

論文

가스침탄 처리한 AISI 8620 강에서 급냉제가 표면잔류응력에 미치는 영향

장 총 길* · 한 준 회 · 황 능 문 · 김 종 집 · 임 병 수*

한국표준연구소 재료연구실

*성균관대학교 기계공학과

Effect of Quenchant Temperature on the Surface Residual Stress in Gas Carburized AISI 8620 Steel

C. G. Jang*, J. H. Hahn, N. M. Hwang, J. J. Kim and B. S. Lim*

Materials Properties Lab., Korea Standards Research Institute

*Department of Mechanical Engineering, Sung Kyun Kwan Univ.

ABSTRACT

The effect of quenchant temperature on the surface residual stress was studied for AISI 8620 steel. Specimens were carburized at 900°C in all case type furnace using a gas-base atmosphere of methanol cracked and liquefied petroleum gas, and then subjected to single reheat quenching in oil or salt bath in the temperature range of 60°C to 300°C. After carburizing and reheat quenching, residual stress was measured by the hole drilling method. Experimental results showed that the surface residual stress was increased as the quenchant temperature was raised. This is in contrast to the fact that the formation of phase of low transformation strain such as bainite results in lower surface compressive stress. The greater compressive stress observed in specimens quenched at higher temperature may be attributed to the shifting of the transformation start point farther from the surface, as was reported in other carburizing steels.

1. 서 론

표면의 경화를 목적으로 이용되는 침탄열처리방법에서도, 실제 사용조건에서의 우수한 성능보장을 위해서는, 높은 경도를 얻는 것 외에도 적절한 잔류응력상태가 유지되어야 한다. 침탄층에서의 잔류응력은 일반 열처리에서와 같이 열응력과 변태응력에 의해 좌우되나, 표면과 내부(core)의 성분차이 그리고 이에 따른 변태시작 온도의 차이에 의한 조직차 응력도 주요한 역할을 하는

것으로 알려져 있다.¹⁾

지금까지 침탄층의 잔류 응력측정을 위해 개발된 방법으로는 X-ray를 이용한 비파괴적인 방법과²⁾ 스트레인 게이지(strain gage)를 활용하는 hole drilling법³⁾이 있으며 이론적으로는 유한요소법(finite element method)⁴⁾이 주요한 연구수단이 되어 왔다. 많은 연구 결과에 의하면 침탄층에서는 압축잔류응력이 작용되는 것으로 보고되어 있으며⁴⁾ 이의 크기를 좌우하는 인자로서는 침탄분위기, 카본 포텐셜(carbon potential), 침탄

층 깊이, 냉각제와 재료의 직경을 포함한 치수등이 있는 것으로 알려져 있다.⁶⁾

이러한 많은 변수중에서도 특히 냉각제 또는 냉각제의 온도에 의한 영향은, 선택의 폭이 넓고, 변형이 비교적 용이하다는 점과, 실제 작업에서 저온의 냉매에 급냉시키면 부품의 성능이 향상된다는 경험적인 사실로부터, 연구대상으로서의 중요성을 갖고 있으며, 지금까지의 연구에 의하면 AISI 4130 및 1526 강 등에서는 냉매 혹은 냉각제의 온도가 높을수록 압축 잔류응력이 증가되는 것으로 보고된 바 있다.⁷⁾ 따라서 본 연구에서는 냉각제의 온도에 따른 표면 잔류응력의 변화를 아직 그 결과가 보고된 바 없는 AISI 8620 강에 대하여 hole drilling방법을 이용, 조사하였으며 침탄은 국내에서 비교적 많이 사용되고 있는 적주식 가스침탄법으로 하였다.

2. 실험방법

2-1. 시편 및 침탄처리

본 연구의 대상 소재는 AISI 8620 강으로 화학조성은 Table 1 과 같으며, 시판되는 봉재를 구입, 38×15 mm의 disc모양으로 가공하여 사용하였다.

침탄은 all case type의 적주식(drip feed) 침탄로를 사용, 카본 포텐셜(carbon potential)을 1.0%로 유지하면서, 900℃에서 6 시간 동안 처리하였으며, 이때의 노

Table 1. Chemical composition of AISI 8620 steel specimen in weight percent.

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0.18	0.28	0.80	0.07	0.01	0.55	0.50	0.20

내가스 분위기는 캐리어 가스(carrier gas) 발생용으로는 메틸 알콜을, 인리치 가스(enriching gas)로는 LPG를 사용하였다. 가스분위기의 제어는 burn-out형 Zirconia O₂센서를 써서 자동제어하였고, 온도는 K type열전대로 제어하였다. 개략적인 자동침탄시스템은 Fig.1과 같다. 침탄처리가 끝난 시편은 공냉후, 900℃에서 1.5 시간 동안 재가열 처리하였으며, 이후 급냉하고 일부 시편에 대해서는 190℃에서 0.5 시간동안 뜨임처리하였다. 급냉시의 냉매로서는 60-234℃범위의 온도에서는 Houghton사의 Mar. Temp. 2565 를, 270-300℃의 온도범위에서는 Econosalt사의 H 8 염을 사용하였다.

2-2. 잔류응력측정

잔류응력의 측정은 blind hole drilling 방법으로 하였는데, 이 방법은 잔류응력이 존재하는 재료에 작은 직경의 구멍을 뚫어, 이때에 이완되는 스트레인을 측정하고, 이로부터 stress-strain관계를 적용, 응력으로 환산하는 방법이다. Hole drilling은 직경 1.5 mm의 초경 end mill과 Micro measurement group의 milling guide (model Rs-20)를, strain gage rosette는 3 개의 게이지

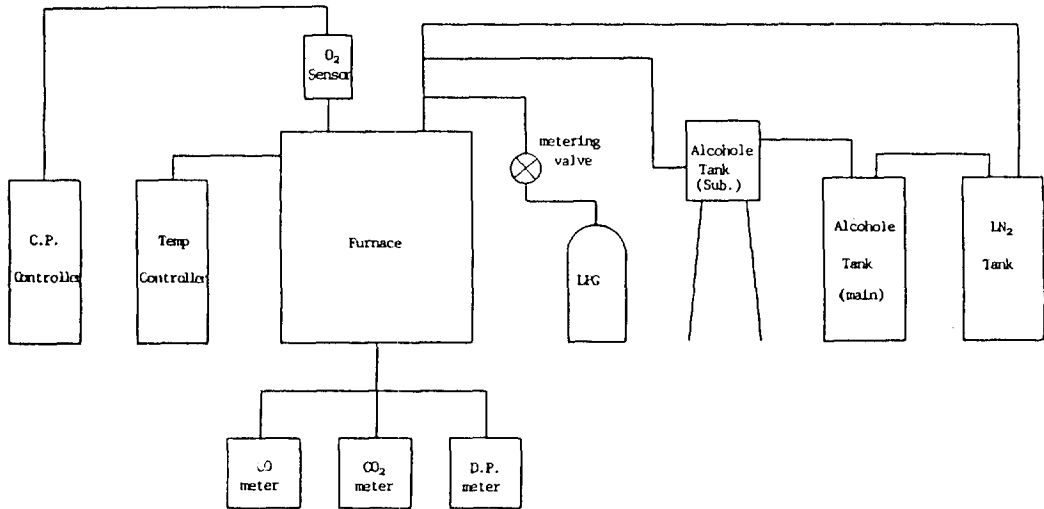


Fig.1. Schematic diagram of automatic carburizing system.

가 부착되어 있는 동 그룹의 EA-XX-06-RE-120 을, strain의 지시장치는 digital strain indicator(model V/E-20 A)를 사용하였다. 잔류응력은 침탄-재가열처리 후 급냉시킨 시편과 침탄방지를 위해 구리도금시킨 시편에 대하여 측정하였으며, 구멍의 깊이를 0.25 mm간격으로 증가시켜가며 측정한 후, strain이 더 이상 변화되지 않은 깊이까지 반복하여, 포화값(saturated value)으로부터 주응력(principal residual stress)을 계산하였다.

2-3. 침탄층분석

침탄층의 특성분석을 위하여 경도 및 탄소농도의 구배를 측정하였으며 미세조직을 검사하였다. 경도는 하중 1 kg의 비커스 경도를 측정하였고, 탄소농도는 침탄된 시편의 표면을 매 0.2mm 간격으로 연삭 후 발광분석법으로 분석하였고, 미세조직은 침탄층의 단면을 Nital 3% 용액으로 부식시킨 후, 광학현미경으로 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 침탄층의 탄소농도 및 경도분포

Fig.2는 900°C에서 6시간 침탄처리한 시편들의 탄소농도분포로서, 표면에서의 탄소농도는 0.84%이고, 내층(core)의 탄소농도는 SAE 8620의 탄소함량과 같은 0.2%임을 보여주고 있다. 표면에서의 탄소농도 0.84%는 본 연구에서 유지한 C.P값인 1.0%보다 다소 낮음을 알 수 있으며 탄소농도 0.2%를 기준으로한 침탄깊이는

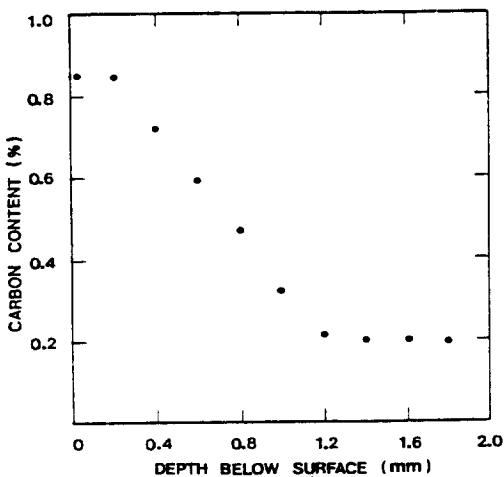


Fig.2. Carbon profile of AISI 8620 steel investigated.

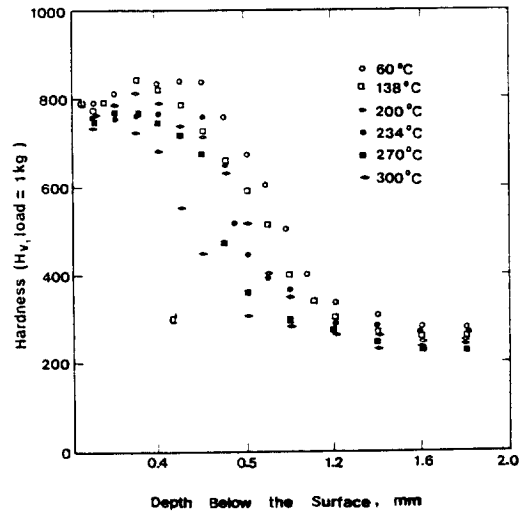


Fig.3. Effect of quenchant temperature on the case hardness profile.

약 1.2 mm이어서, Harris⁸⁾가 제시한 식에 의해 계산한 값인 1.3 mm와 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

Fig.3은 Fig.2에 나타난 탄소농도분포를 보이는 시편들의 경도분포를 quenchant온도에 대하여 도시한 것으로서, Fig.2의 탄소농도 분포에서와 같이 표면에서 약 1.2 mm에서부터 깊이에 따른 경도변화가 나타나지 않고 있으며, 표면층, 즉 깊이가 0.1 mm내의 층과 1.2 mm 이상의 내부층 경도를 제외하고는 모두 quenchant 온도가 높아짐에 따라 경도가 감소되는 경향을 보여주고 있다. 특히, 270°C 및 300°C의 염욕조에 급냉한 시편에서부터 경도값이 크게 낮아짐을 알 수 있어서 270°C에서부터 미세조직이 크게 변화되었음을 시사하고 있다.

3-2. 침탄층에서의 미세조직

Fig.4(a)는 60°C의 오일에 유냉한 시편의 미세조직으로 좌측이 희게 나타난 부분은 마르텐사이트와 잔류오스테나이트로 구성되어 있으며, 이 부위의 확대조직사진은 Fig.4(b)와 같다. Fig.5(a)는 300°C의 염욕에 급냉한 시편의 미세조직으로 대략 3개의 부분으로 구분된다. 즉, 왼쪽의 끝에 위치한 표면층에 아주 가까운 비교적 부식이 심하게 되지 않은 부분, 부식이 심하여 검게 나타난 부분, 그리고 흰색을 띤 내부층으로 구분된다.

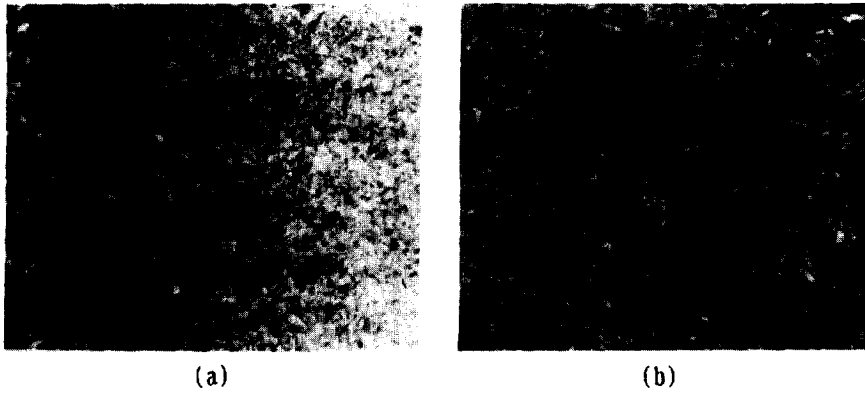


Fig. 4. Microstructure of the specimen quenched to 60°C. (a) Overview(at 100×) (b) Magnified view of near surface region(at 500×)

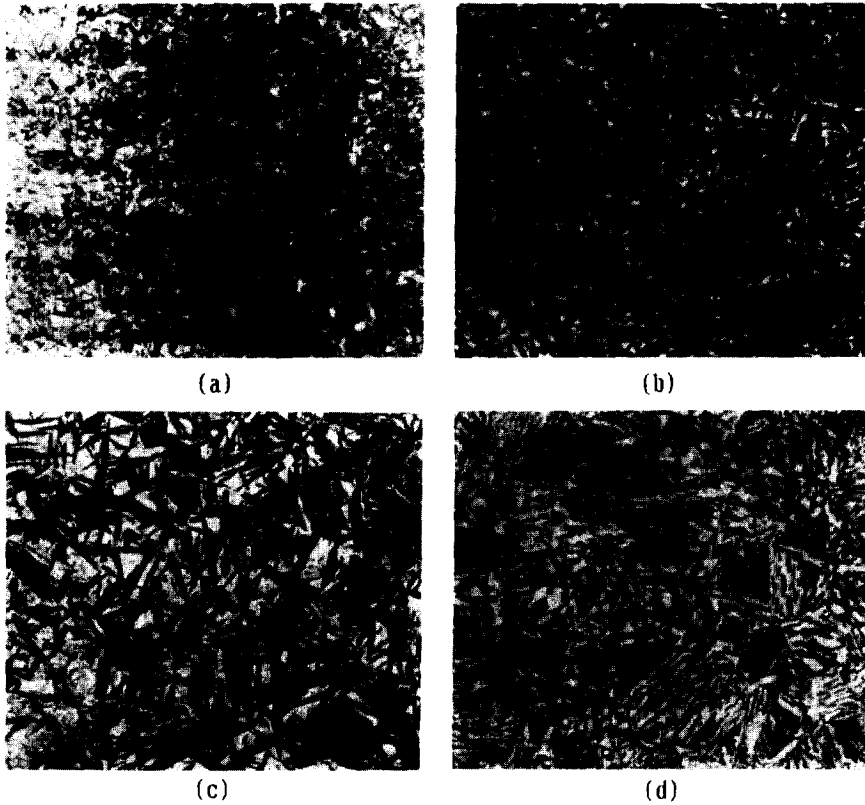


Fig. 5. Microstructure of the specimen quenched to 300°C .

(a) Overview (at 100×), (b),(c),(d) Magnified view of near surface, case-core interface and core region respectively (at 500×)

이들부분의 확대사진을 보면 각각 Fig.5(b), 5(c) 및 5(d)와 같으며, Fig.5(b)에서는 마르텐사이트와 잔류오

스테나이트, Fig.5(c)에서는 마르텐사이트, 잔류오스테나이트 및 베이나이트 그리고 Fig.5(d)에서는 본 연구의

모든 시편의 core에서 공히 관찰되었던 페라이트와 펄라이트로 구성되어 있다.

3-3. Quenchant온도와 잔류응력

Table 2는 침탄을 방지하기 위해 동 도금한 시편을 60°C, 138°C, 200°C, 234°C, 270°C 및 300°C의 오일 혹은 염욕에 급냉시킨 후의 잔류응력의 측정값을 나타낸 것으로서, 모든 시편에서 인장 잔류응력이 발생되었음을 알 수 있으며, 침탄을 시키지 않은 시편에서는 급냉시 인장응력을 발생시키는 변태응력이 압축응력을 발생시키는 열응력보다 더 큰 것에 기인하는 것으로 생각된다.

Fig.6은 침탄시킨 시편의 위와 같은 급냉조건에서의 잔류응력값을 보여주며, 모든 조건에서 동도금한 시편과는 달리 압축 잔류응력이 발생하였으며, 그 크기가 급냉제의 온도가 높아짐에 따라 증가되며, 또한 뜨임처리에 의해 압축잔류응력이 이완되었음을 알 수 있다.

침탄층에서의 압축잔류응력 발생은 Rose에¹⁰⁾ 의하면 침탄층과 내부사이의 상변태 순서에 기인한 것으로 알려져 있다. 즉, 냉각시의 상변태는 침탄층과 내부층의 경계면에서부터 시작되어 내부 혹은 표면쪽으로 진행되는데, 이는 앞에서 언급한 바와같이, 내부(core)에서의 변태온도와 냉각후 초기의 실제 유지온도가 표면보다 높는데 기인한 것이다. 이와같이 변태가 표면-내부의 경계면에서 일어나서 계속 진행되면, 표면으로 갈수록 탄소농도는 증가하고, 또한 탄소농도 증가에 의한 부피팽창도 증가하게 된다. 이러한 큰 부피팽창은 높은 항복강도에 의해 소성변형이 일어나지 못하므로 인해 완화되지 못하며, 또한 표면층이 내부층의 구속에 의해 자유로운 팽창이 저지되므로 결과적으로 큰 압축잔류응력이 생기게 된다.

압축잔류응력의 크기는 일반적으로 변태전과 변태후의 비용적 차이에 의해 결정되며, 따라서 quenchant온도가 높은 경우에 낮은 경우보다 부피팽창이 큰 마르텐사이트

Table 2. Surface residual stress as a function of quenchant temperature in copper plated specimens.

Quenchant Temperature	60°C	138°C	200°C	234°C	270°C	300°C
Surface residual stress(kg/mm ²)	11.7	8.3	6.0	2.7	5.5	7.6

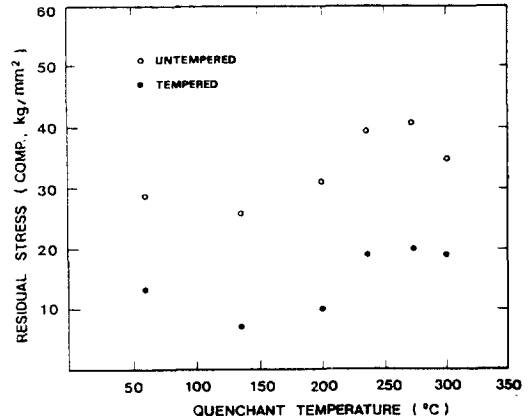


Fig.6. Surface residual stress as a function of quenchant temperature in untempered and tempered carburized specimens.

트의 양이 줄어들고, 비교적 변태후 부피팽창이 작은 베이나이트가 더 많이 석출되므로, quenchant의 온도가 높을수록 압축 잔류응력의 초기는 감소될 것으로 예상된다. 그러나 본 연구결과를 보면 정반대의 경향을 보여주고 있다. 이러한 예는 이미 Shea의⁷⁾ 연구결과에서 보고된 바 있으며 Shea는 이를 고온quenchant에 급냉한 경우에 저온quenchant에 급냉한 경우보다, 변태시작점이 표면에서부터 더 내부로 이동되어 베이나이트양 증가에 의한 낮은 변태응력이 상쇄되는데 기인한 것으로 해석하였다. 상세한 기구의 규명을 위해서는 FEM에 의한 이론연구 및 미세조직이 정량해석등의 면에서의 연구가 필요하다.

3. 결론

본 연구의 결과로부터 얻어진 주요한 결론은 다음과 같다.

가. AISI 8620 강에서 C.P 1.0%로 900°C에서 6시간 침탄처리한 후의 표면침탄농도는 0.84%, 침탄깊이는 1.2mm이었으며, 침탄층의 경도는 냉각제의 온도가 높을수록 감소하였다.

나. 침탄층의 미세조직은 냉각제의 온도가 높아짐에 따라 마르텐사이트+잔류오스테나이트+베이나이트 조직으로 변화하였다.

다. 표면잔류응력은 침탄이 되지 않은 동도금 시편에서는 인장응력을, 침탄된 시편에서는 압축응력을 보여

주었으며, 이 압축응력은 뜨임 처리후 감소되었다.

라. 침탄된 시편에서 냉각제의 온도가 높아질수록 압축잔류응력의 크기가 증가하였다.

참고문헌

1. L.T.Ebert ; Metall. Trans., **9A**, 1, 537 (1978).
2. A.L. Christenson and E.S. Rowland ; Trans. ASM, **45**, 638 (1953).
3. J.E.Campbell and H.O.Mcintire ; Iron Age, **172**, 102 (1953).
4. J.A.Burnett ; Evaluation of Elastic-plastic stresses in quenched carburized cylinders by finite element methods, Ph.D. thesis, University of Akron, (1977).
5. D.P.Koistinen ; Trans. ASM, **50**, 227 (1978).
6. D.P.Kositinen and R.E.Marburger ; Acta Metall., **7**, 59 (1959).
7. M.M.Shea ; J.Heat Treat., **3**, 38 (1983).
8. F.E.Harris ; Met. Prog., **44**, 265 (1943).
9. G.Parrish G.S.Harper, Production Gas Carburizing, Pergamon Press, Oxford, U.K, p.210, (1985).
10. A.Rose and H.P.Hougardy ; Transformation and Hardenability in Steels, Climax Molybdenum Company, Ann Arbor, MI, p.386 (1967).
11. D.W.Ingham and P.C. Clarke;Case Hardened steels, conference Proceedings, The Metallurgical Society of AIME, pp. 89~111 (1983).