

SCM435 구조용 합금강의 플라즈마 질화에 미치는 전처리(Q/T)의 영향

임영필, 박대철, 이재식, 유용주
 울산대학교 공과대학 재료공학·금속공학부

The Effect of Pretreatment(Q/T) on the Plasma Nitriding
 of SCM435 Structural Steel

Young-phil Lim, Dae-Chul Park, Jae-Sig Lee, Yong-Zoo You
 Dept. of Met. and Mat. Eng. University of Ulsan, Ulsan 680a-749

ABSTRACT

The effects of pre-heat treatment(Q/T) on microstructure and hardness of SCM435 structural steel nitrided by micro-pulse plasma was investigated. The quenching and tempering temperatures for obtaining matrix hardness of SCM435 steel on range of HRC30 to HRC40 desired for machine parts were about 860°C and 500°C respectively. The case depth of SCM435 nitrided at 480°C for 5 hours was independent of pre-heat treatment condition and was approximately 150 μ m. However, hardness and compactness of nitrided layer on Q/T treated specimen were more higher than annealed specimen. The case depth increased linearly with the increase of nitriding temperature, however, the hardness of nitrided layer decreased with the temperature. Phase mixture of γ' -phase(Fe_4N) and ϵ -phase(Fe_2N) were detected by XRD analysis in the nitrided layer formed at optimum nitriding condition, and only single γ' -phase was detected in the nitrided layer formed at higher nitriding temperature such as 540°C. The optimum nitriding temperature was approximately 480°C which is lower than tempering temperature for preventing softening behavior of SCM435 matrix during nitriding process and the surface hardness of nitrided layer obtained by optimum preheat treatment condition was about Hv930.

1. 서 론

첨단산업의 발전으로 인해 기계부품류의 정밀도 유지와 수명향상을 위한 표면개질의 필요성이 점차 증대되고 있다. 이러한 요구를 만족시키기 위한 표면개질방법으로서는 침탄, 질화, PDT, CVD 및 PVD 등이 있으며, 이 방법들중 PDT(Plasma Diffusion Treatment)는 플라즈마의 높은 에너지를 이용하여

C, N, B등의 원소를 강의 표면에 확산·침투시켜 내마모성 및 내식성등의 기계적 성질을 향상시키는 표면경화처리 수단으로서 Thermochemical Treatment라고 한다. PDT에 의한 표면경화기술은 크게 Plasma Nitriding, Plasma Carburizing, Plasma Boronizing 등으로 구분되며, 그밖에 Plasma Sulfnitriding, Plasma Nitrocarburizing 등의 여러 가지 기술들이 여기에 속한다¹⁻⁵⁾.

또한, 플라즈마 질화기술은 다른 표면경화처리법들에 비해 연구 개발의 역사가 길지 않으나, 기계부품에 플라즈마 질화처리를 행함으로써 표면경도의 향상과 내마모성의 증가, 내부식성의 개선, 에너지와 처리비용의 절감 및 환경오염의 문제가 없는 등의 잇점⁶⁻¹¹⁾을 얻을 수 있어 큰 관심을 모으고 있다.

특히, 최근에 개발된 펄스 플라즈마 질화는 기존의 DC 플라즈마 질화에 비해 아크방전이 없으며, 형상에 따른 이온 밀집현상이 심하지 않고 HCD(Hollow Cathode Discharge)효과가 적어 Hole부부이나 복잡한 형상에도 균일한 질화층을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

또한, 마이크로 펄스 플라즈마 질화(Micro-Pulse Plasma Nitriding:MPPN)는 펄스 질화에 비해 아크방전 방지에 더욱 효과적이며 보다 균질한 질화처리 및 일정한 온도제어가 가능하다¹¹⁻¹³⁾.

한편, 기어류, 볼트, 후렌지류, 축류, 공구부품등에 사용되는 구조용합금강인 SCM 435는 그 부품들의 수명연장을 위하여 Gas 질화, 염욕질화, 경질크롬도금 및 T.D등의 표면처리 방법들이 널리 응용되고 있으나, 생성되는 질화층의 균열이나 도금층의 박리 또는 부품의 변형등으로 인하여 많은 문제점과 응용에 제한을 갖고 있다. 그러나, 플라즈마 질화처리는 여

러 가지 특징으로 인하여 부품의 수명연장 및 응용의 확대에 최적의 방법¹⁴⁾으로 평가되고 있다.

한편, 강의 사용용도에 적합한 최적의 질화층을 얻기 위해서는 플라즈마 질화처리전에 퀸칭/템퍼링(Quenching/Tempering, Q/T)등의 열처리를 행하여 질화물의 생성에 적합한 조직등의 생성과 모재경도의 조정이 필요하다. 그러나, Q/T처리와 플라즈마 질화에 의해서 생성되는 질화층과의 상관관계는 현장에서 경험적으로 얻어진 기술이 있을 뿐이며, 어떤 관계를 갖는지에 대해서는 규명되어 있지 않은 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 여러 온도에서 Q/T처리한 구조용 합금강인 SCM435강을 플라즈마 질화처리하여 이들간의 상관관계를 규명하고 최적의 질화처리에 대한 기초자료를 얻고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 시 료

본 실험에 사용된 재료는 합금강인 환봉(20mm ϕ) 형태의 SCM435로서 그 화학적조성을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of specimen(wt%).

Elements Specimen	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Fe
SCM435	0.33	0.23	0.72	0.014	0.013	0.17	0.15	Bal.

2.2. 전열처리

MPPN처리를 위한 전열처리로써 어닐링과 Q/T처리를 행하였으며, 어닐링은 840℃에서 60분간 유지 후 로냉하였다.

일반적으로 SCM 435의 퀸칭온도인 860℃에서 60분간 유지 후 수냉하여 퀸칭하였으며, 템퍼링은 500, 530 및 560℃에서 각각 60분간 유지 후 공냉

하여 Q/T를 행하였다.

2.3. 플라즈마 질화처리

본 실험에 사용된 PDT장치는 마이크로 펄스 플라즈마 장치(RÜBIG, PN 50/80, Austria)를 사용하였으며, 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다.

균질한 질화처리를 위해 시편표면에 존재하는 불순

물이나 산화피막을 제거하기 위하여 표면을 연마지 (#1200)로 연마한 다음 아세톤 중에서 초음파 세척한 후 로에 장입하였다. 스퍼터링과 질화처리는 시간, 온도, 압력 및 가스비율등의 변수를 Table 2와 같은 조건으로 하여 실시하였다.

Table 2. Micro-pulse plasma nitriding conditions.

Treatment Parameters		Sputtering	Nitriding
Gas (%)	Ar	8	—
	H ₂	92	40
	N ₂	—	59
	CH ₄	—	1
Pressure(Pa)		70	200
Voltage(V)		820	540-600
Current(A)		3-4	2-3
Pulse time(μs)		200	150-400
Pause time(μs)		80-100	80
Holding time(hr)		0.5	1, 3, 5, 7
Temperature(°C)		450-500	480, 510, 540

2.4. 측정 및 분석

시료의 Q/T처리후의 경도측정은 로크웰경도기를 사용하여, C scale로 측정하였다.

질화처리된 시편은 마이크로 비커스 경도기를 사용하여 100gf/15sec의 조건으로 측정하였으며, 시편의 최표면으로부터 일정간격으로 내부로 들어가면서 각 부위에서 3회 이상 측정하여 산술평균값을 그 경도치로 하였다.

각 실험에서 처리된 시편을 연마지로 연마한 후 5% 나이탈 및 피크린산 부식액에 에칭한 다음 광학현미경과 주사전자현미경으로 형성된 경화층을 관찰하였다. 또한, 전자탐사미소분석기(EPMA)를 이용하여 경화층의 단면에 대하여 표면에서 중심방향으로 질화물 형성원소와 경화층에 생성된 석출물의 선분석을 행하였으며, 질화처리한 시편에 형성된 상은 X선 회절시험기를 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

본 실험에 사용된 SCM435강은 각종 기계부품인 볼트, 후렌지, 축, 밸브등과 정밀기계부품에 주로 사용되며, 유효사용 경도범위는 HRC30~40(Hv300~400)정도^{15,16)}로 요구되는 기계적 성질에 따라 열처리조건을 조금씩 달리 하고 있다.

켄칭온도를 860°C로하고 500°C, 530°C, 560°C에서 템퍼링한 경우 그 경도는 각각 HRC37(Hv365), HRC31.5(Hv315), HRC30.3(Hv305)이었다. 따라서 500°C에서 템퍼링하는 경우가 상기의 요구경도를 충족시키며, 질화처리용시편으로 사용하기에 가장 적합한 것으로 판단된다. 그리고 Q/T처리한 경우와 비교하기 위한 840°C에서 어닐링처리한 경우의 경도는 HRC8(Hv185)이었다.

3.1. 질화시간의 영향

SCM435강을 500°C에서 템퍼링하여 480°C에서 질화처리하였을 경우 처리시간에 따른 경도변화를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 표면

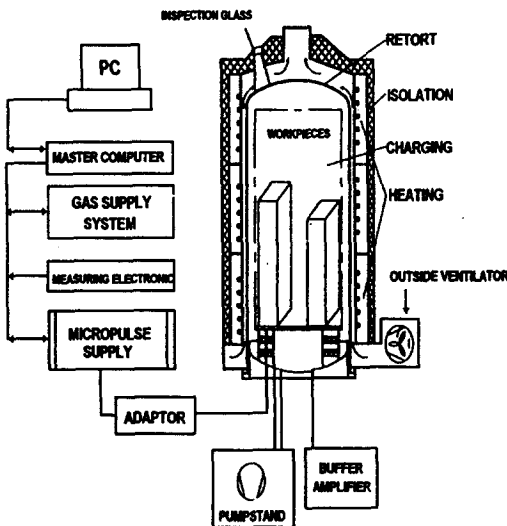


Fig. 1 Schematic diagram of micro-pulse plasma diffusion treatment apparatus.

경도는 처리시간이 1시간일 경우 약 Hv870, 3시간일 경우 약 Hv890, 5시간일 경우 약 Hv930 정도로 처리시간이 5시간일 때 까지는 증가하였으나, 5시간을 초과하는 경우에는 다소 감소하는 경향을 보여 7시간에서는 약 Hv840 정도였으며, 확산층의 두께는 처리시간의 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있다.

이와 같이 시간이 어느 정도의 경과함에 따라 표면의 경도가 저하하는 것은 Hong등의 보고에서와 같이 초기에 형성되었던 미세한 질화물들이 처리시간이 길어짐에 따라 조대화되어 기지의 격자변형이 완화되었기 때문이다^{17,18)}. 또한 화합물층은 높은 경도를 유지하다가 경화층의 깊이에 따라 확산층의 경도가 급격히 감소하고 있으며, EPMA의 분석결과로 볼 때 이는 표면층에는 질소농도가 높아 많은 질화물을 형성하지만 내부로 들어감에 따라 확산된 질소의 급격한 감소로 질화물의 형성이 미흡하기 때문에 경도값이 급격히 감소된 것으로 사료된다.

이와 같은 사실은 Fig. 2의 조건으로 질화처리한 시편의 SEM조직사진을 나타낸 Photo. 1에서도 확인할 수 있다.

사진에서 보듯이 처리시간이 길어짐에 따라 5시간

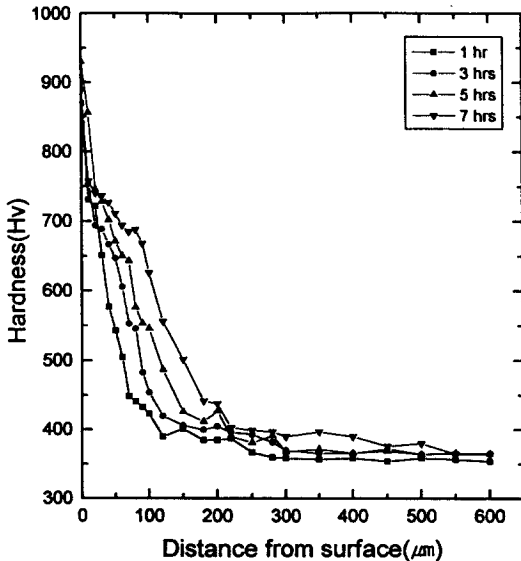


Fig. 2 Hardness profiles of SCM435 steel plasma nitrided at 480°C (500°C tempered).

까지는 화합물층의 두께는 뚜렷이 증가하였으나 그 이후는 증가가 둔화됨을 알 수 있다.

Fig. 3은 480°C에서 질화처리한 SCM435강의 처리시간에 따른 경화깊이를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 5시간까지의 경화깊이는 직선적으로 증가되지만, 그 이후는 완만한 증가경향을 나타내었다. 이러한 경향은 질화처리시간으로 인한 질화물의 성장거동은 기지내 분포된 질화물 형성원소의 양 및 기지의 결정입도와 관련되어지며, 기지내 합금원소의 고용도가 크고 결정입도가 미세할수록 처리시간이 길어질수록 확산층은 두꺼워진다는 것과 경화깊이가 질화시간에 따라 포물선적으로 증가한다는 결과 보고^{19,20)}와 잘 일치함을 알 수 있었다.

3.2. 템퍼링온도의 영향

어닐링한 시편과 500, 530 및 560°C에서 템퍼링한 시편을 480°C에서 질화처리한 SCM435강의 경도값을 Fig. 4에, 그리고 조직사진을 Photo. 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 500°C에서 템퍼링한 시편의 경도가 약 Hv930으로 가장 높으며, 어닐링한 시편과 530 및 560°C에서 템퍼링한 시편의 표면경도는 각각 Hv800, Hv844 및 Hv820으로 어

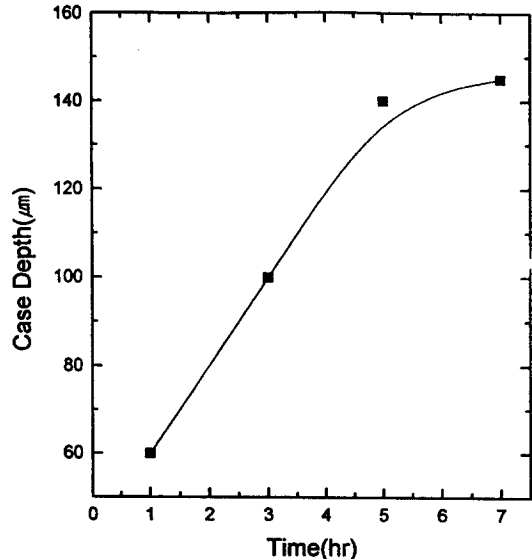


Fig. 3 Effect of nitriding time on case depth of SCM435 steels plasma nitrided at 480°C

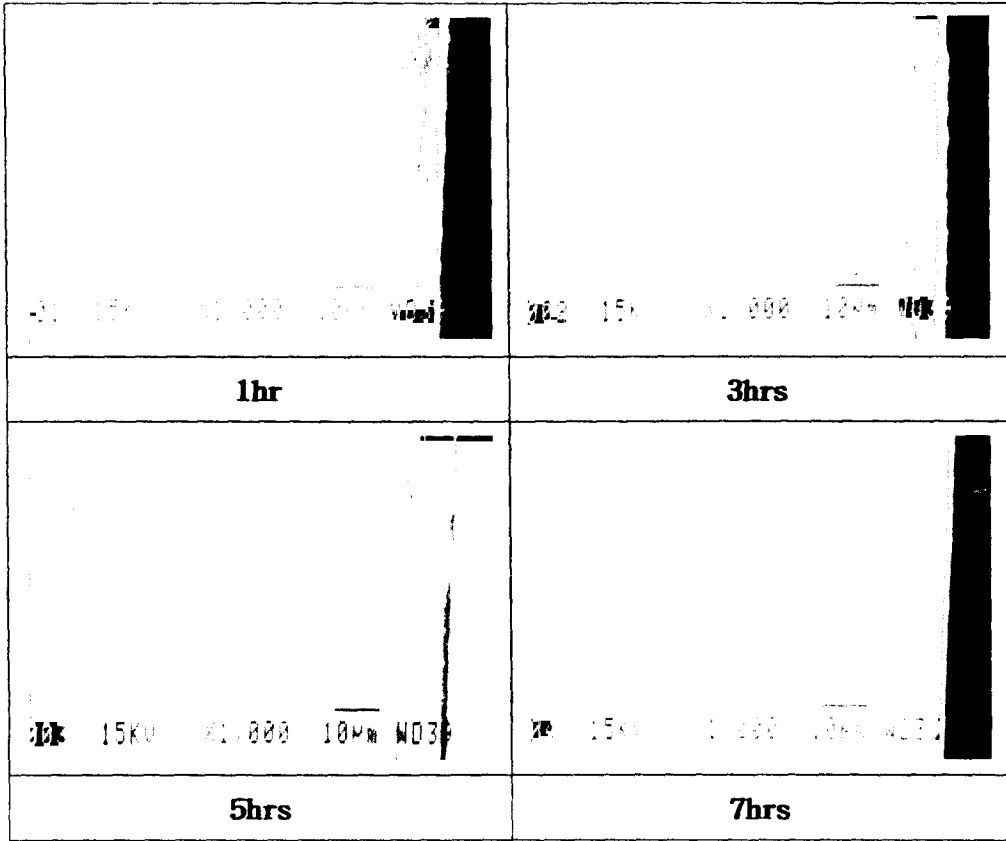


Photo. 1 Cross sectional view of SCM435 steel plasma nitrided at 480°C.
 (a) 1 hr. (b) 3 hrs. (c) 5 hrs. (d) 7 hrs.

닐링한 시편이 Q/T처리한 시편보다는 경도값이 약간 낮음을 알 수 있다. 이상의 표면경도 측정결과로부터 템퍼링온도는 질화처리의 온도보다 직상의 온도가 가장 최적인 것으로 판단된다.

또한, 사진에서 보는 것과 같이 질화층 조직은 어닐링한 시편보다 Q/T처리한 시편이 더욱 치밀하며, 500°C에서 템퍼링한 경우에 가장 치밀한 질화층을 얻을 수 있었다. 이러한 현상은 질화처리전 열처리의 중요성을 말하는 것으로서 Q/T처리가 어닐링한 경우보다 훨씬 많은 전위밀도의 증가가 일어나며 이 증가된 전위가 질소의 확산로 역할을 하여 확산을 더욱 용이하게 할 것²¹⁾으로 사료된다. 따라서 Q/T처리

한 조직의 질화층이 어닐링처리한 경우보다 더욱 치밀해지며 전 질화층의 경도값도 어닐링한 시편보다 더 높게 되는 것이다.

3.3. 템퍼링온도와 질화온도와의 관계

템퍼링온도와 질화온도와의 관계를 조사하기 위하여 500°C에서 템퍼링한 시편을 480, 510 및 540°C에서 각각 5시간동안 질화처리후 경화깊이에 따른 경도변화를 Fig. 5에 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이, 480°C에서 처리시 표면경도가 약 Hv930정도로 가장 높았으며, 처리온도가 증가할수록 표면경도값은 감소되어 510°C와 540°C

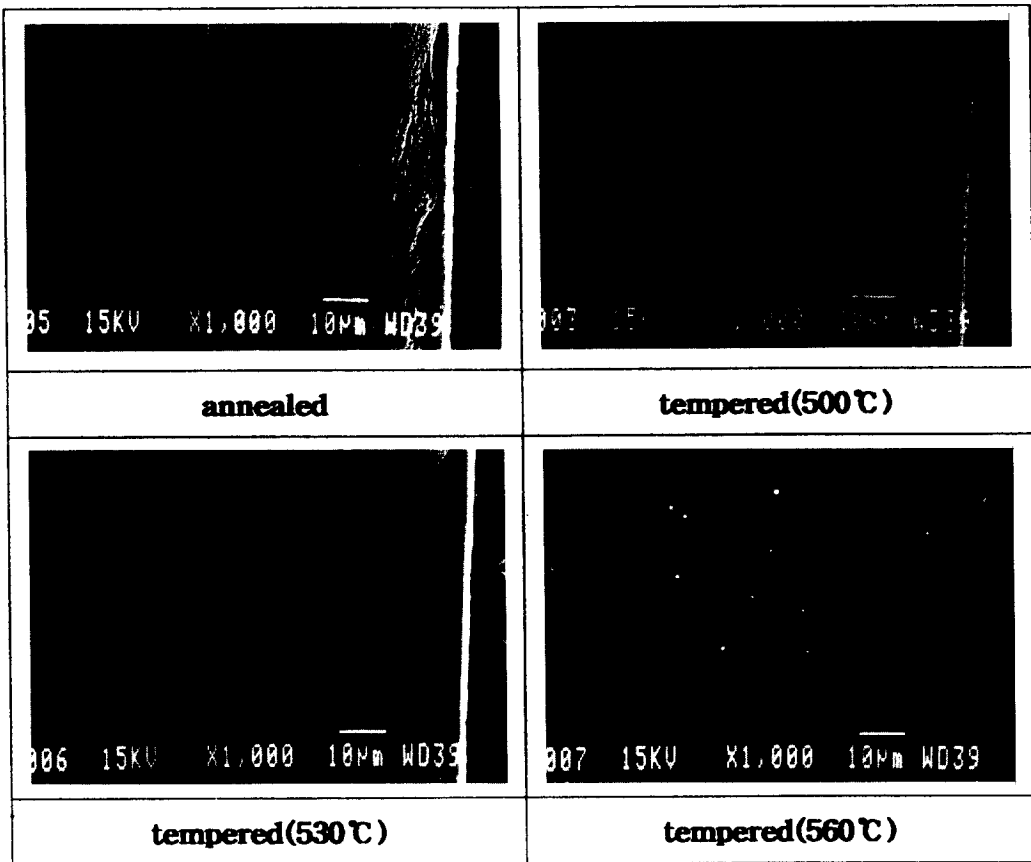


Photo. 2 Cross sectional view of SCM435 steel plasma nitrided at 480°C for 5 hours.
 (a) annealed (b) Tempered(500°C)
 (c) Tempered(530°C) (d) Tempered(560°C)

로 질화하였을 경우는 각각 Hv900과 Hv850 정도를 나타내고 있다. 그러나 처리온도에 따른 경화깊이는 처리온도가 증가할수록 더 깊어짐을 알 수 있었다. 낮은 처리온도인 480°C에서 높은 표면경도를 나타내는 이유는 Fig. 6의 X선 회절분석결과에서 보는 바와 같이 질소화산시 표면에 형성된 질화물인 γ -Fe₄N과 ϵ -Fe₃N이 다량 공존^{8,22)}하고 또한 합금원소중 질화물을 잘형성하는 Cr, Mo등의 미세한 질화물 석출에 의한 분산강화효과에 기인한 것으로 사료된다. 그리고 높은 온도인 540°C의 경우에는 γ -Fe₄N만이 존재하며 질화처리온도보다 템퍼링온도가 높은 경우인 510°C와 540°C에서 질화처리시 낮은 표면경도

를 나타내는 것은 최초에 석출된 질화물 입자들이 고온으로 인하여 조대화되고 불균일하게 분포¹⁷⁾됨으로써 분산강화효과가 감소되고, 또한 질화를 행하기 위하여 주입되는 혼합가스와 고온에서 반응시 표면에서 수소에 의한 스퍼터링효과로 인한 표면의 질화물의 일부가 분해¹⁹⁾되어 내부로 질소의 확산 침투가 일어났기 때문이고 따라서 확산층이 더 커지게 된 것으로 사료된다.

한편, 질화처리전 Q/T처리된 모재경도는 약 Hv360이었으며, 480°C에서 질화처리한 후에는 모재경도 변화가 거의 없었으나, 510°C에서 질화처리하였을 경우에는 약 Hv340, 540°C의 경우에는 약

Hv320으로 질화처리온도가 높아짐에 따라 모재의 경도가 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 상기의 조건으로 질화처리한 시편의 단면사진인 Photo. 3에서 보는 바와 같이 생성된 층의 두께는 일정하고

매우 치밀하나, 모재는 질화온도가 템퍼링온도보다 높기 때문에 어닐링효과에 의하여 조직이 조대화되어 모재의 경도를 감소시키는 것으로 사료된다.

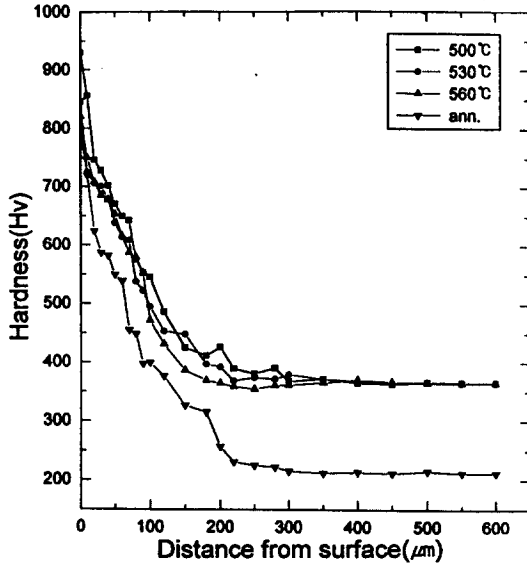


Fig. 4 Effect of tempering temperature on hardness profiles of SCM435 steel plasma nitrided at 480°C.

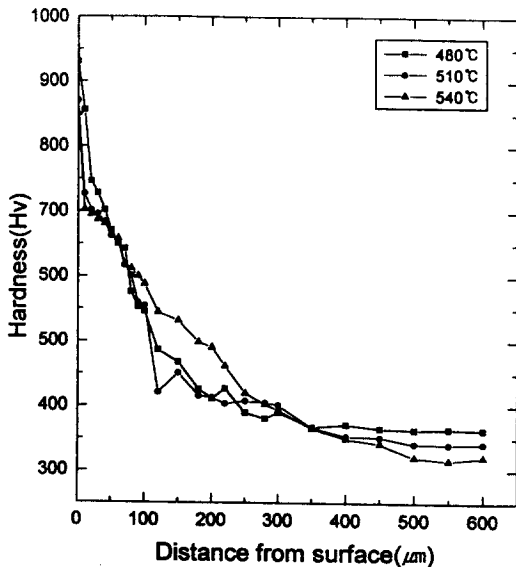


Fig. 5 Effect of nitriding temperature on hardness profiles of SCM435 steel plasma nitrided for 5 hours (500°C tempered).

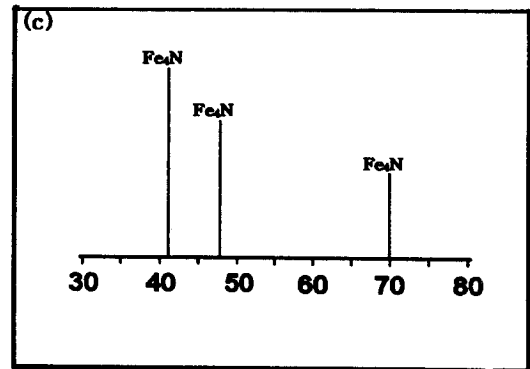
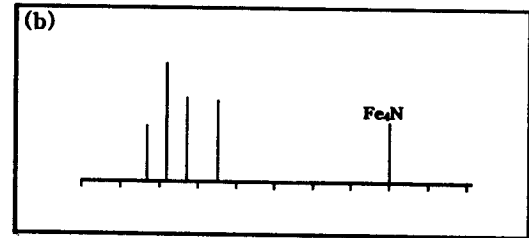
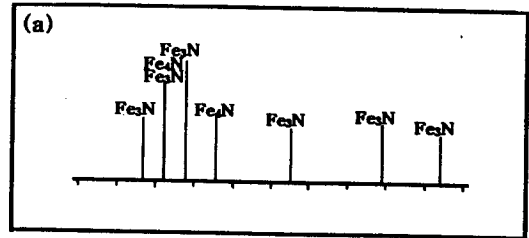


Fig. 6 X-ray diffraction patterns of SCM435 steel plasma nitrided at various temperature for 5 hours (500°C tempered).
(a) 480°C (b) 510°C (c) 540°C

한편, 상기의 조건으로 질화처리한 시편의 EPMA 분석결과인 Fig. 7에서 보는 바와 같이 표면부에 질소가 집적되어 있음을 알 수 있으며, 이것은 XRD 분석결과

와 표면층에서 $\gamma\text{-Fe}_4\text{N}$ 과 $\varepsilon\text{-Fe}_3\text{N}$ 의 검출로 확인할 수 있었다.

530°C에서 템퍼링한 강을 480°C, 510°C 및 540°C

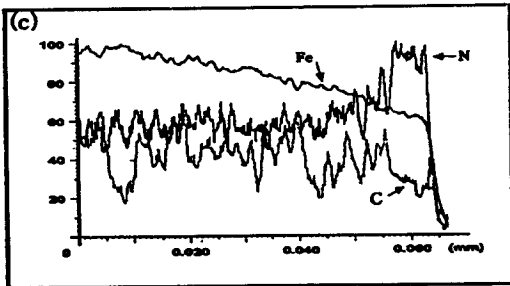
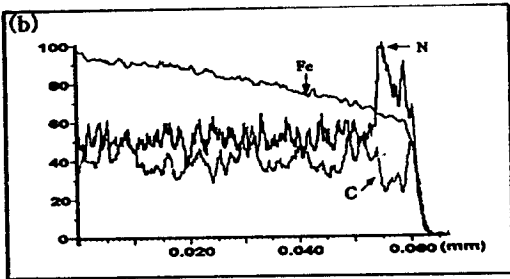
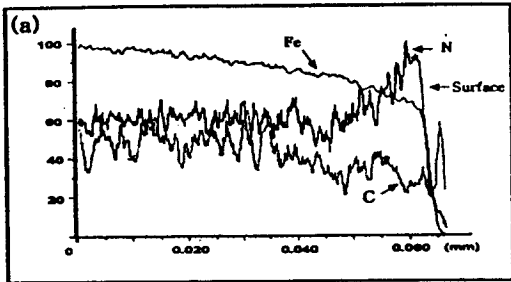


Fig. 7 EPMA line profile of SCM435 steel plasma nitrided at various temperature for 5 hours (500°C tempered).
(a) 480°C (b) 510°C (c) 540°C

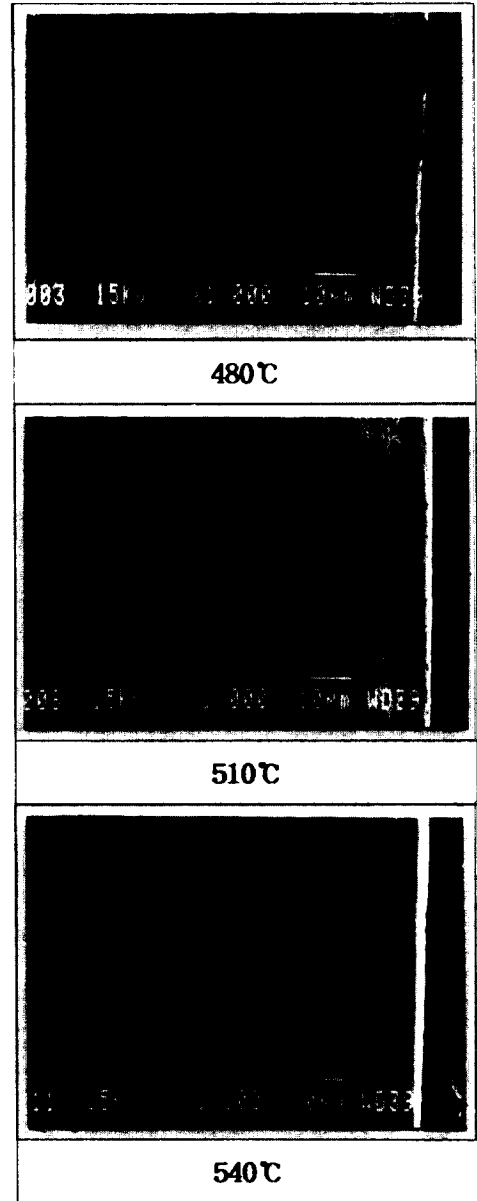


Photo. 3 Cross sectional view of SCM435 steel plasma nitrided at various temperature for 5 hours(500°C tempered).
(a) 480°C (b) 510°C (c) 540°C

℃에서 5시간 동안 질화한 후 경화깊이에 따른 경도 변화를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이, 480℃에서 질화처리 하였을 경우 표면경도가 Hv844로 가장 높으며, 510℃와 540℃에서 질화처리한 경우는 각각 Hv820, Hv800으로서 처리온도가 높아짐에 따라 표면경도값이 저하되는 경향을 나타내고 있으며, 그 이유는 500℃ 템퍼링에서 전술한 바와 같다. 그리고 480℃에서 질화처리한 경우는 510℃에서 질화처리한 경우 보다 표면경도는 약간 높았으나, 확산층의 깊이는 510℃에서 처리한 경우가 약 200 μm 로 480℃에서 처리한 경우 보다 약 50 μm 더 깊음을 나타내고 있다. 또한, 540℃에서 처리한 경우는 480℃와 510℃의 경우와 비교하여 모재경도가 낮게 측정되었는데 이것도 템퍼링 온도보다 처리온도가 높기 때문에 어닐링 효과가 발생하였기 때문이다.

Photo. 4는 Fig. 8의 조건으로 처리한 경우의 SEM 사진을 나타낸 것이다. 사진에서 보는바와 같이, 처리온도가 높아짐에 따라 화합물층 밑의 층이 좀더 조대화됨을 알 수 있으며, 이것으로 인하여 경도가 저하되는 것으로 생각된다. 그리고 XRD분석결과 500℃ 템퍼링의 경우와 같이 480℃와 510℃에서 질화처리할 경우 $\gamma\text{-Fe}_4\text{N}$ 과 $\epsilon\text{-Fe}_3\text{N}$ 이 생성되나 540℃의 경우는 Fe_4N 만이 생성되어 있음을 알 수 있다.

그리고 EPMA 분석을 행한 결과 480℃에서 질화하는 경우와 동일한 결과를 나타내어 표면부에 질소가 집적되어 있음을 알 수 있으나, 500℃에서 템퍼링하여 480℃에서 질화하는 경우 보다는 그 폭이 넓어짐을 관찰할 수 있었다. 이것은 처리온도가 높아짐에 따라 질소의 확산이 활발하여 질화층의 두께가 넓어지기 때문인 것으로 사료된다.

Fig. 9는 560℃에서 템퍼링한 강을 480℃, 510℃ 및 540℃에서 5시간 동안 질화처리한 경우의 경도변화를 나타낸 것이다.

그림에서 보는바와 같이, 480℃에서 질화처리한 경우의 표면경도값이 Hv820로 가장 높았고, 510℃, 540℃에서 질화처리한 경우의 표면경도값은 각

각 Hv805, Hv790으로서 약간 낮은 값을 나타내고 있다. 이 경우 역시 질화처리 온도가 상승함에 따라 표면경도는 감소하였으나 확산층의 깊이는 증가하여 540℃에서 질화처리한 경우 약 350 μm 로 최대치를 나타냈다.

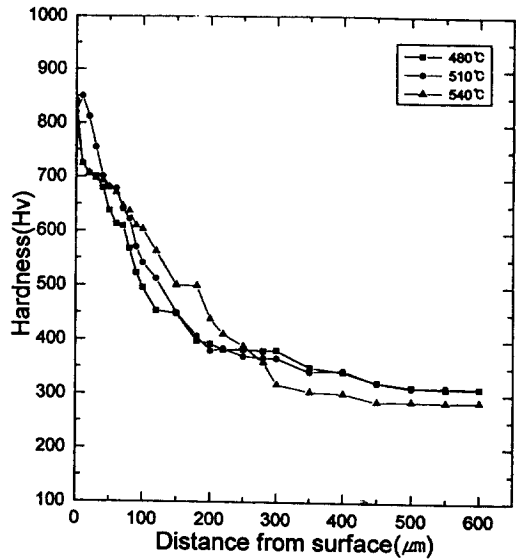


Fig. 8 Effect of nitriding temperature on hardness profiles of SCM435 steel plasma nitrided for 5 hours(530℃ tempered).

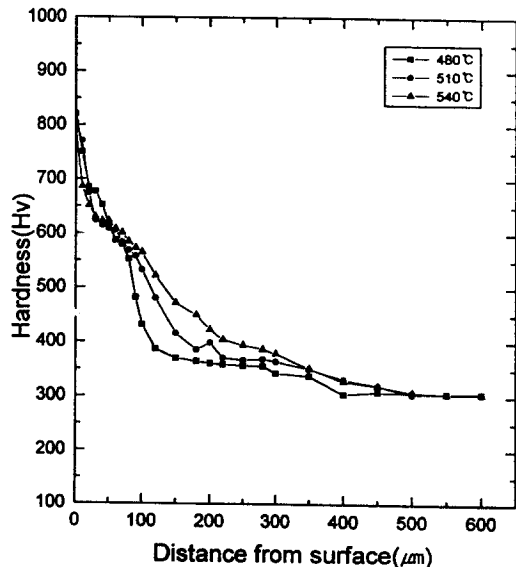


Fig. 9 Effect of nitriding temperature on hardness profiles of SCM435 steel plasma nitrided for 5 hours(560℃ tempered).

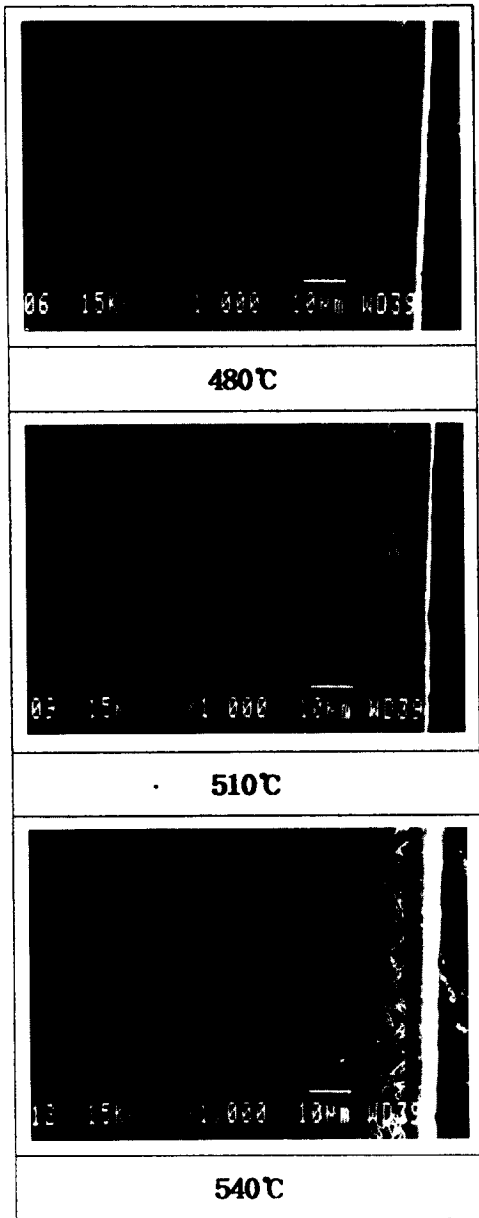


Photo. 4 Cross sectional view of SCM435 steel plasma nitrided at various temperature for 5 hours(530°C tempered).
(a) 480°C (b) 510°C (c) 540°C

다. XRD 분석결과에서 보는바와 같이 560°C 템퍼링의 경우도 500°C와 530°C 템퍼링의 경우와 동일하게 질화처리 온도 480°C에서는 γ -Fe₄N과 ϵ -Fe₃N이 공존하고 510°C에서부터 Fe₃N이 감소되기 시작하여 540°C에서 완전히 γ -Fe₄N의 단상만이 표면에 존재함을 알 수 있었다.

이것은 온도가 상승함에 따라 생성된 질화물의 분해 즉 FeN→Fe₃N→Fe₄N으로의 분해반응^{23,24}이 좀더 활발하게 진행하게 되어, 높은 온도인 540°C에서는 γ -Fe₄N만이 생성되기 때문인 것으로 사료된다. 그리고 SEM 사진에서는 480°C의 경우에 표면에 가장 치밀한 층이 형성됨을 알 수 있으며 질화층이 넓어짐을 알 수 있다.

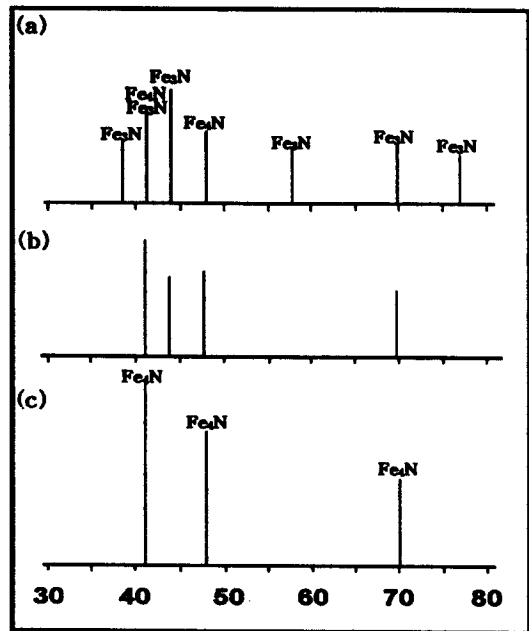


Fig. 10 X-ray diffraction patterns of SCM435 steel plasma nitrided at various temperature for 5 hours(560°C tempered).
(a) 480°C (b) 510°C (c) 540°C

Fig. 10과 Photo. 5는 Fig. 9의 조건으로 처리한 시편의 XRD 분석결과와 SEM 사진을 나타낸 것이

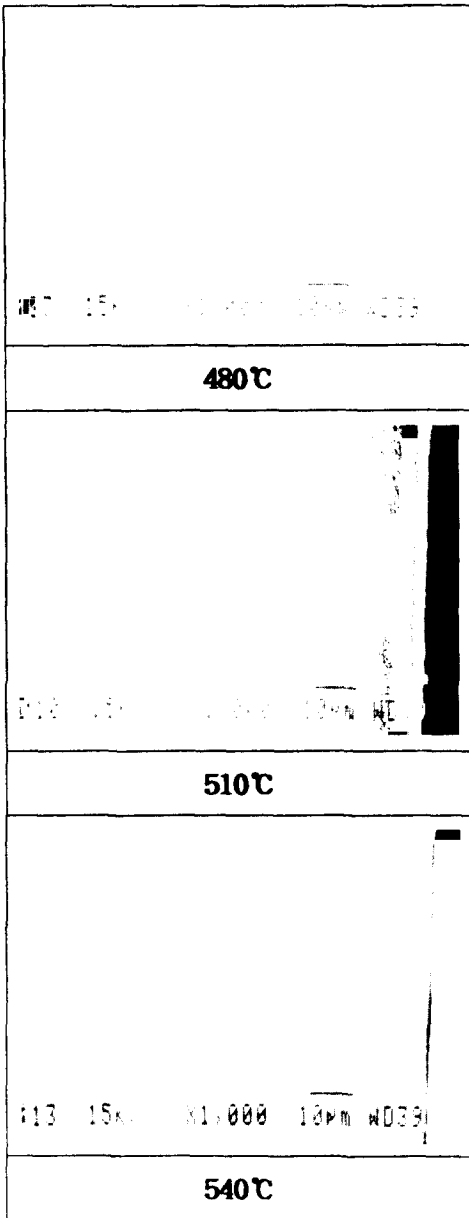


Photo. 5 Cross sectional view of SCM435 steel plasma nitrided at various temperature for 5 hours(560°C tempered).
(a) 480°C (b) 510°C (c) 540°C

한편 EPMA 분석결과도 500°C와 530°C 템퍼링의 경우와 동일하게 560°C 템퍼링의 경우에도 표면부에

질소가 집적되어 있으며, 집적된 폭도 넓어짐을 알 수 있었다.

이상의 템퍼링 온도와 질화온도와의 관계를 검토해 본 결과 질화온도는 템퍼링 온도보다 10°C 이상 낮은 온도에서 처리하여야 모재의 경도를 유지할 수 있으며, 최적의 질화층을 생성시킬 수 있다는 것을 알 수 있었다. 그리고 Q/T온도와 질화처리 온도를 변화시킨 본 실험에서의 최적의 조건들은 860°C에서 1시간 후 500°C에서 템퍼링한 시편을 480°C에서 질화하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

구조용 합금강인 SCM435강의 MPPN처리에 적합한 전열처리 및 그 열처리가 질화에 미치는 영향을 질화처리온도와 질화처리시간의 변수를 설정하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) SCM435강의 플라즈마 질화처리에 적합한 사용 경도를 얻기 위한 최적의 전열처리법은 860°C에서 1시간 다음 500°C에서 템퍼링하는 것이며, 이때의 경도는 HRC37(Hv365)이었다.
- 2) Q/T처리한 시편과 어닐링처리한 시편의 480°C에서 5시간 동안 질화처리하였을 경우 경화깊이는 약 150μm로 거의 같았으나 Q/T처리한 경우가 높은 경도와 더욱 치밀한 질화층을 형성하였다.
- 3) 질화온도가 템퍼링온도보다 높은 경우 어닐링 효과로 인하여 모재경도의 저하를 초래하게 되므로 질화온도는 템퍼링온도보다 10°C 이상 낮은 온도에서 처리하여야 모재의 경도를 유지할 수 있었으며, 본 실험의 최적조건으로 Q/T온도는 860°C/500°C이며, 질화온도는 480°C이고, 이때의 표면 경도는 Hv930이었다.
- 4) 질화처리온도가 증가할수록 표면경도는 낮아지고 질화층의 두께는 거의 직선적으로 증가하였다. 그리고 생성되는 질화층은 γ' -Fe₃N과 ϵ -Fe₃N이 주상으로 존재하나 질화온도가 높은 경우에는 γ'

-Fe₄N만이 존재하였다.

후 기

본 연구는 1996년도 교육부 신소재분야 연구지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 변용선, 이건한, 권식철 : 대한 금속학회보, 5 (4) (1992) 375
- [2] K. T. Rie : proc. of Plasma Surface Eng. : DGM. Inf, 1(1989) 201
- [3] S. C. Kwon, G. H. Lee, M. C. Yoo : Proc. Int. Conf. on Ion Nitriding, Cleveland (1986) 77
- [4] 洪晟, 寺門一佳 : 表面技術, 47(6) (1996) 518
- [5] K. H. Prabhudev : Handbook of Heat treatment of Steels, McGraw-Hill, (1988) 182
- [6] Y. Sun, T. Bell : Materials science & Eng., A140(1991) 419
- [7] B. Edenhofer : Plasma Surface Eng., 1 (1989) 257
- [8] R. Urao : Soc. of High Temp., 9(5) (1983) 170
- [9] N. Yasumaru : J. Japan Inst., Metals 54 (8)(1990) 870
- [10] ASM Handbook 4(1991) 420
- [11] R. Gr n, H. J. G nther : Materials Sci. & Eng., A140(1991) 435
- [12] U. Huchel, S. Dressler : Proc. of Int. Heat Treating Conf., Illinois(1994) 143
- [13] J. Bougrira, G. Henrion, M. Fabry : J. Phys, 24(1991) 1076
- [14] J. S. Lee, I. S. Kim, Y. Z. You : UOU Report, 7(2) (1996) 1
- [15] 松本伸 : 鑄造 と 熱處理, 1(1996)
- [16] 이정식, 김성완 : 열처리공학회지, 3(2) (1990) 52
- [17] S. P. Hong, R. Urao, M. Takeuchi, Y. Kojima : The 2nd Korea-Japan Symposium on Plasma and Thin Film Tech., (1996) 81
- [18] 진상화 : 열처리공학회지, 2(1) (1989) 39
- [19] L. Seybolt : Trans. of the Metal Soc. AIME 773(1969) 769
- [20] 조효석, 노용식, 신호강, 이상윤 : 열처리공학회지, 5(4)(1992) 215
- [21] 이재식 : 울산대학교 박사학위논문, (1997) 56
- [22] 大和久重雄 : 鋼. 熱處理 アラカルト, 日刊工業新聞社
- [23] J. K lbel : K ln, Westdeut. Verlag (1965) Nr. 1555
- [24] B. Edenhofer : HTM 29 (1974) 105