

技術解説

구조용강의 퀴칭 및 템퍼링시 발생하는 결함과 대책 Defects Formed during Quenching and Tempering in Structural Steels and their Preventions

점 대 완 · 장 희 상

한국중공업(주) 단 조 부

구조용강의 퀴칭, 템퍼링시 자주 발생하는 문제점에 대하여 그 대표적인 예를 추려서 그 현상, 원인, 대책을 소개하고자 한다.

1. 구조용강의 퀴칭에 발생하는 결함과 대책

1.1 퀴칭경도미달과 경도불균일

1) 현상

- 퀴칭한 구조용 가공재가 재질요구 사양에 대하여 전체적으로 경도가 미달되는 경우
- 국부적으로 경화가 되지 않는 부분이 발생하는 경우
- 표면경도가 불균일한 경우

2) 원인과 대책

1. 원인 : 퀴칭전 소재에 흑피나 탈탄층이 존재

2. 대책 : 흑피나 탈탄층이 깊으며, 가공여유가 많을 경우는 가공으로 제거하고 가공여유가 작을 경우 먼저 흑피를 솟 블래스트(Shot Blast)나 산세로 제거한 후 탈탄층을 복탄하기에 필요한 분위기와 시간을 선정하여 복탄하여 퀴칭, 산세를 할 때 그 영향으로 생기는 수소취성을 예방하기 위하여 퀴칭전에 200°C에서 열처리를 행한다.

예 : 강종 SCM 435, 화학성분이 0.35 C, 0.21 Si, 0.7 Mn, 1.0 Cr, 0.2 Mo 이고 탈탄층의 깊이가 0.5 mm 인 경우 복탄 재 퀴칭에 대하여 기술하면

(1) 복탄 분위기의 계산

이 가공재료의 C%은 0.35 이지만 그의 성분에 대한 보정은 C.DAWES 의 계산에 따르면

$$C_p = C_f, C_m$$

C_p : 처리분위기의 Carbon potential

C_f : 보증계수, C_m : 필요로 하는 탄소농도

$$\begin{aligned} \text{Log } C_f &= 0.055 \text{ Si}\% - 0.013 \text{ Mn}\% \\ &\quad - 0.04 \text{ Cr}\% + 0.014 \text{ Ni}\% - 0.013 \text{ Mo}\% \end{aligned}$$

위의 가공재료의 성분을 상기식에 대입하면

$$\begin{aligned} \text{Log } C_f &= -0.0407, C_f = 0.91 \\ C_p &= C_f, C_m = 0.91 \times 0.35 \approx 0.32 (\%C) \end{aligned}$$

(2) 퀴칭에 온도계산

$$\begin{aligned} \text{퀴칭온도 } H^\circ C &= \text{오스테나이트화온도 } A_{c_3}^\circ C + \alpha \\ A_{c_3}^\circ C &= 908 - 223.7 C\% + 30.49 \text{ Si} - 34.43 \text{ Mn}\% \end{aligned}$$

이 소재의 성분을 상기식에 대입하면

$$\begin{aligned} A_{c_3}^\circ C &= 811.7 \approx 810^\circ C \\ H^\circ C &= A_{c_3} + \alpha \text{ 를 } 30^\circ C \text{ 로 하면 } H^\circ C = 840^\circ C \end{aligned}$$

(3) 열처리 시간의 계산

복탄처리를 소입온도에서 행하는 것으로 하면 840°C 이다. 이 온도에서 0.5 mm 깊이의 탈탄층을 복탄하기 위해 HARRIS 의 식에 따르면

$$CD + K \sqrt{t}$$

CD : 표면깊이(복탄깊이)

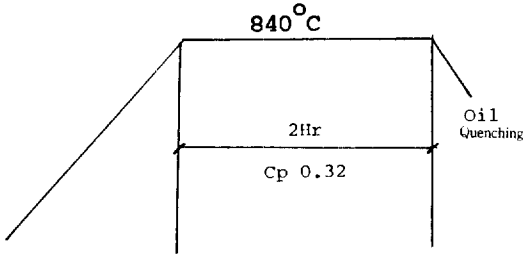
K : 열처리 온도의 계수, 840°C에서 K=0.365

t : 처리시간 Hr

$$\text{상기식을 대입하면 } t = \left(\frac{CD}{K} \right)^2 = \left(\frac{0.5}{0.365} \right)^2 = 1.87 \approx 2 \text{ Hr}$$

(4) 복탄퀴칭 처리프로그램

(1), (2), (3)에 따라 처리프로그램을 작성하면 다음과 같이 된다.



2. 원인 : 퀘칭가열분위기가 적절하지 않기때문에 가공 재료에 산화피막이나 탈탄층이 발생

대책 : 1항의 대책과 동일

3. 원인 : 노(Furnace)유효가열 구역내의 온도정도가 나뉘거나, 가열온도의 설정이 너무 낮거나, 가열시간부족 때문에 오스테나이트와 페라이트 공존역 또는 페라이트 영역에서 소입냉각

대책 : 노(Furnace)유효가열구역내의 온도정도는 양호한 소재품질을 얻기 위해서는 적어도 퀘칭 가열 온도 $\pm 15^{\circ}\text{C}$ 이내에 유지될 수 있도록 설비정비 및 관리, 만약 온도정도가 양호하지 않은 경우는 노내각점의 온도를 측정해서 소재에 맞는 온도구역을 이용하는 것이 좋다. 소입온도를 설정하는 경우는 유효가열구역의 최저온도가 계산된 오스테나이트화온도($A_{c3}^{\circ}\text{C}$)보다 약간 높은 온도가 될 수 있도록 앞에서 언급한 바와같이 $H^{\circ}\text{C} = A_{c3}^{\circ}\text{C} + \alpha^{\circ}\text{C}$ 의 값을 적절히 선택하는 것이 필요하다. 가열시간에 대해서는 표 1의 가열시간에 가공설비에 따라 소재가열 지연시간을 추가하면 된다.

4. 원인 : 소재가 복잡한 형상일때는 그의 凹부, 수퀘칭시의 기포부착, 오일퀘칭일 경우 퀘칭유에 수분이 혼합된 경우 등 부분적인 냉각지연에 의해 경도편차가 발생한다.

대책 : 가공재료가 균일한 퀘칭경도를 나타낼 수 있는 퀘칭을 하기 위해서는 재료의 각 부분의 균일한 가열,

표 1. 칫수에 따른 퀘칭 가열시간

가열설비	칫수(직경) mm	가열시간(분)
Batch 로	25	15-25
	50	30-40
	100	60
Salt 로	25	10-15
	50	15-20
	100	25-35

균일하게 냉각하는 것이 필요하다. 그러나 가공재료의 성분이나 결정립은 반드시 균일하지는 않다. 칫수, 형상은 특별한 경우를 제외하고는 거의가 불균일하다. 가열설비의 유효가열구역은 온도정도가 좋은 설비라도 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 의 편차가 있다. 냉각설비의 냉각능은 냉각제 각각의 기본성능이 다르고 냉각제의 양, 교반의 강약, 유동방향의 차이 등에 의해 가공소재의 각부분을 균일냉각하는 것은 실제로 불가능하다. 그러나 창의적인 연구에 의한 균일가열, 균일냉각에 가능한 근접하게하는 노력이 절대적으로 필요하다.

5. 원인 : 가공소재가 화학성분, 결정립의 크기, 칫수, 형상등의 이유때문에 필요한 퀘칭경도를 얻는 것이 부적당하다.

대책 : 고성능의 냉각제와 강한 교반력이나 Jet 분사 등 가능한한 냉각설비를 조합해서 냉각능을 강화하므로 필요한 경도를 얻을 수 있는 것은 이 방법을 적용한다. 가공소재의 성분, 결정입도, 질량 등을 고려하여 계산한 냉각능을 최대한하여도 퀘칭경도를 얻는 것이 불가능하면 가능한한 가공소재의 가공여유를 줄이거나 Hole 을 뚫어서 질량효과를 작게한다. 그래도 필요한 경도를 얻을 수 없는 경우는 용이하게 경도를 확보가능한 강종의 가공재료로 하던가 침탄소입, 질화, 고주파소입등의 표면경화방법을 적용한다.

6. 원인 : 가공재료의 결정입도가 불균일하거나 편석이 있기때문에 균일한 소입성을 얻는 것이 불가능하다.

대책 : 확산아닐링이나 결정립 조정아닐링을 실시한다.

7. 원인 : 퀘칭냉각제의 냉각능, 냉각제의 양, 교반능력 냉각제의 적정온도 유지를 위한 가열 및 냉각기구의 조정 능력등의 부족때문에 소재의 퀘칭속도가 임계냉각속도 상부와 하부중간에 있거나 상부보다 늦게 냉각

대책 : 냉각능이 높은 냉각제를 사용하던가 첨가제를 첨가하여 냉각능을 향상시킨다. 냉각제의 양에 대해서는 퀘칭 전의 냉각제의 온도와 퀘칭 후에 상승하는 온도가 적어도 물일 경우 20°C , Oil 일 경우 50°C 이내로 하는 것이 바람직하다. 다음은 퀘칭오일량의 계산의 한 예를 나타낸다.

$$\text{오일량(L)} = \frac{\text{소재중량(kg)} \times \text{강의 비열} \times (\text{소입온도} - \text{인상온도})^{\circ}\text{C}}{\text{오일의 비열} \times \text{오일의 비중} \times \text{오일의 허용상승온도}^{\circ}\text{C}}$$

각 항을 다음과 같이 가정하여 계산하면,

소재중량 : 1.000 kg

강의 비열 : Ferrite 0.17

퀀칭 온도 : 840°C

인상온도 : 80°C

Oil의 비열 : 0.497

Oil의 비중 : 0.938

Oil의 허용상승온도 : 50°C

$$\text{오일량} = \frac{1,000 \times 1.17 \times (840 - 80)}{0.497 \times 0.938 \times 50} = \frac{129,200}{23.3093} \approx 5,542 \text{ L}$$

1.2 변형

1) 현상 : 퀀칭변형이라는 것은 퀀칭에 의해서 생기는 형상 혹은 치수의 변형을 나타낸다.

2) 원인 : 소재를 가열냉각할 때 냉간가공 등으로 생긴 잔류응력과 온도변화, 내외의 온도차, 변태등에 의한 열응력 및 변태응력이 복합적으로 작용해서 변형을 유발시킨다.

3) 대책 :

1. 소입성이 높은 소재는 퀀칭시 냉각제의 냉각능이 낮아도 필요로 하는 성능을 얻는 것이 가능하다. 따라서 천천히 냉각해서 열응력이나 변태응력을 경감시켜서 변형을 작게 한다. 또한 소재가 균일한 쪽이 변형이 적다. 다시 말하면 탄소강보다 합금강, 림드(Rimmed)강보다 킬드(Killed)강 쪽이 변형이 적다.

2. 단조에 의해서 생기는 밴드조직(Band Structure)가 중심선에 평행하면 할수록 벤딩이 적다. 즉 단조시 중심선이 잘 유지되도록 단조하면 벤딩을 줄일 수 있다.

3. 소재에 홈이나 홀(Hole) 가공은 가능한한 퀀칭 템퍼링 후에 행한다. 가능한한 챔퍼(Chamfer)나 라운드(Round)는 크게하여 단순형상으로 가공한다.

4. 필요하다면 퀀칭전에 가공응력제거 응력제거열처리를 실시한다.

5. 흑피나 탈탄층을 제거한다. 흑피나 탈탄층은 퀀칭시 그 정상적인 성분의 부분에 비하여 퀀칭에 의한 팽창량이 적다. 이때문에 표면에 인장응력이 생겨서 재료의 강도와 균형이 붕괴되면 변형이 일어난다.

6. 급속가열을 피한다. 복잡형상의 제품은 승온시 탄성 소멸온도 및 변태온도 부근에서 내외부가 균일하게 가열 되도록 유지하여 소재 내외부 온도가 거의 균일하게 되면 퀀칭온도까지 승온한다.

7. 가열시 소재의 지지(Support)가 부적합하면 자중에

의해 변형되기도 하고 가열시 온도편차에 의해서 변형된다. 자중에 의한 벤딩을 방지할 수 있고 균일하게 가열될 수 있도록 장입한다.

8. 지그(Jig)나 픽스처(Fixture), 지지대(Support)를 이용하여 가열냉각 혹은 변태에 의한 수축팽창의 영향을 감소시켜 변형을 감소시킨다.

9. 소재가 균일한 오스테나이트화 될 수 있는 온도범위에서 가능한한 낮은 소입온도를 선택해서 열응력에 의한 변태를 감소시킨다.

10. 수직, 경사, 회전, 분사, 오스템퍼링, 마르템퍼링 등 강종, 형상, 치수, 소입특성을 고려하여 변형이 적은 적절한 퀀칭방법을 채용한다.

11. 퀀칭냉각제의 온도와 교반방법을 적절히 조합한다.

12. 유사한 소입성의 강종, 치수, 형상이 같은 소재의 실적 등을 이용하여 변형량을 예측하여 변형량에 적합한 가공여유를 준다.

13. 퀀칭한 소재의 변형교정이 용이하도록 퀀칭 롯드(lot)내의 재료의 변형이 일정방향에 일정량으로 될 수 있도록 처리한다.

1.3 퀀칭 크랙

1) 현상 : 소재를 퀀칭할 때 퀀칭응력에 의해 크랙이 발생하는 현상

2) 원인 : 퀀칭시 급냉에 의해 소재의 내외부에 온도차가 생기고 이 온도차에 의해 열응력이 발생, Ms점 이하에서는 마르텐사이트와 오스테나이트의 체적차에 의한 변태응력 발생, 즉 열응력과 변태응력은 상쇄관계가 있지만 복잡한 형상의 소재에서는 합쳐지는 경우도 있다. 이러한 응력이 단독, 복합적으로 인장응력을 형성해서 이 응력이 재료가 가진 인장응력을 초과하면 크랙이 발생한다. 그러나 취성파괴 특성을 가진 제품은 항복응력 이하에서도 파괴된다. 통상파괴의 기점이 표면에 있는 것은 변태응력 내부에 있는 열응력에 기인하며, 작은 부분은 변태응력이 큰 제품은 열응력에 기인되는 경우가 많다. 예를 들면

1. 소입성이 높은 라운드 바(Round Bar)를 퀀칭하면 그 중심부까지 거의 동일한 경도로 된다. 이 경우 냉각이 빠른 표층이 마르텐사이트 변태되어 경화되고 계속해서 내부가 경화하기 때문에 표면에 인장응력 내부에 압축응력이 발생 퀀칭크랙을 야기시킨다. 다만, 소입성이 낮은 탄소강 등은 작은 라운드 바(Round Bar)에서 유심소입이 되어 표면압축응력 내부 인장응력으로 되어 거의 퀀칭크랙은 발생하지 않는다.

2. 특히 대형 라운드 바(Round Bar)의 경우는 구조용 강에서는 거의 유심소입된다. 냉각이 빠른 표층은 퀘칭조직으로 되어 소성변형이 어렵게 되어도 내부는 아직 오스테나이트로 소성변형이 쉬운 상태이다. 표면에서 내부로 냉각되어 수축되면 늦게 냉각된 중심부에는 커다란 열응력이 발생된다. 이것은 인장응력이므로 재료의 인장강도를 초과하면 크랙이 발생된다.

3. 세입코너(Shape Corner)부, 단면급변부 등의 크랙
3) 대책 : 소재의 항복강도를 Y, 인장강도를 T, 퀘칭시 발생한 인장응력을 S 라 하면

$$T < S \text{는 퀘칭 크랙}$$

$$T < S < T \text{는 퀘칭변형}$$

이다. 따라서 재료의 강약과 응력의 강약의 밸런스가 파괴되어 그의 파괴가 약한 경우는 변형, 강한 경우는 크랙으로 된다. 따라서 크랙대책도 본질적으로는 퀘칭 변형대책과 변화가 없지만 특히 주의해야 할 점만을 서술하면 다음과 같다.

1. 소재를 선택할 때 저탄소합금강에서 비금속 개재물이나 편석이 작은 재료를 선택

2. 표면 스크래치(Scratch), 마킹(Marking) 등을 없앤다. 단면급변부나, 홈, 홀(Hole)가공을 없애고 가능한 챔퍼(Chamfer)와 라운드(Round(R))를 크게한다. 불가피하게 홈이나 홀(Hole)이 있을 경우 석면이나 점토로 홈 및 홀(Hole)을 막고 열처리한다.

3. 퀘칭온도는 가능한 낮게 한다.

4. S 곡선의 노오즈(Nose)까지 급냉하고 M_s점이하는 서냉한다.

5. 퀘칭직후 템퍼링실시한다.

1.4 시즌 크랙(Season Crack)

1) 현상 : 퀘칭 상태 그대로 혹은 템퍼링한 강을 대기방치중에 생기는 크랙을 시즌크랙(Season Crack)이라고 한다.

2) 원인 : 원인은 주로 잔류 오스테나이트로 퀘칭 그대로, 혹은 템퍼링 후 온도저하 또는 외력에 의한 잔류 오스테나이트가 마르텐사이트로 되어 그에 따른 인장응력이 한계치이상 증가할 때 생기지만 압축응력이 해소된 경우에도 일어난다.

3) 대책 :

1. 퀘칭 직후에 적당한 템퍼링을 실시한다.
2. 서브제로와 템퍼링을 병용한다.

1.5 경년변화

1) 현상 : 소재를 퀘칭 또는 퀘칭, 템퍼링 후 상온에서

오랜기간 방치하면 그 치수나 형상이 변화한다. 이것을 경년변화라고 말한다. 게이지(Gauge)류 등에 있어서 이 현상이 생기면 치명상으로 된다.

2) 원인 :

1. 퀘칭, 마르텐사이트에서 ε 탄화물이 석출해서 수축한다.

2. 고탄소강, 고합금강등에서는 잔류 오스테나이트가 서서히 마르텐사이트로 변태해서 팽창하고 계속해서 탄화물을 석출해서 수축한다.

3. 시효성 합금강은 과포화 고용체에서 미세석출물을 석출해서 수축한다.

4. 퀘칭시 생기는 잔류인장응력의 해소에 팽창된다.

3) 대책 :

1. 원인이 탄화물인 경우는 150-200℃, 잔류 오스테나이트인 경우는 350℃ 이상에서 충분히 템퍼링을 실시, 고합금강 등에서는 550℃ 이상에서 반복 템퍼링을 행한다. 또는 게이지(Gauge)류 등 고온 템퍼링에 의해 경도저하를 방지하기 위하여 서브제로와 템퍼링을 반복한다

2. 시효성합금강은 고용화후 적절한 시효처리를 실시한다.

3. 퀘칭 잔류응력이 원인이 된 경우는 550℃ 이상의 온도에서 응력제거 처리를 한다.

1.6 서브제로 크랙

1) 현상 : 서브제로처리는 퀘칭의 연장으로 서브제로 완료시기가 퀘칭완료를 의미한다. 따라서 서브제로크랙은 퀘칭크랙의 일종으로 퀘칭크랙과 동일한 현상으로 나타난다.

2) 원인 : 서브제로에 의한 잔류 오스테나이트가 마르텐사이트화 해서 그의 팽창에 의한 인장응력을 강화해서 크랙을 발생한다. 또는 표면에 탈탄층에 인장응력이 존재하고 내부에 잔류 오스테나이트인 경우는 서브제로크랙 감수성을 증대한다.

3) 대책 :

1. 퀘칭시 M_s점 이하에서는 서냉하는 것이 원칙이듯이 퀘칭의 연장인 서브제로시도 당연 서냉한다.

2. 소재에 탈탄층이 존재하는 경우는 퀘칭 전에 탈탄층을 제거하던가 복탄한다.

3. 서브제로전에 저온템퍼링을 실시한다.

4. 서브제로후 수중 또는 탕중에 급속가열해서 표면을 팽창시켜 인장응력을 낮춘다.

2. 퀘칭한 구조용강 템퍼링시 결함과 대책

2.1 템퍼링 변형

1) 현상 : 퀘칭한 소재를 템퍼링을 실시할 경우 그 잔류응력이나 조직변화에 의한 팽창 혹은 수축하는 현상

2) 원인 : 소재를 퀘칭할시 잔류응력과 조직변화가 수반된다. 즉 템퍼링에 의해 인장응력은 해소되어 수축되고 압축응력은 해소되어 팽창한다. 또 퀘칭 마르텐사이트는 템퍼링 초기에는 ϵ 탄화물 석출로 약간의 수축을 한다. 트루스타이트(Troostite)나 솔바이트(Sorbite)로 될 경우 세멘타이트(Cementite)응집과정에서 크게 수축하고, 잔류오스테나이트는 마르텐사이트화에 의해 팽창된다. 그러나 잔류 오스테나이트가 베이나이트화 하려면 팽창한다. 또한 시효성합금강은 석출경화에 따른 수축이 일어나지만 템퍼링변형에 복합적으로 작용한다.

3) 대책 :

1. 염 퀘칭(Salt Quenching), 공기 퀘칭(Air Quenching) 등 잔류응력이 작은 퀘칭방법을 선택한다.

2. 퀘칭 후 또는 퀘칭, 템퍼링 후에 프레스나 롤러(Roller)등에서 변형을 교정한다.

3. 변형이 예측가능하면 변형을 방지할 수 있도록 가공한다.

2.2 템퍼링 크랙

1) 현상 : 퀘칭한 소재를 템퍼링할시에 급열, 급냉 혹은 조직변화때문에 생기는 크랙

2) 원인 :

1. 퀘칭후 복잡한 형상의 소재를 급속가열하면 표면의 마르텐사이트는 템퍼링수축하고 잔류 오스테나이트는 변태때문에 팽창해서 크랙을 유발시킨다.

2. 표면이 탈탄층이며 그 내부에 많은 잔류응력이 존재하면 템퍼링에 의해서 잔류 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태하여 크랙의 위험을 증대시킨다. 또한 템퍼링이 불충분한 경우는 크랙의 위험이 있다.

3. M_s 점이 낮은 저합금강등에서는 퀘칭 냉각시 낮은 온도까지 충분히 냉각하지 않고 그대로 템퍼링을 실시하여 급냉하면 미변태 잔류오스테나이트가 급속히 마르텐사이트화하기 때문에 크랙을 발생한다.

3) 대책 :

1. 서서히 가열한다.

2. 응력집중이 작은 형상으로 가공한다.

3. 탈탄층이 있는 재료는 탈탄층을 제거하거나 복탄한다.

4. M_s 점이 낮은 소재는 반복 템퍼링을 행한다. 1차 템퍼링후의 냉각은 특히 서냉할 수 있도록 주의한다.

2.3 템퍼링 취성

1) 현상 : 퀘칭한 소재를 어느 템퍼링온도에 유지한 경우 또는 템퍼링 온도에서 서냉한 경우 취성과파 발생을 쉽게하는 현상. 500°C 전후에서 템퍼링해서 생기는 1차 템퍼링 취성과 고온 템퍼링후 서냉해서 생기는 2차 템퍼링 취성을 고온 템퍼링 취성이라고 한다. 300°C 전후의 온도에서 실시한 경우에 나타나는 취성을 저온 템퍼링 취성이라고 한다.

2) 원인 : 이전에는 템퍼링취성의 원인에 대해서는 여러 가지 설이 있고 불분명했지만 전자현미경에 의한 미량의 잔류 오스테나이트 및 탄소상태, 파면불순물원소의 정량, 주사전자현미경에 의한 파면관찰이 용이하게 되었으므로 입계석출 탄화물설, 잔류오스테나이트 분해에 의한 탄화물설, 잔류오스테나이트의 열적기계적분해설, 불순물 편석과 탄화물석출의 조합설등이 보고되고 있다.

3) 대책 :

1. 고온 템퍼링 취성대책

A. 550°C 이상에서 템퍼링을 실시한 후 급냉한다.

B. 2차 템퍼링취성이 생긴 제품은 550°C 이상에서 재가열해서 급냉하면 취성이 없어진다.

C. 강도상 550°C 이하의 템퍼링이 필요한 경우 온도를 낮추지 말고 시간을 단축한다.

D. 템퍼링후 급냉이 불가능할 때 또는 질화처리 등 취성 온도에서 장시간 가열하는 경우는 0.15% 이상의 M_0 를 함유하는 강을 선택한다(적량은 0.3-0.5% M_0).

E. 오스테나이트 결정입을 미세화한다.

F. P, Sb, Sn 등의 함유량이 적은 강과 이들 원소의 석출을 촉진하는 Cr, Mn, Ni 량을 줄이고 적정의 M_0 를 첨가시킨다.

2. 저온 템퍼링 취성의 대책

A. P, N 은 취성을 촉진하고 Al, Ti, Ni, B 은 억제하기 때문에 이 경향을 고려해서 소재를 선택한다.

B. 250-300°C에서 템퍼링을 피한다.

C. Cr, Mn 을 다량 함유한 강은 200°C 부근에서도 취성이 발생되므로 주의를 기울여야 한다.

D. Si 를 1-2.5% 함유한 강을 탄화물을 안정화시켜서 세멘타이트의 석출이나 성장을 억제하기 때문에 취성이

고온측으로 이동한다. 스프링강, 초고장력강 등은 250-350°C에서 템퍼링해서 사용하기 때문에 다량의 Si를 첨가하고 있다.

2.4 템퍼링에 의한 경도불량

1) 현상 : 템퍼링한 소재가 처리온도의 고저, 처리시간의 장단에 따라 기대한 경도보다 낮은 경도, 높은 경도가 나오는 현상

2) 원인 : 일정온도에서 템퍼링을 행하면 연화는 시간과 함께 대수적으로 진행되고, 일정시간에서는 온도가 높을수록 연화는 급진된다. Larson과 Miller는 이 관계를 조사해서 다음과 같은 식을 얻었다.

$$(T_1 + 273)(C + \text{Log } t_1) = (T_2 + 273)(C + \text{Log } t_2)$$

T₁°에서 Log t₁시간 템퍼링한 경도는 T₂°에서 Log t₂시간 템퍼링 경도와 동일한 것을 나타낸다. 여기서 C의 값은 C=21.3-5.8×소재의 C%로 계산하지만 구조용강에서는 일반적으로 C=20으로 계산되고 있는 예가 많다. 따라서 열처리온도를 높이고 시간을 단축하지 않을 경우 경도미달, 역으로 열처리온도를 낮추고 시간을 연장하지 않을 경우 경도 오버(Over)된다.

3) 대책 :

1. 템퍼링온도를 너무 높게해서 경도가 미달된 경우는 재퀀칭 실시하고 첫번째 템퍼링을 참고로 해서 보다 낮은 온도에서 템퍼링 실시하여 적절한 템퍼링 경도를 얻을 수 있을 때까지 온도와 시간을 조절해가면서 템퍼링한다.

2. 템퍼링부족때문에 필요한 정도까지 연화되지 않는 경우는 온도와 시간을 조합해서 신중이 재템퍼링을 실시한다. 이때 템퍼링 곡선을 작성해 놓으며 편리하기 때문에 그 예를 다음과 같이 들어 들어 설명하고자 한다.

아래표는 SCM 435의 템퍼링모곡선이다. 이 모곡선은 동일한 소재를 퀀칭 후 각온도에서 1시간 템퍼링해서 얻은 경도로 400°C에서 HRC 44, 500°C에서 HRC 37, 600°C에서 HRC 30, 700°C에서 HRC 22을 얻어서 작성한 것이다.

Lanson-Miller의 식에서 C=20으로 하면 파라메타 (Parameter)치 P=(T+273)(20+Log t)로 된다.

400°C 1 Hrs에서는 P=673×20=13,460에서 HRC 44
 500°C 1 Hrs에서는 P=773×20=15,460에서 HRC 37
 600°C 1 Hrs에서는 P=873×20=17,460에서 HRC 30
 700°C 1 Hrs에서는 P=973×20=19,460에서 HRC 22

상기의 데이터로 표를 작성할 수 있다.

지금 템퍼링한 소재의 경도가 HRC 33이다. 규격은 HRC 28-32라고 하면 경도목표를 HRC 30으로하면 표로부터 P=17,460이다. 이것을 580°C에 재템퍼링하기위해서는

$$17,460 = (580 + 273)(20 + \text{Log } T)$$

$$\text{Log } t = 17,460 / (853 - 29) = 0.4689$$

$$t = 2.9 \text{ Hrs}$$

현재경도 HRC 33을 580°C에서 얻기위해서는

$$\text{HRC 33의 } P = 16,500$$

$$16,500 = (580 + 273)(20 + \text{Log } T)$$

$$\text{Log } T = 16,500 / 853 - 20 = -0.6565$$

$$T = 0.22 \text{ Hrs}$$

따라서 재템퍼링 시간은 2.94 - 0.22 = 2.72

$$= 2 \text{ 시간 } 43 \text{ 분이다.}$$

재템퍼링사양은 580°C에서 2시간 43분이다.

3. 결 론

열처리 현장에서 근무하다보면 열처리에 관한 많은 문제점이 발생되고 이 문제점을 해결하기 위하여 많은 수고를 아끼지 않는 열처리 업무 관련자에게 참고자료가 되길 바라며, 앞으로도 이 지면을 통하여 현장 열처리에 관한 노우하우(Know-how)를 교환할 수 있는 기회가 보다 많이 주어지길 바랍니다.

표 2. SCM 435의 템퍼링 모곡선

