 마찬가지로 냉간성형에 의해 생성된 마르텐사이트가 고용화열처리에 의해 오스테나이트로 역변태되고, 또한 냉간성형에 의해 도입된 강도에 영향을 미치는 전위, 공공 등과 같은 결함들이 소멸될 뿐만 아니라, 이전의 미세조직에서 알 수 있는 바와 같이 결정립의 성장이 일어나기 때문이라 판단된다. 뿐만 아니라 냉간 또는 열간 공정으로 성형한 것이나, 이를 고용화 열처리한 것 모두 다 원소재가 갖는 항복 및 인장강도와 대체적으로 비슷한 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

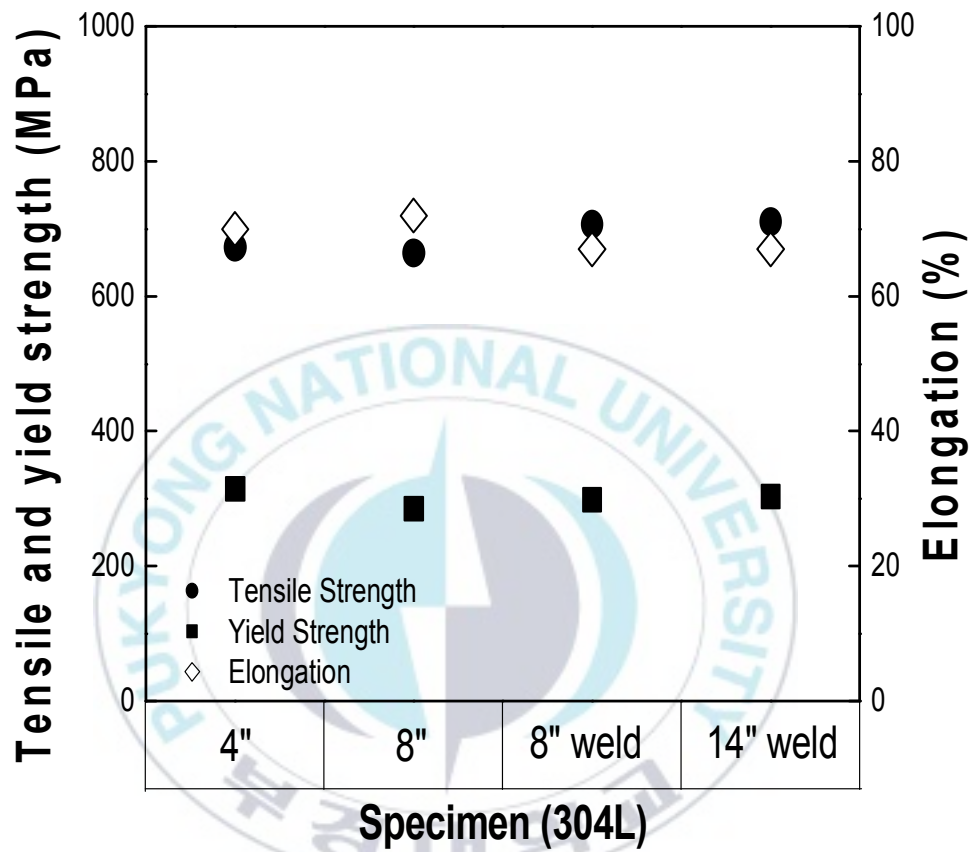
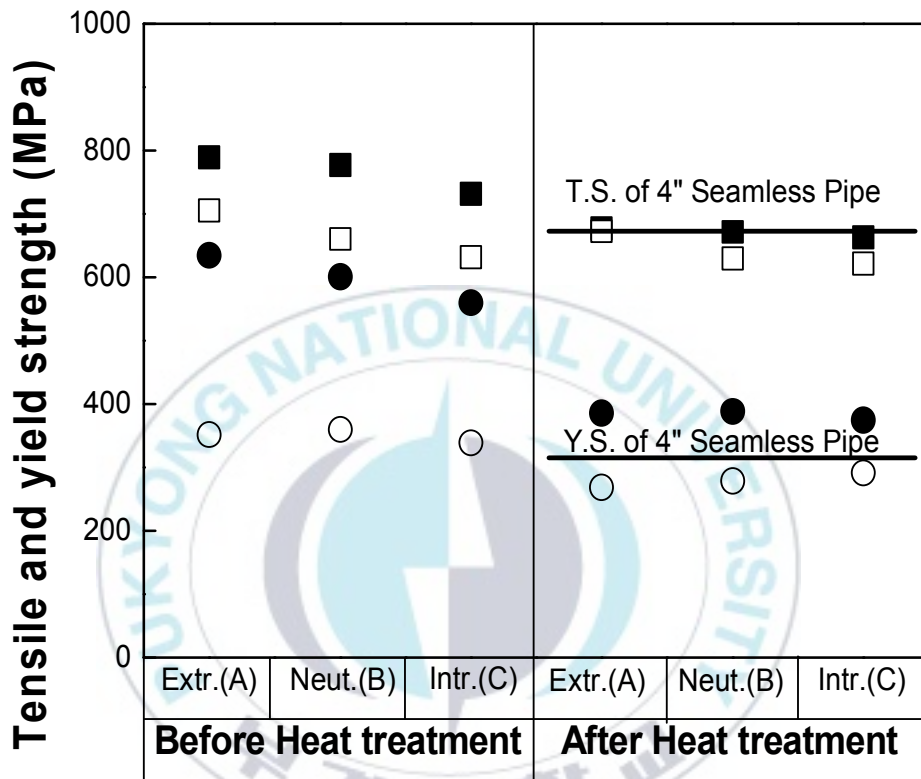
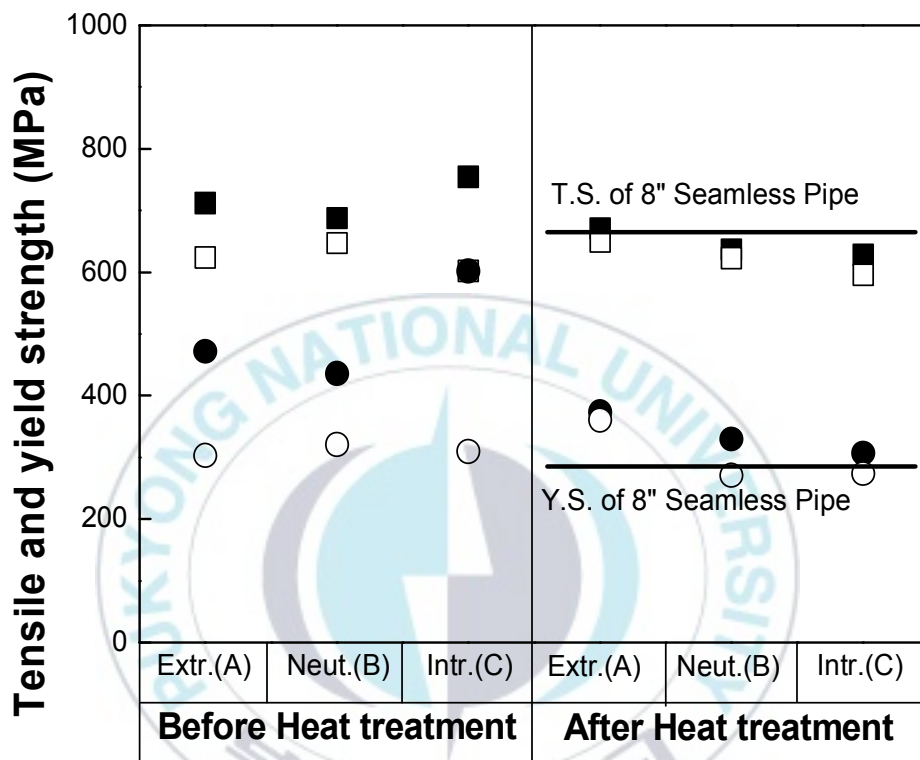


Fig. 18 Tensile properties of 304L pipe



- Tensile strength of cold formed 4" Elbow
- Tensile strength of hot expanding formed 6" Elbow
- Yield strength of cold formed 4" Elbow
- Yield strength of hot expanding formed 6" Elbow

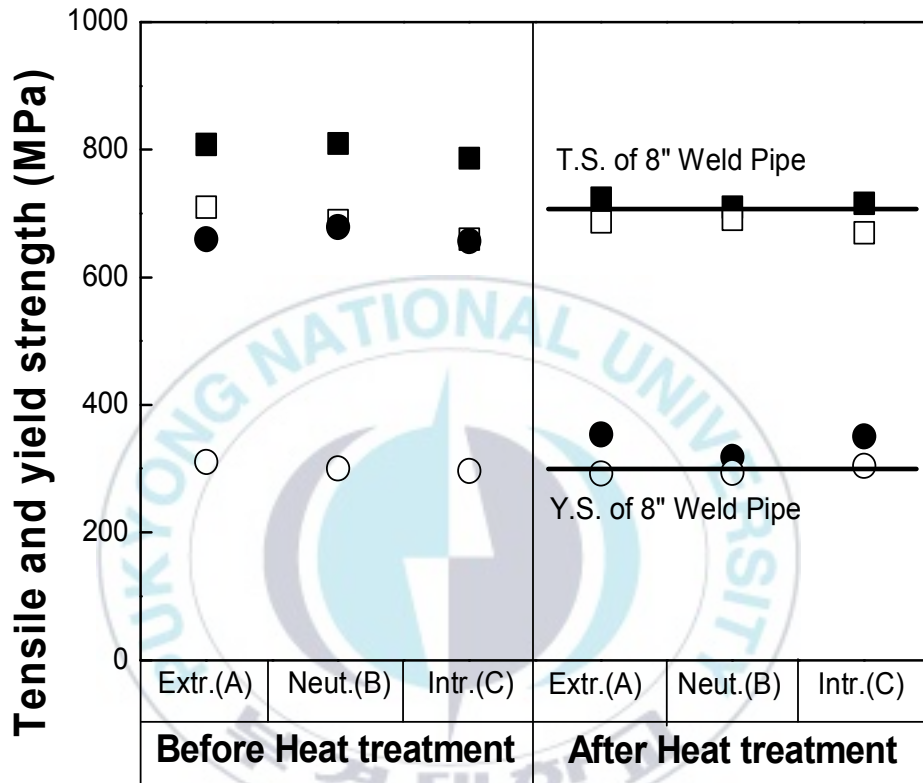
Fig. 19 Tensile properties of 304L Elbow
(Source material : 4" seamless pipe)



- Tensile strength of cold formed 8" Elbow
- Tensile strength of hot expanding formed 12" Elbow
- Yield strength of cold formed 8" Elbow
- Yield strength of hot expanding formed 12" Elbow

Fig. 20 Tensile properties of 304L Elbow

(Source material : 8" seamless pipe)



- Tensile strength of cold formed 8" Elbow
- Tensile strength of hot expanding formed 12" Elbow
- Yield strength of cold formed 8" Elbow
- Yield strength of hot expanding formed 12" Elbow

Fig. 21 Tensile properties of 304L Elbow
(Source material : 8" welded pipe)

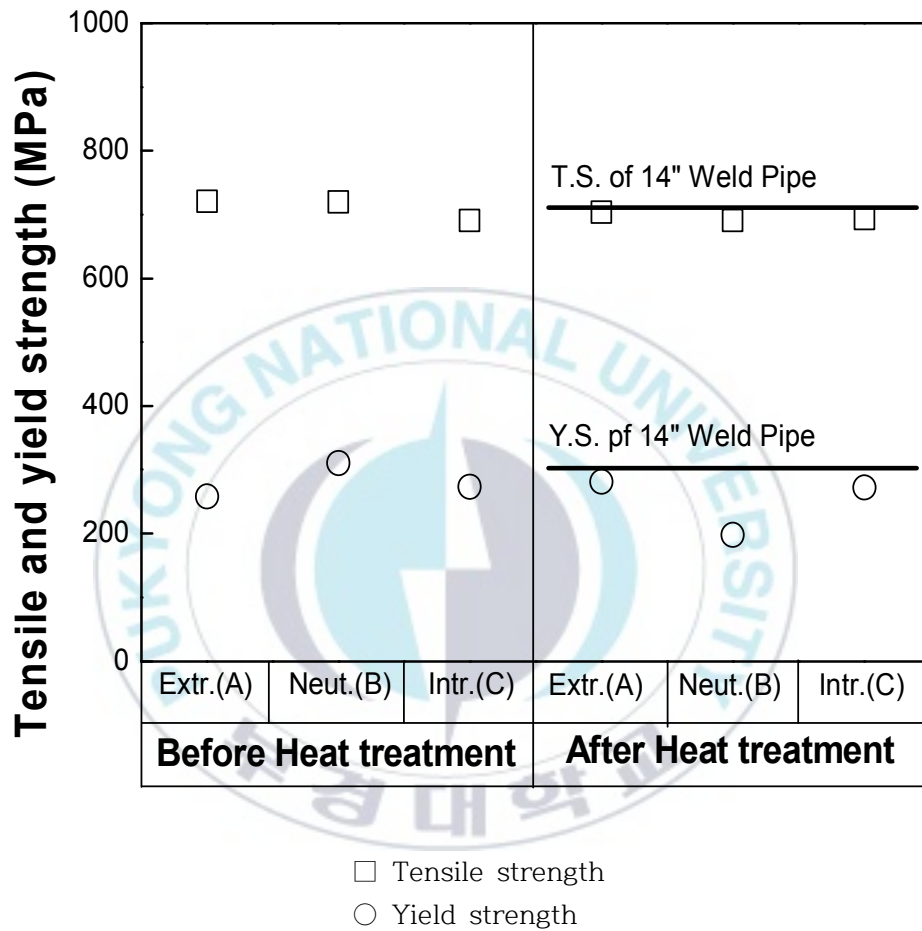


Fig. 22 Tensile properties of Hot expanding formed 304L 20" Elbow

(Source material : 14" welded pipe)

Fig. 23- Fig. 26 은 304L 및 welded pipe를 사용하여 냉간 및 열간 성형공법으로 제작한 Elbow의 고용화열처리 전, 후의 연신율을 조사하여 나타낸 것이다. 고용화열처리 하지 않은 경우는 냉간성형한 경우가 열간성형한 경우보다 연신율이 낮은 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 또한 열처리한 후에도 냉간성형한 Elbow의 연신율이 열간성형한 경우보다 약간 낮은 경향을 나타내고 있지만, 그 차이는 커지 않은 것을 알 수 있다. 이와 같이 열처리 전 냉간성형한 Elbow의 연신율이 열간성형한 경우보다 낮은 이유는 역시 경도, 강도와 마찬가지로 냉간성형에 의해 오스테나이트 조직의 일부가 경도가 높은 마르텐사이트로 변태되고 또한 냉간성형에 의해 도입되는 경도에 영향을 미치는 전위, 공공 등과 같은 결함들이 도입되기 때문이라 판단된다.

또한, 냉간 및 열간성형 후 고용화 열처리를 하면 전반적으로 연신율이 약간 높아지고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 역시 경도와 마찬가지로 성형에 의해 생성된 마르텐사이트가 고용화 열처리에 의해 오스테나이트로 역변태 되고, 또한 냉간성형에 의해 도입된 경도에 영향을 미치는 전위, 공공 등과 같은 결함들이 소멸될 뿐만 아니라, 이전의 미세조직에서 알 수 있는 바와 같이 결정립의 성장이 일어나기 때문이라 판단된다. 뿐만 아니라 냉간성형 또는 열간성형 공법으로 제작한 경우는 원시료가 갖는 연신율 보다 약간 낮은 값을 나타내고 있지만, 성형 후 열처리한 시료의 경우는 거의 원소재가 갖는 연신율과 대체적으로 비슷한 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

한편 Seamless(용접하지 않은 재료)와 Welded(용접된 재료)의 인장 성질을 비교해 보면 강도는 경도와 동일하게 성형공정별 및 열처리 전, 후의 차이가 크게 나타나지 않지만, 연신율은 열처리 전의 경우, Welded(용접한) 경우가 약간 낮은 경향을 나타내지만 그 차이 또한 크지 않고, 열처리 후에는 거의 차이가 없는 것을 알 수 있다.



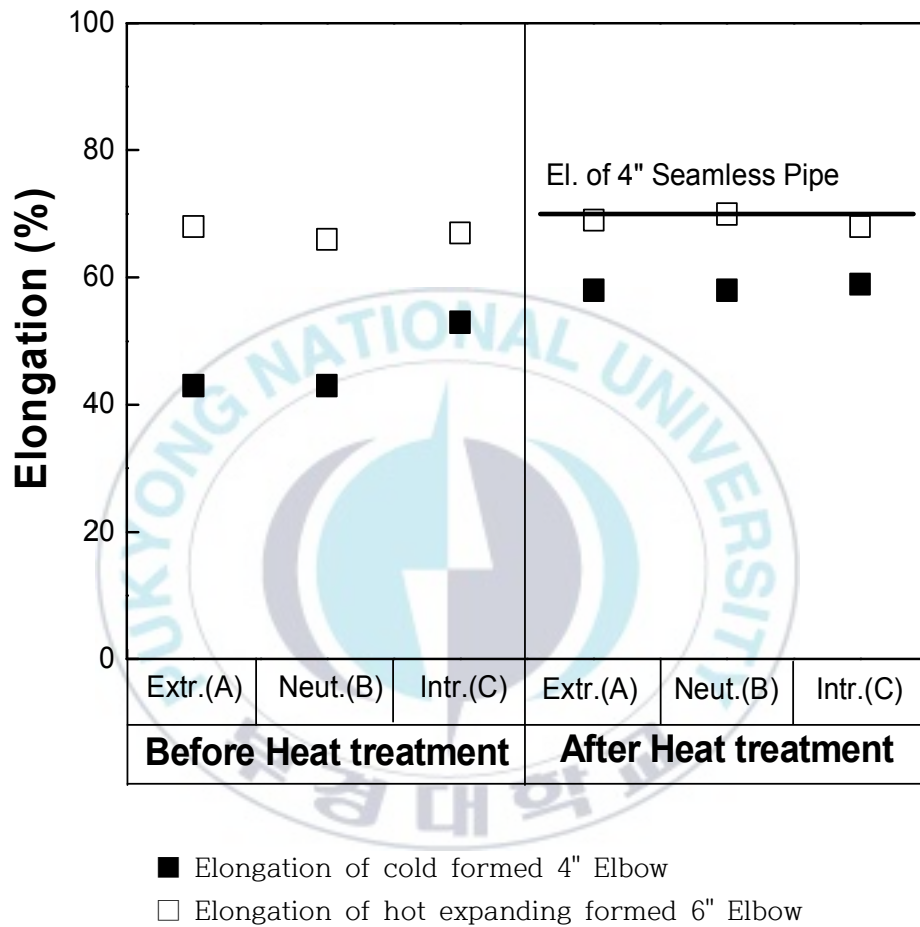


Fig. 23 Elongation of 304L Elbow

(Source material : 4" seamless pipe)

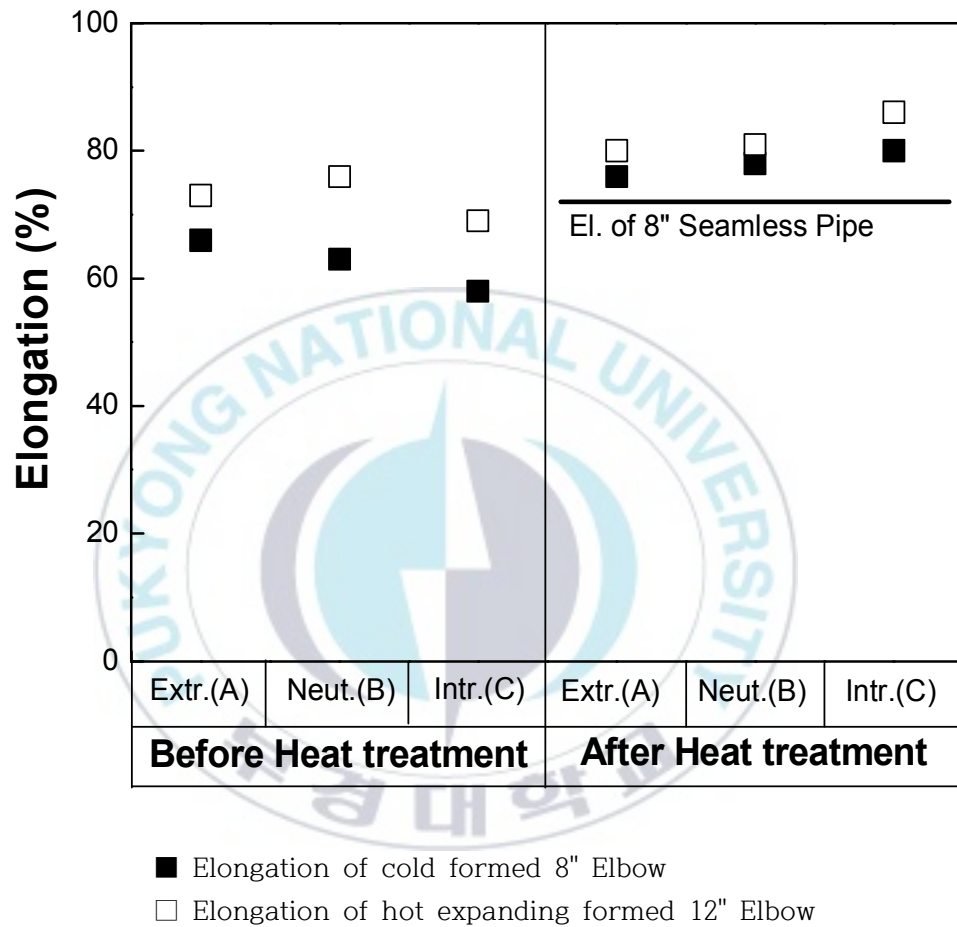


Fig. 24 Elongation of 304L Elbow
(Source material : 8" seamless pipe)

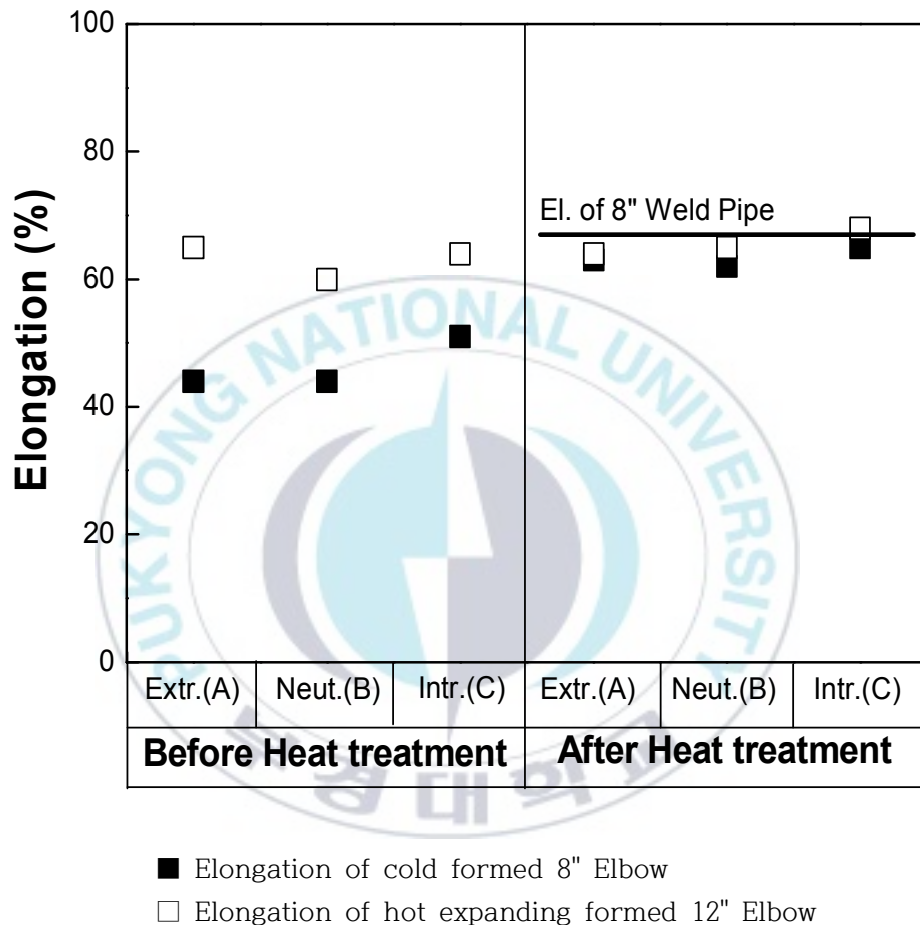
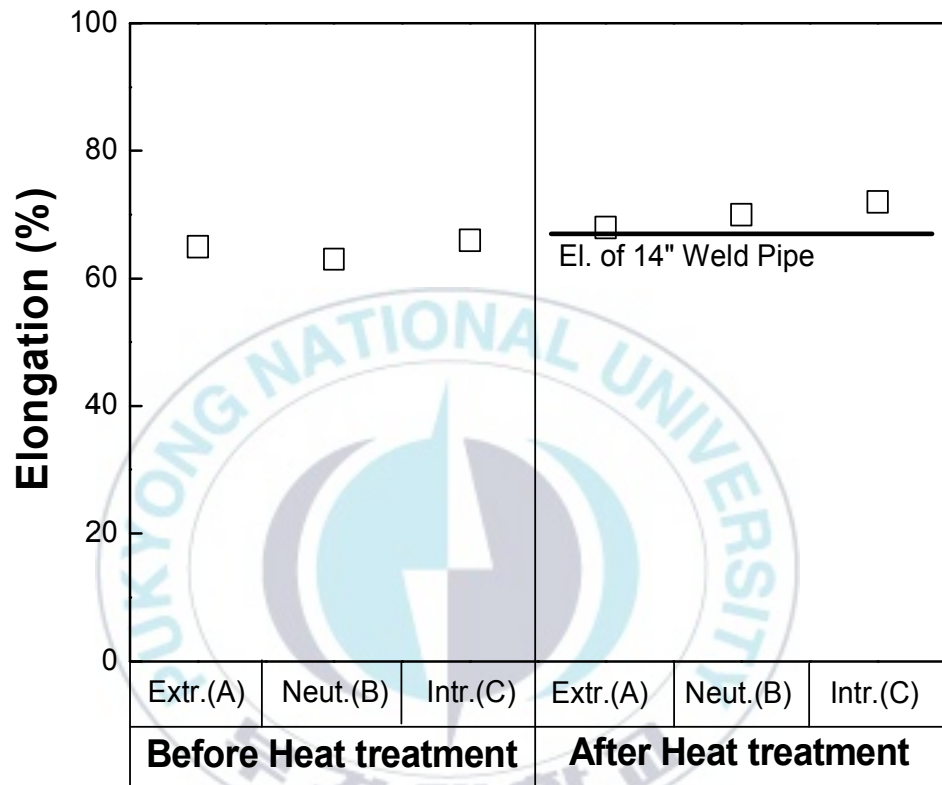


Fig. 25 Elongation of 304L Elbow
(Source material : 8" welded pipe)



□ Elongation of hot expanding formed 14" Elbow

Fig. 26 Elongation of 304L Elbow
(Source material : 14" welded pipe)



1. 결론

304L seamless 및 welded pipe를 사용하여 냉간 및 열간성형으로 Elbow를 제작한 다음 Elbow 각 부위의 미세조직, 인장성질 등을 평가하여 상호 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

1] 냉간성형하여 제작한 Elbow는 오스테나이트 조직에 미량의 마르텐사이트가 존재하고 있는데 반하여 열간성형한 시료는 오스테나이트 단상 조직으로 되어 있다.

2] 냉간 및 열간성형 후 열처리한 시료에서는 모두 오스테나이트 단상 조직으로 되어 있다. 따라서 냉간성형시 생성된 마르텐사이트는 전부 오스테나이트로 역변태 되고 있음을 알 수 있다. 따라서 열처리한 시료에서는 성형공법에 따른 차이는 나타나지 않았다.

3] 냉간성형한 시료 보다는 열간성형한 시료가 열간성형을 위한 가열시 오스테나이트 결정립의 성장하는데 기인되어 결정립 크기가 크게 나타났다.

4] 냉간 및 열간 성형후 열처리를 하면 결정립의 성장이 일어났다.

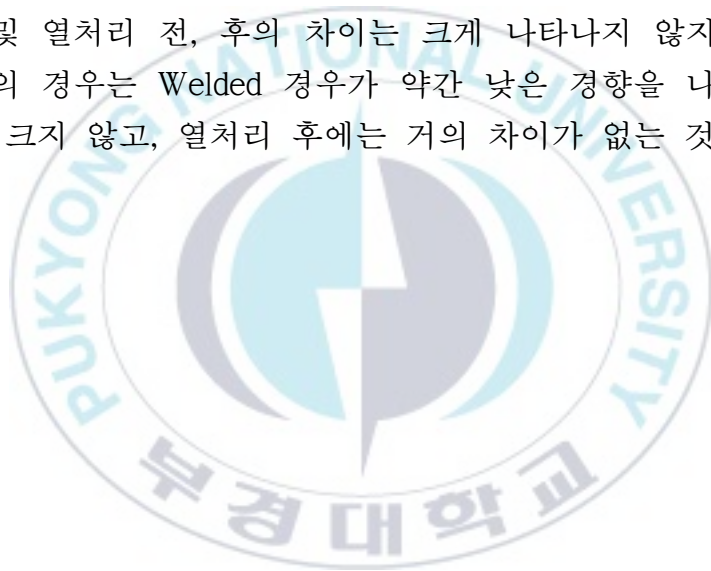
5] 냉간성형한 경우가 열간성형한 경우에 비하여 열처리하기 이전에서는 강도가 높고 연신율은 낮고, 이는 냉간성형에 의해 오스테나이트의 일부가 마르텐사이트로 변태되고, 전위, 공공 등과 같은 결함이 도입되기 때문이다.

6] 냉간 및 열간 성형한 다음 열처리를 하면 성형공법에 따른 인장

성질의 차이는 크게 나타나지 않았다.

7] seamless pipe와 welded pipe를 사용하여 제작된 Elbow에서 인장강도는 거의 차이가 없었고, 연신율은 welded pipe를 사용하여 제작된 Elbow가 약간 낮은 경향을 나타내지만, 열처리를 하면 차이는 나타나지 않았다.

8] Seamless 재료와 Welded 재료의 인장성질을 비교해 보면 강도는 제조공정 및 열처리 전, 후의 차이는 크게 나타나지 않지만 연신율은 열처리 전의 경우는 Welded 경우가 약간 낮은 경향을 나타내지만 그 차이 또한 크지 않고, 열처리 후에는 거의 차이가 없는 것을 알 수 있다.



참고문헌

- 1) 門間改三 ; 鐵鋼材料學, 實教出版株式會社(1972), p.431
- 2) 新日本製鐵株式會社; ステンレス鋼 技術 データ 集 , p.1, 47 상온, 63 고온
- 3) 이용득 외 ; 스테인리스 제품 가공기술, 산업과학기술연구소(1993), p.129
- 4) P.G. Winchell and M. Cohen ; Trans. ASM, 55(1962), p. 347
- 5) H.C.Fieldler et al ; Transactions of the ASM, 47(1954), p.267
- 6) H.C.Fieldler et al ; Transactions of the ASM, 47(1952), p.77
- 7) E.R. de los Rios, A. Walley, M. T. Milan, G. Hammersley ; Int. J. Fatigur, V.17(1995) 439
- 8) B.A. Bilby et al ; J. Iron Steel Inst., 197(1961), pp. 122-131
- 9) S. Lee et al ; Met. Sci., 11(1977), pp. 2671-271
- 11) J. Y. Lee, J. N. Kim, C. Y. Kang ; Korean J. Met. Mater., Vol. 57, No. 2(2019), pp. 71-76
- 12) M. K. Kwon and C. Y. Kang ; Korean J. Mater. Res. Vol.24 (2014), p.1
- 13) R. P. Reed; Acta Metall., 10(1962), pp. 865-877 방위관계
- 14) Y. H. Kim, J. H. Kim, T. H. Hwang, J. Y. Lee, C. Y. Kang ; Metal and Materials International, Vol. 21, No. 3(2015), pp. 486-489
- 15) C. Y. Kang, T. Y. Hur ; Korean J. Met. Mater., Vol.50, (2012), pp. 413-418
- 16) G. Salvago and D. Siniglia ; Corrosion Science, 23(1984), 1073