

자동차용 안전부품의 기계적 성질에 미치는 복탄처리의 영향

김무길 · 정병호 · 정상훈 · 이병찬* · 김상수**
부경대학교 금속공학과, *산기능대학 재료과, **광림 C & T

Effect of Carbon-Restoration on Mechanical Properties of Automobile Safety Parts

M. G. Kim, B. H. Jung, S. H. Jung, B. C. Lee*, and S. S. Kim**
Dept. of Metallurgical Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea
*Dept. of Material, Ulsan Polytechnic College, Ulsan 681-280, Korea
**Kwang Rim C & T Co.

Abstract Decarburized zone of metal tongue which is used in seat belt for automobiles was carbon-restoration quenched and tempered using nitrogen-methanol gaseous atmosphere. The effects of microstructure and mechanical properties of metal tongue on the effectiveness of carbon-restoration during tempering was studied. Metal tongue showed 20~30 μm decarburized zone. However, after carbon-restoration, it has uniform microstructure and thus hardness without decarburized zone. Carbon-restoration quenching and tempering process resulted in better wear and corrosion resistances than quenching and tempering process.

(Received December 12, 2002)

Key words: Metal tongue, Decarburized zone, Nitrogen-methanol method, Carbon-restoration quenching and tempering, Microstructure and mechanical properties.

1. 서 론

열간압연시의 가열, 그리고 단조 및 압출시의 가열에 의하여 열간가공된 강은 다소간의 탈탄이 생기며, 탈탄의 깊이는 열간가공 온도, 시간, 로의 분위기, 강의 조성 등에 의하여 영향을 받는다[1]. 탈탄은 산소와의 산화작용으로 탄소(C) 함량이 강재의 표면에 서부터 적어지는 현상으로, 강의 경도, 내마모성 및 피로강도를 저하시킬뿐 아니라 과도한 탈탄은 퀴칭 후, 응력분포가 표면인장형으로 되어 퀴칭균열의 위험성도 있다[2]. 반면, 열간가공에 의하여 약간의 탈탄이 존재하는 자동차 안전부품인 시트벨트(Seat belt)용 금속 텡(Tongue) 등은 탈탄을 무시하고 단순히 퀴칭·템퍼링 처리만 하여 사용하고 있어 표면 경도의 저하에 따른 기계적 성질의 저하가 예상되며, 또 강재의 탈탄기구는 확산모델을 적용시켜 종래부터 연구되어 왔으나, 아직 이의 기구가 명확치 않다고 보고되고 있다[3]. 실제 열처리 현장에서 탈탄층이 얇을 때는 표면 탄소량을 어닐링이나 열처리 싸이클

로 수정할 수도 있지만, 요구되는 기계적 강도수준 때문에 퀴칭·템퍼링 하여야 하는 부품에서는 탈탄층이 적더라도 원 소재의 탄소함량이나 요구되는 탄소함량에 맞추어 적당한 침탄을 하는 복탄(Carbon-restoration)과 퀴칭처리가 동시에 실시되지 않으면 안된다. 즉 복탄은 탈탄층을 요구 탄소함량으로 수정 가능하며, 이 공정은 피로와 마모에 대한 높은 저항성을 주기 위해 퀴칭·템퍼링 처리해야 하는 중요 부품에 있어서는 특히 중요하다. 이에 따라 성공적인 복탄을 위해서는 로내 분위기조성, 강의 조성, 처리 온도, 복탄시킬 재료의 표면조건, 로의 종류 및 형태 등 여러 가지 고려할 점이 많으며, 또 복탄분위기도 여러 가지가 있지만, 흡열성가스 분위기가 취급이 쉬운 것으로 설명되고 있다[1].

복탄을 위한 여러 가지 분위기 중에서도 질소-메탄올 분위기를 최근 성행하고 있는 각종 질소분위기 침탄의 기본원리와 같이 가열실 내에서 메탄올의 분해에 의하여 CO와 H₂ 가스를 발생시켜 질소로 희석된 흡열성 RX 가스와 거의 동일한 조성을 형성할

뿐만 아니라, 종래의 제어시스템 사용, 가스의 공급 및 정지, 유량 변동들이 매우 용이하고, 또 침탄원리는 질소-메탄올 가스의 분해반응인 $N_2 + CH_3OH \rightarrow CO + 2H_2 + N_2$ 로 CO가 침탄에 기여, $CO + H_2 \rightarrow [C] + H_2O$ 가 되는 것으로 알려져 있어[4], 본 연구의 복탄에 적용시킬 수 있다.

따라서 본 연구에서는 탈탄으로 기계적 성질의 저하가 예상되는 자동차 안전부품의 하나인 시트벨트용 금속 텅을 복탄 퀴칭처리 후, 템퍼링처리하여 복탄 처리가 미세조직 및 기계적성질에 미치는 기초적인 영향을 조사·연구하였다.

2. 실험 방법

자동차 안전부품인 시트벨트용 AB2 052 텅(Tongue)은 버클(Buckle)에 끼우는 금속제품이며, Table 1에 이의 화학조성과 열처리 전의 경도값을 나타낸다. 입수된 텅들은 적주식[5,6] 연속 메쉬벨트로에서 복탄 퀴칭(Carbon-restoration quenching)[7-9]한 후 유냉하고 템퍼링 하였는데, 적합한 복탄분위기 조성을 위하여 질소:메탄올+톨루엔의 혼합비는 1:1로 하였으며, 산소(O₂)센서를 이용, CP(Carbon potential)값이 약 0.5로 일정하게 유지되도록 증탄제인 톨루엔 외에 증탄 조정용의 LPG도 자동 투입될 수 있게 하였다. 여기서 로내 분위기의 CP와 퀴칭온도는 소재의 화학조성을 고려한 C-Dawes[7]의 식을 이용하였으며, 퀴칭온도는 860°C로 계산에 의한 값보다 약 30°C 높게 하였다. 또, 복탄을 위한 침탄시간은 F. E. Harris[8]의 식과 실제의 예열시간 등을 고려하여 약 20분으로 하였다. 복탄퀴칭 후의 템퍼링은 최종 요구 경도값을 얻기위해 무산화 분위기로틀 이용, 360°C에서 2시간 가열 후 공냉하는 조건으로 하였다. 단, 복탄처리를 하지 않고 퀴칭·템퍼링처리만 하는 경우는 복탄처리를 하는 경우와 동일한 온도와 시간, 그리고 동일한 냉각조건으로 열처리하였다. 단면조직의 조사를 위해 복탄퀴칭 후 템퍼링한 시료와

퀴칭·템퍼링처리만 한 시료들은 용융아연도금을 실시 후 단면을 절단하여 주사식 전자현미경(SEM)으로 표면근방의 미세조직을 관찰하였으며, 또 표면에서 내부로의 약 40 μm까지는 EPMA로 탄소(C) 성분을 선분석 하였다. 한편, 경도분포는 표면에서 내부로 약 100 μm의 거리까지 마이크로 비커이스 경도기를 이용하여 일정간격으로 연속 측정하였으며, 또 오고시(Ogoshi)식 마모시험기를 이용, 마찰속도 2 m/sec, 최종하중 2.1 kg에서 마찰거리만 100, 200, 400 m로 변화시켜 마모손실량(W)과 비마모량(Ws)을 조사하였다. 그리고 텅 시료의 내식성은 전기화학적 부식시험에 의한 양극분극곡선에 의하여 부식전위(E_{corr})와 부식전류밀도(I_{corr})값을 측정 후 평가하였는데, 이 때 전면부식시험[10]을 위한 부식성 환경은 0.5 M의 황산수용액을 이용하였으며, 주사속도는 5 mV/sec로 일정하게 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 미세조직 특성

Fig. 1의 (a)는 퀴칭·템퍼링처리 전의 원시료, 그리고 (b)와 (c)는 각각 복탄퀴칭 후 템퍼링처리 및 퀴칭·템퍼링처리만 한 시료의 단면 SEM 조직사진을 나타낸다. 원시료 (a)는 표면근방과 내부조직에 어떤 큰 차이없이 기지조직은 페라이트이고, 이의 입계와 입내에 크거나 작은 구상의 시멘타이트(Fe₃C)가 석출되어 있다. 이러한 구상의 시멘타이트는 텅 소재의 압연시 구상화플림에 의하여 석출되었던 것으로 생각되며, 이 때문에 표면에 실제 존재해야 하는 페라이트 층의 탈탄부가 조직상으로 나타나지 않아 본 연구의 텅과 같이 탈탄이 매우 적은 경우 이를 간과하기 쉽다고 생각된다. 이에 비해 Fig. 1의 (b)에서와 같이 퀴칭·템퍼링만 한 경우는 표면에서 약 20~30 μm까지는 사진상에 검게 보이는 탈탄부가 다소 존재하며, 전체적인 미세조직은 페라이트와 미세한 시멘타이트의 혼합조직으로 구성된 템퍼드 트루

Table 1. Chemical composition and hardness of tongue material

Material	Chemical composition(wt.%)									Hardness(Hv)
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Fe	
S55CM-S	0.55	0.22	0.65	0.01	0.004	0.06	0.02	0.02	Bal	180< (Skin pass)



Fig. 1. Cross section SEM micrographs of the tongue materials (a; base metal, b; quenching & tempering, c; carbon restoration quenching & tempering).

스타이트(Tempered troostite)로 되어 있다. 그러나 탈탄부의 존재로 템퍼링시 미변태된 이 부분의 불균일 조직으로 인하여 표면근방에 경도값의 저하가 예상된다. 반면, Fig. 1의 (c)는 (b)와 다르게 표면근방에 탈탄에 의한 불균일한 조직이 없고, 표면에서 내부로 전부 균일한 템퍼드 투르스타이트 조직을 보이고 있어 복탄에 의한 효과가 잘 나타난 것으로 생각된다.

Fig. 2는 EPMA에 의한 탄소(C)의 농도를 시료 표면에서 내부로의 약 40 µm까지 선분석하여 비교한 것으로, 원시료의 (a)는 구상화플림에 의하여 시멘타이트가 석출된 입계와 입내의 각 위치에서 탄소의 농도 피크가 불규칙하게 잘 나타나고 있다. 그리

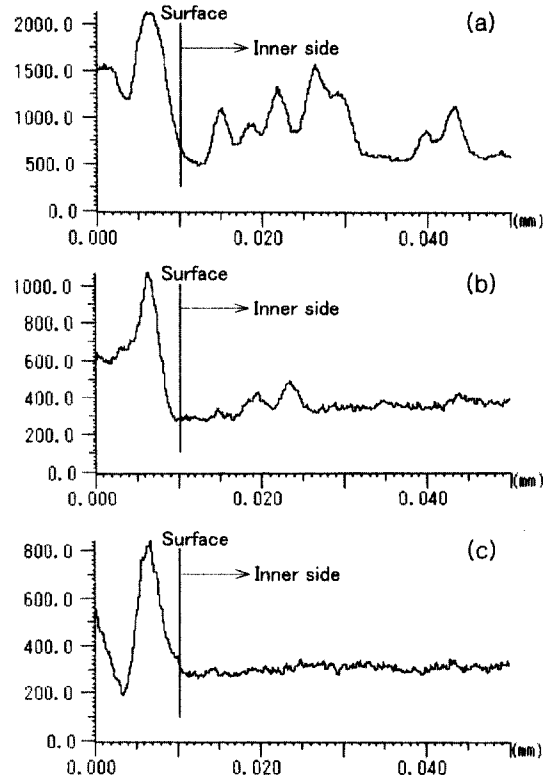


Fig. 2. EPMA line analysis of carbon from the metal tongue surface (a; base metal, b; quenching & tempering, c; carbon restoration quenching & tempering).

고 Fig. 2의 (b)와 (c)는 각각 퀴칭·템퍼링처리만 한 경우와 복탄퀴칭 후 템퍼링 처리한 경우의 탄소의 농도피크를 나타낸 것으로, 탈탄부가 적어 탄소농도의 분포에 서로 큰 차이는 없지만 표면근방에 불균일조직을 나타내는 복탄처리하지 않은 (b)의 경우보다 복탄처리한 (c)의 경우가 표면에서부터 탄소농도의 분포가 더 균일함을 보이고 있어 복탄의 효과가 나타난 것으로 생각된다. 한편, 침탄 후의 표면경도나 내마모, 내피로 등 기계적 성질에 나쁜 영향을 줄 수 있는 표면근방의 미변태 잔류 오스테나이트는 일반적으로 탈탄층이 크거나 또는 퀴칭온도가 너무 높고 냉각속도가 늦을 때 많이 존재하지만, 템퍼링이 진행됨에 따라 분해하기 시작하여 300°C 근방의 온도에서 장시간 템퍼링할 경우 거의 다 분해되는 것으로 알려져 있어[11] 본 연구의 360°C 템퍼링에서도 잔류오스테나이트는 대부분 분해된 것으로 추정된다.

3.2. 기계적 성질

Fig. 3은 텅 시료의 표면에서 내부로의 단면 경도 분포를 나타낸 것으로, 열처리하지 않은 모재금속은 약 160 Hv 근방의 균일한 값을 보이고 있다. 또 퀴칭·템퍼링처리만 한 경우는 표면에서 내부로 약 30 μm까지는 경도값이 상당히 낮은 매우 작은 영역의 탈탄층이 존재하고 있었음을 나타내 주고 있다. 반면 복탄퀴칭 후 템퍼링 처리한 경우는 침탄에 의한 표면근방의 탈탄부가 복탄되어 경도값이 약 420~460 Hv 범위로 상당히 균일한 경도분포를 보이고 있다. 이러한 경도값은 텅 제품에서 최종적으로 요구되는 경도값의 범위를 만족하고 있지만, 복탄처리를 하지 않고 단순히 퀴칭·템퍼링처리만 한 경우에는 복탄처리한 경우보다 표면경도 값이 낮아 실제 하중이 가해진 상태에서 텅(단, 경질크롬도금 처리를 하지 않은 경우)이 버클에 체결될 때는 내마모성에도 다소 영향을 줄 수 있다고 생각된다.

Fig. 4는 복탄퀴칭 후 템퍼링한 경우와, 퀴칭·템퍼링만 한 경우의 텅 시료에 대한 오고시식 응착마모시험의 결과로, 마모시험 후 마모흔적 폭의 크기는 광학현미경을 사용하여 측정하였다. 그리고 Fig. 4의 (a)와 (b)에 나타난 마모량(W, mm³)과 비마모량(W_s, mm³/kg·mm)의 계산은 다음 식[12]을 사용하여 구하였다.

$$W = B \cdot b^3 / 12 \cdot r, W_s = B \cdot b^3 / 8 \cdot r \cdot p \cdot l \quad (1)$$

여기서, B; 회전원판의 두께(3.2 mm), b; 마모흔적의

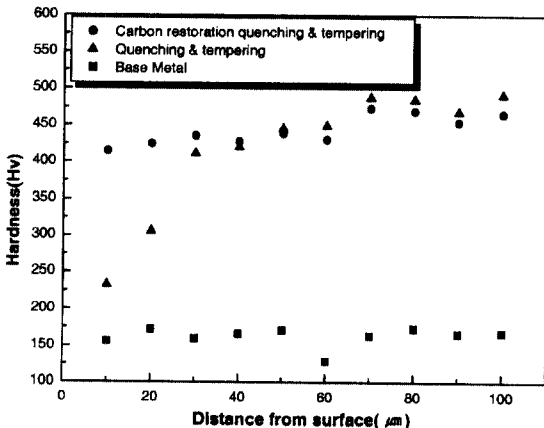


Fig. 3. Micro hardness profile of the tongue materials.

폭(mm) r; 회전원판의 반경(mm), p; 최종하중(kgf), 그리고 l은 마찰거리(m)이다.

Fig. 4의 (a)에서와 같이 마모량은 마찰거리의 증가로 증가됨을 알 수 있는데, 복탄퀴칭 후 템퍼링한 시편이 퀴칭·템퍼링처리만 한 시편보다 마모량이 적게 나타나고 있으며, 마찰거리가 커지면 그 차이는 다소 크게 나타나고 있다. 또 Fig. 4의 (b)에서도 쉽게 알 수 있듯이 마찰거리가 적을 때도 비마모량 W_s 값이 복탄처리한 시편의 경우가 적어 복탄에 의한 내마모성의 증가가 나타난 것으로 생각된다. Fig. 5는 마모시험 후 마모표면의 SEM 사진을 나타낸 것이다. Fig. 5에서와 같이 마찰거리가 짧은 100m에서도 복탄처리하지 않은 경우(a)가 복탄처리한 경우(b)보다 마모표면이 다소 거칠게 나타나 탈탄에 의하여 표면경도값이 더 낮았음을 확인할 수 있었다.

Fig. 6은 복탄퀴칭 후 템퍼링한 시편과 퀴칭·템퍼링처리만 한 시편에 대한 전기화학적 부식시험을 위해 전면부식시험의 규정[10]에 의거, 0.5 M의 황산수용액에서 주사속도 5 mV/sec로 시험하였을 경우의 양극분극곡선을 나타낸다. Fig. 6에서와 같이 복탄에 의한 내식성의 뚜렷한 차이는 보이지 않으나 복탄처리한 경우가 초기 활성태에서 부동태로의 천이지점에서 부식전위(E_{corr})는 유사하나 부식전류밀도(I_{corr})가 복탄처리하지 않은 경우보다 다소 낮은 값을 나타내고 있어 초기 부식속도가 낮은, 즉 내식성이 향상되

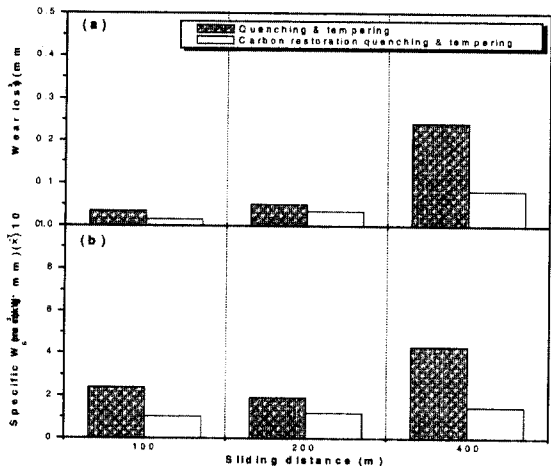


Fig. 4. Wear loss(a) and specific wear(b) of the tongue materials with sliding distance (load; 2.1 kg, sliding velocity; 2 m/sec).

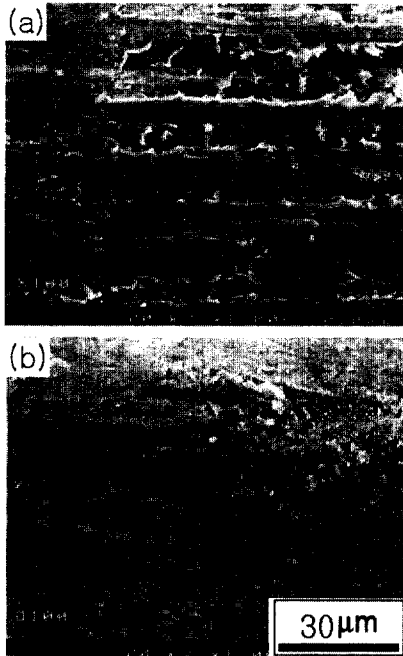


Fig. 5. Wear surface of the tongue materials (a; quenching & tempering, b; carbon restoration quenching & tempering).

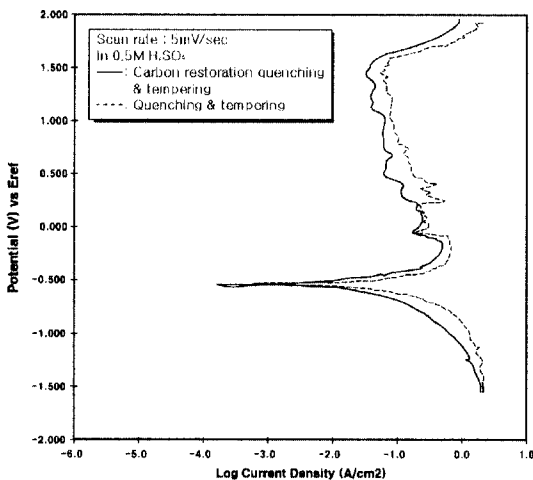


Fig. 6. Anodic polarization curve of the tongue materials in 0.5 M sulfuric acid.

있음을 알 수 있다. 이러한 이유는 다음과 같이 설명될 수 있다. 즉 보통 탄소강에서 퀴칭 후의 내식성은 템퍼링 온도가 낮으면 큰 차이가 없다. 그러나 템퍼링 온도가 300°C 이상으로 상승되면 단상의 마르텐사이트가 대부분 분해되어 시멘타이트와 같은 탄

화물이 많이 형성되므로 이것이 수소과전압이 낮은 음극으로 작용, 페라이트 부분에 최대의 인접표면을 제공하게 됨으로써 갈바닉(Galvanic) 작용이 크게 증가되어 부식속도가 최대로 이르게 되고 내식성이 악화되는 것으로 알려져 있어[13,14] 단상조직보다는 이상조직, 그리고 템퍼링 후의 탈탄부에 의한 불균일 조직은 내식성을 저하시키고 국부부식을 일으키기 쉽다고 할 수 있다. 따라서 복탄에 의하여 표면근방의 불균일 조직인 탈탄부가 소멸되면 전기화학적 갈바닉 작용이 상대적으로 약화되고 부식전류밀도가 낮게 되어 내식성이 향상되는 것으로 생각된다.

4. 결 론

자동차용 안전부품이며, 시트벨트의 한 부품인 금속 텅(Tongue)의 표면 탈탄부를 질소-메탄을 분위기에 의하여 복탄퀵칭 후 템퍼링 처리시, 복탄의 효과에 미치는 조직 및 기계적 성질의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 탈탄부는 표면에서 약 20~30µm까지의 매우 작은 구역에서 나타났으며, 복탄에 의하여 탈탄부가 소멸되어 균일한 조직이 얻어졌다.
2. 복탄처리에 의하여 표면근방의 경도값 상승과 더불어 전체적으로 균일한 경도분포를 나타내었다.
3. 복탄퀵칭 후 템퍼링 처리는 퀵칭·템퍼링처리만 한 경우에 비해 내마모성과 내식성이 향상되었다.

후 기

이 논문은 2001학년도 부경대학교 발전기금연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. ASM International Committee : ASM Handbook, Heat Treating, (1991) 598-599.
2. 신호강 : 열처리공학회지, 1 (1988) 44-47.
3. Masahiro NOMURA, Hiroyuki MORIMOTO and Masao TOYAMA : ISIJ International, 40 (2000) 619.
4. 최창수, 정인상 : 열처리공학회지, 14 (2001) 240-247.
5. 최문성 : 열처리공학회지, 2 (1989) 52-58.
6. 한준희 : 열처리공학회지, 2 (1989) 42-45.

7. 정대완, 장희상 : 열처리공학회지, 2 (1989) 33-38.
8. 김경식 : 열처리공학회지, 15 (2002) 29-34.
9. 工藤 績 : 鑄鍛造と熱處理, 16 (1985) 19-26.
10. ASTM : Annaul Book of ASTM Standars G5, Vol.03, 02 (1994) 63-73.
11. 진상화 : 열처리공학회지, 2 (1989) 39-44.
12. 大越 諄, 佐田 登志夫 : 日本機械學會論文集, 28 (1955) 555.
13. 田大熙 : 腐蝕과 防蝕의 管理, 一中社 (1985) 150-155.
14. 李鶴烈 : 金屬腐蝕工學, 淵鏡文化社, (1995) 219-221.