

기어의 열처리(2)

장 우 양

조선대학교 신금속소재공학과

Gear Heat Treatment(2)

W. Y. Jang

Dept. of Metallurgical Engr., Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

1. 기어 열처리의 현재

현재 기어의 분위기 침탄기술은 유도경화법을 포함한 다른 모든 경화법과 견주어 볼 때 실질적인 표준 경화법이다. 이러한 분위기 침탄법은 이미 입증된 침탄효율, 넓은 응용범위, 높은 생산성, 에너지원의 선택의 다양성, 침탄설비의 발전 및 분위기 침탄공정에 대한 축적된 기술 등과 같이 많은 장점을 갖고 있기 때문에 앞으로도 기어의 열처리에 널리 이용될 전망이다. 기어 제조에 이용되는 분위기 침탄기술은 시편 표면에서의 경화층 깊이의 변화를 최소화하기 위하여 장입물을 예열하거나 또는 다중 가스분석기를 이용하여 침탄분위기를 제어할 수 있기 때문에 앞으로도 더욱 개선될 여지가 있다.

진공 침탄법은 분위기 침탄법과 비교해 볼 때 열처리현장에 대한 적용이 다소 늦어지고 있기는 하지만 조업기술이 작업자보다는 설비에 더 의존하는 "CNC" 열처리기술과 같은 매력때문에 그 신장세가 빠르게 나타나고 있다.

1.1. 침탄공정의 선택

침탄공정의 선택은 기어의 열처리시 반드시 고려하여야 할 사항 중의 하나이다. 이러한 공정을 선택할 때는 보유하고 있는 열처리 설비나 가공 설비를 반드시 고려하여야 하며 이는 결과적으로 침탄층, 중심부 및 표면의 기계적 성질 등과 같은 미세조직에 아주 중대한 영향을 미칠 수가 있다.

예를 들면, AISI 8822H 강으로 제작된 무게 12 kg의 비도로용 변속기어(그림 1)는 1.27 mm의 유효 침탄깊이와 0.85%의 표면탄소농도가 요구된다. 또한 담금질 경도는 HRC=65~67, 뜨임경도는 HRC=58~64이어야 하며 중심부의 경도는 HRC=28~44의 범위에 들어야 한다. 비록 이러한 변속기어는 지난 수년간 분위기 침탄법에 의하여 제조되어 왔으나 요즘에는 대체 열처리기술로 고압가스 냉각에 의한 진공 침탄법이 고려되고 있다. 고압가스 냉각은 다양한 가스압력과 가스분사기술을 이용함으로써 열처리 현장에서 기름 냉각법의 자리를 서서히 밀어내고 있다. 기어를 제작할 때 공정 변수(표 1)에 따라 상이한 미세조직(그림 2) 및 침탄깊이(그림 3)가 얻어질 수 있다. 고압가스 냉각법을 이용할 경우, 중심부 경도의 최대값은 HRC=42~44, 최저값은 HRC=28~32를 나타낸다. 기어는 사용중 성능이 개선되기 때문에 기어 설계자는 특정한 분야에 이용되는 기어의 경우에는 간혹 중심부 경도의 최저값을 요구하기

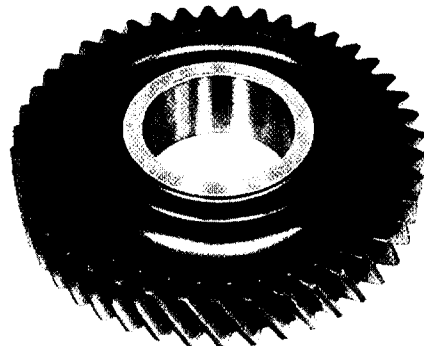


그림 1. 비도로용 변속 기어

*이 글은 Heat Treating Progress, 2(5) 2002, pp. 27-31에 게재된 내용을 번역한 것임.

도 한다. 또한 진공침탄에서는 HRC=58이상인 최대 경도층을 얻을 수 있기 때문에 침탄처리한 후 연삭 작업을 하더라도 최적의 침탄층을 얻을 수 있다. 그리고 고압가스 냉각에 의해서 치수의 변화를 줄일 수 있으며 이차 가공공정을 생략할 수 있다.

1.1.1. 냉각방법의 선택

기어를 제작할 때 치수의 변화는 상당부분 냉각방법과 냉각매질(공기, 가스, 폴리머, 소금, 물 등)의 영향을 받으며 또한 심냉처리와 같은 경화후의 처리 방법에 따라서도 크게 영향을 받게 된다. 침탄 및 침탄질화는 원하는 경도를 얻기 위해 급속냉각을 필

요로 한다. 침탄 및 침탄질화처리시 가열 및 냉각 사이클은 치수의 변화를 초래하게 된다. 치수 변화의 양과 형태는 기어의 무게와 형상에 의존한다. 이러한

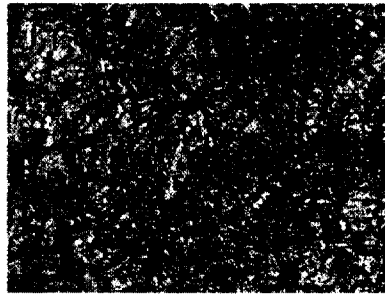
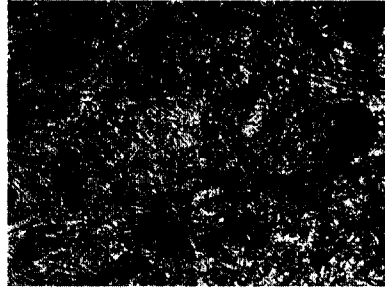


그림 2. 중심부의 미세조직. 위; 중심부 경도가 HRC=44인 마르텐사이트 조직, 아래; 베이나이트 및 페라이트 변태 생성물을 갖는 일차 마르텐사이트 조직. 중심부 경도 HRC=28.

표 1. 침탄 공정 변수

공정 변수	침탄방법	
	분위기 침탄	진공 침탄
온도	94 0°C	940 °C
예열 시간	300 분	32 분
확산 시간	120 분	314 분
경화 온도	845 °C	845 °C
냉각 방법	기름 @ 6 °C	질소가스 @ 20 bar
템퍼링 온도	175 °C	175°C
템퍼링 시간	2 시간	2 시간

Vacuum carburizing (HPGQ) vs. Atmosphere carburizing (oil quench)

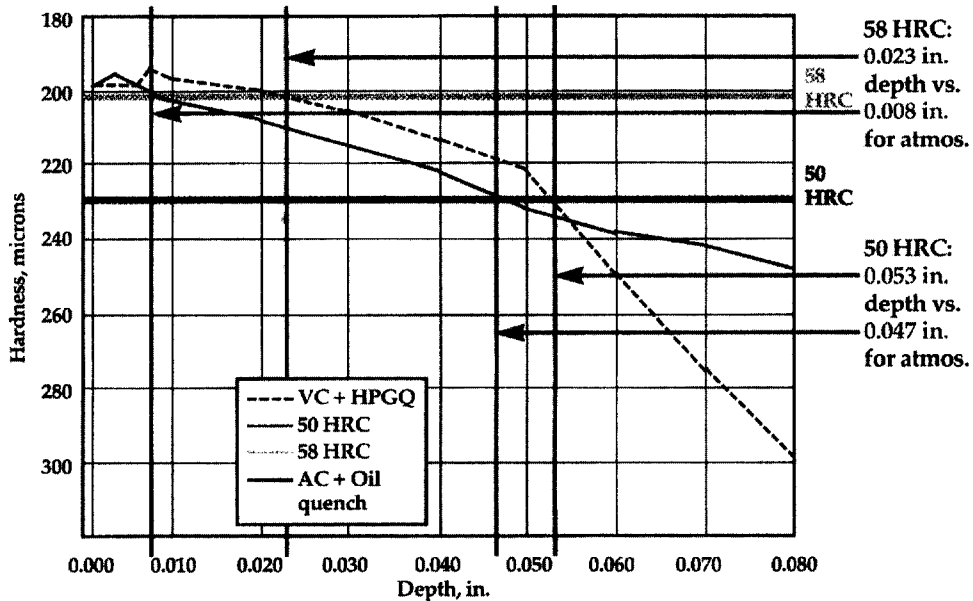


그림 3. 진공 침탄 또는 분위기 침탄에 따른 침탄층의 깊이 변화

현상에 대한 이해가 없으면 열처리한 기어의 일부 또는 전체에 발생할 수 있는 과도한 치수의 변화때문에 기어를 폐기하여야 할 경우가 생길 수도 있다. 기어 이의 치수 정밀도를 위해서는 열처리후 연삭작업을 할 수도 있으나 연삭층이 너무 깊으면 최고 경도층의 깊이가 낮아 질 염려가 있다. 치수변화를 최소화하기 위해서는 원재료에 대한 노말라이징처리를 권장한다.

1.1.2. 냉각법의 유연성

기어의 형상 및 크기는 거의 무한정하게 다양하기 때문에 열처리 공정뿐만 아니라 냉각방식에 있어서도 유연성을 요구한다. 하중을 받는 기어들의 종류는 수백 또는 수 천 종류로 다양하다. 요즈음, 새로운 기어 설계에 따른 성능에 대한 요구에 보조를 맞추기 위해서는 재질의 변화가 필요하다. 이러한 모든 요인들은 보다 인성이 크고 경하며 예측이 가능한 결과값을 얻기 위하여 균일하고 강력하며 제어가능한 다양한 냉각기술들이 요구된다.

진공 침탄법과 분위기 침탄법은 고압가스 냉각기술을 이용함으로써 둘 다 효과적일 수 있다. 고압가스 냉각설비의 보급을 위한 설계가 지속적으로 이루어지고 있으며 전통적인 기름냉각법을 대체해 나가고 있다.

고압가스 냉각법과 관련된 통상적인 변수(그림 4)

이외에도 고압가스 냉각설비의 교란 및 과도한 압력 강하를 피하기 위해서는 유동 등고선과 날개각(15-35%) 그리고 최적의 가스유동패턴과 조절판과의 관계와 같은 조업 변수들을 추가로 고려하여야 한다. 계절 변화에 따라 공정상의 변수가 발생하지 않도록 냉각수의 이용 가능성 그리고 수량, 온도 및 유속 등과 같은 제어변수 역시 주의 깊게 고려하여야 한다.

2. 기어 열처리의 미래

요즈음의 기어 산업은 더욱 더 소형이고 경량으로 다양한 용도에 적용되더라도 더 높은 출력을 갖는 기어 제작을 요구받고 있다. 이러한 목표는 소음 및 중량 감소 그리고 치수제어 등과 같은 성능에 대한 최적화와 굽힘, 접촉피로강도 및 표면의 내마모성 등과 같은 사용중의 수명에 대한 최적화와 같은 문제들을 추구하고 있다. 예를 들면 스퍼(spur) 기어에서 나오는 소음의 감소는 높은 접촉비를 갖도록 기어 이의 두께를 보다 얇게 하고 그 수를 늘리게 함으로써 가능하다. 따라서 보다 얇은 침탄층 깊이와 0.9%의 표면 탄소를 가지는 침탄 열처리법이 요구되고 있다.

기술 삼각형을 나타내는 그림 5는 세 가지 사실을 시사한다. 즉, 제조공학은 진공침탄법 및 유도침탄법

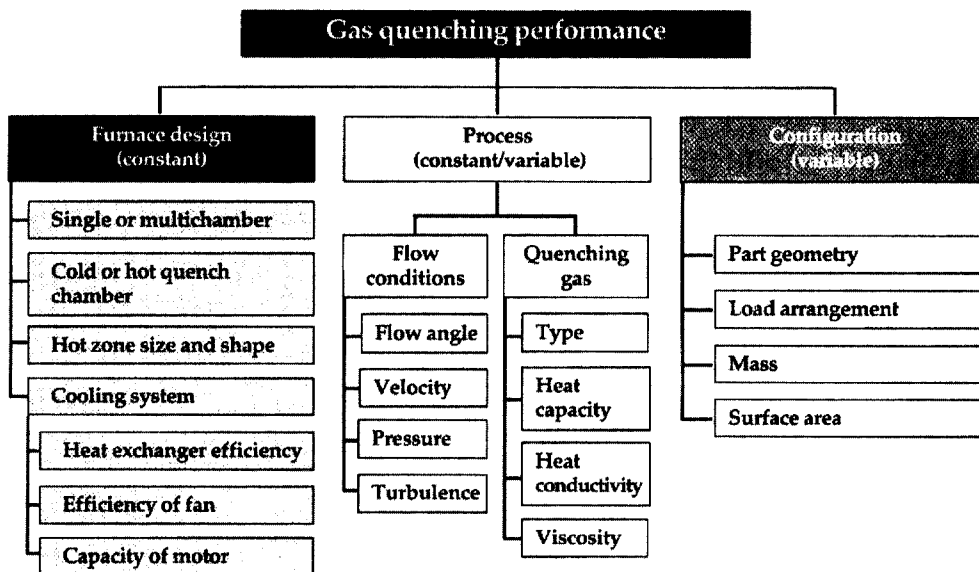


그림 4. 가스 냉각에 영향을 주는 인자들

등과 같은 공정 개발을 의미한다. 또한 재료공학은 변조시스템의 개발 및 통합적인 조업변수의 감시 및 제어를 통한 설비 개발에 대해 요구받고 있다. 그리

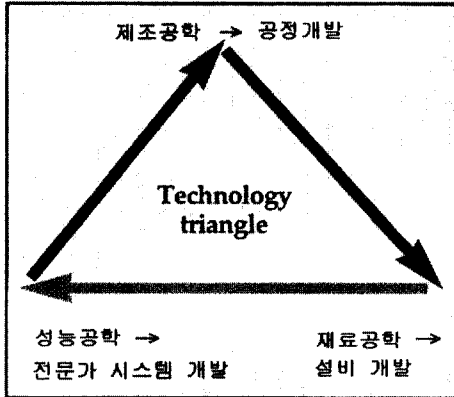


그림 5. 21세기 기술 삼각형

고 성능공학은 지능센서 및 모델 시뮬레이터 등과 같은 전문가 시스템을 필요로 한다.

오늘날 복미 칩탄시장은 분위기 칩탄관련 장비가 지배적이며(그림 6) 이러한 추세는 향후 계속될 전망이다(그림 7). 그럼에도 불구하고 진공칩탄기술의 급속한 발전은 아주 가까운 미래에 극적인 효과를 가미할 수 있는 요소로서 계속될 전망이다.

1.2.1. 응용분야

(1) 자동차용: AISI 4820규격의 태양 기어(그림 8)는 0.75~0.90 mm의 유효 칩탄깊이를 얻기 위하여 930°C에서 진공 칩탄처리한 후 질소가스를 이용하여 12 bar에서 가압 냉각하였다. 이 때 장입물의 전체 중량은 500 kg이었다.

밀도가 7.75 g/cm³이며 분말야금에 의해 제조된 변속기어(AISI 4142에 상당)의 경우에는 0.36 mm의 유효 칩탄깊이를 얻기 위해 880°C에서 진공 칩탄처리한 후 12~15 bar의 압력으로 질소가스를 이용하여 냉각하였다. 다른 방법으로는 이러한 기어들을 기름 냉각할 수도 있다. 장입물의 중량은 315 kg이었다(그림 9).

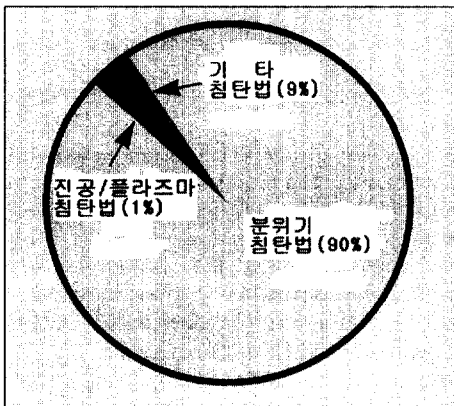


그림 6. 2000년도의 복미의 칩탄시장

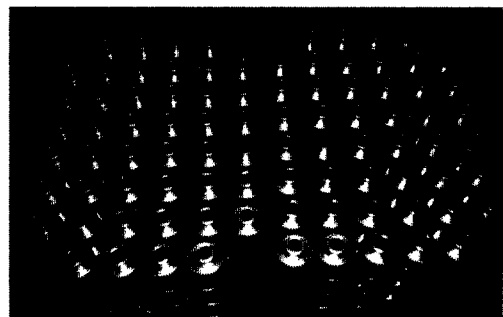


그림 8. AISI 태양 기어

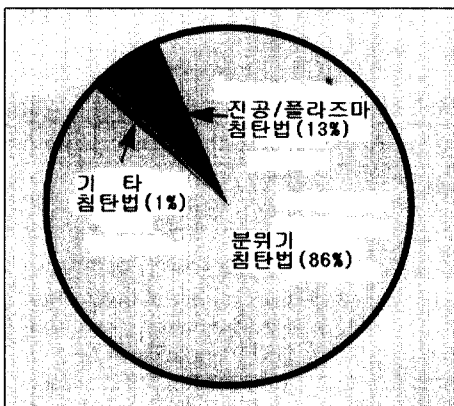


그림 7. 2010년도의 복미의 칩탄시장

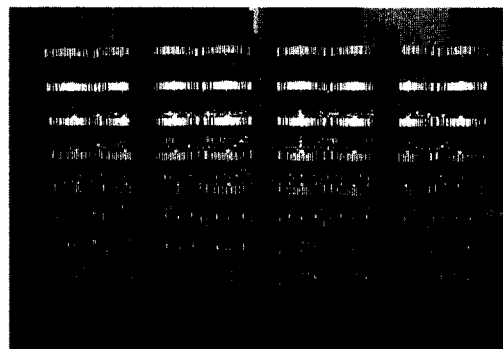


그림 9. 분말야금에 의해 제조된 변속기어

(2) 비도로용: AISI 8620 변속기어(그림 10)의 경우 1.15~1.65 mm의 유효 침탄깊이를 얻기 위해 980°C에서 진공 침탄처리하였으며 20 bar에서 질소가스를 이용하여 가압 냉각처리하였다. 장입물은 430 kg이었다. 다른 방법으로 이러한 기어들은 기름 냉각할 수도 있다. AISI 9310 링 기어(그림 11)는 1.75~2.30 mm의 유효 침탄깊이를 얻기 위해 960°C에서 진공 침탄처리하였으며 11 bar에서 질소가스를 이용하여 가압 냉각하였다. 장입물은 500 kg이었다.

(3) 중형 트럭: AISI 8620 변속기어(그림 12)의

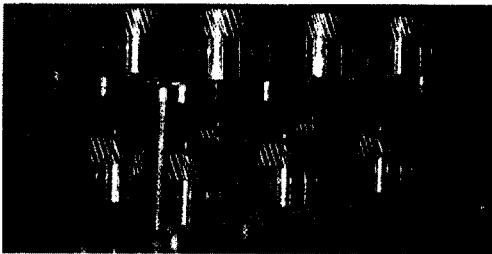


그림 10. AISI 8620 변속기어

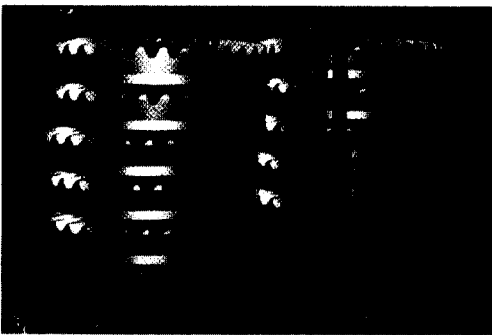


그림 11. AISI 9310 링 기어



그림 12. AISI 8620 타이밍 기어

경우 1.15~1.65 mm의 유효 침탄깊이를 얻기 위해 960°C에서 진공침탄처리하였으며 7~10 bar에서 질소가스를 이용하여 가압 냉각하였다. 장입물은 160 kg이었다. AISI 9310 피니언(그림 14)의 경우 1.15~1.65 mm의 유효 침탄깊이를 얻기 위해 960°C에서 진공침탄처리하였으며 7~10 bar에서 질소가스를 이용하여 가압 냉각하였다. 장입물은 225 kg이었다.

(4) 우주선 : AISI 9310 변속기어(그림 14)의 경우 1.40~1.65 mm의 유효 침탄깊이를 얻기 위해 960°C에서 진공침탄처리하였으며 6 bar에서 질소가스를 이용하여 가압 냉각하였다. 장입물은 360 kg이었다.

1.2.1. 공업용 재료

미래의 기어 제작기술은 공업용 재료에 달려 있다. 과거에는 재료가 경험적인 방법에 의해 개발되어 왔으나 앞으로는 이러한 재료는 모든 재료과학적 지식을 근거로 개발될 것이다. 재료과학에 근거한 기어의 설계는 기어 성능을 높이게 되나 지금까지와는 다른 새로운 열처리 기술을 요구할 것임에 틀림없다.



그림 13. AISI 9310 피니언



그림 14. AISI 9310 변속기어

3. 결 론

기어의 열처리 기술은 새롭고 빠른 기술혁신의 시대로 접어 들고 있다. 이러한 기술혁신은 열처리 공정에 대한 유연성을 갖는 설비를 적용하여 더욱 더 엄격한 성능에 대한 요구를 충족시키는데 필수불가결

한 혁신적인 재료를 개발함으로써 달성될 수 있다. 만약 열처리기술이 21세기에 살아 남을 수 있다면 그것은 제조원가를 가장 절감할 수 기술이어야만 한다. 현재도 진행되고 있는 이러한 기술변화는 열처리 산업의 지속적인 성장과 번영을 약속할 수 있을 것이다.