

고강도 이온질화 기어의 개발

김 영 훈*·선 철 곤**·김 한 군

*부산공업대학교 금속공학과

Development of high-strength ion nitrided gear

Young-Hoon Kim, Cheol-Gon Sun, Han-Goon Kim

*Department. of Metallurgical Engineering, Pusan National University of Technology.

ABSTRACT

The heat treatment characteristic of SCM 440 and B 16 steels has been investigated in various condition(A, B and C) to the effect of heat treatment on mechanical properties, and the following results were obtained

1. We are obtained a good nitriding characteristic in bainitic structure than other heat treatment cycle in our experiment
2. Fatigue characteristic has shown in order of B>C>A condition as heat treatment cycle
3. The effective hardening depth and fatigue characteristic has been excelled in B 16 than SCM 440 after the nitriding and Q, T for B and C condition
4. Nitriding depth has been increased in addition of Cr, V and the nitriding efficiency is increased as easiness of banite formation to wide range of cooling rate by addition of Mo
5. The depth of compound layer in parallel surface, notched slop plane and notched bottom has been varied to the nitriding depth of 5, 4 and 3 μ in relatively uniform pattern after 10h nitriding treatment for SCM 440 into A condition

1. 서 론

강의 표면경화법으로 사용되고 있는 방법 중 이온질화법은 염욕이나 가tm 질화에서 사용하고 있는 시안화합물이나 암모니아등의 유독성 물질을 용하지 않기 때문에 무공해 조업이 가능하고 이온층들에 의한 발생열 이용으로 에너지 절약이 이루어지며, 그로우방전에 의하여 질화가 이루어지기 때문에 강표면 화합물층 생성

및 질소의 내부확산이 조장된 것 등 종래의 열처리법에 비하여 우수한 많은 특징이 있다^{1) 4)}.

자동차의 주행성능, 연비 및 정속성 향상을 위해서는 엔진 등 구동장치에 사용되는 기어에 대한 높은 피로강도와 칫수정밀성이 동시에 요구된다. 지금까지 이들 제품의 제조에는 기계가공-침탄 경화 혹은 조절처리-기계가공의 2가지 공법이 주로 사용되어 왔으나, 침탄경화강에 대해서는 칫수정밀성의 개선이, 또

한 조질처리강에 대해서는 피로강도의 향상이 중요한 과제로 남아 있었다⁵⁾.

종래의 질화법은 내마모성 및 내피로성이 우수한 것이 그 특징으로 알려져 있으며, 그 중에 가스질화법이나 티프트라이드법에 대해서는 많은 보고가 있지만⁶⁾, 이온질화법에 관해서는 평활 및 원통면에 대한 보고가 주로 있으며, 내피로성에 관해서는 평활 시험편에 대한 보고가 있다³⁾.

이온질화법은 평활 혹은 원통형면에 대해서는 비교적 균일한 처리가 가능하지만, 노치부에 대해서는 불균일하게 되기 쉬운 결점이 있으며, 노치부에 대한 이온질화처리 조건을 보고⁷⁾한 경우가 있으나, 이러한 부분에 대한 이온처리 효과를 피로특성과 관련시킨 보고는 비교적 드물다.

본 연구에서는 이온질화법의 장점을 이용하여 표면 경화층 깊이를 증가시키고, 질화처리전의 조직을 베이나이트화하여 심부경도를 향상시킨다. 또한 이온질화법이 A₁변태점 이하에서 처리되는 특성을 이용함으로써 열처리 후 치수변화가 적은 고강도, 고정밀기어 개발을 위한 기초자료를 제공코자 한다.

2. 실험방법

2. 1. 시편제작

본 실험에 사용한 시료는 KS SCM 440과 ASTM A 540-B16을 사용하였으며, 발광분석기(Emission spectrometer)로 분석한 화학성분은 Table 1과 같다.

Table 1 Chemical composition of specimens(wt.%)

specimen	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
SCM 440	0.38	0.28	0.76	0.01	0.01	0.95	0.15	
B 16	0.37	0.19	0.50	0.01	0.02	1.14	0.52	0.28

Table. 2 Heat treatment condition of ion nitrided specimen

열처리조건	r화 온도(℃)	냉각방법	질화유무	템퍼링온도
A	855	유 냉	○	
B	855	강제공냉	○	
C	855	유 냉		260℃

노치부의 위치에 따른 이온질화 특성과 이온질화후의 피로특성을 조사하기 위하여 Fig. 1과 같은 치수를 갖는 시편을 선삭가공하여 제작하였다.

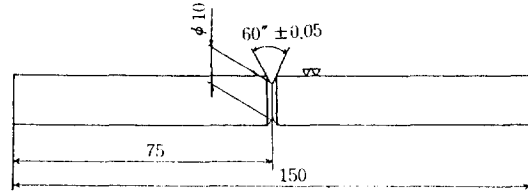


Fig. 1 Shape and dimension of fatigue test specimen

2. 2 열처리 웬 웬 웬 웬 웬 웬 퀵 퀵 퀵

선삭가공한 SCM 440 및 B16 강 시편을 각각 알곤가스를 사용한 분위기중에 장입하여 855℃에서 오스테나이트화 처리한 후 한 시리즈는 오일퀵칭 시키고, 또 한 시리즈는 강제공냉 시켰다(이렇게 처리한 각 시편을 템퍼링 처리하지 않고 이온질화 시켰다.) 이온질화에 사용한 노는 일본전자주식회사(NDK)제 30KV용량이며, 질화온도 510℃, 가스혼합비 N₂ : N₂ : Ar = 2 : 4 : 4, 작업압력 5torr, 질화처리시간 10시간의 작업 조건에서 이온질화 처리하였다.

이온질화 처리한 조건과 조질처리 조건에 대한 피로특성을 비교하기 위하여 이상에서 실시한 질화조건과 별도로 동일성분의 시료를 855℃에서 오스테나이트화 처리하여 260℃에서 1시간 템퍼링처리하여 사용하였다. 이때 사용한 열처리 조건을 요약하면 Table 2와 같다.

2. 3. X-선회절 및 기계적성질시험

열처리후의 잔류응력이 피로특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 시편의 표면에 X-선 회절시험을 실시하였으며, 이때 사용한 시험기는 Rigagu strainflex MSF-2M이며, 30kv, 10ma, Cu, Cr Target의 실험 조건으로 하였다.

단면경도시험은 시편을 절단한 단면에 대하여 미소경도시험기를 사용하여 하중 50g, 가압시간 15초의 조건으로 표면에서부터 0.2mm 간격으로 평행부, 노치경사면, 노치바닥부분에 대하여 각각 3회씩 측정하여 중간값을 경도값으로 하였다.

각 열처리조건에 대하여 확률적인 피로특성을 구하기 위하여 51.9kgf/mm², 41.5kgf/mm² 및 36.4kgf/mm²의 하중조건으로 피로시험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3. 1. 현미경 조직

Photo. 1은 SCM 440강을 855°C에서 오스테나이트화 처리하여 유냉 및 강제공냉처리한 직후의 시편에서 나타난 현미경조직 사진이다. 유냉시킨 시편의 현미경 조직인 a)는 전형적인 마르텐사이트 조직이 나타나 있으며, b)는 대부분이 베이나이트 조직으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 이러한 열처리조건에 따른 조직형태는 B 16강에서도 거의 동일하게 나타났으나, SCM 440보다 입자 크기가 다소 미세하게 분포되어 있었다.

Photo. 2는 SCM 440강을 A 조건으로 이온질화 처리한 피로시험용 노치시편의 평행부(a), 노치경사면(b), 및 노치바닥부분(c)에 대한 현미경조직 사진이다. 여기서 나타난 표면 흰색 부분은 화합물층으로서 어느 경우에도 연속적으로 형성되어 있다. 高瀬孝夫⁸⁾ 등에 의하면 백색화합물층의 화학조성은 분위기 중의 가스성분에 따라 좌우되며, 질소함량이 50% 이상의 경우에는 γ 상(Fe₂-3N)상과 ϵ 상(Fe₄N)의 혼합조직이 나타나고, 50% 이하의 경우에는 γ 단상이 나타난다고 하였다. 따라서 본 실험에서는 노분위기중의 질소함량이 20%로 유지하였기 때문에 γ 단상조직으로 추측된다. 또한 확산층에는 베이나이트 기지에 Fe₄N의 침상조직이 나타나 있다. 화합물층 두께는 노치경사면 노치바닥부분은 평행부에 비하여 다소 얇게 나타

나 있으며, 평행부, 노치경사면 및 바닥부분에서 측정된 화합물층의 깊이는 각각 5, 4 및 3 μ 으로 전 노치 부분에 걸쳐서 비교적 균일한 화합물층이 형성되어 있었다.

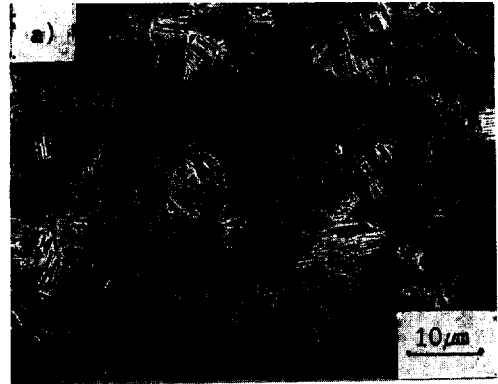


Photo. 1 Untempered microstructure of SCM 440 steels austenitized at 855°C, a) oil cooling, b) Compressed air cooling

3. 2. 단면경도분포

Fig. 2는 SCM 440강을 A 조건으로 열처리 한 후 피로시험용 시편노치부의 부위별 경도분포를 나타낸 것이다. 여기서 모서리(corner) 부분은 노치부와 평행부경계면 어께 부분을 나타낸 것으로서 표면경도와 경화층 깊이가 가장 깊게 나타난다. 또한 평행부의 표면 경도는 모서리 부분과 거의 동일하며, 노치바닥부분의 표면 경도는 두 가지 경우보다 다소 낮고 경화층 깊이가

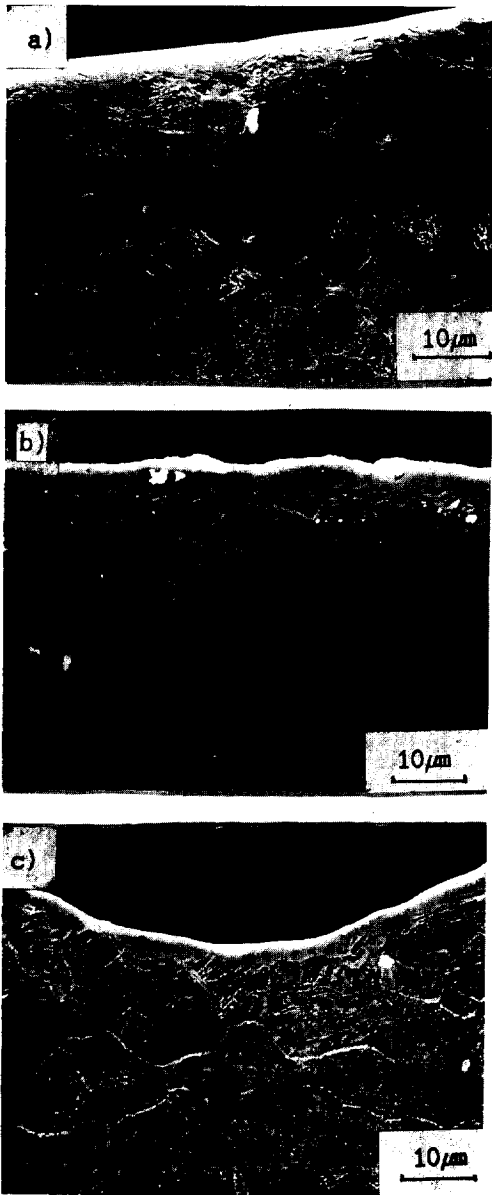


Photo. 2 Microstructure of SCM 440 steels after ion nitriding treatment for notched specimens, a) parallel surface, b) notched slop plane, c) notched bottom

도 가장 낮게 나타나고 있다. 질화경화층 깊이(550HV 까지의 거리)는 모서리 부분, 평행부 및 노치바닥 부분이 각각 0.32, 0.15 및 0.13mm로 측정되었다.

Fig. 3은 B 16강을 A 및 B 열처리 조건에 대한 평

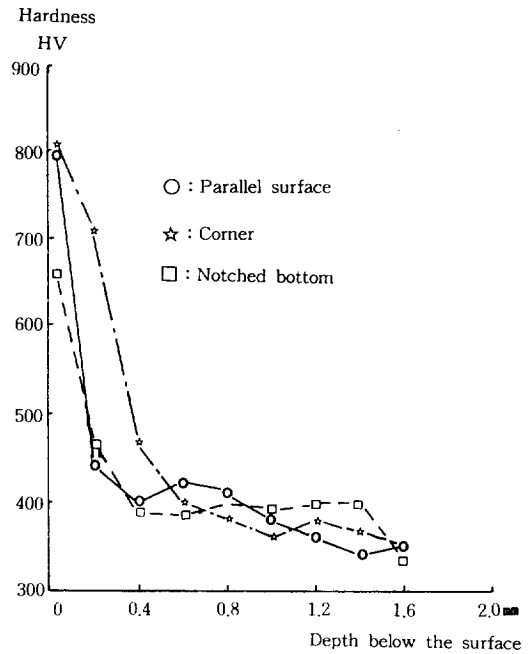


Fig. 2 Micro-hardness profiles SCM 440 steels heat treated in A condition for notched fatigue specimen

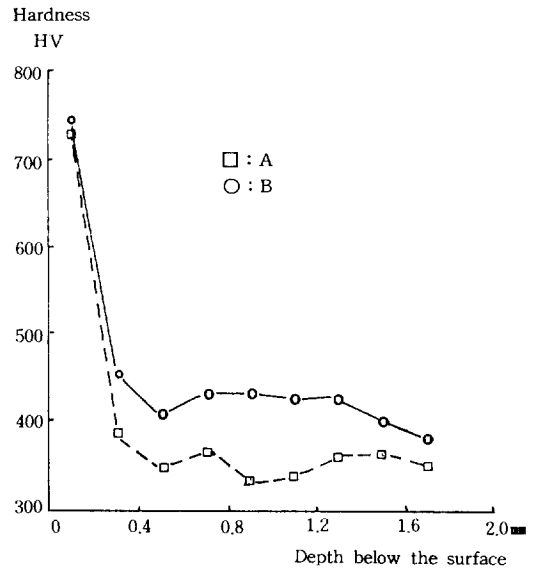


Fig. 3 Micro-hardness profiles of B 16 steels with various heat treatment condition

의 단면경도 분포를 나타낸 것이다. 여기서 볼 수 있는 바와 같이 이온질화전의 조직이 유냉시켜 마르텐사

이트 조직화시킨 A조건보다 강재공냉에 의하여 베이나이트 조직화한 B조건이 표면경도, 경화깊이 다같이 높게 나타나고 있는데, 이것은 三輪能久⁹⁾ 등의 실험결과와 잘 일치한다.

지금까지 사용하고 있는 질화강의 금속조직은 질화전의 소재를 노오멀라이징 처리하여 페라이트+퍼일라이트조직, 혹은 조직처리하여 뜨임마르텐사이트 조직으로 하는 것이 일반적이었다. 심부경도를 높게 하기 위해서는 마르텐사이트 조직이 유리하지만, 이러한 경우에는 질화특성이 저하하는 문제가 있다⁹⁾. 따라서 질화 특성에 미치는 질화전 열처리의 영향에 대해서는 지금까지 이용되지 않고 있는 베이나이트 조직이 가장 양호한 질화 특성을 갖는다는 것이 확인되었다.

3. 3. 피로시험 및 표면잔류응력 측정시험

Fig. 4는 SCM 440강의 열처리 조건에 의한 조직특성에 따른 피로시험결과를 나타낸 것이다. 여기서 볼 수 있는 바와 같이 열처리 조건에 관계없이 거의 평행한 기울기를 나타내고 있지만, 질화전 베이나이트 조직화한 B조건이 가장 양호한 피로특성을 나타내며, 조직처리한 C조건, 질화전 마르텐사이트 조직화한 A조건의 순으로 나타난다. 이것은 앞의 단면 경도분포에서도 베이나이트 조직화한 B조건이 다른 열처리 조건에 비하여 표면경도, 경화깊이 다같이 높게 나타난 것과 관련시켜 생각하면 단면경도 분포에서 질화특성이 우수한 조건이 피로특성도 가장 우수하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

열처리 후 표면 잔류응력이 피로특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 B 16강의 열처리 조건에 따른 표

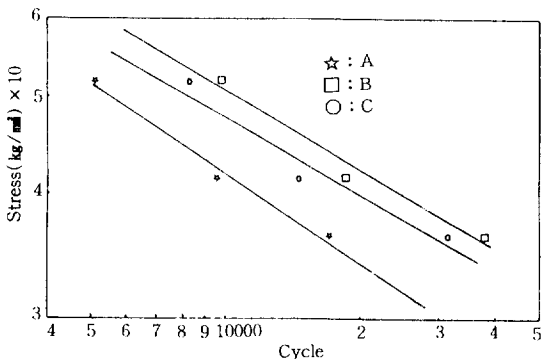


Fig. 4 Fatigue test profiles of SCM 440 steels with the heat treatment condition.

면잔류응력 측정결과를 Table 3에 나타낸다. 질화처리한 조건에서는 압축응력이 표면에 나타나며, 조직처리한 경우에는 표면에 인장응력이 나타난다. 본 실험에 사용된 시편직경으로서는 오스테나이트화 처리후 유냉시킨 시편에서는 전단면이 경화되었으며, 표면과 중심부 전단면이 다같이 경화되는 경우에는 재료표면에 인장응력이 유기된다고 하는 사실⁶⁾과 잘 일치한다.

Table 3 Retained stress of heat treated B 16 specimens surface

Heat treatment condition	Retained stress(kg/mm ²)
B (Bainite+Nitride)	-78.4
A (Martensite+Nitride)	-65.4
C (Quenching+Tempering)	+12.0

일반적으로 표면에 압축잔류응력이 존재하면 인장피로강도 향상에 도움을 주며 인장 잔류응력은 강도를 저하시키는 것으로 알려져 있다⁹⁾. 압축잔류응력이 B조건이 A조건보다 높게 나타난 것은 이것의 피로특성이 더 크게 나타난 것과 잘 일치한다고 볼 수 있으며, 인장응력이 나타난 C조건이 압축응력이 존재하는 A조건보다 높은 것은 피로특성에 미치는 인자가 표면응력의 존재형태뿐만 아니라 표면경도, 심부경도 등 그 밖의 여러 가지 인자에 의하여 복합적으로 결정되기 때문이다¹⁰⁾.

Fig. 5는 B조건과 C조건으로 열처리했을 때 B 16강과 SCM 440강의 피로특성을 비교하여 나타낸 것이다. B조건, C조건 다같이 B 16강이 SCM 440보다 기울기가 낮고 양호한 피로특성을 나타낸다. 두 강종의 경우 성분 특성상 탄소함량은 거의 같지만 B 16강이 Cr, Mo의 함량이 다소 많고 V이 소량 첨가되어 있는

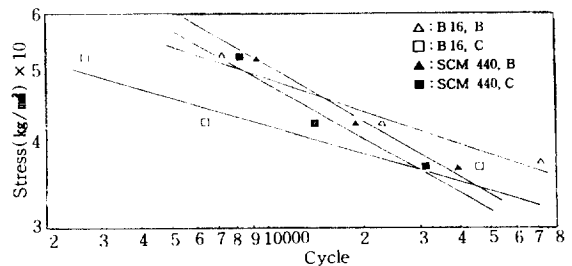


Fig. 5 Fatigue test profiles of SCM 440 and B 16 steels for B and C condition

차이가 있다. 질화에 의한 표면 경화기구는 석출강화에 의한 것으로 알려져 있다¹¹⁾. 대표적인 질화물 형성 원소인 Al, Cr, V의 질화특성에 대한 영향을 조사한 결과에 의하면 경화깊이 증가에는 Cr, V이 유효한 것으로 알려져 있다¹²⁾. 따라서 성분 특성상 Cr 함량의 증가와 V첨가 효과에 의해서 피로특성 증대효과가 이루어진 것으로 생각할 수 있다.

베이나이트 조직이 질화에 효과적인 조직이라고 볼 때 실용적인 관점에서 질화전의 조직이 단순한 노오멀 라이징 처리만으로도 베이나이트 조직이 얻어질 수 있는 것이 효율적이다. TTT곡선의 피로라이트 변태영역을 지연시키는 효과가 크고, 베이나이트 변태 영역을 지연시키는 효과가 상대적으로 작게 나타나는 원소인 Mo의 첨가에 의하여^{13) 14)} 비교적 광범위한 범위의 냉각속도로써 베이나이트조직을 쉽게 얻을 수 있다. SCM 440보다 B 16강에는 Mo의 양이 더 많기 때문에 베이나이트 생성이 보다 용이하며, 이것이 질화특성과 피로특성에 좋은 영향을 미친 것으로 생각된다.

4. 결 론

SCM 440 및 B 16강에 대하여 열처리 특성을 상이한 조건(A, B 및 C)으로 하여 이들 강이 기계적 성질에 미치는 영향에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 질화전 베이나이트 조직화한 강이 본 실험에 사용된 다른 열처리 조건보다 가장 우수한 질화특성이 얻어졌다.

2) 열처리 조건에 따른 피로특성은 B>C>A 조건의 순으로 우수성을 나타낸다.

3) B 및 C조건으로 열처리한 후 SCM 440보다 B 16강이 질화 및 조질처리후 경화층깊이, 피로특성이 우수하다.

4) 강에 Cr, V 첨가로 질화경화층 깊이가 증가하고, Mo 첨가에 의하여 광범위한 범위의 냉각속도로 베이나이트의 생성이 용이하여 질화효율을 증가시킨다.

5) SCM 440강을 A조건에서 10시간 이온질화시킨 후 평행부, 노치경사면 및 노치바닥 부분의 화합물층 깊이는 각각 5, 4 및 3 μ 으로 전부분이 비교적 균일한 질화층이 얻어졌다.

후 기

“본 연구는 1993년도 포항종합제철주식회사의 연구비 지원으로 수행되었음”

참 고 문 헌

1. 小笠原 淳, 杉澤久雄, 進藤亮治, 高橋良治: 熱處理, 32(1991) 209
2. 三輪能久, 山本順一, 松野 亮, 大谷泰夫: 鐵と鋼, 70(1984) 1287
3. 山中久彦: イオン窒化法, 日刊工業新聞社, (1976) 99
4. 廣瀬泰弘(日本電子工業: イオン窒化法—その原理と利用技術, (1977) 11
5. 三輪能久, 瀬田伸也, 岡崎 健, 相原賢治, 神原 進: 日本金屬學會報, 31(1992) 339
6. 日本機械學會編: 金屬材料疲勞強度の設計試料2, 日本機械學會, (1984) 146
7. 進藤亮悅, 高橋良治, 小笠原淳, 杉澤久雄: 熱處理, 32(1992) 150
8. 高瀬孝夫: 鐵と鋼, 66(1982) 152
9. 日本材料學會編: 金屬材料疲勞設計便覽, 養賢堂, (1978) 82
10. 小笠原 淳, 杉澤久雄, 進藤亮悅, 高橋良治: 熱處理, 32(1991) 272
11. 神原 進, 大谷泰夫, 塚本 孝: 日本熱處理技術協會學術講演大會豫稿集, 20(1985) 1
12. 中里福和, 神原 進, 大谷泰夫, 村山順一郎: 鐵と鋼, 68(1982) 1274
13. 神原 進, 奥山貞敏, 相原賢治: 熱處理, 26(1986) 339
14. 神原 進, 奥山貞敏, 相原賢治: 鐵と鋼, 72(1986) 511