

열처리교실

## 수중급냉처리의 활용

김문일

연세대학교 금속공학과

최근 산업분야에서는 자원절약, 코스트의 저가대책이 활발하게 이루어지며 기계공업, 건설업분야에서 사용되는 열처리 강재로서 탄소강과 같은 저급강의 용도확대가 연구되고 있다.

일반적으로 강종, 용도에 의해 열처리 방법조건을 고려해야함은 알고있는 사실이다. 특히 경화능이 낮은 탄소강을 사용하는 경우 그 특성을 충분히 발휘시키기 위해서는 수중급냉경화가 요구된다.

이와같이 강종에 따른 적절한 경화방법 조건부여에 의해 탄소강을 이용한 부품에서도 합금강을 사용하여 유중경화처리한 부품보다 코스트는 싸고 품질면에서도 우수한것이 얻어짐은 사실이다. 이외에도 고장력 볼트, 용접성이 좋은 조철형 고장력강판등 모두 탄소강 또는 보른 강을 사용하여 수중경화처리 함으로써 가격면에서도 품질면에서도 모두 우수한 성과를 얻고 있다. 반면에 수중처리는 균열, 변형 등의 발생이 잘 일어난다.

다음에 수중경화처리에서의 기본적 사고 방법, 효과등을 기술해 보기로 한다.

### 1. 수냉의 기본

#### 1.1. 냉각과정

그림 1은 강재를 수냉경화할 때의 냉각과정을 나타낸 것이다. 제 1 단계는 급냉시간 부품주위의 물에 의해 급냉된다. (A-B 구간) 제 2단계에서는(B-C 구간) 증기로 인해 부품의 냉각속도가 늦어지며 이 구간이 길수록 불안정경화 또는 연화점의 발생이 쉽게 일어난다. 제 3 단계(C-D 구간)는 증기막이 파괴되어 부품표면의 냉각이 신속히 진행되는 구간이다. 제 4 단계(D-E 구간)에서는 물의 대류로 냉각된다. 증기막단계부터 비등단계

로 옮겨가는 온도를 특성온도라 한다.

#### 1.2. 냉각수의 냉각능과 강의 경화능

냉각도중에 발생하는 Ar'변태는 그 강재의 코부근(TTT곡선에서) 500-600℃에서 가장 빨리 나타난다. 이 부근을 급냉하는 것이 경화처리에서 가장 중요하다. 처리부품은 그 용도에 따라서 설계상의 요구로서 표면하의 일정한 위치 또는 중심까지 완전경화됨을 요구한다. 이를 위해서는 냉각수의 냉각능과 이에 적합한 경화능을 가지는 강이 필요하다.

냉각수의 냉각능은 Grossmann 등에 의해 제창된 냉각도(H)로서 냉각제의 냉각능을 평가하는 방법이 보편적이다. 즉, 부품이 급냉됐을 때 부품중심부의 열은 표면부로 이동하여 이때의 열전도도(cal/in.sec.℃)를 K로 하고 부품표면부터 냉각수를 향해 열이 방산될 때의 열

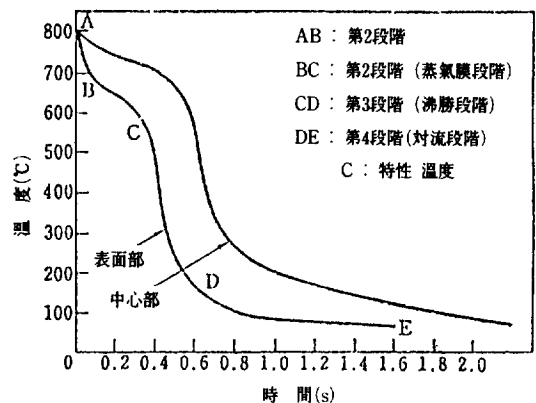


그림 1. 증류수에 급냉한 지름 10mm 강의 원주시편의 냉각곡선(수온 20℃).

전도율(cal/in<sup>2</sup>.sec.°C)을 C 라 하면 냉각도(H)는

$$H = \frac{1}{2} \frac{C}{K} \text{ cm}^{-1}$$

로 표시된다.

단 냉각은 Newton 의 법칙에 따르고 열전도율은 온도에 의해 변화하지 않고 변태에 따른 발열은 무시하는 등의 가정이 따르고 있다.

이 H 값은 냉각제의 종류 또는 교반상태에 의해 변화하며 표 1은 Grossmann 에 의해 구한 값이다.

그림 2는 H 값 = 1.5in<sup>-1</sup>의 환봉의 지름에 따라 표면으로부터의 내부의 위치와 조미니거리의 관계를 표시하였다.

그림 3에 강의 경화능곡선을 표시하였으며 그림 2와 대비하면 경화상태를 판단할 수 있을 것이다.

환봉의 강을 급냉한 순간 그 표면이 냉각제의 온도가 되는 이상적인 급냉도(H = ∞)를 가정할 경우 그 중심

표 1 교반상태에 의한 냉각제의 H 값(in<sup>-1</sup>).

	기름	물	염수
교반 없음	0.25-0.30	0.9-1.1	2
약간 교반	0.30-0.35	1.0-1.1	2.0-2.2
중간 교반	0.35-0.40	1.2-1.3	
보통 교반	0.4-0.5	1.4-1.5	
강한 교반	0.5-0.8	1.6-2.0	
격렬한 교반	0.8-1.1	4.0	

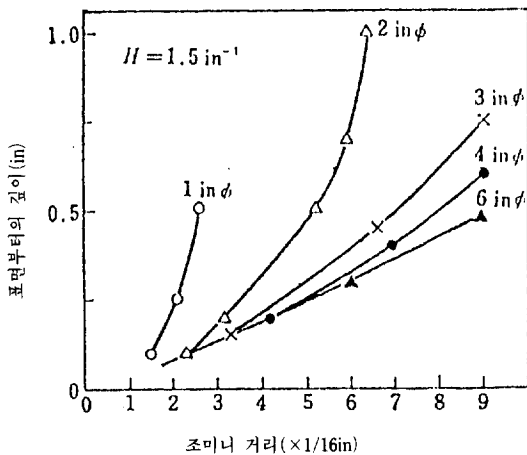


그림 2.

이 50% 마르텐사이트로 경화하는 환봉의 지름을 이상 임계직경(D<sub>i</sub>)이라 하며 이 값으로 강재의 경화능의 대소를 나타낸다. 이는 Grossmann 등에 의해 조미니 시험부터 도출되어 강의 성분량에 의해 정해진 경화능배수에 의해 계산으로 구할 수 있다.

### 1.3. 냉각방법

앞에서 설명한 바와같이 증기막단계에서는 냉각속도가 늦어짐으로 연화점의 발생, 불완전경화가 일어난다. 특히 경화능이 낮은 강일수록 심하다. 따라서 냉각조내를 강하게 교반하든가 공중분사법 등에 의해 증기막의 생성을 막으므로써 특성온도를 고온쪽으로 이동시키는 냉각방법을 이용하여야 한다.

그림 4는 냉각조내의 교반강도와 H 값의 관계를 나타

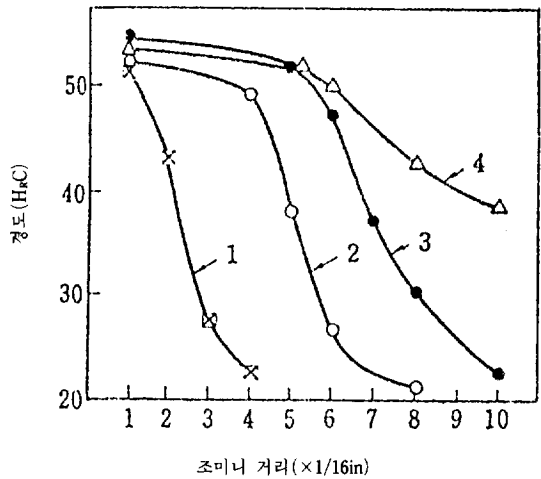


그림 3.

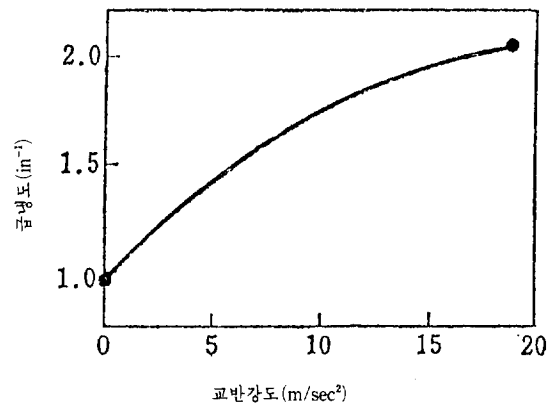


그림 4.

냈으나  $H = 2.0in^{-1}$ 은 최고값으로서 실용적으로는  $H = 1.5in^{-1}$ 가 적합하다. 요는 가능한한 균일하고 급속한 냉각에 중점을 두어야 하겠다. 불완전한 경화는 응력불균일을 초래하고 균열, 변형을 유발하기 쉽다. 또한 냉각을 빨리하기 위해서는 염수 또는 낮은 온도의 냉각수의 사용은 농도, 온도관리가 불안정하게되고 또한 설비의 증대를 가져오게된다. 30-40°C의 수온관리가 가장 적절하다.

## 2. 균열대책

수중급냉에서 항상 문제가 되는 것은 균열이다.

균열은 급냉에 의한 부품내외에 발생하는 온도차에 의한 수축 또는 변태에 기인한 팽창에 의한 응력 특히, 인장응력이 그 온도에서의 변형능을 넘었을 때 발생하는 취성파괴의 일종이다. 따라서 대책으로는 어떻게 이 유해한 응력의 발생을 적게하는가, 응력집중을 완화하는가에 의존하게 된다. 그러나 부품의 형상은 불균일하고 경화처리시 발생하는 응력분포크기를 안다는 것은 어려운 일이다. 그러나 강재 및 열처리특성, 열처리공정관리 또는 과거의 경험등에의해 방지할 수 있다.

### 2.1. 재료의 선정

일반적으로 C 함량이 많은 강재일수록 균열이 발생이 쉽고 특히 C 양의 영향이 크며 0.45% C 이상에서는 소성변태능은 거의 없어짐으로 균열에 대한 영향이 크다. 따라서 설계상 허용되는 최저 C 양의 강재를 사용해야 한다.

재료선정에서 설계자는 이 점 충분히 인식해야 한다. 표면의 요구경도와 이에 필요한 강의 C 함유량의 지침을 표 2에 표시하였다.

### 2.2. 잔류열 관리

냉각 시간을 관리하므로써 경화부품을 냉각수온도까지

냉각하지 말고 150-230°C 범위 내의 소정의 잔류열을 가진 상태에서 인상하여 Ms점 통과 후의 냉각을 완만하게 하여 자체 템퍼링(self tempering) 효과를 주므로써 균열방지 효과를 기하면서 부품의 용도에 따른 재가열(tempering)을 생략하게 된다. 이렇게 하므로써 에너지 절약, 가격저하에도 기여하게 된다.

### 2.3. 수용성 기름의 첨가

균열대책의 하나로서 수용성 기름을 냉각수에 첨가하여 냉각능을 저하시키는 방법이 최근에 이용되고 있다. 이는 수중에 분산된 기름입자에 의한 기포의 분산이 방해되기 때문에 증기막이 강하게 되고 특성온도가 낮아지고 증기막 단계가 길어진다. 그러나 이를 강하게 교반하면 특성온도는 상승하고 충분한 급냉도가 얻어지나, 비등단계에서의 냉각속도는 물에 비해 늦고 Ms점의 통과도 완만하게 되므로 균열방지의 대책이 된다.

### 2.4. 가열분위기

가열로의 분위기 가스로는 흡열가스가 자주 이용되나, 이 가스에는 다량의 H<sub>2</sub>(약 30%)가 함유되므로 균열, 지연파괴가 발생하기 쉽다는 보고가 있다.

이 대책으로는 발열형 가스를 사용한다던가 흡열형 가스에 공기를 혼입하여 방지하는 방법이 있다. 또한 일반적으로 강 부품의 표면에 탈탄층이 있으면 균열발생이 용이하다고 한다. 그러나 이는 고탄소강을 사용하여 불완전 탈탄의 경우이며 저탄소 및 중탄소강을 사용하여 탈탄한 경우는 경화결과 표면에 인장잔류응력이 발생하더라도 소성변태가 있고 특히 예리한 부분이 있는 부품의 균열방지에는 오히려 효과가 있다.

다만 부품에 따라서는 표면탈탄은 부적합한 경우도 있고 모두에 적용시킬수 있는 대책은 아니다.

### 2.5. 냉각수의 온도관리

냉각수의 온도를 일정범위내로 관리한다는 것은, 잔류열, 냉각능을 일정하게 유지한다는 점에서 필요하다.

특히 여름, 겨울 또는 작업개시시와 종료시에는 수온의 변화가 심하고 일정온도범위로 유지하기 위해서는 열교환기, 냉각탑의 설치가 필요하다.

이 온도는 낮으면 설비가 증대하고 높으면 급냉도가 저하하여 불안정하게 된다. 30-40°C가 적당하다.

### 2.6. 부품형상

비교적 단순한 형상의 부품은 균열을 발생하기 어려우나, 예리한 모서리, 단면의 급변부의 부위, 偏肉脛를 가지는 부품은 위험하다. 실제작업에서 균열을 경험하

표 2 표면경도와 강재의 C%.

	C 함유량(%)	표면경도
S 50 C	0.47-0.53	HRC 60 이상
S 45 C	0.42-0.48	HRC 58 이상
S 40 C	0.37-0.43	HRC 55 이상
S 35 C	0.32-0.38	HRC 52 이상
S 30 C	0.27-0.33	HRC 50 이상

는 경우는 이들 부품형상에 문제가 있는 경우이며, 설계단계에서 미리 주의해야한다.

### 2.7. 재료결함

균열의 검사법으로서 자분탐상법이 많이 이용되고 있다. 재료결함이 균열발생에 직결되는 예는 적으나 이는 전문적인 검사원에 의존하는 수 밖에 없다.

## 3. 결 언

수중경화처리의 성공을 위해서는 열처리기술의 향상은 물론이지만 관계 부문의 이해와 협력이 불가피하다.

일부 중복되는 점도 있겠으나 다음과 같이 마무리하겠다.

1) 설계상 요구되는 강도, 표면경도를 만족하는 최소한의 탄소량을 가진 강재를 사용하여 불필요한 단면급변부가 있는 형상은 피할 것.

### 2) 생산기술

#### ① 적절한 수중급냉 설비의 도입

과거의 열처리는 가열방법, 가열설비에 중점을 두었으나 경화능이 적은 탄소강에 적용하는 수중급냉에는 냉각방법, 설비에 각별한 배려가 필요하다.

#### ② 적절한 작업표준의 판정

균열방지 변형이 최소화를 위한 수중급냉에서 꼭 구비해야할 것은 작업조건 즉 규정이 잔류열을 얻기위한 급냉시간, 냉각수의 온도, 분사압력, 수용성 기름의 농도, 가열로의 분위기, 부품의 급냉자세를 명확히 규정하는 일이다.

#### ③ 기계가공

예리한 모서리 등의 제거 및 각인을 피할 것.

#### ④ 열처리

#### ④ 작업표준의 엄수

결함방지 또는 원인추구를 위해서도 규정된 작업표준을 지켜 작업해야하며 불량품의 발생을 최소화 하기 위해서도 작업자에 의한 작업간의 자주성을 확인할 것.

#### ⑤ 설비점검, 보수.

설비의 점검, 보수는 항상 철저히 할 것.