

열재현에 의한 SS400 및 STS304의 기계적 성질 및 초음파 특성

정정환* · 안석환** · 박인덕*** · 남기우***

*부경대학교 대학원 재료공학과

**부경대학교 기계공학부

***부경대학교 재료공학부

Mechanical Properties and Ultrasonic Characteristic of SS400 and STS304 by Simulated Heats

JEONG-HWAN JEONG*, SEOK-HWAN AHN**, IN-DUCK PARK*** AND KI-WOO NAM***

*Graduate School of Materials Science and Engineering, Pukyong National University

**School of Mechanical Engineering, Pukyong National University

***Division of Materials Science and Engineering, Pukyong National University

KEY WORDS: Simulated Heats 열재현, Tensile Strength 인장응력, Thermal Stress 열응력, Hardness 경도, Ultrasonic Characteristic 초음파 특성,

ABSTRACT: In a today industry, the welding is doing a many portion in structure manufacture. This study is simulated heat of heat-effected zone and researched a mechanical properties and ultrasonic characteristic in used the SS400 and the STS304. As the result, mechanical properties of steel that become drawing decreased because of remaining stress by strain hardening according as simulated heat temperature rises, but according as temperature rises in material that do simulated heat after have done annealing, mechanical propensity was improved. The velocity and attenuation became different by effect of remaining stress than effect of material internal microstructure in ultrasonic waves test. In the case of STS304, there was change in mechanical properties by effect that is by strain hardening, but there was no change in material that simulated heat after annealing. When become drawing in ultrasonic waves test, according as simulated heat temperatures rise, change of attenuation coefficient is looked, but material that simulated heat after annealing was no change almost both the volocity and attenuation.

1. 서 론

현대 산업에 있어서 용접은 자동차, 조선, 건설업 등의 여러 분야에서 구조물 제작의 대부분을 차지하고 있다. 이때 사용되는 구조용 강은 구조물에 필요한 강도 범위를 유지하고 있어야 하는데, 용접부의 국부적인 성질변화에 따른 구조물의 국부적인 기계적 특성변화로 인해 구조물의 안정성이나 수명이 치명적인 영향을 받게 된다 (안홍조 등, 2000). 그러므로 이러한 영향을 줄이기 위해서는 사전에 용접부에 대한 재료의 특성 변화를 알아볼 필요가 있다.

구조물에 대한 비파괴적 평가는 현재 AE(Acoustic Emission)이나 방사선 투과, 자분 탐상, 와류 탐상, 초음파 등 많은 방법들이 사용되고 있고, 그중 초음파 탐상은 금속 재료에 있어서 기지조직이나 결정립 크기 등 미세조직의 변화가 기계적 성질에 어떤 영향을 주는지에 대한 연구로 널리 사용되어지고 있다(홍순택 등, 1999); (김효준 등, 1989).

본 실험에서는 구조용 재료로 많이 쓰이는 SS400과 우수한 용접성과 내식성, 내마모성으로 인해 기계재료나 구조용 재료에 제1저자 정정환 연락처: 부산광역시 남구 용당동, 산100번지.

051-620-1640 gabriel@mail1.pknu.ac.kr

널리 사용되고 있는 SS304를 사용하여 용접 열재현을 통한 열영향부의 조직 및 강도 특성과 그에 따르는 초음파 특성 연구로 구조물의 안전성 및 수명 예측에 도움이 되리라 본다.

2. 재료 및 실험 방법

2.1 시험편

본 실험에 사용한 재료는 SS400강 및 STS304 오스테나이트 스테인리스강이며 그 화학성분 및 기계적 성질을 Table 1 및 Table 2에 각각 나타낸다.

본 실험에 사용된 $\phi 10$ 봉의 경우, SS400과 STS304 모두 $\phi 13$ 로 압연이 되어 나온 것을 $\phi 10$ 로 만들기 위하여 공장 내에서 인발을 하여 만들어진 봉으로써 이로 인한 가공경화로 인장시험의 결과가 SS400은 72.65kgf/mm², STS304는 79.11kgf/mm²으로 나타났다. 이는 실 모재와는 강도 값에서 차이가 나므로 각 재료마다 인발이 된 시험편과 풀림을 한 시험편의 두 종류로 준비를 하였다. 풀림 처리는 SS400의 경우에는 750℃에서 30분 열처리를 한 후 공냉을 실시하였고 STS304의 경우에는 1050℃에서 30분 열처리를 한 후 수냉을 실시하였다.

Table 1 Chemical composition of specimens (wt%)

Material	C	Mn	Si	P
SS400	0.148	0.458	0.213	0.012
STS304	0.04	1.16	0.57	0.02
S	Cr	Ni	Mo	Fe
0.018	-	-	-	Bal.
0.007	20.32	8.44	0.15	Bal.

Table 2 Mechanical properties of specimens (kgf/mm)

Material	Yield strength	Tensile Strength
SS400	36.8	49.2
STS304	31	65

Fig. 1(a)는 용접 열재현 실험에 사용한 재료의 형상을 나타내고, Fig. 1(b)는 용접 열재현 후 인장시험에 사용한 인장시험편의 형상을 나타낸다.

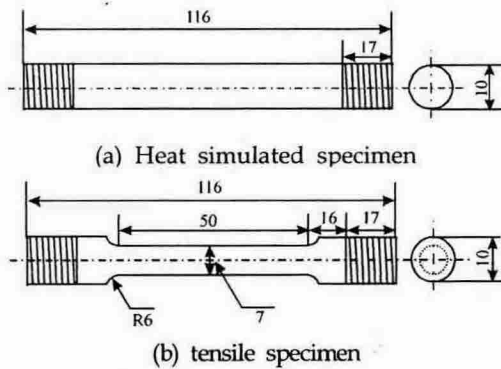


Fig. 1 Heat simulated and tensile specimen (unit : mm)

2.2 용접 열재현

본 실험에서 사용한 용접 열재현 장치로는 Dynamic System Inc. 의 Gleeble 3200을 사용하였다. 용접 열재현 온도는 Fig. 2에서의 용접 열영향부(HAZ)의 온도 영향에 따른 충격에너지 값

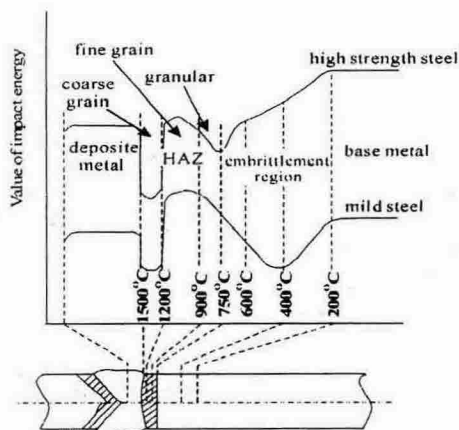


Fig. 2 Impact energy according to temperature of HAZ

을 고려하여 Fig. 3의 열 사이클로 용접 열재현 실험을 실시하였다.

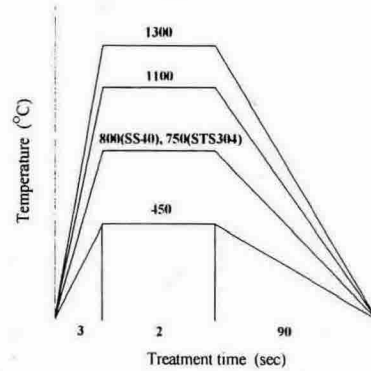


Fig. 3 Heat simulated temperatures on SS400 and STS304

2.3 초음파 탐상

Fig. 4와 같이 용접 열재현 시에 일정한 열영향을 받는 부분을 절단하여 초음파 탐상을 위한 시험편으로 사용하였다. 실험에 사용된 초음파 탐상기로는 Klautkramer사의 USD15 초음파 탐상기, 초음파 센서로는 Klautkramer사의 중심주파수 5MHz의 광대역 센서 C5MN 53046을 사용하여 실험하였다. 초음파 음속 및 감쇠계수는 초음파 탐상기에서 실시간적으로 측정하였다.

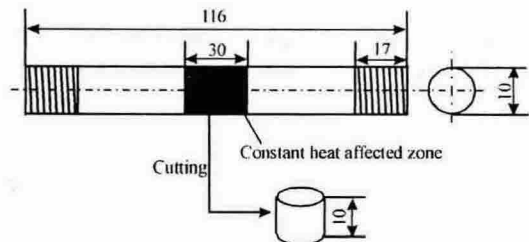


Fig. 4 The specimen for ultrasonic detection after heat simulation (unit : mm)

2.4 조직 관찰 및 기계적 특성

초음파 실험에 사용한 시험편을 경면 연마하여 에칭(SS400 : Picral reagent, STS304 : 10ml HNO₃, 10ml acetic acid, 15ml HCl, 2drops glycerol)시킨 후 광학현미경으로 조직을 관찰하였다.

인장시험은 Fig. 1에서 보여준 인장시험편으로 제작한 시험편을 용량 49kN의 UTM (Instron社) 시험기로 실온에서 실시하였다. Cross head speed 속도는 SS400과 STS304 모두 1mm/min 으로 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 조직 관찰

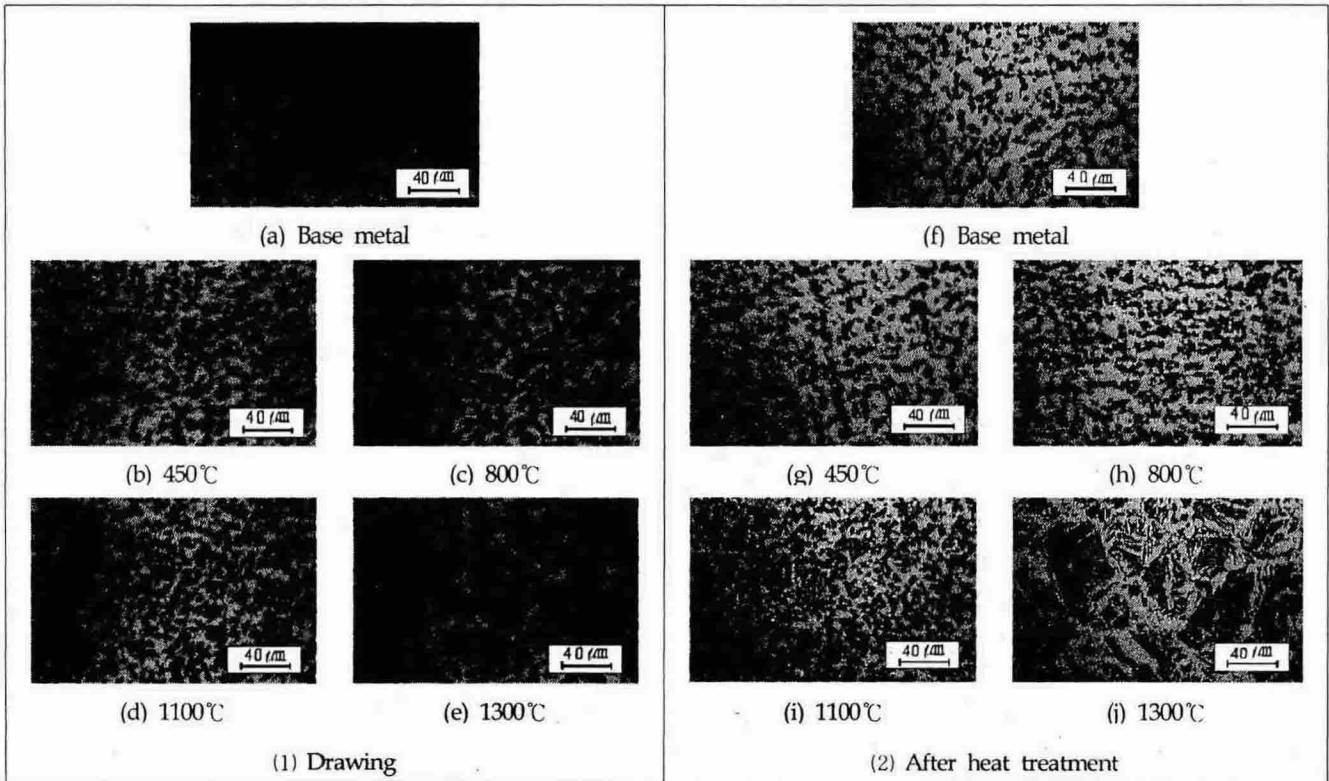


Fig. 5 The optical micrographs of SS400 according to heat treatment temperature (500×)

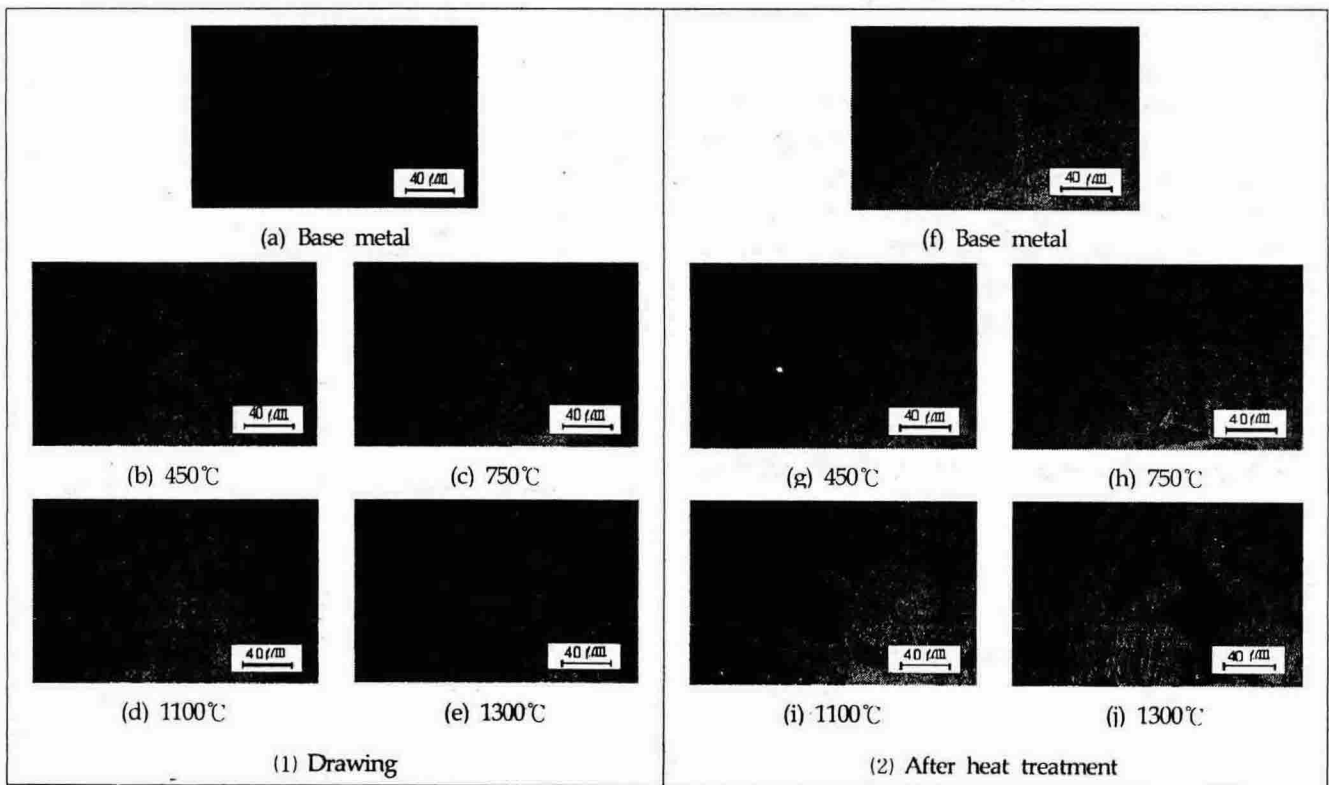


Fig. 6 The optical micrographs of STS304 according to heat treatment temperature (500×)

Fig. 5에는 SS400의 조직사진을 나타내었다. Fig. 5 (1)의 (a)는 인발이 된 상태의 모재이고, Fig. 5 (1)의 (b), (c), (d), (e)는 각 열재현에 따른 조직을 나타내고 있다. 검은색 부분은 펄라이트, 흰색 부분은 페라이트로 열재현 온도가 450℃, 800℃일 경우는 모재에 비하여 펄라이트가 미세화되는 것이 관찰되었다. 열재현 온도가 1100℃ 및 1300℃로 증가된 경우는 펄라이트가 조대화되는 것이 관찰되었고, 특히 열재현 온도 1300℃의 경우 조직은 모재나 다른 열재현 온도의 조직에 비하여 펄라이트가 주가 되는 조직이 관찰되었다.

Fig. 5 (2)의 (f)는 인발이 된 재료를 풀림 처리 한 후의 모재이고, (g), (h), (i), (j)는 Fig. 5 (1)과 동일한 열재현 온도 조건에서 열처리한 후의 조직이다. (f)의 모재부에서 보듯이 인발이 된 모재(a)와는 다르게 펄라이트부가 미세화되면서 상대적으로 페라이트 부가 증가를 하였으나, 800℃에서는 오히려 펄라이트의 증가를 볼 수 있었다. 1100℃에서부터는 펄라이트부의 조대화가 확연히 나타나나, 1300℃에서는 인발 후의 열재현 과정을 거친 재료보다 펄라이트와 페라이트의 입계가 뚜렷이 나타나고 있다. 그러나 그 결정립의 크기에 있어서는 인발 후의 열재현을 거친 재료가 조금 더 크게 나타났다. 이는 나중에 보여줄 초음파 특성에 영향을 줄 인자라고 생각을 한다.

Fig. 6에는 STS304의 조직사진을 나타내었다. Fig. 6 (1) (a)는 인발 후의 모재, (b), (c), (d), (e)는 각 열재현 온도에 따른 조직으로 판상의 오스테나이트 결정립에 페라이트가 혼재된 조직으로 나타났다. 열재현 온도가 450℃, 750℃의 경우에는 그 크기와 조직에 차이가 거의 없다. 1100℃에서부터 판상의 구조를 가지지만 그 판들 사이에 층상의 구조를 보이기 시작하고, 1300℃에서는 그 층상 구조가 뚜렷이 나타나고 있다.

Fig. 6 (2) (f)에서는 인발이 된 재료와는 조금은 다른 형태를 볼 수가 있다. 1050℃에서 30분간 열처리 후의 수냉(quenching)으로 인해 모재의 조직은 인발 후 1300℃의 조직과 유사하게 평판의 형상이 층을 이루고 있으며, 450℃에서 750℃로 갈수록 그 층상의 구조가 나타나나 1100℃이상에서는 층상의 구조보다는 판상의 형태로 존재함을 알 수 있다. 오스테나이트 결정립의 크기에서도 인발 후의 열재현 과정을 거친 시험편보다 큼을 알 수 있다.

3.2 기계적 특성

Fig. 7 및 Fig. 8에는 SS400 및 STS304의 열재현 온도에 따른 인장강도를 나타내었다.

인발로 인해 가공경화를 받은 시험편의 경우에는 높은 강도를 나타내기 때문에 앞에서 나타내었던 바와 같이 열처리를 행하고 난 후 인장시험을 실시하였다.

Fig. 7의 실선은 인발이 된 SS400 시험편의 경우로서, 강도 값이 열재현 온도 800℃에서 급격히 저하한 후 서서히 상승하였고, 열처리를 행한 후 열재현을 실시한 점선으로 표시된 시험편의 경우에는 열재현의 온도에 따라 강도의 변화가 거의 일어나지 않고 있다. 이는 열재현에 의해 열처리된 부분에서 넥킹을 수반한 파단이 일어난 것이 아니라 열재현에 의한 열손상이 없는 부분인 모재부에서 넥킹이 일어나고 파단되었기 때문에 모재

부와 동일한 강도 값을 나타내게 된 것 같다. 이는 인발이 된 재료를 일반 모재와 동일하게 만들어 주기위하여 750℃에서 30분간 풀림을 한 결과 일반 모재부와 동일한 강도의 값을 얻을 수 있었지만 이로 인해 재료가 안정화 되었고, 열재현에 의한 열응력의 영향으로 인하여 재료 내부에 압축 잔류응력이 남게 되고 이로 인하여 열재현 과정 후의 인장강도에 변화, 즉 열재현을 받는 부분의 강도 값이 모재부보다 더 높게 나타나는 것으로 사료된다.

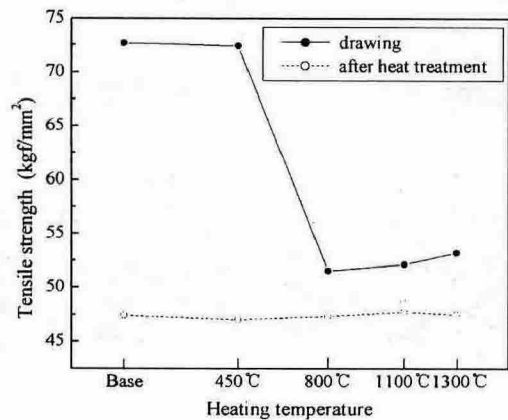


Fig. 7 Tensile strength of SS400 according to heat simulated temperature

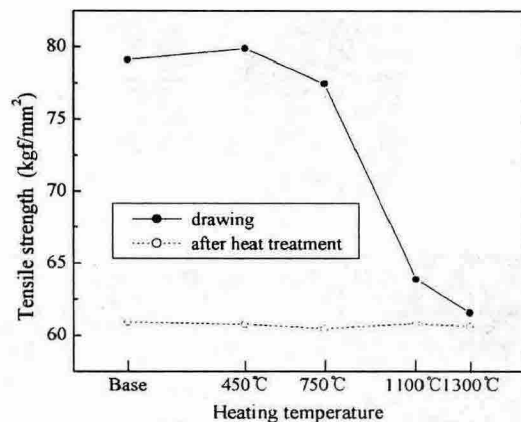


Fig. 8 Tensile strength of STS304 according to heat simulated temperature

Fig. 9는 SS400의 인발 된 모재를 풀림 처리를 하고 난 후 열재현시 나타나는 열응력을 보여준다. 3초 동안 재료에 열이 가해질 때 열응력은 (-)값으로 인장응력을 가지며 냉각이 되었을 때는 450℃에서는 0을 나타내지만 800℃, 1100℃, 1300℃로 온도가 올라갈수록 재료 내부에 잔류압축응력의 형태로 남아있게 된다. 이로 인해 인장시험 시 열재현부의 강도 값이 증가를 하게 되고, 열재현부보다 약한 모재부에서 파단이 일어난 것으로 사료된다.

Fig. 10에는 SS400의 모재 및 열처리 후의 경도를 나타낸다. 인발 후 열처리한 시편의 경우에는 온도가 올라갈수록 경도값이

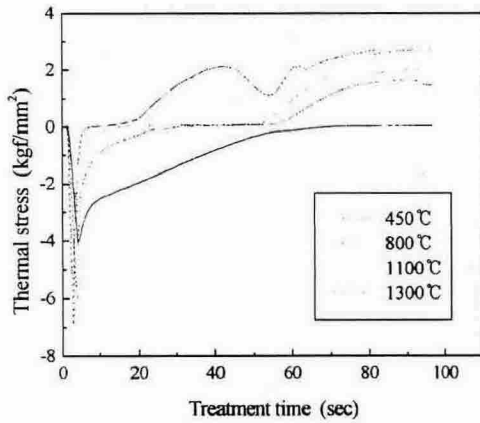


Fig. 9 Thermal stress of SS400 according to heat simulated temperature

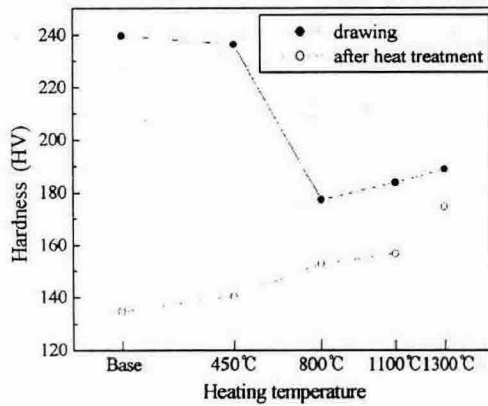


Fig. 10 Hardness of SS400 according to heat simulated temperature

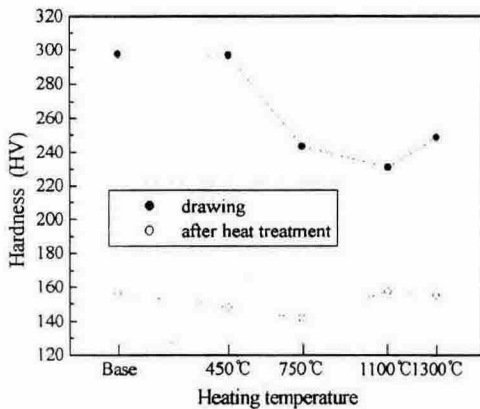


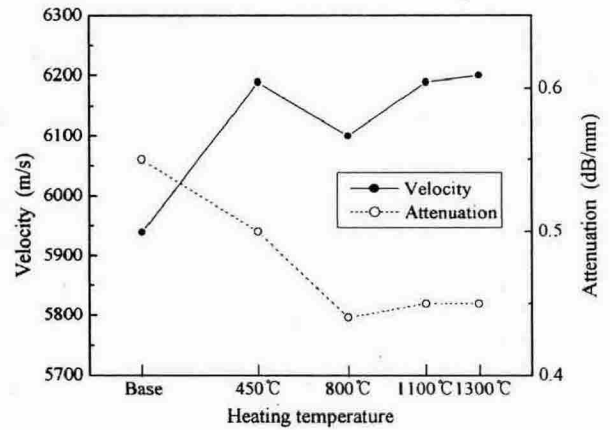
Fig. 11 Hardness of STS304 according to heat simulated temperature

낮아지고 있지만 열처리 후의 열처리 시편은 온도가 올라갈수록 그 경도값은 증가하고 있다. 이는 앞에서 말한 바와 같이 열처리 후 열응력에 의한 압축잔류응력이 존재하기 때문인 것으로 생각된다.

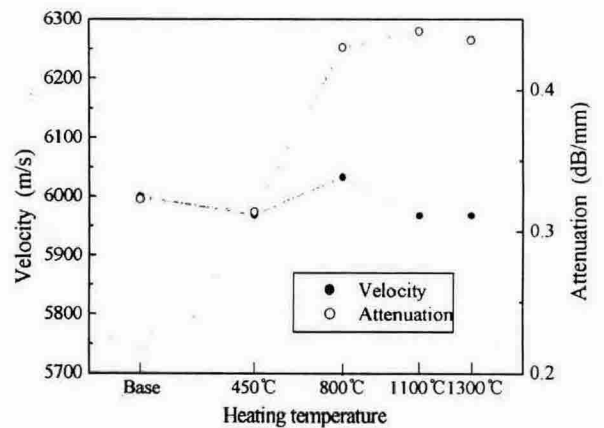
Fig. 11은 STS304의 경도값을 나타내고 있다. 인발 후의 열처리 시편은 450°C까지는 모재와 거의 차이가 나타나지 않지만 750°C 이상에서는 모재보다 낮은 경도값을 나타낸다. 하지만 인발 후 열처리를 하고 열처리의 과정을 거친 시험편의 경우에는 온도의 영향을 거의 받지 않고 거의 같은 값을 나타내고 있다. 따라서 열처리 과정을 통해 재료가 안정화된 후 단시간의 열처리를 시켰을 때, 재료의 기계적 물성치의 변화는 볼 수 없다고 여겨진다.

3.2 초음파적 특성

Fig. 12, 13에는 각 재료에 대한 인발 시험편과 열처리 후의 열처리 시편에 대한 각 온도에서의 초음파의 속도 및 감쇠계수를 나타냈다. 일반적으로 금속에 있어서는 시험편의 조직이



(a) Drawing



(b) After heat treatment

Fig. 12 The velocity and attenuation of SS400 according to heat simulated temperature

커질수록 속도는 감소하고 감쇠계수는 증가한다고 알려져 있다(남기우 등, 2003); (홍순택 등, 1999). 본 시험편에서는 그와는 반대로 인발의 경우 열재현 온도가 상승함에 따라 속도는 증가하는 반면 감쇠계수는 감소하고 있다. 그 정도는 SS400에서 현저하게 차이가 나며, STS304에서는 속도는 그리 많은 차이를 보이지 않지만 감쇠계수에서는 현저한 차이를 나타내고 있다.

인발의 경우 속도와 감쇠계수의 관계가 다른 이유는 인발에 따른 가공경화의 영향 때문으로 생각된다. 풀림 후 재현열처리를 한 경우의 감쇠계수가 온도가 증가함에 따라 증가를 보이는 것은 가공경화에 의한 잔류응력이 제거됨에 따라 모재부의 감쇠계수가 감소하게 되고 온도가 올라감에 따라 감쇠계수가 증가하였다고 사료된다. SS400에서 알 수 있듯이 인발 후의 재현열처리나 풀림 후 재현열처리 한 시험편의 경우 800℃ 이상에서는 감쇠계수 값이 비슷하다는 것을 볼 때 잔류응력의 영향이 초음파의 감쇠계수에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

STS304의 경우에도 SS400과 유사한 관계를 보여주고 있으나 풀림을 한 경우에는 그리 큰 변화를 보이지 않았다. 이것은 풀림 처리에 의해 열응력으로부터의 잔류응력이 제거되어졌기 때문으로 사료된다.

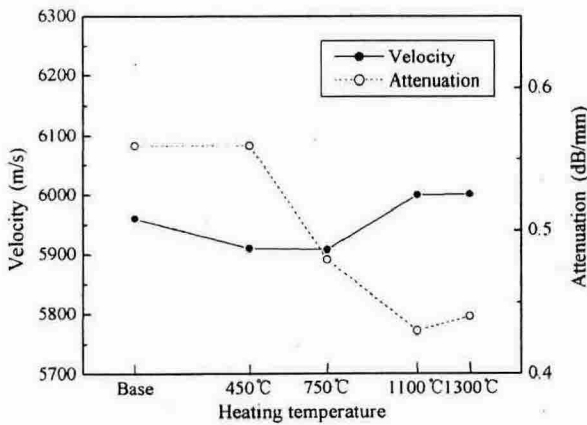
4. 결 론

환봉의 직경을 줄이기 위하여 인발을 하였을 경우 가공경화로 인해 인장응력이 SS400은 약 1.5배, STS304는 약 1.3배 높게 나타났다. 또한 경도도 SS400과 STS304는 약 1.8배 높게 나타났다. 이를 열재현 하였을 경우 두 시험편 모두 변태온도인 730℃(SS400)과 1050℃(STS304)이상에서는 인장강도와 경도의 급격한 저하가 나타났다. 풀림 처리를 한 재료를 열재현 하였을 경우 SS400은 경도값을 비교해 봄으로써 인장강도 값도 상승될 것으로 생각되고 STS304는 기계적 특성에는 별 차이가 없음을 알 수 있었다. 즉, 순수 모재를 사용하였을 경우 SS400은 열응력에 대한 영향을 많이 받는 반면 STS304는 열응력에 대한 영향이 거의 없다고 볼 수 있다.

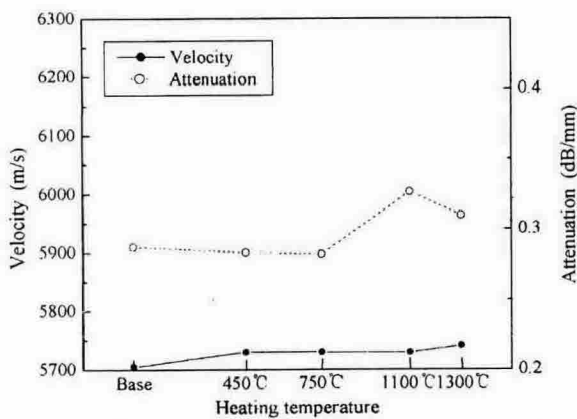
초음파 검사에서는 인발된 시험편의 경우 일반 금속재료들과는 다르게 조직의 조대화는 있지만 조직의 변화보다는 재료 내부의 잔류응력에 대한 영향력이 더 커 초음파 특성에 반대되는 결과를 보여주었으며 풀림을 하고난 후 열재현을 실시하였을 경우 속도에는 다른 변화가 보이지 않지만 변태온도 이상에서 조직의 변화로 인한 감쇠계수의 상승을 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

丸善株式會社 (平成2年 9月 30日 發行). <銲接·接合 便覽> 銲接學會 pp810-811
 안홍조, 이찬우, 이창희 (2000). C-Mn 구조용강 열영향부의 결정립 성장 거동 예측 모델링, 대한금속·재료학회지 제38권, 제6호, pp 841-850
 홍순택, 권숙인, 조응용 (1999). 초음파 감쇠측정에 의한 탄소강 미세조직의 비파괴적 평가, 대한금속학회지 제37권, 제7호, pp 754-759
 김효준, 이상익 (1989). 과공정 CV흑연주철에서 주물의 직경이 기지조직, 기계적 성질 및 초음파속도에 미치는 영향, 대한금속학회지 제27권, 제9호, pp784-792
 남기우, 박소순, 안석환 (2003). STS316L 모재 및 용착부의 열처리에 따른 초음파 특성, 대한금속·재료학회지 제41권, 제3호, pp186-195



(a) Drawing



(b) After heat treatment

Fig. 13 The velocity and attenuation of STS304 according to heat simulated temperature