

열처리교실

강의 침탄경화와 템퍼링가공(I)

김문일

연세대학교 금속공학과

1. 규격(KS B 4904)에 관하여

1.1. 규격명

이 규격의 제목을 “철강의 침탄켄칭·템퍼링가공”이라 하지 않고, “강의 침탄켄칭·템퍼링가공”으로 한 것은 철(즉 KS에서 말하는 주철품)은 침탄가공을 하지 않기 때문이다. 또한 영문명은 조작내용을 충실히 표현하는 뜻에서 Carburizing, Quenching and Tempering of Steel로 하고 있다.

1.2. 적용범위

일반적으로 침탄에는 가스침탄, 액체침탄, 고체침탄의 세 종류가 있으므로, 규격의 적용내용도 이들 세 종류로 분류하는 제안이 있었으나, 침탄조작은 달라도 내용적으로는 같으며, 소기의 성능만 얻을 수 있다면 침탄제의 종류 및 침탄방법은 어떤 것이든 좋다는 견해에서 한 개로 종합하였다. 즉 침탄제의 종류에 따르는 품질구별은 없는 것이 된다. 또한 침탄침질 및 침탄질화도 침탄이 주체로서 본규격을 적용하도록 되어 있다.

1.3. 가공재료

가공재료의 강종에 대해서는 가공품의 품질을 확보하기 위해 원칙적으로 KS 재료를 대상으로 하고 있다. 물론 SAE, BS, DIN, JIS 등 외국규격에서도 화학성분이 KS 적용강종에 준하는 것은 이를 적용할 수가 있다. 그러나 SM10~25재 및 SB재는 제외되고 있다.

또한 이들의 가공재료는 화학성분만이 대상이 되며 가공재료의 형상에는 관계가 없다.

1.4. 가공품의 구분

가공품은 용도, 경화성 및 치수에 따라 1호 및 2호로 구분되어 있다. 여기서 재료의 경화성이 양호, 보통,

나쁨의 구별은 이상입계지름(D_i)의 계산치, 즉

$$D_i(\text{in}) = D_{ic} \times MF\%Mn \times MF\%Si \times MF\%Ni \times \dots$$

여기서, D_{ic} : C%와 결정입도부터 구한 기본경화능 (C%에 의한 이상입계지름, in)

MF : 첨가원소의 경화능배수에 따른 것이다.

경화성	이상입계지름(D_i) (in)
양호	3.5이상
보통	1이상, 3.5미만
나쁨	1미만

또한, 가공품의 용도를 “특히 좋은 품질을 요하는 것”과 “일반용도”로 분리하고 있으나, “특히 좋은 품질을 요하는 것”의 사례는 기계의 중요한 성능에 영향을 미치는 구성부품을 가리키며, 이들을 제외한 것이 “일반용도”로 되어 있다. 또한 치수가 작은, 중간 및 큰 물건의 구별은 원칙적으로 다음의 중량구분에 따르게 되어 있다.

- 작은것 중량 5kg 이하의 것
- 중간치 중량 5kg 이상, 30kg 이하의 것
- 큰 것 중량 30kg 이상의 것

1.5. 가공설비

이 조항중에는 “유지 또는 조정”과 “억제”를 사용상 구분하고 있는데, 유지 또는 조정은 수동을, “억제”는 자동조작을 뜻한다. 침탄용의 가열로 및 템퍼링용가열로의 유효가열대에 대해서는 일본의 JHS C-1 1969를 참고하면 좋다.

1.6. 가공품의 품질

품질을 평가하는 경도의 단위로서는 HV, HRA, HRC 가 주로 쓰이며 HS는 참고로 되어 있다. 또한 rock well, superficial (HRN 및 HRT 연질 박판용)은 사용하지 않기로 하였다.

품질은 가공품의 구분에 따르는 경도의 불균일성, 침탄경화층 깊이(유효경화층 깊이 및 전체경화층 깊이) 및 변형 등에 의해 결정된다. 특히 변형에서 굽힘의 대소에 따라 1종 및 2종으로 구별되어 있다. 이 힘은 교정 후의 값으로, 길이 1m의 것이다. 따라서 길이 1m 미만의 것은 전체 길이에 대해, 또한 길이 1m 이상의 것은 임의장소의 길이 1m 마다의 camber 를 의미한다.

2. 침탄경화 · 템퍼링가공기술

2.1. 침탄켄칭의 목적

2.1.1. 내마모성 향상(표면부)

- (가) 고탄소 마르텐사이트 }를 위해
- (나) 함질소

2.1.2. 피로강도의 향상(표면부와 내부)

- (가) 외면부경화(hardness pattern)
- (나) 표면잔류압축응력(stress pattern) }을 위해

2.2. 침탄처리 종류

침탄처리에는 다음과 같은 종류가 있다.

2.2.1. 가스침탄

- (가) 보통가스침탄
- (나) 적하식가스침탄
- (다) 고체식가스침탄
- (라) 고온가스침탄
- (마) 고주파가스침탄
- (바) 가스침탄질화(침탄침질)
- (사) 투과침탄
- (아) 복 탄

2.2.2. 액체침탄

- (가) 보통액체침탄
- (나) 액체침탄질화(침탄질화)
- (다) 통전액체침탄
- (라) 초음파액체침탄

2.2.3. 고체침탄

- (가) 보통고체침탄

(나) 통전고체침탄

(다) 유동입자침탄

2.3. 가스침탄(Gas Carburizing)

2.3.1. 보통가스침탄

이것은 methane gas 와 같은 탄화수소가스를 이용하여 침탄하는 방법이다. 그러나 methane gas 는 고온에서 분해하여 검정이 발생하므로, 이를 방지하기 위해서는 침탄성 가스로 변성시킬 필요가 있다. 따라서 원료 가스에 일정한 양의 공기로 혼합하여 변성로(일반적으로 Ni 촉매를 사용한 로)에 보내어 침탄에 적합한 가스로 바꾸는 것이 좋다. 이것을 carrier gas 라 한다. 이의 일반적인 것이 PX 가스(H₂40%, N₂40%, CO20%)이다. carrier gas 의 침탄능력을 carbon potential 이라 한다. 이 carbon potential 를 측정하는 데는 로절계측법, 가스 분석법, 직접계측법 등이 있다. carbon potential 이 높을 수록 강중에 침입하는 C%가 많아지나 carbon potential 이 너무 높게 할 수는 없으므로 carrier gas 에 원료가스를 1~4% 정도 첨가한다. 이것을 증탄(enrich)이라 한다. 이 가스를 침탄용 가스로 사용한다. 즉 이것을 carrier gas 로 하여 침탄로(전기로)에 도입하여 침탄처리하게 된다. 침탄온도는 900~950°C 이며, 이 온도에서 C%의 확산을 일으킨 후 켄칭(유중켄칭, 마르켄칭)을 한다.

가스침탄의 3요소는 온도, 시간, 분위기이며, 침탄깊이는 다음 식으로 표시된다.

$$\text{침탄깊이 } D(\text{in}) = \frac{31.6\sqrt{t}}{10\left(\frac{6700}{T}\right)}$$

t : 처리시간(h)

T : 처리온도(°K)

$$\begin{aligned} D &= K\sqrt{t} \\ &= 0.025\sqrt{t} \dots\dots 927^\circ\text{C} \\ &= 0.018\sqrt{t} \dots\dots 871^\circ\text{C} \end{aligned}$$

2.3.2. 적하식가스침탄(drip-feed carburizing)

이것은 alcohol, glycohol, 초산 ethyl 등 산소를 함유하는 탄화수소에 terpene, benzene 등의 순탄화수소를 혼합한 소위 유기액을 로내에 적하시켜서 침탄하는 방법이다. 특히 두 종류의 액을 침탄사이클의 전기와 후기로 나누어 합리적인 침탄방법을 택하는 경우도 있다. carbon potential 은 유기액의 혼합비로 조절한다. 이 방

법은 변성로를 필요로 하지 않으므로 설비적으로도 또한 취급상 대단히 편리하다.

2.3.3. 고체식가스침탄(solid-gas carburizing)

이것은 침탄원료로서 고형침탄제를 사용하여, 이를 전기로에서 가열하여 발생하는 CO 및 CO₂가스 분위기에 의해 침탄하는 방법이다. 침탄기구는 고체침탄과 같으므로, 가스 발생장치는 물론 인위적 조정은 필요없다.

2.3.4. 고온가스침탄(high-temperature gas carburizing)

종래의 가스침탄은 900°C 전후에서 행해지고 있으나, 980~1010°C의 고온에서 침탄하는 방법이 개발되고 있다. 이를 고온침탄이라 한다. 고온침탄에 의하면 침탄시간이 크게 단축(40~50%)되므로 가격이 싸게 된다. 그러나 고온가열이므로 결정립의 조대화를 염려하여야 하나, 결정립의 조대화는 온도와 시간에 관계하므로 가열시간이 짧으면 그다지 걱정할 필요는 없다. 1010°C × 3h의 침탄은 930°C의 침탄에 비해 거의 비슷한 결과를 나타낸다. 특히 최근에는 고온침탄용강재(V, Ti, Nb 첨가강)가 개발되어 있으며, 고온에 잘 견디는 가열로 및 내열강이 개발되어 있으므로 고온가스 침탄이 더욱 발전할 것으로 생각된다.

2.3.5. 고주파가스침탄(induction gas carburizing)

고주파유도가열과 가스분위기를 조합한 침탄방법으로서 기어 등을 신속히 침탄경화하는 데 활용되고 있다. 가열에 고주파유도에 의한 내열을 이용함으로써 전기로에 의한 외열식과 달리 침탄이 강력하고 신속히 이뤄지는 것이 장점이다.

또한, alcohol 속에 고주파 inductor를 참지하여, 이 속에 침탄켄칭하고자 하는 부품을 삽입하여 alcohol 속에서 고주파가열하는 고주파 alcohol 침탄법도 있다. 가열에 의해 alcohol이 분해하여 적하식과 같은 기구에 의해 침탄된다.

2.3.6. 가스침탄질화(gas carbonitriding)

침탄용가스 RX에 암모니아를 5~10% 첨가한 것을 사용하여 처리온도 750~900°C, 처리시간은 가스침탄보다도 짧게 하여 얇은 경화층을 얻는 방법이다. 강에 대한 처리효과로서는 액체침탄질화와 유사하다. 경화층 깊이는 0.1~0.8mm이다. 침탄질화층은 소입성이 향상되므로 침탄질화와 켄칭처리를 조합하면 C강이나 저합금강을 사용하여도 충분히 경화시킬 수가 있다. 그러나

N는 변태점(A₃, A₁, M_s점)을 떨어뜨리므로, 가스침탄 질화 후의 켄칭에 의해 잔류 오스테나이트가 많아진다. 따라서 이 잔류 오스테나이트의 처리와 대책이 필요하다. sub-zero 처리는 이에 대한 대책의 한 가지이다. 가스침탄질화에 있어서는 암모니아의 첨가량이 비교적 많으나 암모니아의 양이 적고 질화물의 생성이 아니라 질소의 경화능 향상효과, 즉 마르텐사이트생성을 목적으로 한 것은 침탄질화하기 보다는 오히려 침탄침질이 라는 것이 적당하다. 침탄침질한 강은 켄칭, 템퍼링(조질) 처리를 한다.

2.3.7. 투과침탄(homogeneous carburizing)

가스침탄의 carbon potential를 이용하여 표면층만이 아니라 내부까지 균일하게 침탄하여 저C강을 고C강으로 변화시키는 방법을 투과침탄이라 한다. 복잡한 소형 부품(두께 5mm 이하) 등은 연강상태에서 성형가공하고 투과침탄으로 강력한 강으로 만든다. 가공비의 절감 및 die 등의 수명연장이 기대되므로 많이 이용되는 경향이 있다.

2.3.8. 복탄(recarburization)

복탄이란 표면이 탈탄된 것을 가스침탄에 의해 표면의 C%를 소재의 C%로 복귀시키는 처리방법이다. 종래의 침탄과 다른 점은 저C강의 표면 C%를 0.9~1.0%로 만드는 방법이며, 표면과 내부의 C% 차가 크나 복탄에 있어서는 표면과 내부의 C% 차가 없다. 복탄은 skin recovery라고도 하며 spring, bolt 등의 탈탄대책에 응용되고 있다.

2.4. 액체침탄(liquid carburizing)

2.4.1. 보통액체침탄

청화소다(NaCN)를 주성분으로 하는 용융염 중에 부품을 침지하여 NaCN의 분해로서 발생한 C와 N를 동시에 침입확산시키는 방법이다. 처리온도가 700°C 이하의 경우는 주로 질화, 800°C 이상의 고온에서는 침탄이 주체가 된다. 작은 부품의 얇은 침탄에 적합하다. 액체 침탄용염은 상온 및 고온에서 열화하므로 연강박(두께 0.05mm)을 사용하여, 그 성능을 확인할 필요가 있다. NaCN에서 발생한 HCN(시아나화수소)는 유해하며, 공해의 원인이 되므로, 그 취급과 처치에 만전을 다하도록 해야 한다.

2.4.2. 액체침탄질화(liquid carbonitriding)

액체침탄질화는 강을 Ac₁점 이상의 용융청산염 중 침지하여 C와 N를 침입시킨 후 경화처리를 하는 방법이

다. 액체침탄의 경우보다도 표면층의 C가 적으며 N가 많다. 그러나 욕조성과 처리온도를 적당히 선택하며, C와 N의 상대적 양을 조절할 수가 있다. N가 비교적 적고 질화물의 생성이 없고, N를 고용시킬 정도의 경우에는 액체침탄질이라 하는 것이 적합하다.

2.4.3. 통전액체침탄

액체침탄시 부품을 음극, salt를 양극으로 하여 직류전류를 통하여, 소위 전해액침을 하면 더욱 효과적인 침탄이 얻어진다. 이를 통전액체침탄이라 한다.

2.4.4. 초음파액체침탄

초음파는 액체 속을 잘 전파하므로, 이 특성을 이용하여 용융 salt 속에 초음파 발전장치를 침지하여 액체침탄(질화)을 초음파에 의해 증진시키는 방법을 초음파액체침탄이라 한다. 초음파의 적용에 의해 침탄능력은 배로 증가 한다고 한다.

2.5. 고체침탄(Solid Carburizing)

2.5.1. 보통고체침탄

목탄을 주성분으로 하는 고체침탄제에 의한 침탄을 고체침탄 또는 pack 침탄(pack carburizing)이라 한다. 침탄제에는 목탄 + 탄산바리움 15~20%를 사용하여 침

탄상자에 침탄제와 부품을 장입하여 가열(900~950°C)한다. 표면의 C%는 0.85~0.9%가 적당하며, 이를 공석침탄이라 한다. 침탄에 의해 고C로 된 표면층은 켈칭처리로서 충분히 경화된다.

고체침탄은 간단히 심침탄이 되므로 큰 물건의 단체침탄에 적합하나 작업환경이 나쁘고 비능률적인 것이 결점이다. 그러나 설비비는 싸다.

2.5.2. 통전고체침탄

고체침탄의 가열 중에 통전하면 침탄을 고속화할 수가 있다. 즉 침탄제는 목탄이므로 직접통전이 가능하며 60~90V, 3~10A를 직접 통전하면 저온(800°C), 단시간(40분)으로서 침탄효과를 얻을 수 있다.

또한, 가열에 고주파유도전류를 사용하는 것도 통전고체침탄이 되므로 효과적이다.

2.5.3. 유동입자침탄

약 50mesh 이하의 목탄미분말 또는 흑연미분말에 탄산바리움을 혼합시켜 유동입자로 가열하면 침탄분위기 중 가열이 되므로 침탄이 일어난다. 또한, 이 분위기에 암모니아 가스를 통하면 침탄질화가 얻어진다.