

크라이오 처리

Cryogenic Treatment

大和久 重雄

Shigeo Owaku

한국열처리공학회 명예회원

김문일 박사(본 학회 고문)역

1. 서 언

열처리(Heat-Treatment)란, “철강 재료를 비롯한 금속재료를 가열(Heat)-냉각(Cooling or Quenching)을 하여 우리가 원하는 성질을 얻어내는 처리 또는 조작”으로 정의되어 있다. 그러니까 열처리를 온도로서 표현하면, 0°C를 기준으로 하여 그 이상으로 가열하던가, 그 이하로 냉각하던가 또는 가열-냉각을 반복하는 모든 처리가 열처리 범주에 속한다고 말할 수 있다. 그러나 일반적으로 열처리하면 가열하는 처리를 염두에 두게 되지만, 0°C 이하에서의 처리 또한 당연히 열처리의 범주에 속한다고 말할 수 있다.

0°C이하의 온도범위 중 0°C~-100°C까지 사이의 냉각 열처리는 보통 서브처리(Subzero treatment)라고 하고, -100°C이하의 온도에서 처리하는 조작을 크라이오 처리(Cryogenic Treatment)라 하여 크게 구별하여 사용하고 있다. 크라이오 처리에서 이용되는 냉각제(또는 냉매)로는 액체질소(LN₂)가 일반적이나, 액체 산소 또는 액체 헬륨도 생각할 수 있으나, 산소는 산화 문제로, 헬륨은 가격면에서 기피되고 있다. 통상적으로 이용되는 액체질소는 액체 그대로 사용하는 액체법과 기체분위기로 하여 사용하는 가스법이 있는데, 이중 액체법이 가장 많이 이용되고 있다. 크라이오 처리에는, 크라이오 경화(Cryo-quenching), 크라이오 연화(Cryo-tempering), 크라이오 요법(Cryo-therapy)등이 있다.

(1)크라이오 경화 처리는 LN₂액에 Al합금 또는 스테인리스강의 박판을 침지하여 용체화 처리를 하는

공정으로서, 낮은 변형으로 용체화 처리가 가능한 것으로 알려져 있다. 즉 이는 수냉시에는 냉각이 3단계(증기막 단계, 비등 단계, 대류 단계)로 진행되므로 변형이 크게 일어나지만, LN₂액에서의 냉각은 연속적으로 단계 없이 냉각이 일어나기 때문이다.

(2)크라이오 연화처리는, 크라이오처리라고도 하며 급냉경화로 인해 발생하는 잔류 오스테나이트의 마르텐사이트화와 이 마르텐사이트에 대한 저온처리의 중복공정으로서 새로운 화제가 되고 있다.

(3)크라이오 요법은, 온열-저온 급냉에 의해 요통, 신경통, 류마티스 등을 치료하는 의학적 적용 예와 같은 것이다.

2. 크라이오 처리공정

현재 이용되고 있는 표준적인 공정은 LN₂액체법이다. 즉, (1) 강재를 M_s점 이하의 온도로 급속 냉각한다. 이때 발생하는 서브제로 크랙(subzero-crack)을 방지하기 위해서는 살이 두꺼운 부품은 100°C의 뜨거운 물에서 연화처리 하는 것이 좋다. (2) LN₂ 용기에 갑자기 투입해도 된다. -196°C에 도달하는데는 약 30분/25mm가 걸리며 유지시간은 20시간 이상 길게 유지한다. (3) 이상의 처리후에는 수중에 투입하여 실온에 유지한다. 이와 같은 조작을 상향 켄칭(up-hill quenching)이라 한다. 이와 같은 처리로 잔류응력은 약 60%가 해소된다고 한다. (4) 실온으로 복귀한 후는 가열 연화처리하여 냉각한다(post tempering). (5) 경우에 따라서는 크라이오 처

리를 2~3회 반복 시행하는 경우도 있다(Multi-cryo treatment). 그림 1은 크라이오 처리의 일반적인 공정을 나타낸 것이다.

3. 크라이오 처리에서의 현상설명

잔류 오스테나이트(γ_R)를 처리하는 방법으로는 (1) 소성가공적인 처리법과 (2) 열처리법의 두 가지 방법이 있다. 다시, 말하면, 소성 가공적으로 잔류 오스테나이트를 처리하는 데는 소성가공 유기변태(SRIT) 또는, 변태유기 소성(TRIP)을 이용하고, 열적으로 잔류 오스테나이트를 처리하는 데는, ㉓급냉 경화 후 고온 템퍼링 하거나 ㉔서브제로 처리하는 경우가 있다. 위의 ㉓는 2차 경화를 나타내는 고합금공구강(SKH, SKD 등)에 적용하는 공정으로서 급냉 경화 후 바로 고온 템퍼링 (400~690°C) 처리를 하면 잔류 오스테나이트로부터 탄화물의 미립자가 석출하여 고용도가 낮아진 잔류 오스테나이트는 냉각으로 마르텐사이트화 한다. 즉, 급냉 경화후의 가열(Tempering) 냉각의 한 스타일이다. 이것을 일반적으로 경질연화(Temper hardening)라 하는데, A의 고온조건 만들기(Austenite conditioning)이라 하는 것이 알기 쉽다. 즉, 잔류 오스테나이트에서 탄화물을 석출시켜 마르텐사이트화 로의 조건을 만들고, 계속 처리되는 냉각으로 잔류오스테나이트의 마르텐사이트화를 완성하는 것이다.

㉔의 서브제로 처리에는 ㉑보통서브제로처리와 ㉒초서브제로처리(크라이오처리)의 두 가지가 있다. ㉑의 보통 서브제로 처리는 M_s 온도 이하로 급냉 후 바로 0°C 이하로 급냉한다.

잔류 오스테나이트는 어썬말(athermal, aniothermal, 비등온적, 온도의존형)로 마르텐사이트화 한다. 물론 등온유지는 필요 없다. 그 후 실온으로 유지한 후 연화처리(tempering) 한다.

그림 2는 보통 서브제로처리의 패턴이다.

㉒의 크라이오처리는 강을 M_f 점 이하까지 급냉하여 그 온도에서 장시간(20시간 이상) 유지(isothermal)한다. 그 후 급속히 실온으로 올린 후 (up-hill

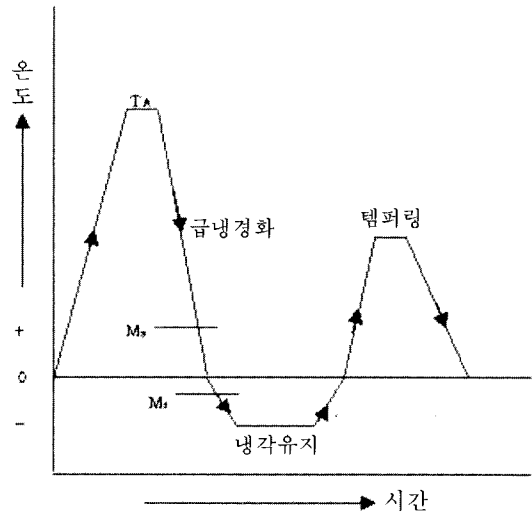


그림 1. 크라이오 처리의 모식도

quenching) 연화(tempering) 한다. 냉각은 M_f 점 이하임으로 잔류오스테나이트는 전부 마르텐사이트로 변태한다. 이것을 장시간 냉온 유지하여 마르텐사이트의 분해와 탄화물 미립 석출의 준비 등의 조건을 만들어 계속되는 연화가열로 이를 완성하는 것이다. 이와 같은 것을, 마르텐사이트의 저온조건 만들기(Martensite conditioning; M. conditioning)라 한다. 잔류 오스테나이트를 온도로 처리하는 데에는, 오스테나이트 저온 조건 만들기의 두 종류가 있다. 고 합금공구강에 대해서는 마르텐사이트 조건 만들기 즉 크

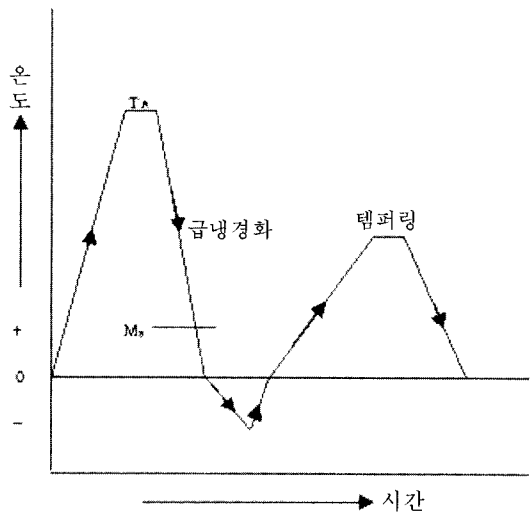


그림 2. 보통 서브제로의 모식도.

* 주: Conditioning(조건화); 과냉 또는 잔류 오스테나이트가 고용하고 있는 고용성분을 적게 하기 위한 재가열처리

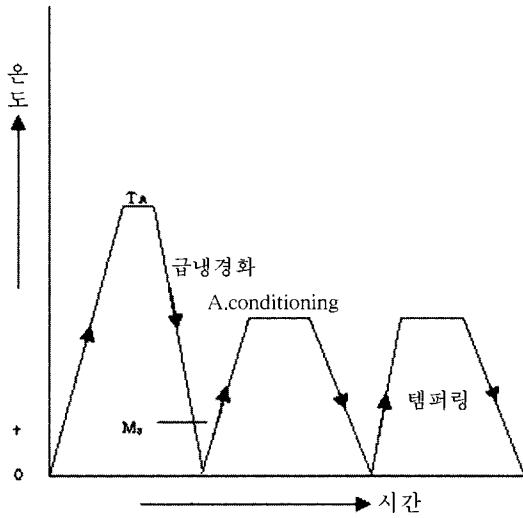


그림 3. A. conditioning의 모식도.

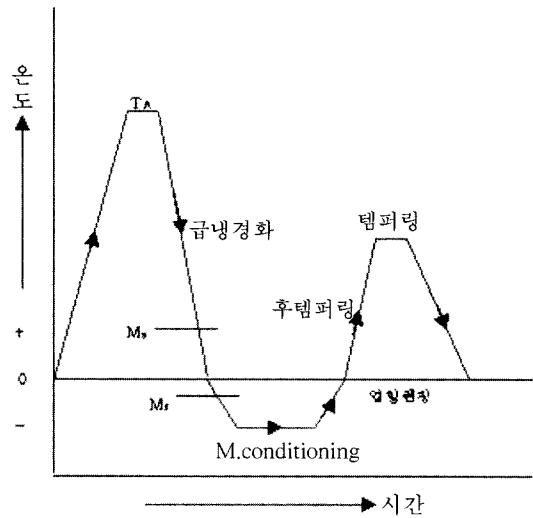


그림 4. M. conditioning의 모식도.

표 1. 크라이오 처리에 의한 진가의 일람표

	회사명	강재 제품	수명	구리제품	수명
미국	포드사	드릴, 카터, 브로치	× 2	전극	× 2
	크라이스라사	홈, 스리터 톱	× 1.5~1.5	전극	× 2~2.5
		브로치 (M2 HIS)	× 2		
	사디파이드 공업사	엔드 밀 (7/8 직경)	× 3.8		
	양에테크트로닉 메탈사	펀치, 다이스	× 2		
		AI 합금용 다이스	× 10~30		
	IBM 사	분말성형용 스탬프			
		다이스	× 3		
	덴센스틸사	스릿터 칼	× 4.5		
	말세판크손사	카터	× 4		
	인터오피스메모			전극	× 6
	오토롯도오일스 사			전극	× 5
	스탄핑하우스사		× 4.5	전극	× 3
	비그스리사		× 4	전극	× 6~8
일본	K 사	SKD11 목재용 Chipper	× 3		
		초경목재용 칼	× 2		
	O 사	SKD11 펀치	× 4		
		SKD11 다이스	× 3		
		SKH 카터	× 2		
		SKD11 다이스	× 3		
	F 사			Cu 전극	× 3
			황동화구	× 2	

라이오처리가 유효적절하다. 그림 3과 4는 오스테나이트 조건 만들기(Austenite conditioning; A. conditioning)와 마르텐사이트 조건 만들기(Martensite conditioning)를 모식도로 나타낸 것이다.

4. 크라이오처리

크라이오처리의 진가는 공구의 내마모성 향상이 우선이며 그 다음은 경도의 향상 또는 치수의 안정성을 들 수 있다. 특히 크라이오처리는 마르텐사이트 만들기에 의한 결정의 미세화, 탄화물의 미립석출에 의해 내마모성이 크게 향상 되는 것이 특징이다. 또한, 크라이오 처리는 초경합금(소결합금)또는 Cu합금의 내마모성 향상에도 유효하다고 알려져 있으나 그 원인은 아직 명백하지 않다. 표 1은 크라이오처리에 의한 진가의 예를 표시한 것이다.

5. 앞으로의 연구과제

크라이오처리는 서브제로처리에 의한 잔류 오스테나이트의 마르텐사이트화와 이 마르텐사이트의 저온 조건 만들기를 합하여 수행하는 공정이다. 그 결과

경도는 보통서브제로처리 때와 별다른 차이는 없으나, 내마모성이 크게 향상되는 처리다. 따라서 이 크라이오 처리의 연구과제는 마르텐사이트의 저온 조건 만들기의 해명하는 데에 있다. 즉 ㉠ 급냉 정화 후의 실온방치의 영향 ㉡ 저온유지 시간의 영향 ㉢ 연화처리(tempering)온도의 영향 등등...을 연구할 필요가 있다. 또한 마르텐사이트의 저온 조건 만들기에 의한 탄화물의 미세석출 및 결정립의 미세화 등을 조직학적으로 확인할 필요가 있다. 이에는 경도면에서나 전기저항면에서 조사할 필요가 있다. 기타 multi-cryo 처리의 진가를 확인하는 일, 또는 초경합금(소결합금), Al합금, Cu합금 등에 대한 크라이오 처리의 진가를 시험하는 일도 흥미있는 일이라 하겠다.

끝으로 크라이오처리한 공구강 또는 비철합금에 대해 내마모성 성능시험을 실증하는 것도 바람직한 일로 생각된다.

추가: 최근의 보고에 의하면 ASM의 HTS에 Cryogenics Technology Groupe이 설립되어 이 방면의 연구개발이 활발해지고 있다고 함.