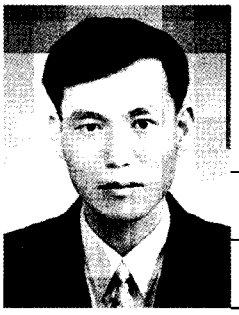
技術現況分析

진공 열처리기술 현황



이 상 우

(동우열처리(주) 연구개발)

'88 - '92 성균관대학교 금속공학과(학사)
'94 - 현재 동우열처리공업(주) 연구개발실

김 성 완

(한국생산기술연구원 재료용접팀)

'70 - '74 연세대학교 금속공학과(학사)
'74 - '76 한국과학기술원 재료공학과(석사)
'78 - '82 ENSMA (박사)
'76 - '82 한국과학기술연구원
'81 - '91 한국기계연구원
'91 - 현재 한국생산기술연구원 수석연구원

1. 머리말

최초의 진공로는 '49년 미국 시카고에서 소둔을 목적으로 사용한, hot wall형의 냉각장치가 없는 진공열처리로 이었다. 이렇게 초기의 진공로는 냉각기능이 없어 어닐링과 시효처리에만 사용되었고, 그 크기도 작아 생산성 또한 낮았다. 그후 '58년, 미국의 Ipsen사가 진공실이 장착된 모터를 사용하여 고속으로 팬을 회전시켜 불활성가스를 순환시키고, 열교환기를 이용하여 냉각속도를 빠르게 한 진공열처리로를 개발, 공냉강의 진공열처리가 가능하게 되었다. '70년에 들어 진공열처리용의 퀜칭오일이 개발되어 오일퀜칭조가 있는 2실형로가 개발되어 유냉강의 진공소입이 가능하게 되었다. 또한 마르퀜칭유의 개량에 의해 마르퀜칭도 가능하게 되었다.

'78년에 가스 냉각식 진공열처리로의 결점인 냉각속도를 개선하기 위해 가압식 진공열처리로를 개발하였지만 고속도강의 퀜칭에는 불충분하였고, '81년에 고압, 고속냉각식 진공열처리로가 개발되어 유냉과 공냉의 중간정도의 냉각속도를 갖게되어 고속도강의 진공열처리가 가능하게 되었다.

이후 진공로의 개발이 계속 진행되어 '82년에 다실형로가 개발되어 생산성을 크게 높였으며 1실형이면서도 냉각속도를 최대한 빠르게 개선한 로와 함께 2실형로, 준연속식로, 연속식로도 개발되어 진공 열처리(퀜칭, 템퍼링, 어닐링), 침탄, 브레이징, 소결 등에 사용되어지고 있다.

최근에는 염욕냉각과 비슷한 냉각속도를 얻기 위해 냉각속도의 향상을 꾀하여 9bar, 20bar의

초고압 가스냉각 소입로와 냉각가스로 질소대신 열전도율이 큰 헬륨가스를 사용한 소입로도 개발되어 사용되고 있다. 또한 최근에 개발된 대류가열기능을 부가한 냉각진공열처리로는 처리시간을 약 30% 단축할 수 있다. 또 퀜칭, 용체화처리, 자기어닐링, 퀜칭템퍼링, 템퍼링 및 시효처리, 진공브레이징에 사용할 수 있는 다목적로도 개발되었다.

이러한 진공로의 발전은 가열온도의 균일성 확보와 고온화 용이, 고진공 배기와 정밀한 분위기 제어, 균일하고도 빠른 냉각, 낮은 운용비와 대량생산을 통한 생산성 향상 등을 위해 끊임없이 개발되어지고 있으며, 여기에서는 진공로의 장점 및 진공열처리에 영향을 미치는 요인에 대하여 기술한다.

2. 진공열처리로의 장점

현재 국내의 열처리에 있어서 대형 금형과 고속도강의 퀜칭은 염욕과 오일퀜칭을 행하고 있으며, 가스 가압냉각 진공퀜칭로에서 냉각가스 압력을 2~5kgf/㎠G(3~6bar)으로 가압하여 퀜칭하는 방법을 통해 보다 중량물의 금형강과 경량물의 고속도강 열처리가 행하여지고 있다. 이렇게 진공로가 활용되어지고 있는 이유는 진공열처리가 염욕퀜칭과 오일퀜칭에 비해 다음과 같은 많은 장점을 갖고 있기 때문이다

① 광휘 퀜칭이 가능하다.
② 퀜칭 변형이 적다.
③ 가스 분압 제어에 의해 필요한 진공압력을 얻을 수 있다.
④ 고온을 쉽게 얻을 수 있다.
⑤ 외부로의 방사열이 적고 작업성, 작업환경이 양호하다.
⑥ 안전성이 높고, 무공해이다.
⑦ 자동화에 의해 조작성이 좋다.
⑧ 운용비가 저렴하다.
⑨ 냉각속도의 조절이 용이하다.

반대로 염욕퀜칭의 경우 환경문제와 작업성에 있어서 커다란 단점을 갖고 있고, 오일퀜칭의 경우 탈탄, 또는 고속도강의 경우 침탄 등의 문제를 야기 시키며 크랙의 위험이 큰 문제가 있으므로 점차 진공열처리로의 전환을 꾀하고 있다.

그림 1에 진공열처리로의 활용분야와 이용되는 온도와 압력을 나타냈다.

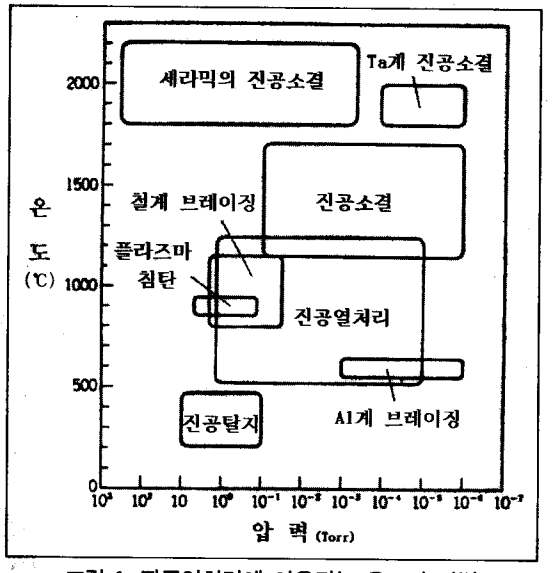


그림 1. 진공열처리에 이용되는 온도와 압력

3. 진공열처리에 있어서 냉각속도의 영향

3.1 퍼얼라이트조직의 혼입 여부

그림 2의 연속 냉각곡선에서 보듯이 열처리재의 냉각속도가 느리게 되면 퍼얼라이트가 혼재하는 열처리조직을 얻게 됨으로써 소정의 경도를 얻지 못함은 물론, 열처리재의 기계적성질에 나쁜 결과를 초래하게 된다.

3.2 베이나이트 조직의 혼입 여부

흔히 SKD61종과 같은 공냉강은 퍼얼라이트 노우즈가 충분히 뒷쪽에 있는 관계로 냉각속도가 느려도 경도를 얻는 것에는 큰 문제가 없다.

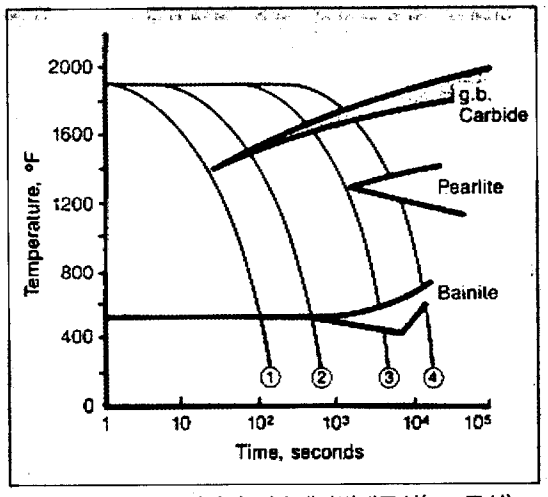


그림 2. H-13 금형강의 연속냉각변태곡선(CCT곡선)

그러나 베이나이트 노우즈가 앞으로 나와있는 관계로 저온영역(300℃구간)에서의 냉각속도가 느리게 되면 베이나이트 조직이 혼립되게 되어 잔류 오스테나이트가 증가하고 고온 템퍼링시 입계에 탄화물이 석출하고 또 기지 중에 미세 탄화물의 분포가 많아져서 강의 인성을 현저히 떨어뜨리게 된다. 또한 낮은 강도와 낮은 열피로 저항으로 인하여 결국 사용 중 크랙과 히트체크의 원인이 된다.

3.3 입계 및 입내 탄화물 석출 여부

고속도강과 같이 $M_{23}C_6$, M_6C과 같은 탄화물이 존재하는 열처리재의 경우 1000℃→600℃까지의 냉각속도가 느리게 되면 오스테나이트화 온도에서 고용된 $M_{23}C_6$, M_6C와 같은 탄화물이 냉각도중에 과포화 되어 결정립계와 미용해탄화물(MC등)이 주변에 석출하여 템퍼링 시의 2차경화 현상이 현저히 줄어들게 된다. 이로 인해 낮은 경도 값이 나오게 되며 인성이 현저히 떨어지게 된다.

또한 SUS304와 같은 스테인레스강의 고용화 처리에 있어서 냉각속도가 떨어지게 되면 입계 및 입내에 크롬 및 크롬탄화물이 석출하게 되어 스테인레스강의 내식성을 현저히 저하시키게 된다. 이 경우 가공경화에 의한 경도는 고용화 처리에 의해 연화되지만 내식성의 저하로 인하여 내부식성을 떨어뜨리게 되므로 경도 외에 열처리조직을 함께 관리해줄 필요가 있다.

3.4 저온경화(Underhardening)의 활용여부

최근 고속도강류의 경우 저온 경화에 의해 냉간 공구류의 수명을 대폭 향상시키는 방법이 많이 채택되어지고 있다. 그림 3에서 보듯이 고속도강의 퀜칭, 템퍼링는 퀜칭온도와 템퍼링에 의해 결정되는데 냉각속도가 느리게 되면 소정의 퀜칭 온도에서 나와야되는 퀜칭경도가 나오지 않게 된다. 예를 든다면 1200℃ 템퍼링 550℃ 퀜칭의 경우 SKH51의 경도는 65정도여야 하나 냉각속도가 느리게 되면 HRC62~63정도로 저하되게 된다. 이 경우 앞서 기술한바와 같이 입계에 탄화물이 석출하여 인성을 현저히 저하시키게 되므로 경도값으로는 별문제가 없어도 사용도중 파손되는 일이 많아지게 된다. 그러나 1150℃로 저온 경화를 실시한 경우 HRC62~63의 경도값이 나오게 되어 경도값으로도 문제가 없을 뿐만 아니라 내충격성이 현격히 개선되어 2~3배의 수명향상이 이루어진다는 보고가 있다.

그러나 이 경우 냉각속도가 부족하게 되면 경도값도 HRC60이하로 나올뿐만 아니라 내충격성도 떨어지게 되어 저온 경화에 의한 인성향상 효과를 전혀 기대할 수 없게된다.

4. 진공열처리에 있어서 냉각속도에 영향을 미치는 요소

4.1 냉각재 및 냉각조건

가스냉각식 진공열처리에 있어서 냉각속도의 개선에 대해서는 1971년에 Oaves와 Reynoldson의 논문이 발표된 이래 각종 연구가 이루어지고 있다.

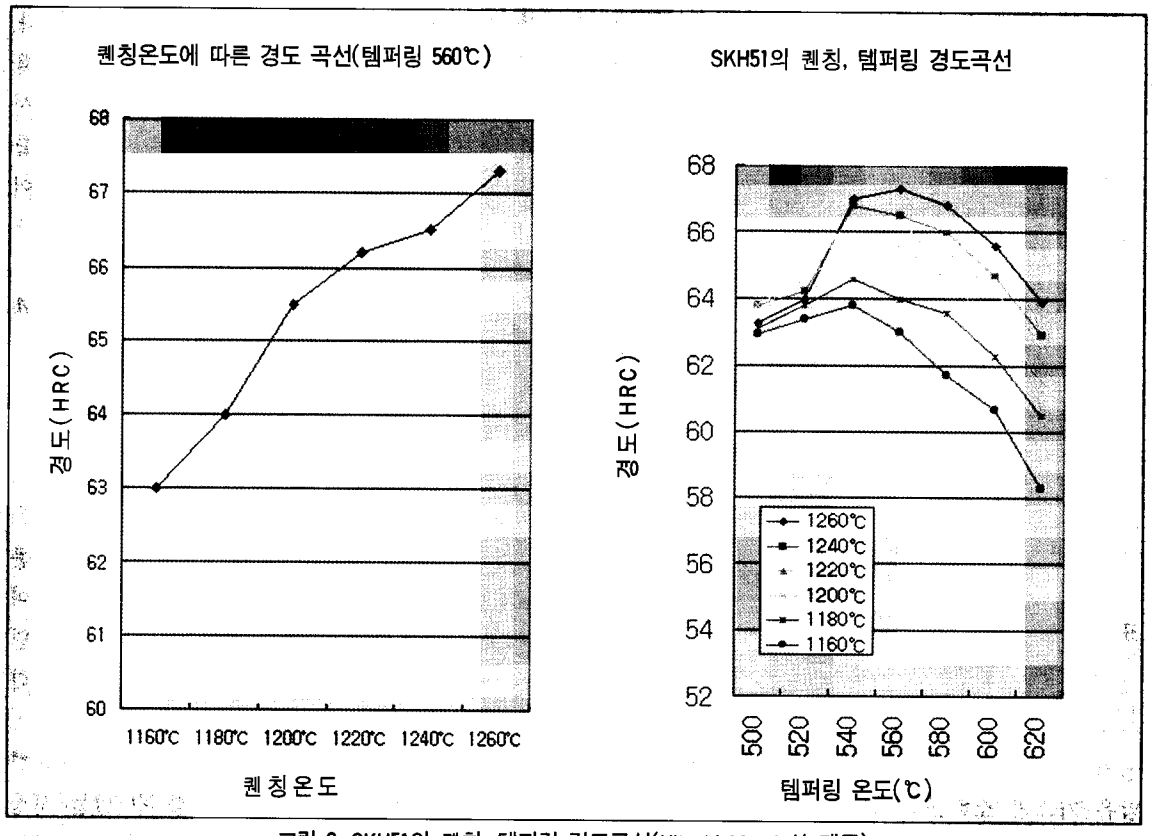


그림 3. SKH51의 퀜칭, 템퍼링 경도곡선(Hitachi Metals사 제공)

일반적인 열전달 계수 hc는

$$hc \propto V^{0.6}(\rho/\mu)^{0.6} \cdot K$$

로 표시되며 K=열전도율(㎉/mh℃), V=유속(m/h), ρ=밀도, μ=점성이다.

따라서 냉각속도는 가스의 열전도율, 밀도, 유속에 비례하고 점성에 반비례한다는 것을 알 수 있다. 물론 점도, 밀도, 열전달율은 가스의 종류에 따라 다르며, 또한 온도에 따라서도 다르다. 또 밀도는 압력에 의해서도 달라진다. 따라서 일반적으로 냉각속도를 개선하기 위해서는 다음 사항이 요구된다.

① 열전도율이 양호한 불활성가스의 사용
② 냉각가스 압력의 증가
③ 순환되는 냉각가스의 풍량 증가
④ 순환가스의 온도를 낮게 유지

진공열처리의 냉각가스로 사용되는 것으로는 수소, 헬륨, 질소, 알곤 등이 있으나 수소는 폭발의 위험이 있고, 헬륨은 가격이 비싸므로 이중 가격과 안전성 면에서 가장 우수한 질소가스가 많이 사용되어지고 있다. 그러나 최근에는 냉각능력이 우수한 수소와 헬륨의 단독 또는 혼합가스의 사용도 검토되어지고 있으며 일부 열처리로에서 적용되어지고 있다. 그림 4와 표 1에 불활성가스의 냉각효과와 가격을 비교하였다.

풍량의 증가는 풍량이 속도에 비례하고 압력손실이 풍속의 제공에 비례하므로 풍량의 증가에는 매우 큰 동력이 필요하게 된다. 또 냉각가스의 온도를 낮게 하기 위해서는 열교환기의 설계, 수압, 수온의 적절한 설계가 필요하다.

냉각가스의 압력은 냉각속도의 개선에 있어서 매우 유효한 것으로 알려져 있는데 실험에 의하면 5~6bar의 압력증가로 충분하며 그 이상의 가

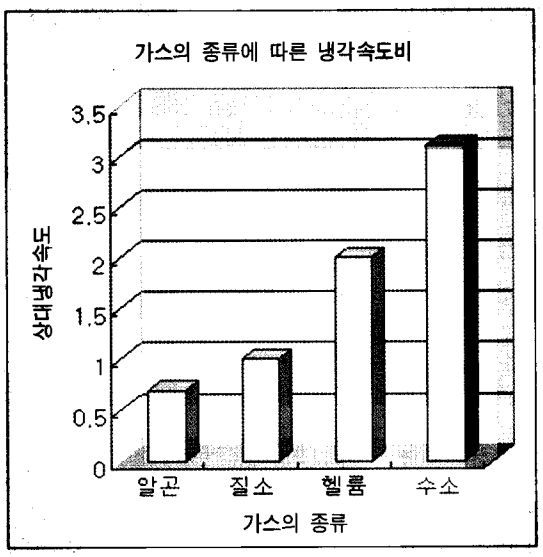


그림 4. 불활성가스의 냉각효과 비교

표 1. 가스의 가격비교표(대성산소 제공-대량공급 시)

가스의 종류	질 소(N_2)	수 소(H_2)	알 곤(Ar)	헬 륨(He)
단가(원/N㎥)	308.8	1,000	1,908	10,000
비 율	1	3.2	6.2	32.4

압은 가스의 소비를 늘리고 설비를 견고히 만들어야 하는 문제를 발생시키므로 그다지 효과적이지는 못하다.

그림 5에 압력과 냉각속도와의 관계를 나타내었다.

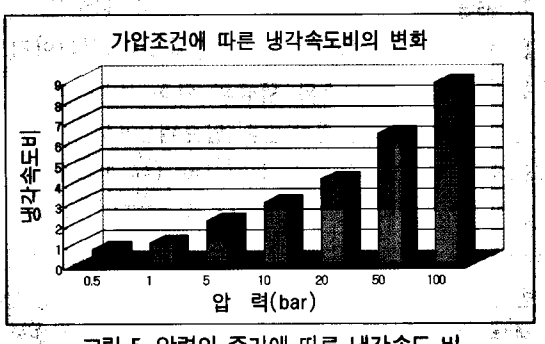


그림 5. 압력의 증가에 따른 냉각속도 비

4.2 피처리물

① 냉각의 기본식

물체를 냉각할 때에는 당연히 물체내의 온도분포와 함께 열전달량은 시간에 따라 변화한다. 표면의 열전달율과 열처리재의 체적이 열전달율에 비해 작을 경우에는 물체내의 열저항을 무시할 수 있는데 이 경우에는 물체내의 온도분포를 무시할 수 있다. 이 경우 처리재의 냉각에 있어서 온도변화는

$$\theta = \theta_f-(\theta_f-\theta_0)e^{-mt}$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 θ=물체의 온도, θ_0=는 물체의 초기온도, t=시간이고

$$m=\alpha S/C\gamma V$$

이다. 여기서 S=물체의 표면적(㎡), V=물체의 용적(㎥), C=물체의 비열(㎉/㎏.℃), γ=물체의 비중(㎏/㎥)이다.

상기의 계산식에서 보듯이 열처리재의 냉각은 표면이 넓고, 물체의 용적과 비열 그리고 비중이 작은 것이 빠르다는 것을 알 수 있다. 또한 표면의 열전달율이 좋은 열처리재가 냉각이 빠르다는 것도 알 수 있다.

그러나 열처리에 있어서 열처리재의 이러한 물성치는 열처리 작업자가 선택할 수 있는 사항이 못되며 주어진 열처리재의 냉각을 빠르게 하기 위해서는 열처리재의 장입량, 단취방법 등과 함께 치구와 열처리로의 구조물에 대한 고민이 따라야 한다.

② 치구

보통 진공열처리로에 사용되는 치구는 내열강으로서 SCH15, SCH13등과 스테인레스강으로 SUS304, SUS316등이 사용되어지고 있으며 흑연판이 일부 활용되어지고 있다. 이러한 치구의 사용은 열처리에 있어서 피냉각물의 전체중량을 늘리게 되어 하나의 진공로가 일정한 냉각능력을 갖고 있을 때 피냉각물(=열처리재+치구+로구조물)의 열용량을 크게 하여 결과적으로 열처리재의 냉각속도를 느리게 하는 결과를 가져오고 있다. 실제로 열처리재의 1회 처리량이 400㎏이라고 하면 이를 위하여 약 100~250㎏정도의 중량이 되는 치구를 사용해야 한다. 따라서 이러

한 치구를 고온강도가 충분하면서도 열용량이 작은 재료로 사용한다면 수십%의 냉각속도 개선을 기대 할 수 있고, 반대로 같은 총중량이라 하여도 열처리재의 중량을 늘릴 수 있게 되어 생산성의 향상을 기대할 수 있다. 현재 열처리현장에서 일부사용되고 있는 흑연판은 열용량의 면에서는 만족할만 하지만 강도면에서 문제가 발생하고 있고, 특히 고속도강류를 열처리할 때 흑연판과 고속도강이 접촉하게 되면 도속도강의 용융점이 낮아져서 접촉부분이 용융되어 버리는 문제점이 있다.

최근 고온재료에 대한 연구개발의 성과로 탄소복합재료가 개발되어 고온에서의 강도도 충분하고 비중도 낮아 치구의 중량을 대폭 줄여서 피냉각물의 냉각속도도 개선하고 1회의 열처리중량도 늘릴 수 있는 효과를 얻고 있다. 일부 열처리현장에서 채택되어지고 있는데 탄소복합재료의 물성치를 표 2에 보였다.

③ 로 구조물

열처리로에 있어서 로 구조물은 진공과 가압조건의 압력을 견딜 수 있어야 하는데, 일반적으로 사용되는 구조용강은 고온에서의 강도 하락이 급격한 관계로 로 구조물이 가열되지 않도록 할 필요가 있다. 이런 이유로 외부가열이 아닌 내부가열식이 채택되어지고 있으며 머플형의 가열실을 별도로 제작하여 진공로의 외부구조물과 분리시키고 있다. 물론 가열실은 히터의 열이 외부측으로 전달되지 않도록 단열재를 사용하고 있으며, 가열실의 단열구조물로서 과거에는 섬유상 단열재를 Mo판 등으로 지지하는 방식이 사용되었으나 최근에는 강성이 개선된 흑연판 등을 채택함으로써 가열, 냉각속도및 진공배기 속도를 개선하였으며, 유지 보수도 용이해지고 있다. 그리고 외부구조물은 수냉을 위한 2중 구조를 채택하여 외부구조물이 가열되지 않도록 하고 있다.

그런데 1실형의 진공열처리로의 경우 피냉각물이 1실에서 가열과 냉각이 이루어지는 관계로 냉각시 열처리재와 치구의 냉각뿐만 아니라 가열실 자체까지도 냉각시켜야 한다. 따라서 가열실 자체가 갖고 있는 열용량도 최대한 적게 할 필요가 있다.

이런 이유로 가열실과 냉각실을 별도로 설치하여 피처리물을 냉각실로 이동시킨 후 냉각함으로써 열처리재와 치구만 냉각시키는 방법도 있는데 설비비가 많이 들고 설치면적이 큰 단점이 있음에도 불구하고 다실형의 연속처리로와 함께 생산성과 냉각효율 면에서 유리한 관계로 점차 그 사용이 확대되어지고 있다. 또 cold wall의 채용을 통해 동일한 조건에서 약 30%의 높은 냉각속도비 향상을 얻는 방법도 채택되어지

표 2. Carbon Composites의 기계적 성질 비교

Materials		Density(g/㎤)	Tensile Strength(Gpa)	Young's Modulus(Gpa)	σ/ρ	E/ρ
Composites	E glass	2.1	1.1	45	0.5	20
	IM carbon	1.5	2.6	170	1.7	113
	HM carbon	1.6	1.6	257	1	161
	Aramid	1.4	1.4	75	1	50
Metals	Steel	7.8	1.3	200	0.2	26
	Aluminuim	2.8	0.3	73	0.1	26
	Titanium	4	0.4	100	0.1	25
Carbon/Carbon Composites		강화재료		탄소/탄소 복합재료		
		사용온도범위		Cryogenics to 3,000℃		
		용도		다양한 고온구조물 설계		

$$\text{leak rate} = \frac{(\text{일정시간 유지후의 진공도} - \text{최초의 진공도})(\text{Torr}) \times \text{진공로의 체적}(l)}{\text{유지 시간}(\text{sec})}$$

고 있다.

5. 진공열처리로의 구비조건

금속재료는 고온으로 가열하면 분위기가스 또는 대기중의 산소와 쉽게 반응하여 산화물 또는 질화물 등이 표면에 생성된다든지, 고탄소강에서 탈탄현상이 일어난다든지 하여 열처리 특성을 나쁘게 한다. 또 불활성 가스 중에서 가열하면 산화가 대폭 감소하지만, 티타늄 등의 활성금속에서는 분위기 중에서 가스의 원자직경이 매우 작기 때문에 금속재료로의 확산을 막기가 매우 어려워서 열처리가 곤란하다. 따라서 일반적인 금속재료의 열처리에 있어서는 1~10^{-3}Torr의 진공에서 열처리를 행하며, 탈가스와 Ni의 진공브레이징 등은 10^{-3}~10^{-5}Torr까지 고진공에서 행한다.

또한 일반열처리에 있어서는 전술한바와 같이 염욕퀜칭과 오일퀜칭이 단점을 갖고 있으므로 진공로의 활용을 통해 이러한 단점들을 해결할 수 있다.

일반적으로 진공열처리에 있어서 소재의 적정한 열처리를 위해, 진공로는 다음 조건이 구비되어야 한다.

5.1 배기

① 30분 이내의 빠른 진공배기를 통하여 생산성을 확보하여야 한다. 이를 위해 적절한 배기용량의 진공펌프가 선택되어져야 한다.

② 적절한 진공도달도를 얻을 수 있어야 한다. 일반열처리로는 10^{-3}Torr의 진공도달도 를 얻을 수 있어야 금속의 광휘 열처리가 가능하다.

③ 정확한 진공도의 측정과 진공압력의 제어가 가능하여야 한다. 크롬과 같이 증기압이 높은 금속을 고온으로 가열하여 진공배기하면 증발하게 되므로 분압 분위기(1Torr 내외)를 통해 증기압이 높은 금속의 증발을 억제시켜야 한다.

④ leak rate를 작게하여 대기중의 공기유입을 충분히 차단하여야 한다. 0.01Torr. l/sec 이하면 양호한 금속광택을 갖는 열처리물을 얻을 수 있다.

leak rate의 계산식은 위의 식과 같다.

5.2 가열

① 소정온도로의 고온가열이 가능하여야 한다. 가열원의 점진적인 발달에 따라 최근에는 흑연이 많이 사용되고 있는데 SKH2, 3, 4와 같은 고속도강의 경우 퀜칭온도를 1300℃까지 가열해주어야 하므로 1350℃까지 가열이 가능하여야 한다.

② 신속한 가열이 가능하여야 한다. 진공에서의 가열은 복사열에 의존한 가열이므로 가열속도가 느리다. 그런데 고속도강의 가열에 있어서 $M_{23}C_6$의 탄화물이 고용하는 1100℃부근의 승온속도를 빠르게 하지 않으면 재질에 있어서 혼립(混粒)이 발생하므로 신속히 가열해야한다. 따라서 대용량의 히터를 채용, 흡열량이 적은 단열재의 사용, 분위기가스 및 가압하에서의 가열을 통해 신속한 가열을 할 수 있어야 한다.

③ 충분한 단열이 이루어져야 한다. 금속재료는 온도가 올라갈수록 강도가 떨어지게 되므로 진공로를 구성하는 구조물이 가열되게 되면 진공에 의한 대기압을 견딜 수 없게 된다. 이런 이유로 진공로의 가열은 내부 가열식을 채택하고 있으며 단열과 냉각수를 통해 진공로의 외벽이 가열되지 않도록 하고 있다. 과거

에는 몰리브덴 등의 단열재를 사용하였으나 유지보수 등의 단점이 많아 최근에는 흑연판 등의 단열재가 사용되고 있다.

④ 균일한 온도의 가열과 제어가 가능하여야 한다. 열처리에 있어서 가장 중요한 요소는 온도라고 할 수 있으며 온도의 균일성 확보를 위해 가스분위기에서의 가열, 히터의 4면 배치, 열전대의 상하배치를 통한 별도 온도제어 등의 방법을 통해 균일가열을 하고 있다.

5.3 냉각

① 빠른 냉각속도를 얻을 수 있어야 한다. 현재 진공로의 가장 큰 단점은 느린 냉각속도로 인해 처리물의 종류와 크기에 제한을 받는다는 것이다. 따라서 진공열처리로의 발전은 냉각속도의 개선이 주된 목표라고 할 수 있을 정도이다. 최근 여러가지 연구에 의해 냉각속도가 크게 개선되어 있으며, 자세한 내용은 후술하는 바와 같다.

② 균일한 냉각과 적은 변형을 얻을 수 있어야 한다. 불균일한 냉각은 열처리재의 균열과 변형의 주된 원인이 되고 있으므로 빠르면서도 균일한 냉각을 얻음으로써 변형량이 적도록 하여야 한다. 이를 위해 상하 또는 좌우 방향으로의 가스흐름이 이루어 지도록하고 있으며 풍향의 상하 교환을 비롯한 자유로운 풍향 조절을 통해 열처리재의 냉각을 최대한 균일하게 할 수 있도록 하고 있다.

6. 열처리로의 현황과 활용

전술한 바와 같이 냉각속도 영향을 미치는 요소는 여러 가지가 있다. 최근에 개발되어 사용되어지고 있는 진공열처리로의 냉각속도 개선 방안을 살펴보면

① 질소보다 냉각능력이 좋은 수소와 헬륨의 단독 또는 질소가스와의 혼합가스 사용

② 6bar 혹은 10bar이상의 초고압으로의 가스 가압

③ 강력한 터보팬을 사용한 30-40m/sec의 풍속

④ 2실형의 구조를 통한 냉각효율 개선.

⑤ 대용량의 열교환기와 냉각수의 압력,유량,온도 관리를 통한 냉각가스의 신속한 열교환.

⑥ 열용량이 적은 치구재 및 단열재 사용

등의 방법을 통해 냉각속도를 크게 개선하고 있고, Ipsen사의 경우 염욕냉각보다 빠른 냉각능력을 갖는 진공로가 생산되어지고 있다.

그러나 국내 진공열처리의 현황을 살펴보면 아직까지 1실형의 가압가스냉각식 진공열처리로가 그 주종을 이루고 있는 형편이고 일부 업체에서 고속도강의 열처리를 위한 2실형의 가압가스냉각식 진공열처리로가 도입되어 사용되고 있다.

6.1 1실형 가압가스냉각 열처리로

① 구조와 사양

현재 국내에서 가장 많이 사용되어지고 있는 진공열처리로는 1실형의 가압가스냉각식 진공열처리로이다. 가압능력은 보통 1~6bar이고, 처리능력은 총 400~500㎏, 처리유효 크기는 600×600×900~1000㎜이다. 냉각능력은 풍속의 고속화 없이 열교환기와 가스순환팬에 의한 냉각으로 중형물의 SKD공랭강과 ϕ40-50㎜이하의 고속도강에 적용되는 수준이다.

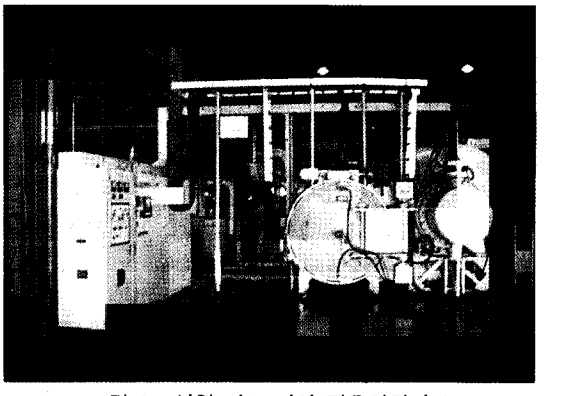


그림 6. 1실형 가스 가압 진공열처리로

표 3. 가압 가스 냉각식 진공열처리로의 사양(동우열처리공업(주) 울산공장)

형 식	로내유효치수	히터 출력	동력출력	유회전펌프	최대장입량
TVQ-606090-1350-500-HBGH	600W×600H×900L	190㎾	110㎾	3,700 ℓ /min	500㎏/gross
최고사용온도	도달진공도	배기시간	냉각수량	냉각가스량	제작사
1350℃	2×10-3Torr	10분(~2×10-2Torr)	19㎥/Hr	5㎥/cycle	동경열처리

② 냉각속도

상기 사양의 진공열처리로는 국내에서 사용되는 일반적인 1실형의 진공열처리로로서 동우열처리공업(주)에서 보유하고 있는 진공열처리로이다. 상기 사양의 로를 사용하여 실험한 냉각속도는 다음과 같다.

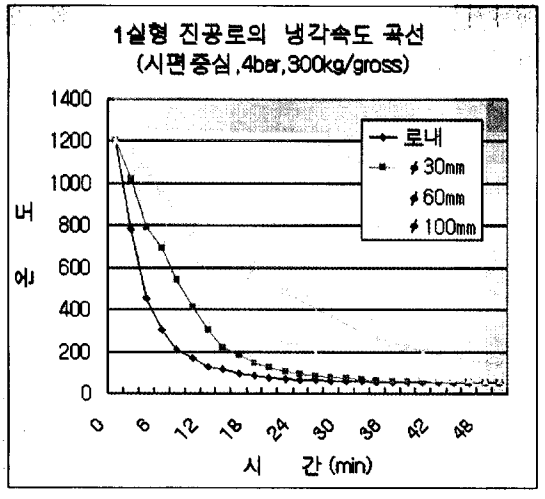


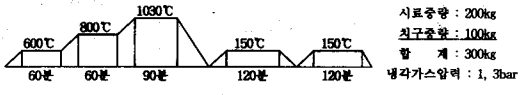
그림 7. 1실형 가압가스냉각식 진공로의 냉각속도 곡선

③ 합금공구강(SKD11)

시험편은 φ50×100, φ100×100, φ150×200, φ200×200를 사용하여 표면부터 중심부까지의 경도변화를 측정하였다.

그 결과 단면경화특성 U커브(그림 8, 9)가 냉각가스의 압력이 상승됨에 따라 개선되었고, 특히 φ150이하의 재료에서는 표면부와 중심부의 경도차가 거의 없었으며 φ200의 중심부도 HRC59의 경도를 얻을수 있었다.

(열처리조건)



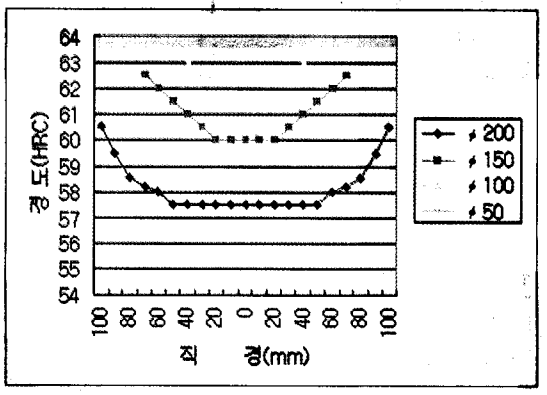


그림 8. 경화능 곡선(SKD11)-1bar, 300kg/gross

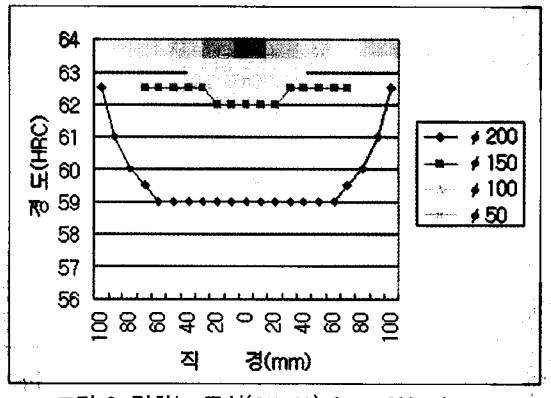


그림 9. 경화능 곡선(SKD11)-3bar, 300kg/gross

그림 8. 9. SKD11의 경화능 곡선

④ 고속도 공구강(SKH51)

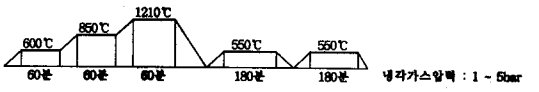
시험편은 φ20, φ40, φ60, φ80, φ100㎜를 사용하였고, 가스가압을 1~5bar까지 변화시킨 경우의 시험편 중심부 경도를 측정하였다.

그 결과 1~2bar에서 경도값이 급상승하고 2bar이상에서는 서서히 상승하여 5bar에서 최고 HRC65의 경도값을 얻었다(그림 8, 9).

가스압력을 올리는 것에 의해 φ60㎜까지는 염욕퀜칭과 동등한 경도를 얻을 수 있었고, 진공

로의 장점인 광휘성을 유지할 수 있었다.

(열처리조건)



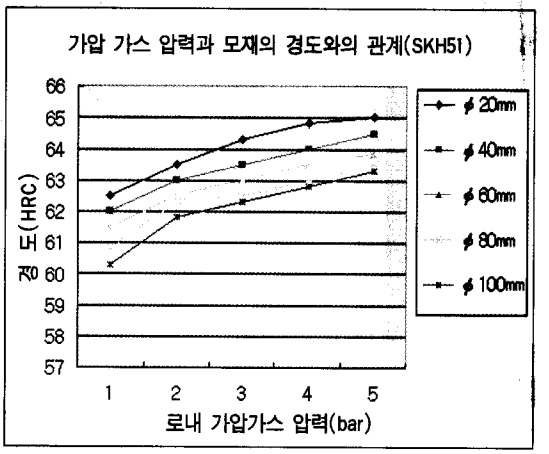


그림 10. 가압 가스 압력과 모재의 경도와의 관계(SKH51)

6.2 2실형 가압 가스냉각 열처리로

① 구조와 사양

현재 동우열처리공업(주)에서 보유하고 있는 2실형의 가압가스냉각식 진공열처리로이다. 가압능력은 1~3bar이고, 처리능력은 총 450kg(하이스 net200kg/ch), 처리유효크기는 600×600×900㎜이다. 냉각능력은 강력한 터보팬을 사용하여 40m/sec 이상의 풍속을 얻을 수 있고, 냉각실이 별도로 배치되어 있는 관계로 φ90㎜의 고속도강 환봉도 심부까지 균일한 경도값을 얻을 수 있다.

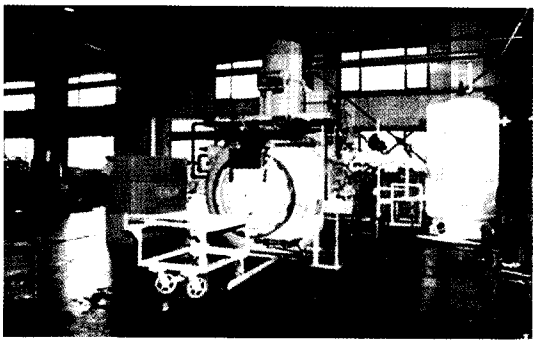


그림 11. 2실형 가스 가압 진공열처리로의 구조

② 냉각속도

상기 사양의 진공열처리로는 2실형의 진공열처리로로서 동우열처리공업(주) 시화공장에서 보유하고 있는 진공열처리로이다. 상기 사양의 로를 사용하여 실험한 냉각속도는 다음과 같다. 가열실과 냉각실이 분리되어 있는 관계로 피처리물이 가열실에서 냉각실로 이동하여 냉각이 시작된다. 이로 인하여 피처리물의 온도를 열전대로 접촉하여 측정하지 못하고 육안에 의해 피처리물의 화색이 소실되는데 걸리는 시간을 측정하였다. 화색소실시의 피처리물의 온도는 550℃로 하였다.

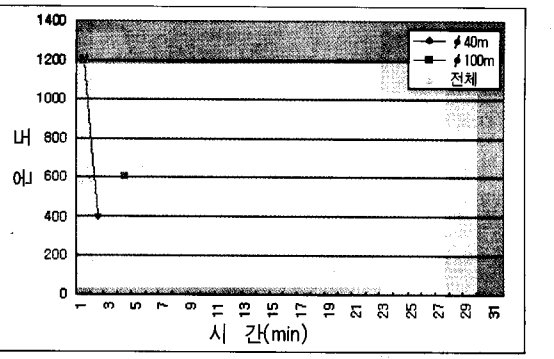


그림 12. 2실형 가압 가스냉각식 진공로의 냉각속도 곡선(총중량 300kg)

표 4. 2실형 가압 가스냉각식 진공열처리로의 사양(동우열처리공업(주) 시화공장)

형 식	로내유효치수	히터 출력	동력출력	유회전펌프	최대장입량
SSVF-200-G Ⅱ-W	600W×600H×900L	150㎾	170㎾	2,400㎥/hr	450kg/gross
배기시간	도달진공도	최고사용온도	냉각속도	溫度精度	제작사
15분이내 (~5×10^{-2}Torr)	2×10^{-2}Torr이하	1250℃	1200→600℃까지 3분이내(φ25×50L)	±5℃(空爐)	청수전설공업(주)

표 5. 2실형 진공로의 고속도강 화색소실 시간

냉각압력=3bar	ϕ20㎜	ϕ30㎜	ϕ40㎜	ϕ50㎜	ϕ60㎜	ϕ80㎜	ϕ100㎜	전체
	23초	35초	51초	1분7초	1분16초	1분44초	3분18초	4분55초

③ 고속도 공구강(SKH51)

시험편은 ϕ10, ϕ30, ϕ50, ϕ70, ϕ90㎜를 사용하였고, 가스가압을 3bar로 하고 고속의 풍속으로 냉각한 경우의 시험편 외부와 깊이에 따른 경도를 측정하였다.

그 결과 ϕ90㎜까지 퀜칭온도에 따른 적정한 경도값이 시편의 내외부에 걸쳐서 균일하게 나타났다. 또한 장입량의 변화에 따른 실험도 실시하였는데 2bar가압에 고속냉각을 실시한 경우에는 200㎏(치구 260㎏별도)까지 장입위치에 관계없이 균일하게 퀜칭온도에 적합한 경도값을 얻을수 있었다.(1170℃ 퀜칭에 HRC63~63.5)

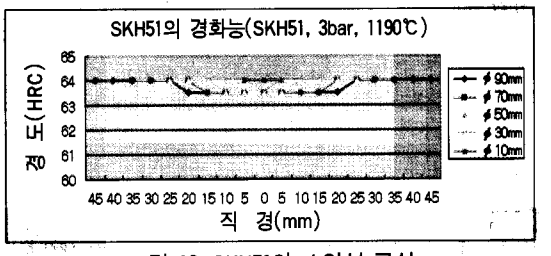


그림 13. SKH51의 소입성 곡선

④ 질소 고용화처리

질소 고용화처리는 스테인레스강의 표면에 진공 및 질소분위기에서 질소를 고용시켜 경도 및 강도 향상과 내식성 및 내마모성을 향상시키는 새로운 열처리 공정이다. 질소 고용화처리는 크롬탄화물이나 크롬질화물의 생성억제와 형태조절을 통해 가스질화에서 나타나는 크롬고갈현상을 방지하는 새로운 표면개질처리로 기존의 질화나 침탄처리품이 내식성을 저하시키는 것과 달리 탁월한 내식특성 및 광휘특성과 함께 케비테이션 에로우젼저항을 갖게하는 열처리 방법이다.

다음은 고용질화의 처리조건과 이를 통해 얻은 SUS304, SUS410의 경도구배 곡선이다.

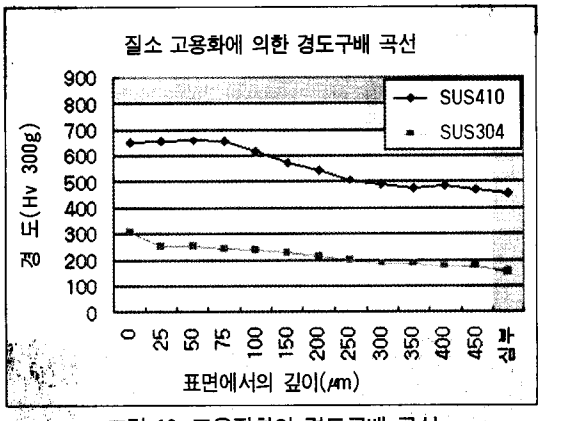
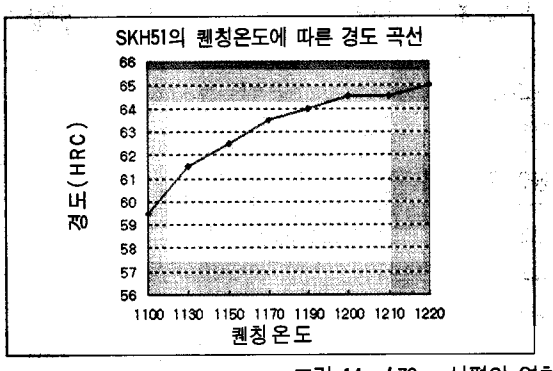


그림 16. 고용질화의 경도구배 곡선

⑤ 2실형 가압가스냉각식 진공열처리로의 적용 대상 품목



No	퀜칭온도	템퍼링조건	경도(HRC)	비 고
1	1100℃	550℃×3시간×2회	59.5	
2	1130℃		61.5	
3	1150℃		62.5	
4	1170℃		63.5	
5	1190℃		64.0	
6	1200℃		64.5	
7	1210℃		64.5	
8	1220℃		65.0	

그림 14. ϕ70㎜ 시편의 열처리 조건별 경도변화 곡선 및 표

ⓐ 고속도강 절삭 공구류

염욕 냉각에 의한 열처리품과 동등 이상의 기계적 성질(경도및 내마모성)

ⓑ 고속도강 단조 공구류

냉각속도의 개선(1200℃→600℃냉각 3분이내)과 저온경화과의 조합으로 입계탄화물 석출 억제을 통한 우수한 인성 부여.

ⓒ 열간용 금형강(SKD61외)의 사출 및 단조 금형류

대형 금형에 대한 냉각속도 개선으로 베이나이트 혼립을 억제하여 우수한 인성 부여 및 히트체크저항 확보.

ⓓ 스테인레스강의 용체화처리 및 퀜칭 템퍼링

우수한 냉각능력으로 크롬 및 크롬탄화물의 입계 및 입내 석출을 억제하여 우수한 내식성 부여 및 소정의 경도 부여.

ⓔ 스테인레스강 기능부품

질소 고용화처리에 의한 내식성 및 내마모성 향상을 통하여 기능성 향상부여.

- 볼트/너트, 스크류, 롤, 펌프부품, 터빈부품, 플라스틱 금형류 등

7. 맺음말

본고에서는 진공로의 구비조건 및 활용현황, 그리고 냉각속도 등 진공열처리에 영향을 미치는 요소에 대하여 조사하였다. 진공열처리는 환경오염방지, 에너지절감, 종래의 가스침탄으로 처리가 어려웠던 소재의 침탄, 그리고 입계산화 억제를 통한 피로 및 내마모특성 향상 등 여러 장점을 가지고 있어 앞으로 널리 사용될 것으로 기대된다. 따라서 국내에서도 진공로의 설계제작 및 활용기술이 하루 빨리 확보되어야 할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] 工業加熱 Vol.21, No.6 p.37.

[2] 鑄鍛造と熱處理 1982. 12 p.34/鑄鍛造と熱處理 1988. 3 p.24~32.

[3] 工業加熱Vol.34, No.3 p.88.

[4] 참고 : HEAT TREATMENT OF METALS 1997. 2 p.37.

[5] 島津評論 Vol.43, No.4(1986. 12) p.313.

[6] 加壓ガス冷却式眞空爐/高橋/동우열처리공업(주)

[7] 工業加熱 Vol.34, No.3 p.89.

[8] DIE CASTING ENGINEER. January/February 1997. p.34.

[9] 金屬プレス・1997年6月 p.30~31.
DIE CASTING ENGINEER.
January/February 1997. p.36.

[10] 강의 열처리표준조직 p82-83

[11] 熱處理 36卷 5 p310-314

[12] 鑄鍛造と熱處理 1982. 12 p35

[13] 자료-HEAT TREATMENT OF METALS 1997. 3. p.60-63.

[14] 工業加熱Vol.21, No.6 p.39.

[15] HEAT TREATMENT OF METALS 1997. 3 p.60.

[16] 工業加熱 Vol.21, No.6 p.39.

[17] Daewoo Advanced Composites Center제공

[18] INDUSTRIAL HEATING/June 1997/p.48.

[19] 참조 : HEAT TREATMENT OF METALS 1997. 2 p.37-42.