

## 21세기 일반 열처리 기술의 발전 전망

(Commercial Heat Treatment : Challenges for the Next Century)

大和久重雄(Shigeo Owaku)

- 정리 : 부경대학교 김 한군 · 정 태영  
Han-Goon Kim and Tae-Young Chung

이 자료는 20세기를 보내고 새로운 21세기를 맞이하면서 차세대 열처리 기술의 발전방향에 대하여 "熱處理", 37권 3호 (1997) 123~167에 특집호로 게재된 기술해설을 번역하여 정리한 자료로서 앞으로 각 분야별로 나누어 시리즈로 게재하고자 한다.

### 1. 시작하면서

열처리 기술은 다방면에 걸쳐 여러 가지 형태로 이루어지고 있기 때문에 매년 많은 개량과 진보된 신기술이 개발되고 있다. 따라서 많은 열처리 방법 중에 일반 열처리 기술에 대하여 21세기가 되면 어떻게 변모할 것인가를 예측해 보고자 한다.

### 2. 저변형 열처리

열처리에서 가장 어려운 문제점' 중의 하나는 퀴칭 후에 발생하는 변형이다. 퀴칭 후 발생하는 변형은 퀴칭시 냉각 불균일에 의하여 생기고 급냉이 이루어진 쪽은 오목하게 되고 서냉이 이루어진 쪽은 볼록하게 된다. 결국 냉각된 부위는 길어지고 가열된 부위는 짧아진다(Cold side is long side, hot side is short side). 퀴칭후 변형을 수정하기 위하여 그라인더 연삭, 프레스퀴칭, 프레스 템퍼링등을 실시하는 것이 보통이다. 그러나 퀴칭후 변형을 수정하기 위해서는 시간이 소요되고 비용이 많아지므로 칠할때 퀴칭후의 변형을 낮게 하는 열처리 기술의 개발이 요망된다.

퀴칭후 변형을 작게 하기 위해서는 퀴칭시 냉각을 균일하게 하는 것이 필요하고 그러한 방법으로써 마르 칭이 가장 적당한다. 특히 컴퓨터 콘트롤에 의한 스프레이 퀴칭(Computer Aided Spray Quenching, CASQ) 이 이상적이다. 21세기에는 중

래의 침지(浸漬) 퀴칭(Dip quenching) 보다는 스프레이 퀴칭이 주가 되고 프레스 퀴칭과 스프레이 퀴칭이 비약적으로 발전할 것이라고 생각된다.

### 3. 무균열 열처리

열처리에서 저변형 열처리 다음으로 곤란한 문제는 퀴칭후 발생하는 균열이다. 퀴칭후 변형도 문제점 중의 하나이지만 이것은 수정이 가능하다. 그러나 퀴칭후 발생하는 균열은 회복이 불가능하기 때문에 폐기 처분 할 수밖에 없다. 따라서 퀴칭후 균열을 일으키지 않도록 하는 열처리 방법은 생산성의 증가와 비용을 감소시킬 수 있다.

퀴칭후의 균열은 퀴칭한 부위에 생기는 균열이고  $T_A \sim M_s$  사이와  $M_s \sim M_f$  사이의 냉각의 부적합에 의해 상온에서 발생하는 것이다(역자 주 :  $T_A$ 는 오스테나이트화 온도,  $M_s$ 는 마르텐사이트 생성개시온도,  $M_f$ 는 마르텐사이트 생성종료온도 임). 즉,  $T_A \sim M_s$  사이의 작업 표면의 냉각 불균일이 원인이 되어 늦게 퀴칭냉각되는 곳에 풀(pull)형 균열이 퀴칭후에 발생한다. 또  $M_s \sim M_f$  사이의 냉각이 적당하지 못했을 때 표층과 내부에 냉각 불균일이 생기고 푸쉬(push)형 균열이 퀴칭후에 발생한다. 풀형 균열은  $T_A \sim M_s$  사이의 냉각을 균일하게 하고 푸쉬형 균열은  $M_s \sim M_f$  사이를 서냉 시킴으로써 방지할 수 있다.

이를 위해서는 제품의 형상을 균일 급랭될 수

있도록 설계하고 동시에 냉각 방법을 균일 급랭이 가능하도록 사용하는 것이 필요하다. 이러한 목적으로 개발된 것이 인텐스 퀴칭(Intense quenching)과 스프레이 퀴칭이다. 21세기에는 이러한 급랭 방법이 자동화되고 컴퓨터 콘트롤될 수 있도록 하드(hard)와 소프트(soft)가 개발되어 사용 될 것이라고 생각된다.

#### 4. 잔류 오스테나이트와 잔류 응력을 활용하는 열처리

강의 퀴칭후에는 잔류 오스테나이트( $\gamma_R$ )와 잔류 응력( $\sigma_R$ )이 항상 수반된다.  $\gamma_R$ 는 변태유기소성(TRIP)과 변형유기변태(SRIT)에 의해 마르텐사이트화하여 강인성을 부여하게 된다. 따라서  $\gamma_R$ 를 잘 이용할 수 있는 열처리 기술이 개발될 것으로 생각된다. 크리오(cryo)처리는 그 중의 하나이다.

$\sigma_R$ 는 이로운 점과 해로운 점이 있고  $-\sigma_R$ 은 이로운 점이 되고  $+\sigma_R$ 은 해로운 점으로 간주되고 있다. 이러한 이로운 점의  $\sigma_R$ 을 활용하는 열처리, 즉 표면경화 열처리(침탄질화처리, 고주파 퀴칭처리)의 효과적인 활용과 쇼트 피이닝의 복합처리가 유망하다.

열처리에서 잔류라고 이름이 붙은 것은 잔류 오스테나이트와 잔류응력의 두 가지만 있고 이 두 가지를 지배하는 것이 열처리를 지배한다고 해도 과언이 아니다. 21세기에는 이 두 가지를 잘 활용하는 열처리 기술이 개발될 것으로 추측된다.

#### 5. 서브제로처리의 활성화

21세기에는 서브제로처리, 특히  $-196^{\circ}\text{C}$ (액체질소 사용)의 초저온을 사용하는 초서브제로처리(cryo)처리가 활성화된다. 종래에는  $\oplus$ 온도처리(열처리)가 변창하였지만 이제부터는  $\ominus$ 온도처리(서브제로처리)가 더욱 개발되고, 그 효과가 인정되어 이용도가 증가할 것으로 생각된다. 미국에서도  $-300^{\circ}\text{F}$ ( $-184^{\circ}\text{C}$ )라고 하는 회사까지 생겨서 여러

가지 응용기술을 개발하고 있다.

크리오 처리는 Friodur라고도 불리어지며 이미 칼날 등의 날카로움과 수명 향상에 기여하고 있으며, SKD 11과 SUJ 2 등에도 사용 수명을 연장시키는 효과가 인정되고 있지만 그 정도가 다양하게 인식될 정도까지로는 이르지 못하고 있다. 이것은 아직까지 크리오의 방법이 확립되어 있지 않기 때문이고 크리오의 방법( $-^{\circ}\text{C}$ (보냉온도), 강온속도, 보냉(保冷)시간, 해동(解凍)방법등)과  $\gamma_R$ 의 안정화 등이 규명된다면 해결될 수 있을 것으로 생각된다. 이것이 21세기 열처리 과제 중의 하나일 것이다. 또 크리오처리는 강에 그치지 않고 비철합금(Al합금, 동합금, 초경합금등)에 대해서도 장점이 있는 것으로 알려져 있기 때문에 이들에 대해서도 연구가 계속되고 서브제로처리에 대한 관심과 개발이 활성화 될 것으로 생각된다.

#### 6. 자장(磁場)열처리의 활용

종래의 열처리에 자장을 응용하는 열처리가 개발되어 이용될 것으로 생각된다. 통상의 열처리에 자장을 가하는 것은, 말하자면 3차원의 열처리(온도-시간-힘)로써 20세기의 중반에 검토되었지만, 이것이 더욱 많이 연구되고 신기술로서 도입될 것이다.

자장 열처리에는 자장 퀴칭과 자장 템퍼링의 두 가지로 생각할 수 있다. 강력한 자장 내에서 퀴칭, 하면 마르텐사이트화가 촉진되고 경도가 상승한다. 또 퀴칭부품을 자장 중에 도입하면 약  $200^{\circ}\text{C}$ 에서 실시한 템퍼링처리와 같은 효과가 되고 공구의 수명은 20~400% 향상된다고 알려져 있다. 이것은 자기변형현상(magneto-striction)을 이용한 것이다.

또 자장에 의한 진동을 주면 응력제거(SR)가 효과적으로 이루어지는 것으로 알려져 있다. 이것을 VSR (Vibration Stress Relieving)이라고 하고 대형 부품의 응력제거에 이용되고 있다. 또 자장 처리한 물[磁化水]에 퀴칭을 실시하면 증기막 단계의

냉각이 개선되어 퀘칭이 잘 이루어진다고 한다. 자화유(磁化油)의 퀘칭이 어떻게 될 것인가 하는 문제는 앞으로의 연구 개발이 요망되는 부분이다.

어느 것이나 온도-시간의 2차원 열처리에 자장력이라고 하는 제3의 힘을 첨가하여 이용하는 온도-시간-자장력이라고 하는 3차원의 열처리로 발전하는 것이 요점이고 이것이 21세기 열처리에서 일익을 담당하게 될 것이다.

## 7. 폴리머(polymer) 퀘칭액의 사용

퀘칭유(quench oil)는 퀘칭액으로서 가장 보편적이면서 많이 사용되고 있다. 퀘칭유는 임계구역의 냉각속도가 상당히 빠르고 Ms점 이하의 냉각속도가 물의 약 1/3이기 때문에 「경하고 균열이 없는」 퀘칭에 적합하다. 그러나 화재의 위험성 및 기름칭후의 세정(洗淨)에 문제가 있고 특히 프레온 세정이 오존층의 파괴로 공해의 대상이 되고 있다. 이러한 관점에서 등장한 것이 폴리머 퀘칭액으로 물의 혼합에 의하여 물~기름에 가까운 냉각속도가 얻어질 뿐만 아니라 화재의 위험성도 없고, 퀘칭후의 세정에도 문제가 없기 때문에 상용되고 있다. 그러나 폴리머 퀘칭액은 물이 주체이므로 Ms점 이하의 냉각속도가 예상외로 빠르고 물과 거의 같은 특성을 나타내기 때문에 퀘칭후 균열의 발생은 피할 수 없다. 그래서 기름 같은 폴리머(oil like polymer)가 개발되었다. 이것은 Ms점 이하의 냉각속도가 기름과 거의 같고 그 외에도 세정에 문제가 없기 때문에 결국 퀘칭 관계자의 관심을 모으고 있다. 21세기의 퀘칭액은 이 기름 같은 폴리머로 전환될 것으로 생각된다.

한편 진공열처리에 있어서 퀘칭시 냉각속도 향상을 위해 가압 가스 냉각이 사용되고 있지만 그 압력도 5~6 bar부터 10, 20, 40bar로 상승하고 있다. 사용 가스도 질소로부터 헬륨가스로 전환이 예상된다. 10bar의 가압가스 냉각에서는 유냉과 같은 냉각속도가 얻어질 수 있으며, SKD 및 SKS의 진

공로 퀘칭에 응용되고 있다. 21세기에는 가스의 종류와 가압력의 결합이 재검토되고 이에 대한 적절한 방법이 등장할 것으로 생각된다.

또 균일 퀘칭 냉각을 위해 스프레이 퀘칭과 슈트(shoot) 퀘칭의 슈트개선, 설계가 강력하게 추진되어 21세기에는 이것들이 하드로서 등장할 전망이다.

## 8. 히트 사이클(heat cycle)의 간략화

히트 사이클을 단축하여 생산성을 향상시키고 비용을 절감하는 계획이 이루어지고 있고, 이것이 21세기에 실현되어 실용화될 것으로 생각된다. 히트 사이클을 단축하는 것에는 가열 유지시간(퀘칭 및 템퍼링)의 단축, 템퍼링의 생략, NNS(Near Net Shape) 퀘칭등이 유용한 기술로 등장하게 된다.

퀘칭 및 템퍼링 유지시간의 인식에 대한 변화와 폴리머 퀘칭액의 사용 등으로 히트 사이클의 단축이 가능하게 된다. 이러한 일련의 조작을 컴퓨터로 콘트롤하는 방법이 도입되게 되며 이것이 CAHT(Computer Aided Heat Treatment)이다.

히트 사이클의 간략화의 한 가지로써 템퍼링 과정의 생략이 검토되고 있다. 일반 열처리는 퀘칭 템퍼링이고 이 중에 고온 템퍼링 처리가 조절(調質)처리이다. 이 템퍼링은 시간이 걸리기 때문에(1시간 이상) 이것을 생략하고 히트 사이클을 단축하는 것이 시도되고 있다.

강을 퀘칭 후 그대로 사용 할 수 없는가? 퀘칭상태에서는 경하기는 하지만 강도가 약하다. 따라서 인장시험은 300~400℃이상의 템퍼링소재에 대해서만 실시하고 있다(JIS). 100~200℃의 저온 템퍼링한 재료의 인장시험 데이터는 없다. 침탄 퀘칭재료와 고주파 퀘칭재료 또는 SK재료, SUJ재료 등은 전부 150~200℃의 저온 템퍼링하여 사용하고 있는데 S 45C, SCM 435등의 구조용강은 전부 고온 템퍼링(調質)하여 사용하고 저온 템퍼링은 실시하고 있지 않다. 이러한 이유는 무엇이겠는가? 토모다와 JSHT의 연구 결과에 의하면 저탄소강(약0.2% C)은 퀘칭상태에서 강도가 최대가 되기 때

문에 저온 템퍼링 없이 기계구조용 부품에 사용이 가능하다고 한다. 이것은 저탄소강은 Ms점이 높고 퀴칭 냉각의 도중에 자기템퍼링(Self-temper)되기 때문이고 이때 얻어지는 마르텐사이트가 라스 마르텐사이트인 것이 주원인이 아닌가 생각된다.

그러나 저탄소강은 퀴칭성이 나쁘고 질량효과가 크기 때문에 일반적인 가열에 의한 퀴칭에는 적합하지 않다. 그래서 고주파 퀴칭을 적용하는 것이 생각될 수 있지만 저탄소강의 고주파 퀴칭에서 노템퍼(no-temper) 제품을 이용하는 방법을 검토해 볼 가치가 있을 것이다. 또 이것이 비조질강에도 적용될 수 있을 것이다.

## 9. NNS 열처리

일반 열처리 부품의 최종 가공 공정은 그라인더 연삭에 의한 성형가공이다. 이것은 상당한 시간이 걸리고 비용이 증가하기 때문에 NNS(Near Net Shape)또는 NS(Net Shape)에서 열처리 할 수 있으면 이것이 더 좋은 방법이 된다.

여기에는 저변형 퀴칭과 정밀 퀴칭이 필요하게 된다. HIP(열간등압 프레스)를 이용해서 열처리하는 HIP 퀴칭과 FCD의 오스템퍼링처리 즉 ADI가 실용화될 것으로 생각된다. NNS열처리는 틀립없이 21세기의 열처리방법으로 등장할 전망이다.

## 10. 태양열(solar) 열처리

무공해열처리, 지구에 안전한 열처리, 에코 열처리가 제창된 지 오래이다. 21세기에는 태양열을 이용하는 태양열 열처리가 관심을 끌 것이다. 태양열을 이용한 열은 저비용이면서 깨끗한 에너지로서 표면열처리에는  $1\text{MW}/\text{m}^2$  이상 있으면 좋다고 알려져 있다.

이 태양열 열처리를 SISTM (Solar-Induced Surface Transformation of Materials) 이라고 하고 이온, 레이저, 전자빔열처리와 비교하여 대조시키고 있다. 태양열을 이용하는 태양로(solar furnace)

열처리의 연구는 현재 러시아, 중국, 미국의 3개국에서 이루어지고 있으며, 미국에서는 아리조나, 콜로라도, 네바다, 뉴멕시코, 유타의 5곳에 태양로가 설치되어 있다.

태양열에 의한 가열속도는 상당히 빠르고, 예를 들면  $\text{SiO}_2$ 는 그 용융온도  $1720^\circ\text{C}$ 까지  $20\text{MW}/\text{m}^2$ 의 조사(照射)로서 불과 0.014초가 소요된다. 태양열 열처리는 현재 강의 퀴칭, 특히 SKH로 만들어진 드릴 끝부분의 퀴칭과 박막피복등에 응용되고 있다. 이것이 일반 열처리에도 적용되도록 하는 것은 상상하기 어렵지 않다. 태양열 열처리의 공업화는 결코 꿈으로 끝나는 것은 아닐 것이다.

## 11. 2020년 열처리 공업의 비전(ASM)

20인의 ASM, MTI, DOE의 지도적 기술자가 2020년의 열처리 공업의 비전(미래상)에 대한 보고서를 발표하였다. 이 자료는 1996년 11월 6일 클리블랜드에서 개최된 제 2회 「퀴칭냉각과 열변형의 제어」에 관한 국제 회의에서 발표된 것이다. 이것에 의하면 2020년에는 에너지 효율 80%, 불량률 0%를 목표로 하고 열처리시간은 50% 줄이고 비용은 75% 감소시키며, 무변형 퀴칭과 고주파 템퍼링을 사용하고 퀴칭액은 무공해, 무화재의 것을 사용한다.

환경을 좋게 하고 깨끗하고 안락하며 안전한 것을 고려하여 컴퓨터 콘트롤, 로봇트화한다. PL(9000)과 환경(14000)이 준수된다.

## 12. 마무리하면서

21세기의 열처리기술은 무공해(Safety), 에너지 절약(Saving)의 2S를 기본으로 하고 하드적으로는 태양열 열처리, 컴퓨터 제어(CAHT), 연속화, 로봇트화, 소프트적으로는 저변형(less distortion), 무균열(no crack)열처리, NS, NNS 열처리, 고에너지 열처리, 자장 열처리, 크리오열처리 등이 크게 진전할 것으로 생각된다.