

技術解説

오스테나이트 침질탄화법 (Austenitic Nitrocarburizing)

박 광 순

한국기계연구소 열처리공학실

요 약

일반적으로 침질탄화법(Nitrocarburizing) 함은 570°C 부근에서 처리하는 페라이트 침질탄화법(Ferritic Nitrocarburizing)을 말하고 있으나, 최근 비교적 고온(700°C)에서 처리하는 오스테나이트 침질탄화법이 개발 연구되어 실용화단계에 있다. 그러나 국내에서는 아직 이러한 처리에 대해서 전혀 알려져 있지 않고 용어조차도 생소한 실정이다. 따라서 본 문헌에서는 F.K.Cherry*가 발표한 것을 기초로 하여 오스테나이트 침질탄화법에 대해 설명하고자 한다.

1. 서 론

오스테나이트 침질탄화법은 철계재료의 표면에 질소와 탄소를 확산시켜 표면을 경화시키는 표면 열화학적 처리의 일종이다.

이 처리는 크게 두가지로 나눌 수 있다.

- 1) 페라이트 침질탄화법-Fe-N 공석온도 아래, 즉 590°C 아래의 페라이트 온도범위에서 처리하는 공정이다.
- 2) 오스테나이트 침질탄화법-Fe-N과 Fe-C의 공석온도(590°C-720°C)사이의 오스테나이트 온도범위에서 처리하는 공정이다. 페라이트 침질탄화처리하는 ϵ -질화물/탄화물(ϵ -nitride/carbonitride)과 같은 화합물층이 금속의 표면에 형성되어 내마멸성, 마모, 그리고 부식에 대한 저항성을 증가시킨다고 알려져 있다.

이러한 화합물층 아래에는 일반적으로 확산층으로 알려진 질소의 확산층(여기서는 확산경화층이라 표기함) 혹은 합금 질화물층이 형성되는데 이층은 강도와 내피로성을 증가시킨다.

오스테나이트 침질탄화는 아래와 같은 장점들이 있다.

- 1) 화합물층 아래의 확산경화층은 C와 N의 확산에 의하

여 오스테나이트의 생성이 저온에서 이루어지고 이것이 급냉됨에 따라 마르텐사이트와 하부 베이나이트(Lower Bainite) 구조로 변태되어 고강도를 얻을 수 있다.

- 2) 내부 물성의 개선
- 3) 700°C에서 급냉되므로 일반적으로 표면경화 기술에 비해서 변형이 적다.
- 4) 일반적으로 종래에 사용되어 오던 표면경화용 합금강에 대신하여 080 M 15(BS C: 0.11-0.19%, Mn: 0.60-1.00%)과 080 M 42(BS C: 0.11-0.19%, Mn: 0.60-1.00%)와 같은 일반 C-Mn 강은 비교적 값이 싸고 쉽게 이용할 수 있으며 기계가공이 쉬운 등의 유리한 점이 있다.

이러한 장점들이 있기 때문에 선진국에서는 오스테나이트 침질탄화는 보통의 침탄(Carburizing)이나 침질탄화(Carbonitriding) 처리에 대체되고 있다.

여기서는 오스테나이트 침질탄화에 대한 이론, 처리과정 및 특성 등에 대해서 살펴보기로 한다.

2. 이론적 고찰

오스테나이트 침질탄화는 두단계로 이루어져 있다.

첫째 단계는 다음과 같이 확산층, 화합물층 그리고 내부조

*F.K.Cherry, Heat Treatment of Metals, 1978. 1. P1-5.

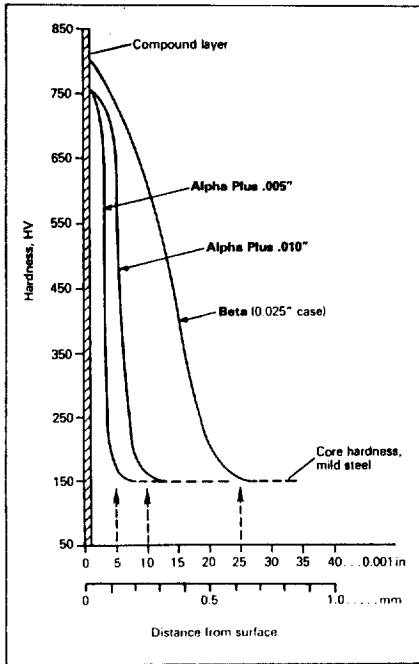


Fig.4 Hardness profiles resulting from the three austenitic nitrocarburising processes operated at Huyton Heat Treatments, after application to mild steel.

3. 처리공정

Huyton Heat Treatments Ltd.에서는 오스테나이트 침질탄화를 세가지 공정으로 시험하였다(Fig. 4). 세공정 모두 전기가열로에서 실험하였고(Fig. 5), 분위기는 carrier gas로서 질소와 methanol 을, enrich gas 로 암모니아와 천연가스를 이용하였다.

3-1 Alpha Plus 공정

1977 년도에 개발된 첫번째 처리공정은 Alpha Plus 이다. Alpha Plus 0.005"는 Fig. 6 에서 보여진 것처럼 125 μm (0.005")의 평균깊이를 가진 주로 탄소가 확산된 층(확산경화층)으로 700°C 이하의 온도에서 처리하여 12-25 μm의 화합물층을 형성한다. 이 공정에서 내부조직은 경화되지 않은 채로 남아 있고 이것은 풀림(annealing)된 조건이 된다.

Alpha Plus 0.010"는 경화층깊이와 탄소의 확산속도를

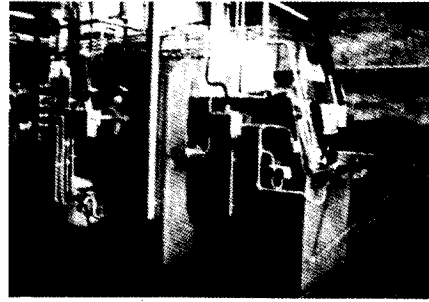


Fig.5 An losen sealed-quench furnace for production austenitic nitrocarburising at Huyton Heat Treatments Ltd.

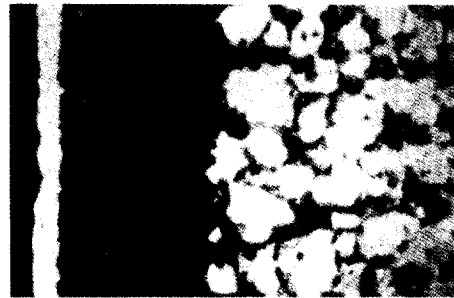


Fig.6 Microstructure of a low-carbon steel subjected to the Alpha Plus 0.005" austenitic nitrocarburising process, showing the compound layer and underlying case(×200 approx.).

증가시키기 위하여 700°C보다 높은 온도에서 오스테나이트화를 시킨다. 급냉에 앞서 화합물층의 형성을 위하여 처리 온도는 700°C로 감소시킨다. 여기서 약 12-25 μm의 화합물층은 주로 탄소가 확산되어 경화된 확산경화층에 의해서 강도가 유지되는데, 실제로 확산경화층이 하중을 지탱하고 내마모성을 나타낸다. 내부특성은 이중 구조때문에 향상된다.

3-2 Beta 공정

1982년에 Huyton 사는 주로 탄소가 확산된 확산경화층 아래 더 깊은 경화층을 형성시키는 Beta 공정을 발표하였다. 이 처리는 오스테나이트 침질탄화법에서도 일반적인 침탄과 침질탄화처리에서 생기는 경화층 깊이를 형성시키도록 오스테나이트 침질탄화의 범위를 확대시킨 것이다. 더 깊은

경화층은 오스테나이트화 온도를 증가시키에 의하여 얻을 수 있는데 이것은 급냉에 앞서 화합물층의 형성을 위하여 급냉온도를 700°C로 낮추기 전에 탄소의 확산을 크게하여 경화층을 깊게 하는 방법이다.

일반적인 화합물층의 깊이는 25-50 μm 이고 확산경화층은 0.75 mm이다.

4. 특성향상

서론에서 소개한 것처럼 이러한 오스테나이트 침질탄화는 다음 항목들과 같은 장점을 가지기 때문에 철계부품의 품질을 향상시킬 수 있다.

- 윤활마모특성과 내부식성을 향상시킬 수 있다.
- 화합물층을 지지하는 확산 경화층.
- 기계적 성질을 개선하는 내부조직.
- 통상적인 경화(hardening) 처리보다 더 작은 변형을 가짐.
- 후처리 연삭등의 처리를 제거할 수 있도록 열처리 변형의 예측이 가능함.

이러한 인자들은 다음 항에서 상세하게 설명하기로 한다.

4-1 화합물층

700-900 Hv의 경도를 가진 화합물층은 주로 ϵ 상으로 구성되어 있고 표면에서 12-50 μm 정도의 깊이를 가진다. 모재와 완전히 밀착하여 내마멸성, 마모 및 부식성을 향상시킨다. 표면상태와 색깔(어두운 청색)은 후처리 세척이 필요하지 않고 바로 사용할 수 있을 정도이다.

실제로 심미적인 목적이나 내부식성을 증가시키기 위하여 표면에 검은 산화 피막을 형성시키기도 한다. 따라서 오스테나이트 침질탄화는 Zinc phosphating 나 아연이나 니켈 도금과 같은 공업적인 금속표면 처리가 필요없게 된다.

4-2 확산경화층

화합물층 밑에 위치하는 확산경화층은 필요에 따라서 그 깊이를 변화시킬 수 있고 최소 690 Hv에서 최대 700-900 Hv까지의 표면경도를 나타낸다. 이 층은 화합물층의 내마모성을 뒷받침하고 indentation 저항을 증가시키며 하중을 지지해주는 특성을 가진다(반면 화합물층은 abrasive 마모에는 견디지 못하며 이러한 확산경화층의 특성은 보통의 침탄층의 특성과 동일하다). 따라서 이러한 점에서 이 과정은 C, N의 확산을 수반하는 일반적인 표면경화 처리 즉 가스 침탄, 가스침탄질화, 침질탄화와 동일하게 취급된다.

4-3 내부조직



Fig.7 The duplex core structure (after tempering at 450°C). Magnification : $\times 500$ approx.

처음에 설명한 바와 같이 Alpha Plus 0.011"와 Beta 공정은 페라이트(경도 약 200 Hv)와 소량의 하부 베이나이트(약 500 Hv)가 조합된 2중 조직(Fig. 7)을 나타낸다. 전체 내부조직의 미소 경도는 2상의 혼합비의 함수이고, 그러므로 기지상의 C 농도에 직접 비례한다. Fig. 8은 경도와 강도가 탄소의 증가에 따라 증가함을 나타내고 있다. 예측한 바와 같이 내부의 강도와 경도는 연성이 감소할수록 증가한다(Fig. 8). 이 그림에서 알 수 있듯이 0.45% C를 함유하는 강 즉 0.80 M 42(En 80)이 가장 적합한 물성을 나타낸다. 더군다나 적당한 뜨임처리는 베이나이트를 어느 정도 구상화시키므로 뜨임에 의해 물성을 더욱 향상시킬 수 있고, 온도가 더 높아지면 Fe_3C 가 석출하게 된다. 따라서 강도와 경도는 감소하더라도 연성은 증가되고, 강도대 연성의 비도 어느 정도 조절할 수 있다. 오스테나이트 침질탄화에서 내부조직의 강화의 특징은, 일반적인 표면경화강에 존재하여 경화능을 증가시키는 합금원소인 Ni, Cr, Mo와 같은 합금원소가 필요하지 않다는 것이다. 따라서 앞에서 설명한 바와 같이 표면경화용 합금강을 일반 C-Mn 강으로 대체하여 사용할 수 있는 장점이 있다.

4-4 변형(distortion)

일반적인 오스테나이트 침질탄화에 이용되는 오스테나이트화 온도는 보통의 표면경화 처리에 비해서 상당히 낮고 특별히 담금질온도(700°C)가 낮아, 변형은 현저히 감소된다. N-rich 경화층이 고소입성을 가지기 때문에 비교적 낮은 소입온도로 경화가 가능하다. 경화층의 소입성이 증가되기 때문에, 합금원소가 필요하지 않으며 조업비, 단조성, 가공성 등의 견지에서 비합금강이 오히려 유리하게 사용될 수 있다. 높은 표면 소입성은 아래와 같이 예를 들 수 있다.

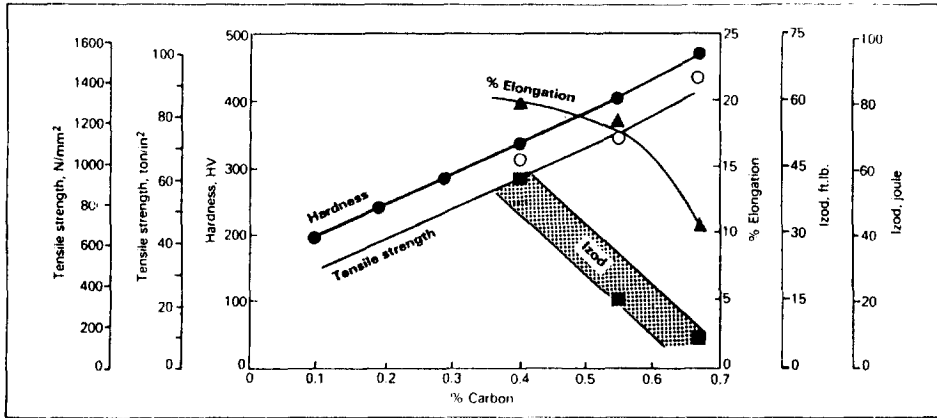
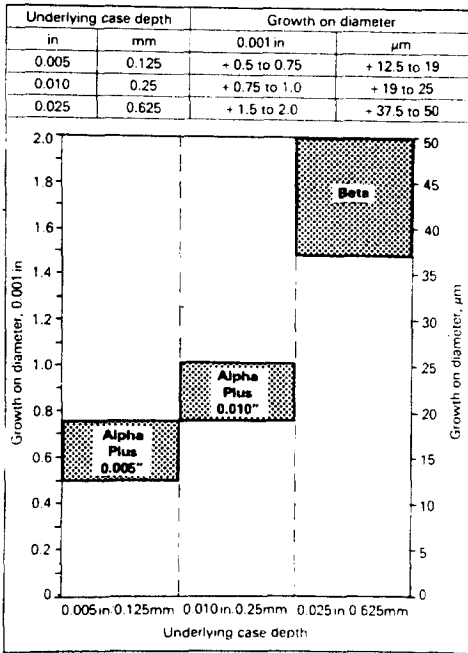


Fig. 8 The relationship between mechanical properties and carbon content of the duplex core structure in austenitic nitrocarburised steel.



Growth on diameter for the three austenitic nitrocarburising treatments with different underlying case depths.

직경 100 mm의 연강을 150 mm 길이로 2개를 절단하여 하나는 870°C에서 침질탄화 한 후 잘 교반되는 기름에 담금질시

키고 다른 하나는 Beta 공정에 의하여 오스테나이트 침질탄화시킨 후 700°C에서 매우 느리게 교반되는 동일한 기름에 냉각을 시킨다. 이때 경화층은 0.6 mm가 되도록 침질탄화 처리를 하여 표면경도를 측정하면 표면경도는 542 Hv (54 HRC)이고, 반면 같은 경화깊이를 가지도록 오스테나이트 침질탄화한 것은 742 Hv (62 HRC)를 나타낸다. 따라서 오스테나이트 침질탄화는 냉각능이 낮은 기름을 사용할 수 있고 또한 변형도 줄일 수 있는 점이 있다.

4-5 팽창(변형)

오스테나이트 침질탄화 처리에서 재료의 팽창은 예측할 수 있고 사실상 이러한 재료의 변형을 조절할 수 있다는 장점을 이용할 수도 있다. Fig. 9는 사용된 오스테나이트 침질탄화법의 종류에 따라 예상되는 팽창량을 나타내었다. 이러한 팽창량은 화합물층의 형성으로 부터와 경화층 아래의 마르텐사이트 변태로 부터 일으킬 수 있는 팽창량의 합이다. 이러한 형태의 팽창은 재현시킬 수 있고, 또한 응력이 완으로 발생하는 뒤틀림(shape distortion)만 고려에 넣는다면 오스테나이트 침질탄화 처리 전에 마무리 공정을 짚어 넣을 수도 있다. 만약 오스테나이트 침질탄화전에 재료의 안정화 열처리를 하게된다면 뒤틀림은 감소시킬 수 있다. 오스테나이트 침질탄화처리를 할 때에는 650°C에서 응력제거 처리를 한다. 그러나 880°C에서 불림과 650°C에서의 응력제거 처리는 Beta 공정과 같이 깊은 경화층을 요구하는 경우는 오스테나이트 침질탄화 처리에 앞서 작업하는 것이 바람직하다. 만약 위의 과정이 황삭 후 적용된다면 오스테

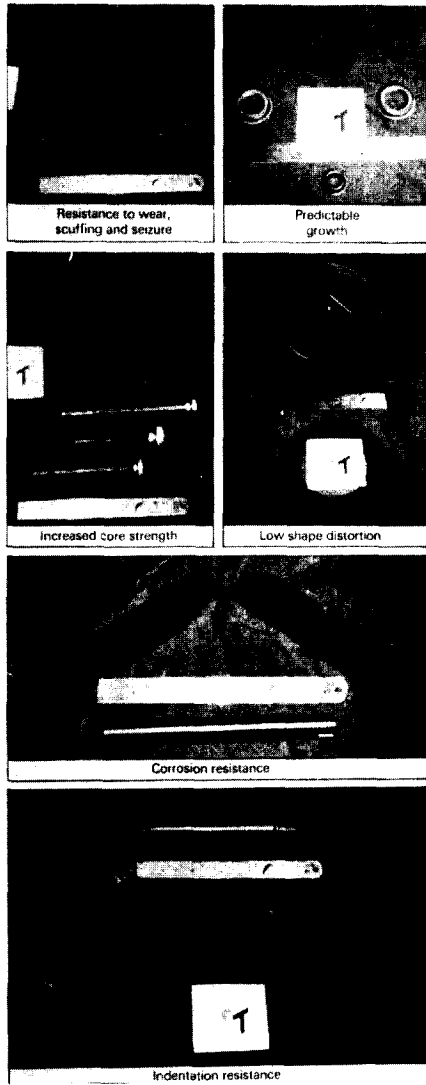


Fig. 10 Typical examples of austenitic nitrocarburised components with an indication of the major benefits exploited.

나이트 침질탄화 처리에 앞서 절삭가공 하는 것은 가능하다. 그리고 팽창량에 따라 처리된 부품이 즉각 조립되어 사용될 수 있기 위해서 후가공을 생략할 수 있다.

5. 응용

대부분의 생산공정에서 앞서 설명한 여러가지 오스테나이트

Table 1. Production application of austenitic nitrocarburising.

| Austenitic nitrocarburising treatment type | Applications |
|---|---|
| Alpha Plus . 005" (0.125 mm underlying case) | Clutch plates, levers, gears, bushes, thin pressings |
| Alpha Plus . 010" (0.25 mm underlying case) | Gears, levers, pulleys, liners, etc. |
| Beta (0.60 mm underlying case) | Machine slideways, guide bars, gears, sprockets, pins, bushes, water-pump parts, liners, jigs / fixtures, bearings, etc |

트 침질탄화법의 응용에 의해 재료를 개선시킬 수도 있고 제문제들을 해결할 수 있다. 몇가지 예를 표 1 과 Fig. 10에 나타내었다. 여기서는 뚜렷하게 개선된 특성만을 나타내었다.

6. 앞으로의 전망

오스테나이트 침질탄화법의 발전은 2 가지로 전망된다.

- 1) 특성개선 : 위의 실험에 의해서 나타났던 여러가지 사실들에 의해서 내마모, 내소착성과 내식성의 견지에서 화학물층의 성능을 더욱 개선하기를 기대할 수 있다. 또한 이러한 처리에 MoS₂와 Wax 및 다른 표면 처리(예를 들면 TiN 처리등)를 조합한 복합열처리가 개발될 것이다. 그리고 일반탄소강을 가장 적절하게 사용할 수 있는 적당한 내부강도와 연성의 비에 대해서도 연구가 진행되고 있다.
- 2) 대형로에서 대형 기어와 장축과 같은 재료도 오스테나이트 침질탄화 처리가 가능하다. 오스테나이트 침질탄화가 일반적인 표면경화 처리에 비해서 경쟁력이 있기 때문에 조업비도 감소시킬 수 있고, 더욱 유리한 점은 재료를 값싼 비합금강으로 대체할 수 있어서 생산단가를 감소시킬 수 있다.

이미 이러한 문헌에 소개된 장점들을 가지고서 선진국에서는 설계자, 생산기술자, 금속공학자등이 새로운 부품을 설계하고 문제를 해결하기 위해 오스테나이트 침질탄화법을 벌써 이용하고 있는 실정이다. 따라서 국내에서는 본 기술의 장점과 원리를 충분히 활용하기를 기대하며 본 기술을 소개한다.