Check for updates

동력시스템공학회지 제25권 제1호 pp. 36-42 2021년 2월 ISSN 2713-8429(Print) ISSN 2713-8437(Online)
Journal of Power System Engineering https://doi.org/10.9726/kspse.2021.25.1.036
Vol. 25, No. 1, pp. 36-42, February 2021

Elbow의 인장 특성에 미치는 성형 방법의 영향
Effect of Forming Method on Tensile Properties of Elbow

김학철* · 이기식**† · 탁영준** · 남기우*** · 최병철****
Hak-Chul Kim*, Ki-Sik Lee**† , Young-Joon Tak**, Ki-Woo Nam***
and Byoung-Chul Choi****

(Received 09 November 2020, Revised 26 January 2021, Accepted 01 February 2021)

Abstract : This study carried out the evaluation and comparison the microstructure and tensile properties of elbow, which is manufactured by the cold and hot forming using STS304L. Hot-formed specimen shows the austenite single-phase, while the cold-formed specimen shows some martensite in austenite structure. Heat treated elbows after the cold- and the hot-forming also show the austenite single-phase. It is well known that the martensite produced by cold forming is inverse transformation into austenite by heat treatment. The cold formed specimen shows higher strength but lower elongation than hot-forming specimen. This is a cause of transformation of some austenite into martensite, dislocation, and precipitate generated during cold-forming. The strength of the cold-formed elbow increased by about 15% and the elongation decreased by about 38%, whereas the hot-formed elbow had no significant change in strength and elongation.

Key Words : Elbow, Hot-forming, Cold-forming, Tensile strength, Elongation

1. 서 론

배관 등에 사용되고 있는 Butt-welding type elbow는 STS 304L 및 STS 316L 등과 같은 오스테나이트계 스테인리스강을 사용하여, 주로 냉간 성형으로 제작한 다음 고용화 열처리로 제작하고 있다. 이같이 냉간 성형으로 제작하는 이유는 elbow 제품의 치수 정밀성이 높고, 표면상태가 미려하며, 성형을 위한 가열공정이 필요 없다.[1-5] 그러나 냉간 성형은 열간 성형에 비하여 큰 응력이

**† 이기식(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-5968-7810) : 품질파트장, POSCO 냉연부
E-mail : lks419815@naver.com, Tel : 054-220-0114
*김학철((ORCID:http://orcid.org/0000-0003-3176-0638) 대경밴드
**탁영준(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-5968-8207) : 기술실장, 포항연구인프라 그룹 공정시험실, POSCO
***남기우(ORCID:http://orcid.org/0000-0001-7019-358X) : 교수, 부경대학교 재료공학과
****최병철(https://orcid.org/0000-0003-3553-3539) : 교수 , 한국폴리텍대학 석유화학공정기술교육원 석유화학공정과

**† Ki-Sik Lee(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-5968-7810) : Quality Part Manager, Cold Rolled Part, POSCO.
E-mail : lks419815@naver.com, Tel : 054-220-0114
*Hak-Chul Kim((ORCID:http://orcid.org/0000-0003-3176-0638) Daekyung Band.
**Young-Joon Tak(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-5968-8207) : Technical Manager, Pohang Research Infra Group Process Testing Section, POSCO.
***Ki-Woo Nam(ORCID:http://orcid.org/0000-0001-7019-358X) : Professor, Department of Materials Science and Engineering, Pukyong National University.
****Byoung-Chul Choi(https://orcid.org/0000-0003-3553-3539) : Professor, Department of Energy and Chemical Process, Petro Chemical Training Center of Korea Polytechnics.

요구되기 때문에 어려움이 많다. 또한 오스테나이트계 스테인리스강은 상온에서 면심입방(FCC) 결정구조인 오스테나이트 조직으로 되어 있다. 오스테나이트 조직의 일부는 냉간성형 과정에서 마르텐사이트 조직으로 변태한다.[6-14] 2상(Dual phase) 조직은 스테인리스강의 장점인 내식성이 떨어진다.[14] 따라서 성형 후에는 반드시 고용화 열처리를 실시하여 한다. 이러한 문제 때문에 냉간 성형은 열간 성형보다 생산성이 크게 떨어진다. 최근 관련 업계는 생산성 향상을 위하여 노력하고 있다. 그중 방법이 열간 성형으로 elbow를 제작하는 것이다. 그러나 열간 성형으로 elbow를 제작하면, 가열과 성형과정에서 탄화물 등과 같은 석출물이 발생한다. 이것은 성형과정에서 균열 발생 원인이 되거나, 제품의 기계적 성질 및 내식성 등이 크게 낮아지게 된다.[11-14] 그러므로 열간 성형에서 최적 제조기술의 개발은 대단히 중요하고, 필요하다.

따라서 본 연구에서는 시판 중인 STS304L를 사용하여 냉간 및 열간 성형으로 제작된 elbow의 조직 및 기계적 물성의 차이를 조사하였다.

2. 재료 및 실험 방법

본 연구에 사용된 재료는 시판 중인 STS 304L으로 냉간 및 열간 성형으로 45 elbow(바깥 직경 21.7 mm, 길이 15.8 mm)를 제작하였다. 이때 열간 성형은 재료를 1,200℃로 가열 유지한 다음 성형하였다. Table 1은 실험에 사용된 재료의 화학성분을 나타낸다.

고용화 열처리는 냉간 및 열간 성형으로 elbow를 제작한 후, 1,050℃에서 30분 유지 후 수냉하였다.

미세조직 관찰의 재료는 냉간 및 열간 성형으로 제작된 elbow에서 채취하고, 경면 연마하였다. 시험편은 부식액 왕수를 사용하여 에칭하고, 광학현미경과 주사전자현미경으로 관찰하였다.

Table 1 Chemical compositions of specimen (wt.%)

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

제조 방법에 따른 미세조직 변화 및 탄화물은 X선 회절시험으로 조사하였다. 이때 X선 회절 시험은 Cu-K α 특성 X선을 사용하여, 20~100° 사이의 각도를 2°/min. 속도로 시험하였다.

냉간 및 열간 성형에 따른 인장 특성을 조사하였다. 인장 시험편은 ASTM E-8의 규격을 따라 elbow로부터 제작하고, cross head speed 2 mm/min로 인장하였다.

3. 결과 및 고찰

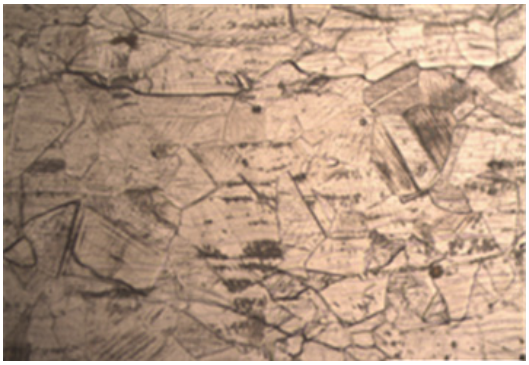
3.1 미세 조직

Fig. 1은 elbow 제작에 사용된 오스테나이트계 STS304L 강의 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다. 조직 내 부분적으로 쌍정이 존재하고 있는 오스테나이트 조직으로서 오스테나이트계 스테인리스강이 갖는 정형적인 조직임을 알 수 있다.

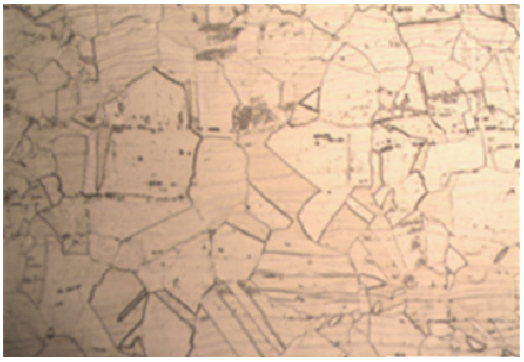
3.2 미세 조직에 미치는 성형 방법 및 열처리의 영향

Fig. 2는 냉간 및 열간 성형으로 제작된 elbow의 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다. (a)는 냉간 성형으로 제작된 elbow의 미세조직이다. 이것은 오스테나이트에 냉간 성형으로 생성된 마르텐사이트가 소량 존재하고 있는 2상 조직으로 되어 있다. (b)는 열간 성형으로 제작한 elbow의

Fig. 1 Optical micrography of STS 304L stainless steel (x200)

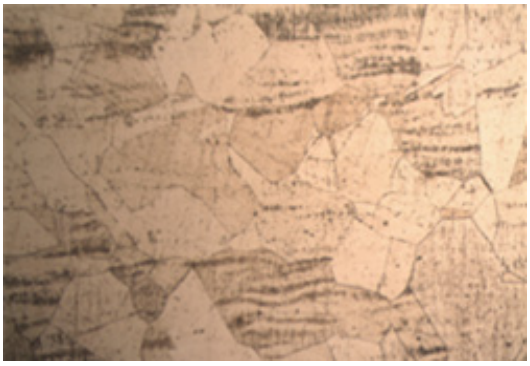


(a)

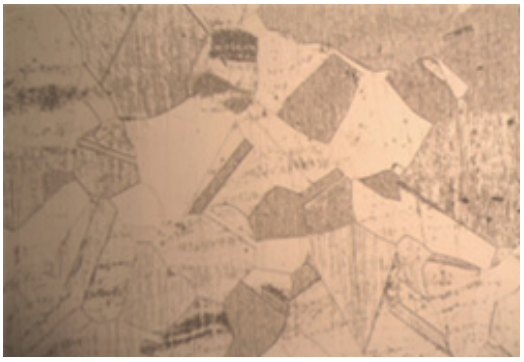


(b)

Fig. 2 Optical micrography of elbow obtained from cold and hot forming (x200), (a) Cold forming, (b) Hot forming



(a)



(b)

Fig. 3 Optical micrography of after heat treatment in elbow obtained from cold and hot forming (x200), (a) Cold forming, (b) Hot forming

미세조직이다. 이것은 냉간 성형에서 생성되는 마르텐사이트가 없고, 오스테나이트 단상임을 알 수 있다. 이 결과로부터 냉간 성형은 오스테나이트의 일부가 마르텐사이트로 변태되어 2상으로 존재하지만,[6,7,9] 열간 성형은 오스테나이트 단상이 되는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 냉간 및 열간 성형으로 제작된 elbow의 고용화 열처리 영향을 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 고용화 열처리 후의 조직은 성형 방법과 관계없이 오스테나이트 단상조직이다. 그러나 Fig. 1의 모재 미세조직보다 결정립이 약간 성장하였다. 이 결과로부터 성형 후 열처리하면 약간 결정립이 성장하고, 냉간 성형으로 생성된 마르텐사이트가 전부 오스테나이트로 역변태하는 것을 알 수 있다.[15]

Fig. 4는 냉간 성형으로 제작된 elbow의 X선 회절시험에서 얻은 회절선도를 분석하여 나타낸 것이다. 이것은 오스테나이트의 피크와 α'마르텐사이트의 피크가 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 냉간 성형 elbow는 오스테나이트의 일부가 마르텐사이트로 변태하여, 오스테나이트에 마르텐사이트가 함께 존재하는 2상 조직이 되는 것을 알 수 있다.[7]

Fig. 5는 열간 성형으로 제작된 elbow의 X선 회절시험에서 얻은 회절선도를 분석하여 나타낸 것이다. 이것은 냉간 성형 elbow와 다르게 오스테나이트의 피크만 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 이 결과로부터 열간 성형 elbow는 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태하지 않는다는 것을 알 수 있다.

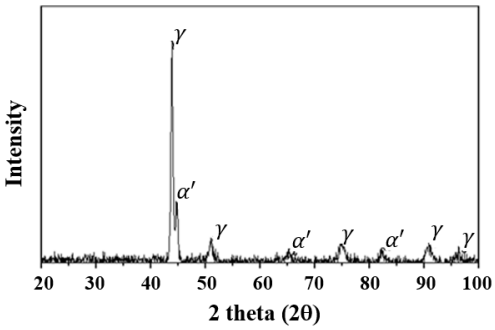


Fig. 4 X-Ray diffraction pattern of elbow obtained from cold forming

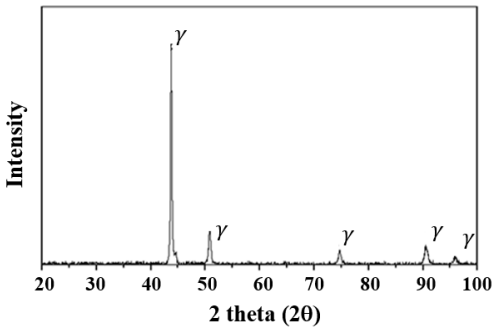


Fig. 5 X-Ray diffraction pattern of elbow obtained from hot forming

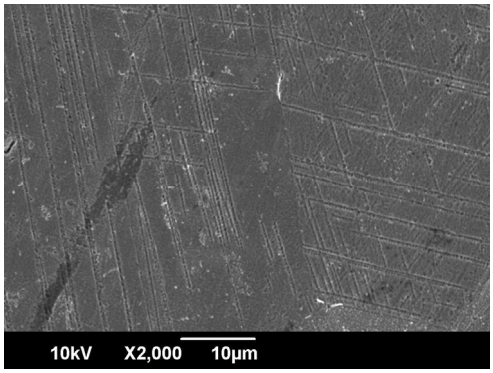


Fig. 6 SEM micrography of elbow after cold forming

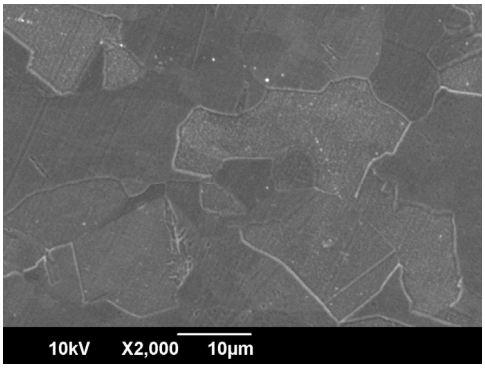


Fig. 7 SEM micrography of elbow after hot forming

Fig. 6은 냉간 성형 elbow의 미세조직을 주사전자현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 이것은 오스테나이트에 냉간 성형으로 생성된 소량의 마르텐사이트가 부분적으로 표면 기복을 일으키고, 일부는 서로 교차하면서 생성되었다.[8-10] 이 결과로부터 냉간 성형 elbow는 오스테나이트의 일부가 마르텐사이트로 변태하는 것을 확연히 알 수 있다.

Fig. 7은 열간 성형으로 제작된 elbow의 미세조직을 주사전자현미경으로 나타낸 것이다. 이 조직은 오스테나이트 단상으로 되어 있다. 즉, 열간 성형은 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태하지 않는다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 냉간 성형으로 제작한 elbow를 고용화 열처리한 후의 미세조직을 주사전자현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 고용화 열처리는 1,050℃에서 30분 유지 후 수냉하였다. 이것은 냉간 성형으로 생성된 마르텐사이트가 사라지고, 오스테나이트 단상으로 되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이로부터 냉간 성형으로 생성된 마르텐사이트는 고용화 열처리로 전부 오스테나이트로 역변태하는 것을 알 수 있다.[12]

3.3 인장 특성에 미치는 성형 방법의 영향

Fig. 9는 냉간 및 열간 성형으로 제작한 elbow와 고용화 열처리한 elbow의 인장강도를 조사하여 나타낸 것이다. 냉간 성형 elbow의 인장강도는 모재보다 17% 높고, 열간 성형 elbow는 3.7% 낮은 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 냉간 성형 elbow는 Fig. 2, 4 및 6에서 알 수 있는 바와 같이 오스테나이트의 일부가 마르텐사이트로 변태할 뿐만 아니라 강도에 영향을 미치는 전위 등이 생성되기 때문에 강도가 크게 높아졌다.[6,9,12] 열간 성형 elbow는 Fig. 2 및 5에서 알 수 있는 바와 같이 성형과정에서 조직변화가 없을 뿐만 아니라,

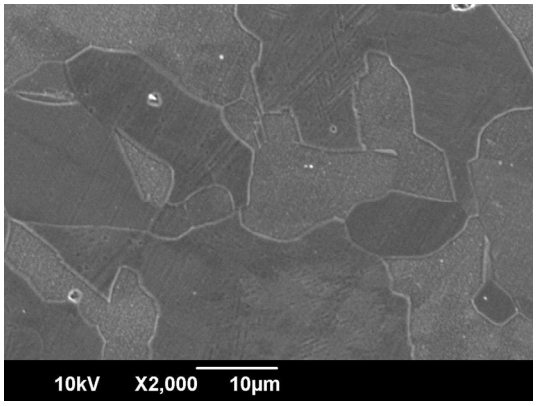


Fig. 8 SEM micrography of cold forming elbow after heat treatment

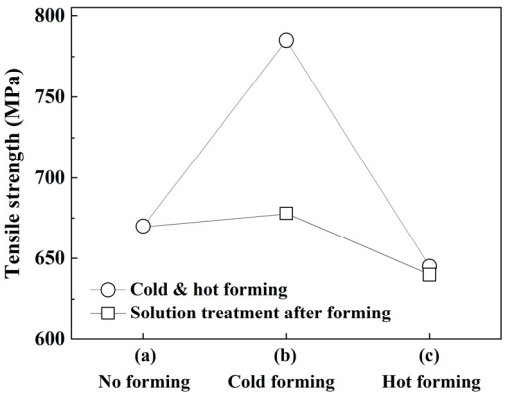


Fig. 9 Effect of forming process on the tensile strength

가열과정에서 결정립이 성장하였다. 또한 열간 성형과정에서 생성된 강도에 영향을 미치는 전위 등은 성형 후 냉각되는 과정에서 소멸되어 강도가 약간 낮아졌다고 판단된다.

한편, 냉간 및 열간 성형 elbow의 인장강도는 열처리로 감소하였다. 냉간 성형 elbow는 열처리로 많이 감소하는데, 열간 성형 elbow는 약간 감소하였다. 냉간 성형 elbow의 강도가 크게 감소하는 이유는 강도에 크게 영향을 미치는 냉간 성형으로 생성된 마르텐사이트가 오스테나이트로 역변태하고, 전위 등과 같은 결함들이 소멸되었기 때문이라 판단된다.[12] 그러나 열간 성형 elbow는 열간 성형으로 조직변화 없이 오스테나이트로 되어있을 뿐만 아니라, 열처리하는 동안 결정립이 성장하기 때문에 약간 감소하였다고 판단된다.

Fig. 10은 냉간 및 열간 성형으로 제작한 elbow와 고용화 열처리한 elbow의 연신율을 조사하여 나타낸 것이다. 냉간 성형 elbow의 연신율은 모재에 비하여 많이 감소하였으나,[12] 열간 성형 elbow는 약간 감소하였다. 냉간 성형 elbow는 Fig 2, 4 및 6에서 알 수 있는 바와 같이 냉간 성형하는 동안 오스테나이트의 일부가 마르텐사이트로 변태할 뿐만 아니라, 강도에 크게 영향을 미치는 전위 등이 생성되었기 때문이다.[7,9] 열간 성형 elbow는 Fig. 2 및 5에서 알 수 있는 바와 같이 성형과정에 조직변화가 없을 뿐만 아니라, 가열과정에서 결정립이 성장하여 감소하였다고 판단된다.

한편, 열처리한 냉간 및 열간 성형 elbow의 연신율은 열처리전에 비하여 크게 증가하였다. 고용화 열처리한 냉간 성형 elbow의 연신율이 증가하는 이유는 가공으로 생성된 마르텐사이트가 오스테나이트로 역변태하고, 전위 등과 같은 결함들이 소멸되었기 때문이라 판단된다.[12] 고용화 열처리한 열간 성형 elbow의 연신율이 성형전 보다 약간 증가하는 이유는 성형하는 동안 조직변화가 없었고, 또한 고용화 열처리하는 동안 연신율의 감소에 영향을 미치는 결함 등이 완전 소멸되었기 때문이라 판단된다. 이상의 결과로부터 냉간 성형 elbow의 인장강도는 모재보다 약 17% 증가하였으나, 연신율은 약 38% 감소하였다. 그러나 냉간 성형 후 고용화 열처리하면 강도는 모재 정도로 회

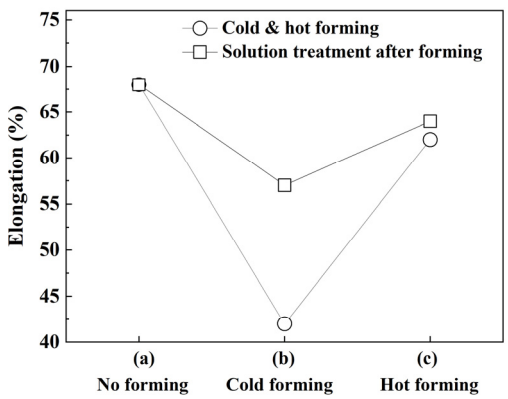


Fig 10 Effect of forming process on the elongation

복하고, 연신율 약 83% 정도 회복하는 것을 알 수 있다. 한편, 열간 성형 elbow의 강도와 연신율은 크게 변화가 없을 뿐만 아니라, 열간성형 후 고용화 열처리하여도 큰 변화가 없는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 냉간 및 열간성형으로 제작한 elbow의 미세조직과 인장 특성을 조사하였다. elbow는 STS304L 강을 사용하여 제작하였다. 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 냉간 성형 elbow는 오스테나이트에 미량의 마르텐사이트가 존재하고 있는데 반하여, 열간 성형 elbow는 오스테나이트 단상이었다.

2) 냉간 성형한 elbow는 고용화 열처리에 의하여 마르텐사이트가 전부 오스테나이트로 역변태하여 오스테나이트 단상으로 관찰되었다.

3) 냉간 성형 elbow는 강도는 약 17% 증가하고 연신율은 약 38% 감소하지만, 열간 성형 elbow는 강도와 연신율에 큰 변화가 없었다.

Author contributions

H. C. Kim; Conceptualization & Data curation. K. S. Lee; Investigation & Methodology. Y. J. Tak; B. C. Choi; Validation. K. W. Nam; Supervision & Writing-review & editing.

References

1. K. Monma, 1972, "Tekko zairyogaku", Jikkyo Shuppan Co. Ltd, pp. 431.
2. S. Watanabe, 1996, "Technical progress of stainless steel and its future trend", Shin Nippon Seitetsu Technical Report, No. 361, pp. 1-8.
3. M. Rokilan and M. Mahendram, 2000, "Behaviour of cold-formed steel compression members at sub-zero temperature", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 172, pp. 1061-1056. (https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2020.106156)
4. M. Elwahabi, J. M. Cabrera and J. M. Prado, 2003, "Hot working of two AISI 304 steel: a comparative study", Materials Science and Engineering A, Vol. 343, No. 1-2, pp. 116-125. (https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00357-X)
5. J. H. Hong, P. W. Shin and J. B. Yoon, 1982, "Effect of cold working on dual phase steel", Korean Journal of Metals and Materials, Vol. 20, No. 3, pp. 188-195.
6. D. Y. Ryoo, N. H. Kang and C. Y. Kang, 2011, "Effect of Ni content on the tensile properties and strain induced martensite transformation for 304 stainless steel", Materials Science and Engineering A, Vol. 528, No. 6, pp. 2277-2281. (https://doi.org/10.1016/j.msea.2010.12.022)
7. C. Y. Kang, J. H. Eom and H. J. Kim, 2007, "Effect of grain size on the tensile strength of Fe-26Mn-2Al alloy with deformation induced martensite transformation", Korean Journal of Metals and Materials, Vol. 45, No. 3, pp. 157-162.
8. M. S. Lee, K. H. Kim and C. Y. Kang, 2019, "Effect of stress magnitude on the tensile properties of damping alloy under fatigue stress", Korean Journal of Metals and Materials, Vol. 57, No. 2, pp. 71-76. (https://doi.org/10.3365/KJMM.2019.57.2.71)
9. M. K. Kwon and C. Y. Kang, 2014, "Relationship of tensile properties and damping capacity of 316L stainless steel", Korean Journal of Materials Research, Vol. 24, No. 1, pp.1-5. (https://doi.org/10.3740/MRSK.2014.24.1.1)
10. R. P. Reed, 1962, The spontaneous martensitic transformations in 18% Cr, 8% Ni steels", Acta Metallurgica, Vol 10, No. 9, pp. 865-877. (https://doi.org/10.1016/0001-6160(62)90101-3)
11. G. Salvago and D. Siniglia, 1983, "The corrosion behaviour of AISI 304 stainless steel

in 0.1 M HCl at room temperature-III. The effect of sensitization", Corrosion Science, Vol. 23, No. 10, pp. 1073-1081.
(https://doi.org/10.1016/0010-938X(83)90089-6)

12. B. B. Choi, C. Y. Kang and K. W. Nam, 2019, "Characteristics for Weibull Distribution of Vickers Hardness to Different Cold Rolled STS316L", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 23, No. 2, pp. 85-90.
(http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2019.23.2.085)
13. K. W. Nam, B. S. Kim, J. W. Kim, D. J. Son and B. C. Choi, 2020, "Damping Capacity and Natural Frequency of STS316L Steel according to Degree of Cold Rolling and Different Thickness", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 24, No. 1, pp. 85-90.
(https://doi.org/10.9726/kspse.2020.24.1.011)
14. K. W. Nam, J. E. Paeng and K. Y. kim, 2020, "Immersion Characteristics of STS316L with Degree of Different Cold Rolling", Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol. 24, No. 3, pp. 90-97.
(https://doi.org/10.9726/kspse.2020.24.3.090)
15. C. Y. Kang and T. Y. Hur, 2012, "Effect of reversed transformation on the mechanical properties of high manganese austenite stainless steel", Korean Journal of Metals and Materials, Vol. 50, No. 6, pp. 413-418.