

열처리교실

## 강의 침탄경화와 템퍼링가공(II)

김문일

연세대학교 금속공학과

### 1. 각종 침탄방법의 비교

표 1.은 각종 침탄방법의 비교표이다.

### 2. 침탄용강의 선택

#### 2.1. 필요성질

침탄처리에 의해 표면이 공석강성분(0.8~0.9%C)이 되고(초석 ferrite는 피로강도를 떨어뜨린다)(그림 1),

급냉처리로서 martensite 조직(bainite 조직은 없이)으로 되어 잔류 austenite가 15% 이하(5%가 요망)일 것, 또한 표면층의 잔류압축응력을 활용하기 위해 모재의 C%는 0.3% 이하가 요망된다. 표면층의 잔류응력은 case와 core의 C% 차의 함수로 표시된다(그림 2 참조).

#### 2.2. 경화층 깊이

침탄기어의 경우에 core 경도는  $H_R C30 \sim 40$ 이 적당하다. 중요한 것은 경도의 변화구배이다. 이것은 강질과 급냉속도에 의해 결정된다. case의 조직은 case 경화

표 1. 각종 침탄방법의 비교

대별	세 목	가스 침 탄	액 체 침 탄	고 체 침 탄
기 술 면	침탄깊이(mm)	0.1-5.0	0.05-1.2	0.3-5.0
	침탄방지	Cu 도금	거의 불가능	Cu 도금
	침탄온도(°C)	800-950	800-930	900-950
	carbon potential의 조절	노점, hot wire 가스분석	CN 분석	침탄제와 촉진제의 혼합비
	부품의 형상 치수	형상치수와 무관	소형	주조대형
	침탄층의 성질	C(조절용이)	C, N	C(과잉침탄되기 쉬움)
	폐기물	연소배출, 잔류물 없음	CN 잔류유독	묵탄, 점토
작업	연속작업용	간단, 단연속작업용	간단, 단작업용	
관 리 경 제 면	품질관리	용이	용이	비교적 곤란
	안전, 작업환경	양호	나쁨	나쁨
	공해	거의 없음	대	중
	설비비	약간 고가	보통	보통
	일상경비	보통	고가	보통
	생산형태	소중다량	다중중량	다중소량
장래성	유	공해해결이 선결	무	

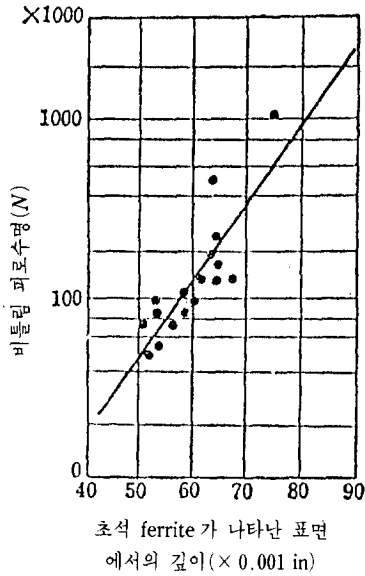


그림 1. 침탄 shaft의 초석 ferrite와 피로강도의 관계

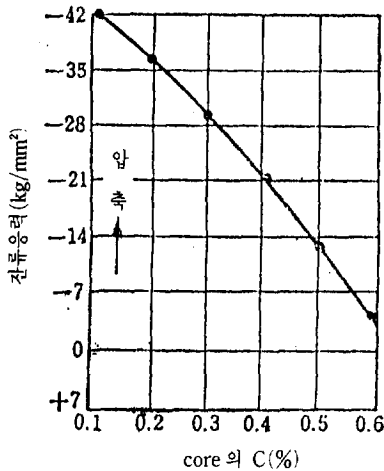


그림 2. core의 C%와 잔류응력의 관계

성, core의 조직은 core 경화성에 의해 변화한다. 표면 경화강의 H band는 core 경화성에 의존한다. 대개의 표면경화강은 침탄후 case 경화성이 충분하며  $H_{RC}58$  이상이다. 그러나 이에 수%의 bainite가 혼합하면 유해하다. 침탄부품의 성능은 경화층 깊이에 좌우되고 있다. 이는 굽힘응력, pitching, 굽힘피로, 압축강도 등에

영향을 주기 때문이다. 급냉경화층 깊이를 증가시키기 위해서는 급냉도를 높이는 것이 좋다.

### 2.3. 내부경도(core hardness)

core hardness는 다음 네 가지 조건에 대해서 중요하다.

(가) 휨, 비틀림, 인장강도에 관계한다.

(나) case의 압축강도에 관계한다.

(다) 형상치수, 강질, C%가 일정하면 case의 잔류압축응력은 core의 martensite 량에 반비례한다.

(라) 형상치수가 일정할 때, core를 완전 martensite로 급냉처리하면 표면층의 잔류압축응력은 C%에 반비례한다.

일반적으로 core hardness는 강질, 급냉속도에 지배되며 침탄방법에는 영향이 없다. 설계자는 소정 깊이에서의 강도를 지정한다. 재료를 다루는 사람은 이 점에 있어서의 냉각속도를 추정한다(Jominy 거리로 환산). 예로서 어느 점에서의  $\sigma_B = 125 \text{ kg/mm}^2$ 가 요구된다면 표면경화강의 템퍼링온도는  $150 \sim 190^\circ\text{C}$ 이므로 템퍼링 처리후의 경도는 다음 식

$$\sigma_B \approx 3.2 \times H_{RC}$$

$$\therefore H_{RC} = \frac{\sigma_B}{3.2}$$

로서,  $H_{RC}39$ 가 된다. 그러나 템퍼링에 의해  $H_{RC}$ 가 떨

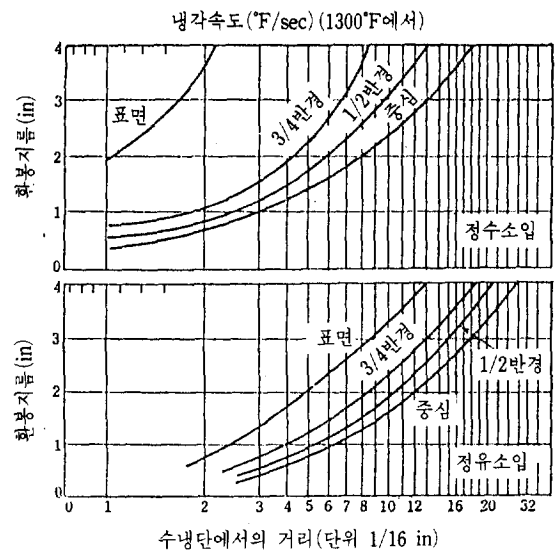


그림 3. 환봉단면각부의 해당 Jominy 거리

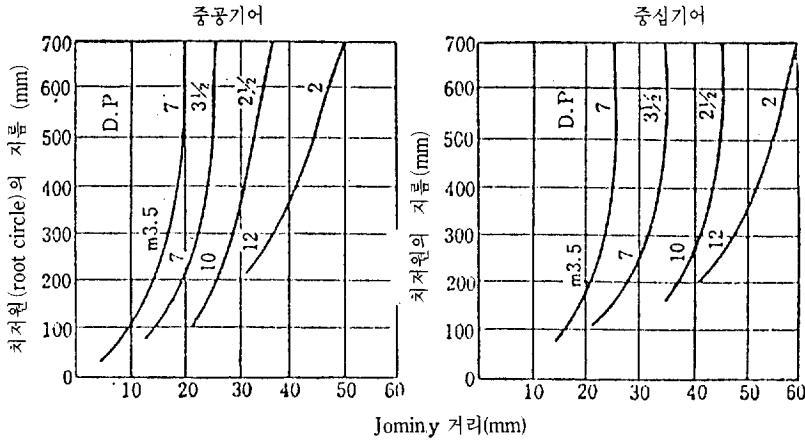


그림 4. 치저중양의 단면경도를 구하는 diagram

어지므로 급냉시의 경도로서는  $HRC41$ 이 필요하다. 또한 이 점에서의 냉각속도가 Jominy 거리의 얼마에 해당하는가를 구하여, 그 Jominy 거리에서  $HRC$ 가 적어도 41인 강종을 선택하여야 한다. 또한 장시간의 피로에 견딜 수 있게 하려면 잔류압축응력의 활용면에서 0.3% C가 좋다. 그림 3은 환봉단면 각부의 해당 Jominy 거리를, 또한 그림 4는 기어 치저(root)중양의 단면경도를 구할 때 해당 Jominy 거리를 나타낸 것이다.

2.4. 침탄용강 선택순서

(가) case가 공식 C%로서, 이것이 완전히 martensite가 될 수 있는 표면 경화강 등급으로 결정한다.

(나) 내마모성 또는 접촉압의 관계로 부터 경화층 깊이를 결정한다(보통은 0.5~1.3 mm).

(다) 소요부위의 냉각속도를 정한다.

(라) 냉각속도를 알면 case의 공식부분 및 core 경도가 경제적으로 얻어지는지의 여부를 검토한다. 합금강이며 소요 core 경도가 얻어지는 C%를 구한다. 그러나 core의 C%가 잔류응력에 미치는 영향력을 알아야 한다(그림 2 참조).

(마) case의 C%를 정한다(0.85~1.00%C가 좋다. 합금강계에서는 0.60~0.75%C).

3. 침탄방지방법

(1) 구리도금.....이것이 가장 확실하다. Cu도금을 필요로 하지 않는 부분에는 초를 바르든가, 또는 vinyl

tape를 감는다. 여분의 Cu도금을 지우려면 초산 50% 수용액으로 닦는 것이 좋다.

(2) 도포제.....No-Carb, Sel-Car, 또는 점토+물초자도포

(3) 침탄제거.....여분의 살을+2 mm 붙여 놓고, 침탄후 제거한다.

(4) 도금제거.....전면 Cu도금하고 blanking 가공하면 절단부위는 침탄된다.

(5) 고주파어닐링.....침탄급냉후 국부어닐링(Cu도금의 대응).

(6) Cu 봉 또는 bolt 삽입, Cu nut의 이용

4. 침탄후의 열처리

침탄에 의해 고C로 된 case를 다시 경화하고 동시에 core를 강인화(외경내유)하기 위해서 침탄급냉경화, 템퍼링 또는 sub-zero 처리를 하는 일이 필요하다.

4.1. 급냉경화

침탄후의 급냉처리 직접급냉과 재가열급냉의 두 가지로 대별할 수가 있다. 이의 적용 및 특성은 표 2와 같다. 또한, 급냉은 주로 유냉 또는 수냉에 의하며 급냉시 변형을 방지하는 데 신경을 써야 한다. 일반적으로 유냉이 급냉시 변형이 적다. 정밀부품에는 press quenching 또는 marquenching을 이용한다. 액체침탄품을 염으로 marquenching 할 때는 폭발의 우려가 있으므로, 일단 경화온도로 유지된 중성염에 넣어 중화하여야

표 2. 침탄후의 급냉방법

대별	급 냉 조 작	침 탄 법	case(강화)			core(강화)	
			결정립	cementite	잔류 austenite	결정립	인성
직 접 급 냉	침탄온도에서 그대로 급냉	고체 액체	조대 미세	고용 고용	다 중	조대 미세	소 중
	적당온도까지 떨어 뜨린후 급냉	가스, 고체	미세	석출용이	소	미세	중
재 가 열 급 냉	일차급냉, 이차급냉	고체	미세	고용	소	미세	대
	이차급냉경화온도에서 급냉	고체, 액체	미세	석출용이	소	조대	소
	일단 550°C 까지 떨어 뜨린후 재가열, 이차급냉 온도에서 급냉	액체	미세	석출용이	소	약간 조대	중

한다.

급냉을 위한 재가열은 전기로, 가스로, salt bath 등에 의하여 표면탈탄을 방지함이 중요하다. 그러므로 침탄후 고주파 가열급냉법을 이용하는 일이 있다. 이에 의하면 표면탈탄이 없으며 급냉시 변형도 적고, 또한 국부경화도 가능하다.

침탄강은 고C강(case)과 저C강(core)의 두 가지로 이루어진 강재로서도 생각할 수 있으므로, 이 두 가지의 S곡선을 이용하여 그림 5와 같이 급냉처리하는 것도 응력이용면에서 볼 때 효과적이다. 이를 austemper marquenching 표면경화법이라 한다.

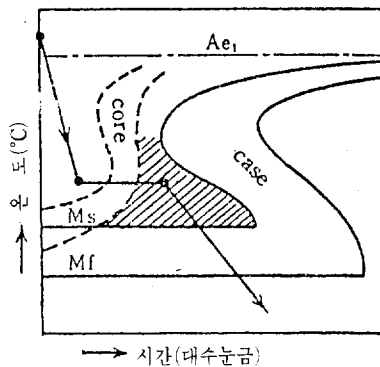


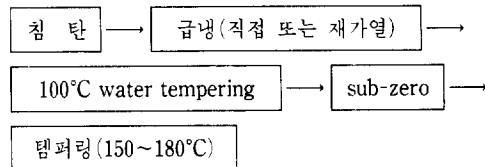
그림 5. austemper marquenching 표면경화법

#### 4.2. 템퍼링

침탄부품에 대한 템퍼링처리는 (가) 표면경도는 그다지 저하하지 않는다, (나) 내마모성 향상, (다) 인성회복, (라) 연마균열 방지를 위해 한다. 템퍼링온도는 150~180°C가 적당하다. 최저의 경우라도 100°C의 water tempering이 필요하다.

#### 4.3. sub-zero 처리

침탄급냉처리의 표면에는 반드시 잔류 austenite가 존재한다. 잔류 austenite는 표면경도를 낮게 하며, 따라서 내마모성, 내피로성을 나쁘게 한다. 그러므로 sub-zero 처리를 하여 잔류 austenite를 martensite화 하는 것이 필요하다. sub-zero 처리는 경화 후 100°C의 water tempering 후 냉각제(dry ice, 액체질소 처리품) 속에 넣는다. dry ice의 경우에는 alcohol를 사용하지 않고, dry ice 위에 처리품을 올려 놓도록 하는 것이 간편하다. sub-zero 온도에서는 수냉 또는 온탕 속에 투입하는 것이 좋다. 그 후는 소정의 템퍼링처리를 한다. 즉 침탄부품에 대한 열처리는 다음과 같이 한다.



## 5. 침탄경화층 깊이의 측정법

침탄경화층 깊이는 급냉경도(200°C 이하의 템퍼링을 포함) 또는 macro 조직으로 결정한다. KS 방법(KS D 0215)에 의하면 유효경화층 깊이( $E$ )와 전경화층 깊이( $T$ )의 두 가지가 있다.

- (1) 유효경화층 깊이( $E$ )…… $Hv513(H_{RC}50)$ 까지의 깊이(50% martensite 조직)
- (2) 전경화층 깊이( $T$ )……모재의 경도까지의 깊이  
또한 실용적으로는 0.40%C까지의 깊이를 채택하는 경우도 있다.

## 6. 침탄급냉·템퍼링의 결함과 대책

### 6.1. 경화불량

(가) 침탄부족, (나) 경화시의 탈탄, (다) 경화온도의 저하, (라) 급냉속도의 느림, (마) 표면잔류 austenite가 너무 많다(sub-zero 처리의 실시, 줄에 의한 쓸기(file test) 활용, (바) 템퍼링의 과도화

### 6.2. 연화점(soft point)

(가) 이상강(rimmed 강, SS 재), (나) 냉각의 불균일(분수냉각의 활용)

### 6.3. 박 리

(가) 탄소농도의 구배급격, (나) 반복침탄

## 6.4. 연마균열

(가) 침탄경화상태의 것을 연마할 때 발생(100~200°C로 템퍼링처리한 후 연마하면 방지된다), (나) 제1종 연마균열(100~200°C 템퍼링으로서 방지)과 제2종 연마균열(300°C 템퍼링으로 방지)의 두 가지가 있다, (다) 연마후는 100°C의 water tempering을 한다(응력제거를 위해).

## 7. 침탄의 5가지 기술적 요점

(1) 침탄층은 무리하게 깊이 하지 말 것. 사용할 면이나 재연마면을 고려하여 일면침탄후의 나머지에 대한 응용을 생각하고, 또한 예각은 침탄중복층이 됨을 잊어서는 안된다.

(2) 침탄은 표면경화강만의 것은 아니며, 표면경도를 요하는 모든 강에 적용된다.

(3) 침탄은 공석침탄이 잘 된다고 하나, 특히 내마모성을 필요로 하는 경우에는 과공석침탄(과침탄)을 하여 cementite의 망상을 절단, 또는 구상화를 만들어 줄 것(TSP 법, Tool Steed Process의 약어). 경화층에 ferrite가 있는 것이 오히려 나쁘다.

(4) 침탄경화층의  $H_{RC}$  경도가 낮고, 잔류 austenite가 많으므로 sub-zero 처리를 할 것. sub-zero 처리후의 안정한 austenite(약 5%)는 shock absorber의 구실을 하여 pitching이나 피로강도를 높인다.

(5) 침탄경화층의 잔류압축응력의 장점을 이용하는 것이 좋다.