[논문] 열처리공학회지, 제17권 제2호(2004)
J. of the Korean Society for Heat Treatment, *Vol. 17, No. 2, (2004) pp. 73~77*

고주파열처리에 의한 자동차용 고강도 강판의 기계적 성질변화

이두환 · 윤치상 · 임종대
현대기아연구개발본부 선행개발센터 금속재료연구팀

Mechanical Properties of High Stength Sheet Steels for Auto-Body by Induction Heat Treatment

D. H. LEE, C. S. YOON and J. D. LIM
Material Research Team, Advanced Technology Center, R&D Division for Hyundai & Kia Motor Company

Abstract The efforts which increase the strength of the auto-body structure and decrease its weight lead to develop a new concept of part production systems, such as Post-Form Strengthening by induction heat treatment. In this study, several cold and hot-rolled sheet steels were used to find out optimum induction heat treatment conditions. After induction heat treatment, strength of heat-treated sheet steels was increased significantly compared with that of as-rolled steels. From these results, auto-body structure which has more light and safe has been made by using this induction hardening method.

(Received October 13, 2003)

Key words: Induction heat treatment, Post-Form Strengthening, Hat-type, Auto-body, Cold and hot-rolled sheet steel, Tensile strength

1. 서 론

최근 들어 자동차의 안전성과 경량화의 문제가 중요한 과제로 대두되면서 차체용 강판재료의 고강도화가 급속히 진행되고 있다. 현재 자동차용 강판으로는 인장강도 28, 35 kgf/mm^{2}급이 주종으로 사용되고 있으며 최근들어 45, 60 kgf/mm급의 고강도강판이 개발되면서 차체의 안전성을 높이고 경량화를 통한 연비향상, 배출가스저감 등의 목적을 달성하기 위해 국내외적으로 고강도강판의 적용이 증가추세에 있다. 한편 고강도강판의 개발속도는 매우 빠른 속도로 진행되고 있지만 부품화기술면에서는 그 속도를 따라가지 못하고 있는 실정이다. 프레스 성형성, 용접성, 도장성 등 부품개발에 필요한 요소기술중에서도 특히 재료의 고강도화로 인해 성형성은 더욱 불리해져 실제 적용으로 이어지기 위해서는 이를 해결할 수 있는 새로운 생산기술의 등장이 요구되고 있다. 최근 들어 테일러드블랭크(TWB), 하이드로포밍(Hydroforming) 등의 신성형기술이 개발되고 있는 것도 이러한 기술적인 요구를 충족시키고자 하는 노력에서 비롯된 것이다.

고안전 차체개발을 위해 자동차 설계자가 충돌흡수를 위한 최적구조를 계획할 때는 전후방과 측면으로부터의 충돌에 대비한 설계를 고려하게 된다. 이러한 관점에서 충돌흡수구역(Crush Zone)이 있는 전후면으로부터의 충돌에 비해서 그렇지 못한 측면충돌에 대비하기란 간단한 일이 아니다. 일반적으로는 측면으로부터의 하중을 최대한 분산시킬수 있는 구조설계를 해야하고 다음으로는 측면을 구성하는 각 부품의 적정강도를 확보하기 위해 고강도재료를 사용하거나 더욱 용이하게는 보강재를 추가하는 것이 일반적이다. 그러나 강재의 고강도화는 성형성 측면에서 불리해질 수 있고 보강재를 추가하는 것은 중량증가를 초래한다. 이러한 성형성과 고강도화의 상반된 요구에 대응하기 위하여 최근 열처리기술을 응용하여 충돌시 변형이 집중되는 부분만을 강화할 수 있는 국부강화기술(PFS, Post-Form Strengthening)에 대한 연구가 활발하다[1, 2]. 현재까지는 고주파열처리를 통한 연구가 대부분인데 일부에서는 레이저를 이용한 연구결과도 보고되고 있다[3-6]. 자동차의 차체용으로는 현재 상당량의 고강도강판이 사용되고는 있으나 이러한 강판재료의 열처리특성에 대한 연구는 미진한 실정이다. 현재 자동차용 차체에는 0.6~2.3 mm정도의 박판재

가 주로 사용되는데 탄소함량이 0.02~0.15% 수준으로 일반적인 열처리의 대상으로는 적합하지 않다. 그러나 통상적인 경화처리를 할 경우에 탄소함량이 0.05~0.2%정도인 박판재는 0.2~0.6%의 탄소강을 경화했을 때와 유사한 경화패턴을 보이는 것으로 알려져 있다[7, 8]. 본 연구에서는 소재의 열처리 물성에 중점을 두었으며 연구수행을 위해 현행 자동차용 강판에 대한 실험을 실시하여 열처리용 소재로의 적합성을 평가하였으며 이 결과를 바탕으로 더욱 가볍고 튼튼한 자동차 차체개발의 방향을 제시하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 시편준비

실험에 사용된 소재는 현행 자동차용 냉연 및 열연 고장력강판 5종으로 그 조성은 Table 1 같다. 고주파소입시편 제작을 위해 먼저 hat형으로 프레스 성형 및 용접을 하여 Fig. 1과 같이 시편을 제작하였다. 본 시편은 최종적으로 낙추충격시험을 실시하여 고주파강화의 효과를 파악하기 위한 것이다.

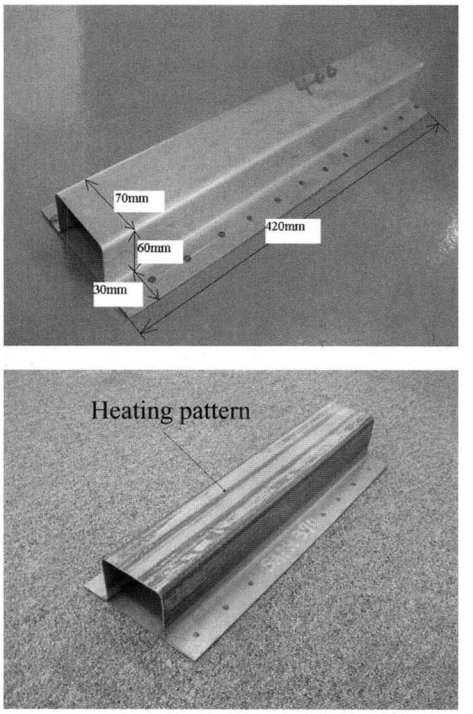

Fig. 1. Hat-type specimen and heating pattern.

2.2 열처리장치의 제작

Table 1 의 시편 5종에 대한 열처리성을 평가하기 위해 Fig. 2와 같은 수직이동형 열처리지그를 제작하였다. 지그는 상하방향으로 설정된 속도로 자동이송이 가능하고 장착된 고주파코일과 동일한 속도로 냉각코일도 이동되면서 가열과 동시에 냉각이 이루어질 수 있도록 구성되어 있다. 또한 시편의 각 부위에는 온도측정이 가능하도록 열전대를 부착하여 실시간 온도측정을 하였다.

2.3 미세조직 및 경도

고주파열처리를 실시한 HAT형 시편에서 열처리부와 비열처리부를 채취하여 광학현미경으로 미세조직을 관찰하였고 비커스경도계를 사용하여 Fig 3과 같이 HAT형 시편의 전구간을 5 mm간격으로 나눠 경도를 측정하였다.

Table 1. Chemical compositions(wt%, Fe bal.)

No.	C	Si	Mn	P	S
A	0.023	0.02	0.14	0.080	0.011
B	0.074	0.47	1.58	0.017	0.006
C	0.145	0.50	2.55	0.019	0.003
D	0.095	0.03	0.58	0.012	0.006
E	0.092	0.02	1.34	0.018	0.003

2.4 인장시험

열처리전후 소재의 인장특성을 평가하기 위해 25톤

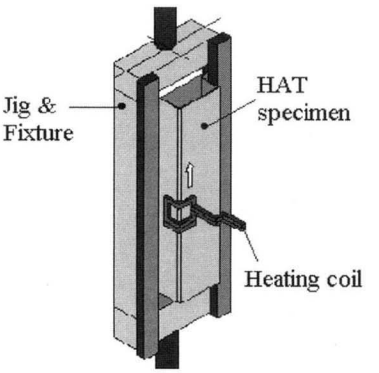

Fig. 2. Vertical scanning type jig and fixture.

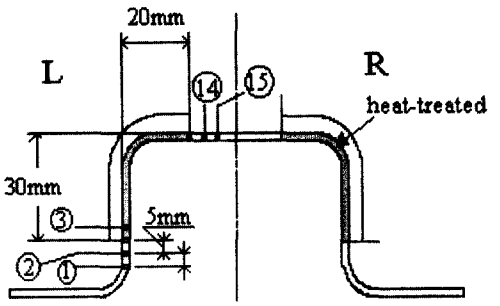

Fig. 3. Cross section and hardness measurement.

유압식 인장시험기를 사용하였다. 인장시편은 Fig 1의 HAT형 시편에서 JIS-12B호로 채취하였고 5 mm/min의 속도로 인장을 실시하여 인장강도, 항복점 및 연신율을 측정하였다.

3. 실험결과

3.1 열처리조건

열처리실험에는 주파수(Hz), 사용전력(kW), 코일이동속도, 소재의 두께, 가열온도 및 냉각방법 등의 변수가 작용하는데 본 실험에서는 주파수, 사용전력을 동일하게 하고 소재의 두께에 따라 코일이동속도를 달리함으로써 가열온도를 적정 제어하였다. 시료 각각에 대한 열처리조건및 가열온도는 Table 2와 같다.

Table 2. Induction conditions for each material.

No.	Thickness (mm)	Frequency (kHz)	Temp (°C)	Speed (mm/sec)
A	1.4	25	1050	5.5
B	1.4	25	1100	5.5
C	1.8	25	1130	4.8
D	1.4	25	1100	5.5
E	1.6	25	1110	5.0

3.2. 인장시험

열처리전후 소재의 인장강도를 평가하기 위해 25톤 인장시험기를 사용하였다. 인장시편은 Fig. 1의 HAT형 시편에서 JIS-12호로 채취하였고 5mm/min의 속도로 인장을 실시하였으며 그 결과는 Fig. 4와 같다. 열처리전후의 인장강도 변화를 보면 시료D와 E의 증가폭이 비교적 크게 나타나고 있다. 또한 열

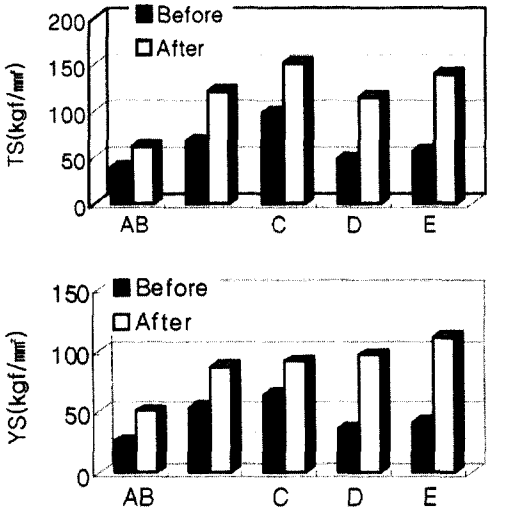

Fig. 4. Tensile/Yield strengths before and after heat treatment.

처리후의 기계적물성으로 중요하게 평가되는 항복강도의 경우에도 다른 시료에 비해 D와 E의 증가량이 크게 나타나고 있다. 강도와 성형성을 동시에 고려하여 실제 부품에 대한 적용성을 검토할 경우에 시료 D 및 E는 시료A, B 및 C에 비해 약 2배 이상의 고강도화가 가능할 것으로 예상된다.

3.3 경도시험

최적 열처리조건의 결정을 위해 시편의 단면을 절단하여 마운팅하고 연마를 한 후 마이크로 비커스경도기를 사용하여 부위별 경도시험을 실시하였다. Fig. 3 의 시편단면그림에서 음영부분은 고주파열처리부위를 나타내고 나머지 부위는 열처리가 되지 않은 부위이다. 고주파열처리로 얻고자 하는 목표경도값은 Hv=400수준으로 설정하였다. 또한 경도값 이상으로 중요한 것은 균일한 경도분포이다. 경도시험은 열처리부와 비열처리부의 경도분포를 확인하기 위하여 시편의 측면과 상면 전부위를 각 5 mm간격으로 나눠 측정하고 그 결과를 Fig. 5에 나타냈다. 시료 A의 경우는 목표경도값(Hv=400)에 크게 못미치고 있음을 알 수 있다. 시료 C의 경우는 목표경도를 초과하는 결과를 보여주고는 있으나 원소재가 인장강도 80킬로급에 상당하는 초고강도강판으로 실제 프레스 성형시에 원하는 형상을 쉽게 얻기 어렵다.

3.4. 금속조직시험

고주파열처리후의 경도는 급냉에 의한 변태조직에 의해 결정되기 때문에 Fig. 5의 열처리부와 비열처리부 각각에서 시편을 채취하여 금속조직을 관찰하였다(Fig. 6). 탄소강에서 마르텐사이트 조직을 얻기 쉬운 정도를 나타내는 것이 경화능(hardenability)인데 경화능은 성분원소에 많은 영향을 받는다. 특히 Mn 및 B 등은 경화능을 크게 향상시킬수 있다. 그외에도 오스테나이트 결정입도, 탄소량이 영향을 미치는데 탄소량이 증가할수록, 오스테나이트 결정립이 커질수록 경화능은 좋아진다[9, 10]. 시료 A의 경우는 탄소량이 0.02%정도로 페라이트조직만이 관찰되는 경화능이 낮은 소재로 열처리용으로는 적합치 않음을 알 수 있다. 탄소함유량이 적은 시료 B, D 및 E보다 C 및 Mn 함유량이 비교적 많은 시료 C에서 좀 더 치밀한 마르텐사이트 조직이 관찰되었다.

4. 결 론

국부강화기술개발을 위한 자동차용 고강도강판에 대한 고주파 열처리 특성연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을수 있었다.

1) 최적 열처리조건 설정실험에서 동일주파수, 동일 전력투입시 상이한 소재두께에 대한 가열량 제어를 위해서는 코일의 이동속도를 조절함으로써 목표 온도에 도달할 수 있었다.

2) 고주파 열처리온도는 소재종류 및 두께에 따라 약간의 차이는 있으나 대체적으로 1050~1130 ℃범위에서 최적의 특성을 얻을 수 있었다.

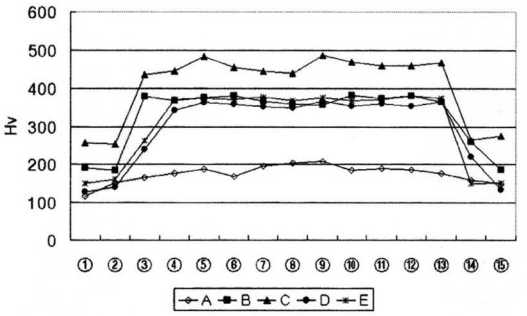

Fig. 5. Results of hardness measurement.

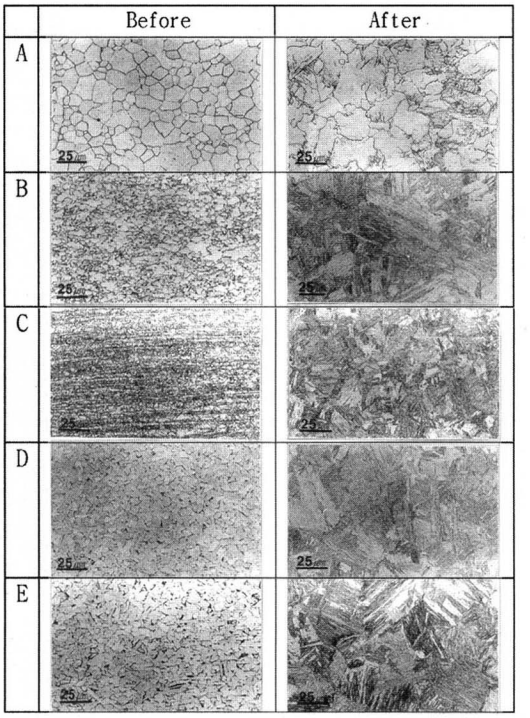

Fig. 6. Microstructures before and after heat treatment.

3) 시료 5종의 비교실험결과 고주파강화의 가장 중요한 요소는 소재의 탄소함량임을 알 수 있었고 본 실험을 통해 0.07%C 이상(시료 B)이면 어느 정도 열처리가 가능하며 약 0.1%C정도(시료 D 및 E)면 일정수준 이상의 열처리물성을 얻을 수 있었다.

4) 부품개발을 위해서는 우선 열처리 전에 프레스 성형이 용이해야 하고 열처리 후 약 2~3배의 강도 향상을 목표로 할 때 본 실험에서 사용한 5종의 시료 중에서는 성형이 비교적 용이하고 열처리물성을 일정수준이상 확보할 수 있는 시료 B, D 및 E가 가능성이 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. M. Shibata and M, Oonishi, "Method of improving side impact protection performance by induction hardening of body reinforcement", SAE#980550.
2. M. Shibata and K. Makino, "A Method to induction-harden sheet steel parts of automotive body for achieving occupant safety in collision, weight

reduction, and cost saving", Material Japan, Vol 37, No.6(1998) 525.
3. K. Tamada, A. Sato and Nakagawa "Weight reduction technology by laser irradiation for body panels", 19th IDDRG Biennial Congress, 10-14, June 1996, 47.
4. M. Kitamura and K. Makii "Development of 440MPa grade gavannealed steel sheet for laser irradiation strengthening", 自動車技術會 學術講演會前刷集951(1995) 97.
5. J. Suh, J. H. Lee, J. O. Kim, S. J. Oh, W. S. Cho, D. H. Lee, and C. S. Shin, "Strengthening of Steel Sheets for Automobile by CO_2 Laser Beam Irradiation" KIM & M, Vol.4, No.2(2001) 21.
6. J. Suh, J. H. Lee, J. O. Kim, S. J. Oh, W. S. Cho, D. H. Lee, and C. S. Shin, M. Y. Lee, G. H. Lee, "Laser Strengthening of 35 kgf/mm^2 Grade Steel Sheet for Automobile" KIM & M, Vol.20, No.1 (2001) 34.
7. A.R.Marder and G. Krauss, Trans. ASM, 60 (1967) 651.
8. A.R.Marder and G.Krauss "Hardenability Concepts with Applications to Steel", AIME, (1978) 238.
9. 이용기, 이동녕, "고주파 유도가열에 의한 고장력강 파이프의 열처리조건설정", 서울대학교 신소재공동연구소 (1995).
10. 양훈영, 김수영, 금속재료학, 문운당 (1987) 188.