

고주파열처리의 기술의 최신화제(2) 초급속 단시간가열 담금질에 관하여

김 성 완

한국생산기술연구원, 플라즈마응용팀

Recent Topics of Induction Heat-Treatment Technology - Super Rapid Heating and Quenching -

S. W. KIM

1. 서 론

고주파 열처리기술은 고주파 유도전류를 이용한 직접가열에 의한 표면경화 범으로 주로 철강제 기계부품의 내마모성, 내 피로성, 강인성의 향상에 이용되고 있고, 실용화 이후 이미 반세기가 지났다. 또한 청정한 전기에너지를 이용한 가열방식이기 때문에 운전효율이 좋고 인라인화가 용이하고 생산성의 향상에 도 기여하고 있다. 지구환경에 친화적인 더블·에코 열처리 (Ecological & Economical) 라는 새로운 관점에서 주목받고 있다[1-3]. 그러나 고주파 열처리 기술이 21세기에도 끊임없이 발전하기 위해서는 장점 즉 존재가치를 명확히 하는 노력이 필요하다.

앞서 언급한대로 고주파 열처리기술의 현재의 상태와 최근의 동향에 있어 기본적인 이야기나 고주파를 전문으로 하는 업체의 화제도 언급하면서 본 기업의 현실 업무 부문에서의 화제 및 고주파 열처리 기술의 숙성과 개발을 목적으로 설치한 열처리 기술 센터 「FTC (Fine Techno Center)」의 화제를 중심으로 소개하였다[4]. 본론에서는 본 기업에서 개발한 초 급속 단시간 가열담금질기술에 관하여 최신 화제도 포함시켜 소개하고자 한다.

2. 초급속 단시간 가열 소입기술개발의 경위

고주파 담금질은 기어(내 기어, 외 기어)의 표면경화범으로 폭넓게 이용되고 있다. 직경이 수백

mm ~ 수m의 중대형 기어의 예를 들면 건설 기계용의 선회 른, 엘리베이터 등의 산업기계용의 스포로켓, 철도차량·선박용의 구동용 기어 등이 있다. 한편 자동차 트랜스미션 등에 사용된 작은 모듈의 기어는 일반적으로 초단위의 고주파 담금질을 하여도 치형 전체가 가열·부하가 침탄을 이용한 윤곽담금질을 하기가 어렵다. 때문에 통상의 고주파담금질에서는 내고부하가 요구되는 소형기어에 필요한 표면경도와 금속조직, 높은 치형 강도(톱니부분피로, 치면(tooth surface)피로, 치형의 굽힘 강도), 저 변형이 충분히 얻어지지 않는다.

그러면, 소형기어의 표면경화 범으로는 주로 치형의 형상을 따라 담금질 층을 형성하는 윤곽담금질 기술로 침탄이 많이 사용되어 왔다. 본 기술에 대하여 30년 전부터 고주파담금질의 적용을 목표로 가열코일이나 전력을 바꾸고 예비가열이나 본 가열을 하는 방식이나, 코일에 다른 주파수를 교대로 흐르게 하는 방법 등이 연구되어 현재 실용화에 이르게 되었다.

한편, 침탄담금질에 대해서도 일반적으로 고온 장시간가열에 의한 입계산화나 이상 층의 발생, 열처리 변형, 고 탄소량에 의한 잔류오스테나이트(γ)의 생성, 장시간·패치 처리에 의한 연속생산의 어려움 등의 과제가 남아있다. 그러나 오랜 시간동안 쌓아온 결과들이 귀중한 재산이 되어 「소형 기어는 침탄담금질」이라는 개념이 정착하게 되었다고 생각한다. 그밖에 질화 및 연질화도 적용되어 사용되고 있지만 경화층

이 얇거나 적은 부하가 작용하는 부위나 저 변형을 요구하는 곳에 주로 사용하는 방법이다.

이와 같은 상황에서도 고주파담금질은 더불어코효과나 단시간 가열에 의한 기어의 고성능화, 저변형화, 짧은 택트타임에 의한 플렉시블화, 인라인화의 용이성 등의 많은 장점으로 인한 적용범위 안팎으로 여전히 소형기어의 고주파담금질적용에 관한 연구가 진행되고 있다.

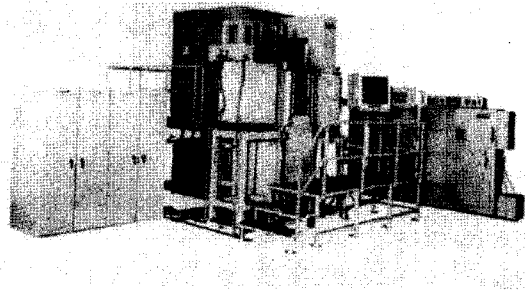
다음으로 본사와 CHI(Contour Hardening Inc.)사가 공동개발한 「0.1~0.5초 정도의 초 고속 단시간 가열의 특징을 갖는 MICROPULSE®식 고주파 유도가열장치를 이용한 고주파담금질에 의한 소형 기어의 윤곽담금질기술」에 관한 연구 개발 상황을 소개한다.

3. 초고속 단시간 가열에 의한 기어의 윤곽담금질 기술

3.1 고주파 가열장치와 열처리프로세스

사진 1은 본 연구개발에 이용한 고주파 열처리장치를 나타낸다. 사진 2에서 보여주는 외경 100 mm, 두께 20 mm 정도의 기어의 고주파 열처리프로세스는 예열, 본 가열(0.1~0.5초 정도의 초고속 단시간), 담금질로 이루어지며, 모든 프로세스를 불과 10초 이내에 처리가 가능하다. 실험에 이용한 고주파 발전기는 예열 또는 고주파 템퍼링용의 주파수가 3/10/25/50 kHz(선택)/최대출력 600 kW이고, 본 가열용이 전자관식(150/210 kHz/600 kW) 및 트랜지스터 식(200 kHz/1000 kW)의 발전기이다. 고주파·대출력을 초 단시간에 고정밀도와 뛰어난 재현성을 보여주도록 하는 제어기술에도 CHI가 개발한 APC(Absolute Pulse Controller)를 중심으로 한 “MICROPULSE®” 시스템이 사용되고 있다.

기어의 기본적으로는 가열코일은 환형 1 턴으로 예열과 본 가열은 다른 스테이션에서 행하기 때문에 동일한 타입의 코일을 사용한다. 가열 중에는 기어를 미리 회전시키고(600 rpm 정도), 설정온도는 고성능, 저 변형을 얻을 수 있는 AC1변태점이하의 적당한 온도로 예열한다. 다음으로 가열 스테이션을 예열용의 상단으로부터 본 가열용의 하단에 재빠르게 이동시키고, 약 1000°C까지 0.1~0.5초간 초 고속 단시



· 본가열용 : 전자관식 150/210kHz, 600kW
트랜지스터식 200kHz, 1000kW

사진 1. 초 고속단시간 가열용 실험장치.

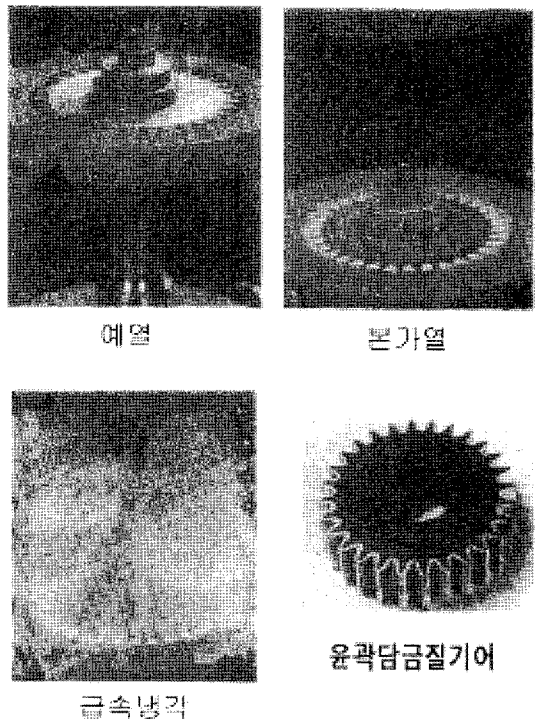
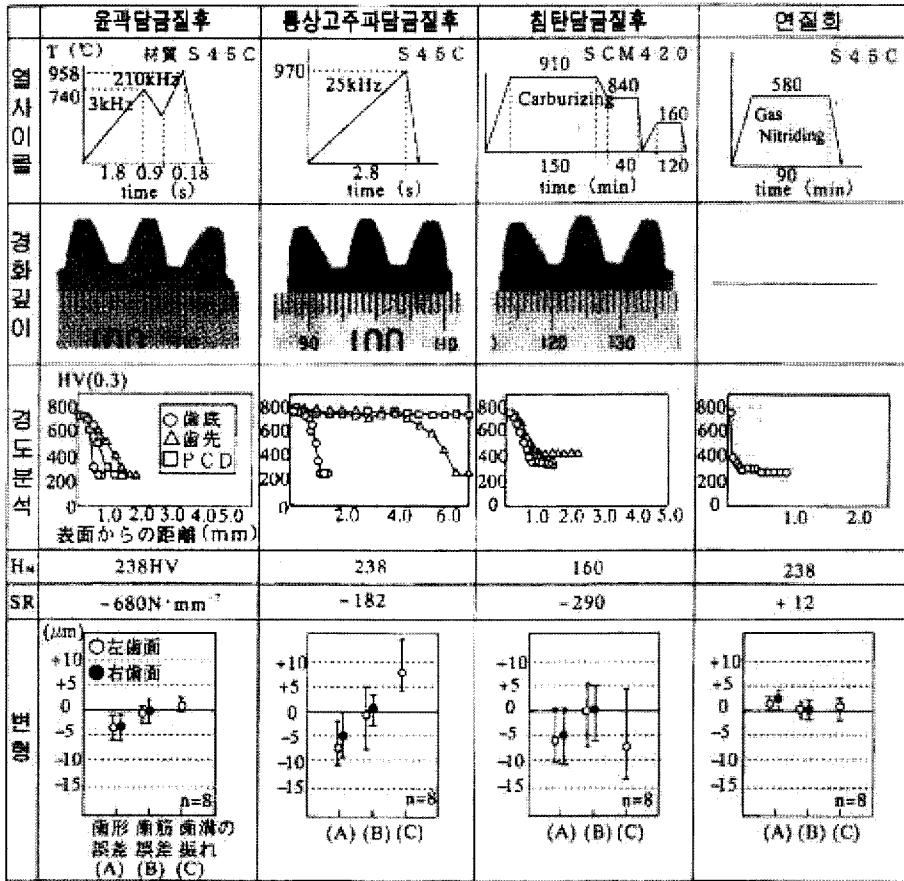


사진 2. 초고속단시간가열(0.1~0.5초)을 이용한 기어의 윤곽담금질프로세스.

간 가열(유지, 방냉하고)한 후, 회전을 급 감속시킴과 동시에 주로 폴리머계열의 냉각제를 분사하여 급냉 담금질한다.

3.2 윤곽담금질기어의 특성[5]

기초적인 기어의 성능을 조사하기 위해 모듈 3, 잇 수 40, 압력 각 20, 외경 126 mm, 치폭 20 mm의 평 기어를 표준형상으로 S45C강의 초고속 단



H_m : 소재경도 SR: 치원부잔류응력

그림 1. 윤곽담금질기어, 통상의 고주파담금질기어, 침탄담금질기어, 연질화기어의 특성비교.

시간 고주파 가열담금질(윤곽담금질)품, 통상 고주파 담금질 품, SCM420 강의 침탄담금질 품, S45C강의 연질화품을 제작하고, 재료특성, 피로특성, 변형을 비교하였다. 그림 1에 재료특성의 측정결과를 나타내었다.

윤곽담금질품의 경우에는 대략 치형의 따른 경화층이 일어나고 있으며 그 깊이는 치근에서 0.2 mm, 치면에서 0.75 mm, 치고에서 1.2 mm이다. 표면잔류응력은 -680N/mm²의 압축응력형태로 나타내고, 변형은 담금질전후의 치형오차, 치근오차, 치구의 진원도 변형량을 측정된 결과 모두 연질화 제품과 유사한 작은 값을 보여주었다. 일반적인 고주파담금질품은 가열시간이 2.8초의 짧은 시간이라도 이(齒) 전체가 담금질경화되고, 윤곽담금질 품과 비교하여 압축잔류응력이 낮은 값을 나타내고 열처리의 변형량도

큰 값을 나타내었다. 한편 침탄담금질품은 윤곽담금질품과 비교하여 치형에 따라 균일한 경화층이 일어나고 그 깊이는 치근에서 0.5 mm 정도로 유사한 결과를 보여주었으나 잔류응력은 -290N/mm² 정도의 낮은 값과 열처리의 변형량이 있어서도 큰 값을 나타냈다. 연질화품은 저온에서 처리하기 때문에 변형량은 적지만 경화층이 수십 μm 정도로 작고 잔류응력은 거의 제로에 가까운 값을 보여주었다.

3.3 높은 잔류응력 값에 대하여

현재까지 시작의뢰품을 분석한 결과 여러 가지 재질, 형상의 기어를 일부에서는 열처리조건을 변화시키면서 윤곽담금질을 하여 그 특성의 조사 데이터를 축적해 온 결과 그 중에서 표면압축잔류응력에 있어서는 -500~-1500N/mm² 정도의 일반적인 고주파 담금질

품 보다 높은 값을 얻을 수 있었다. 이후에 언급하게 될 회전굽힘 피로시험용의 시험편에서 $-2500\text{N}/\text{mm}^2$ 이라는 상당히 높은 측정치를 얻었다. 이러한 잔류응력 측정결과의 타당성에 대해 이야기 해보면, 측정은 PSPC 타입의 미소부 X선 응력측정 장치를 사용하여 측정하였고 장치 메이커의 전기 기계적 또는 시작품의 사용자와 장치사이의 오차를 확인한 결과 특별한 문제는 없었다. 또한 필요한 경우에 인접한 이(齒)를 절단하여 제거하고 측정한 것도 있지만 그 경우에는 다소 응력완화가 예상 되어 압축 잔류응력의 절대치가 측정치보다 작을 가능성은 적다고 생각된다.

다음의 $-2500\text{N}/\text{mm}^2$ 의 고압축잔류응력이 존재하게 되면 항복변형 된 것인가? 의문에 대한 현장의 항복변형사례는 금속재료기술연구소(NRIM)에 축적되어 있는 철강재료의 항복점에 관한 데이터베이스로부터 얻어지는 상관 식에서 경도가 800 Hv 가까운 S45C강의 윤곽담금질재의 추정항복점은 인장과 압축에서 $2500\text{N}/\text{mm}^2$ 이상으로 항복하지 않은 상태의 $2500\text{N}/\text{mm}^2$ 라는 고압축 잔류응력은 존재한다고 생각한다. 또한 앞서 소개한 고주파 열처리시뮬레이션을 통하여 초 급속 단시간 가열 담금질한 시험편에서 잔류응력분포를 계산하여 절단되는 밑 부분은 $-2250\text{N}/\text{mm}^2$ 정도의 고압축잔류응력이 발생하고 있다.

이상의 결과로부터 기어의 윤곽담금질에 한정하지 않고 초 급속 단시간 가열에 의한 고주파담금질을 하면 표면에(특히 절단이 발생한 부재의 절단부) 기존의 고주파담금질에서 나타나는 것보다 고압축잔류응력이 발생한다고 한다. 이후에 새로운 특징을 찾아내거나 특징을 살리기 위한 노력을 계속하고 싶다.

3.4 기어의 피로시험결과[5, 7]

실제 기어에 사용 환경을 포함한 다양한 종류와 크기의 부하가 걸리는 조건으로 기어의 피로강도를 평가 하였다. 일반적으로 치근 부분피로, 치면 피로(마찰마모피로, 전동피로), 반복충격피로(극 고 부하에서 10^3 회 정도의 비교적 저 사이클 피로)등의 몇 개의 부하상태에서의 피로시험을 행하고 종합적으로 판단할 필요가 있다.

그러면 앞서 얘기한 표준 평 기어를 공시 품으로 유압서보시험기를 이용하여 공시품의 치선을 「ㄱ」

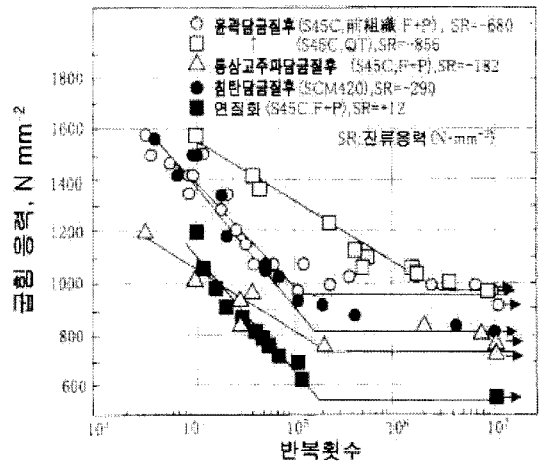


그림 2. 윤곽담금질기어(소재조직 = QT, F + P), 통상의 고주파담금질기어, 침탄담금질기어, 연질화기어의 치원의 굽힘피로시험결과.

자형의 치구로 반복하중을 주어 치근부분의 피로특성을 구하였다. 또한 자동차 트랜스미션에 헬리컬기어가 사용되고 있지만 사정상 평 기어를 사용하였다.

그림 2에서는 윤곽담금질 품(페라이트(F) + 펄라이트(P)조직의 경우와 조질 조직의 경우), 통상 고주파담금질 품, 침탄담금질 품, 질화품의 피로시험결과를 나타낸다.

10^7 정도의 피로한도는 윤곽담금질 품(조질재, F + P재)이 가장 높은 값을 나타내고, 침탄담금질 품, 통상 고주파담금질 품, 연질화품의 순서로 나타났다.

또 $10^3 \sim 10^5$ 회 정도의 시간 강도영역에서는 윤곽담금질 품(조질재)이 가장 높은 값을 나타내었고, 윤곽담금질 품(F + P재)과 침탄담금질 품이 동등한 결과를 통상 고주파담금질 품과 연질화품은 거의 동일한 수준의 낮은 값을 보여주었다.

이와 같이 윤곽담금질 품이 높은 피로강도를 보이는 이유는 표면부의 고압축잔류응력과 고경도의 효과라고 생각된다. 또한 윤곽담금질 품과 침탄담금질품 등이 동등한 시간강도를 나타내는 것은 윤곽담금질품은 조질에 의한 것이고, 침탄담금질품은 전체담금질과 함께 경화층 내측의 경도가 높기 때문이다. 단순한 치고 부분의 굽힘 강도가 윤곽 담금질 품(조질재)와 침탄담금질 품이 거의 동일한 수준을 보여주었고, 윤곽담금질 품(F + P재), 통상고주파담금질품의 순서로 낮은 값을 보여주어 피로강도와 동일한 경향을 보여주

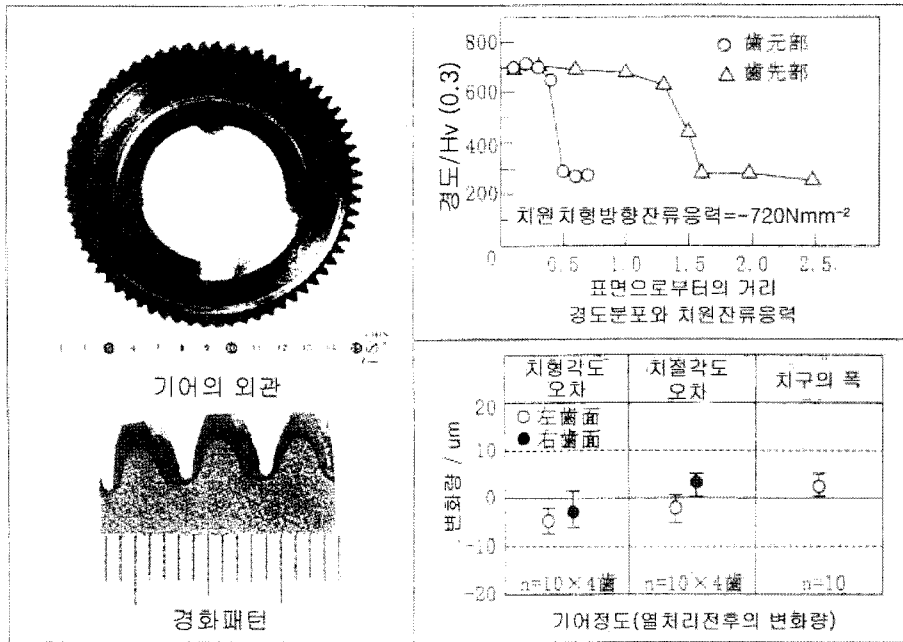


그림 3. 디젤엔진용 타이밍기어(헬리컬)의 특성 조사 예(例).

고 있다. 반복 고 부하응력 영역에서는 단순 굽힘이나 피로강도에 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다.

3.5 시제품 기어의 사례

현재까지 자동차 트랜스미션용 기어(연기어), 디젤 엔진용 타이밍 기어, 산업기계용 기어, 구동축 차동 기어, 박판기어 등 여러 가지의 기어에 윤곽담금질을 행하여 왔다. 재질에서는 저탄소강, 중탄소강, 동합금, 구상흑연주철 등, 형상으로는 다양한 사양의 평기어, 연기어(연치각도가 중요), 베벨기어 등, 크기로는 요구사양이나 가열조건에 따르지만, 최소 외경/수십 mm에서 최대 외경/300 mm까지의 기어를 취급하고 귀중한 경험과 데이터를 축적해 왔다.

그림 3은 디젤엔진용 타이밍기어의 특성의 조사 예이다. 이 기어는 실차시험을 포함한 여러 가지 내구시험에서 우수한 성능을 나타내고 양산기술로서의 공정 능력 확인시험에서도 우수한 결과를 보여주었다. 이와 같은 높은 평가를 받아 양산장치로 실용화 되고 있다.

또한 USA·인디아나폴리스에서 매년 치러지는 짧은 기간이지만 가혹한 레이스인 「Indy 500(97년도)」에서 칩탄 담금질한 기어 대신에 CHI에서 개발한 경량화 타입의 트랜스미션용 윤곽담금질기어(SAE

1552강)를 탑재한 레이싱카가 우승, 준우승을 하였다. 시판되는 자동차에서의 평가와는 취지가 다르지만 주목할 만한 실용화 예이다.

4. 최근 기어에 관한 연구 예

4.1 경화층 깊이의 영향

당초, 치고 부분의 경화층 깊이 0.5 mm를 표준으로 여러 가지 실험을 행하여 왔다. 그러나 윤곽담금질의 우수성을 높이기 위해서는 $10^3 \sim 10^5$ 회 정도의 시간강도 영역에서 피로강도와 단순 굽힘 강도를 더욱 향상시켜야 한다. 그러면, 치고 부분의 경화층의 깊이의 영향을 보기 위해 깊이를 0.33~0.82 mm까지 4 단계로 변화 시켰다. S45C강의 기어를 제작하고 제 특성과 피로강도를 검사하였다. 그 결과를 그림 4에 피로한도와 시간강도를 함께 나타내었다. 경화층 깊이가 0.45 mm까지는 거의 유사한 경향을 보여주었으나 0.65, 0.82 mm에서는 경화층이 두꺼워 질 수록 높은 값을 나타내었다. 이것은 0.82 mm의 제품에서도 0.45 mm 제품과 비슷한 -1100N/mm^2 정도의 고압축잔류응력이 존재하고, 경화층이 깊을수록 반복 부하중의 잔류응력감쇠

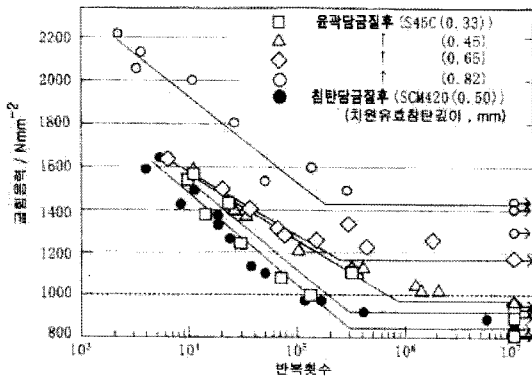


그림 4. 윤곽담금질기어의 치원굽힘피로강도와 경화층깊이의 경향.

가 적어지고, 경화층의 강도(굽힘강도, 경화부 체적)가 높은 효과도 포함된다고 생각하고 상세한 해를 찾고 있다.

4.2 더블 샷 피닝의 효과

최근 주목받고 있는 더블 샷 피닝이 윤곽 담금질한 연치기어(S50C 강, 모듈 3, 압력각 17°, 톱니 경화 깊이 0.5 mm)에 미치는 효과를 조사하였다. 그림 5를 통해 확인한 결과는 더블 샷 피닝을 처리한 제품의 경우 피로한도가 약 40% 정도 향상됨을 알 수 있었다. 이후 보다 자세한 내용을 발표할 계획이지만, 윤곽 담금질한 기어와 비교하여 볼 때, 표면압축 잔류응력이 약 600N/mm²의 상승과 표면경도가 40 Hv 정도의 높은 값과 표면조도(R_{max}: 약 4 μm 감소)가 평활화 된 이유로 인해 피로한도가 개선된 것으로 예상된다[9].

4.3 구상흑연주철의 윤곽담금질 효과

근래 오스텝퍼드 구상흑연주철(ADI)은 우수한 진동 감쇠능과 고강도의 특성으로 인해 엔진용 기어에 사용되고 있지만, 기지중의 잔류 γ가 절삭 시에 가공유기변태하기 위한 가공성의 개선이 필요하다. 그러서, FCD700 재질의 표준평기어의 윤곽담금질 품(톱니 경화층 깊이 0.5 mm)과 ADI품(350 Hv)의 피로 시험을 실시하였다. 그 결과 그림 6에 보여주는 바와 같이 시간강도에서는 동등한 값을 보여주지만, 피로한도에서는 윤곽담금질 품이 보다 높은 값을 보여주는 바 구상흑연주철에서도 효과가 있음을 알 수 있었다[8]. 기초적인 회전 굽힘 피로시험도 병행하면

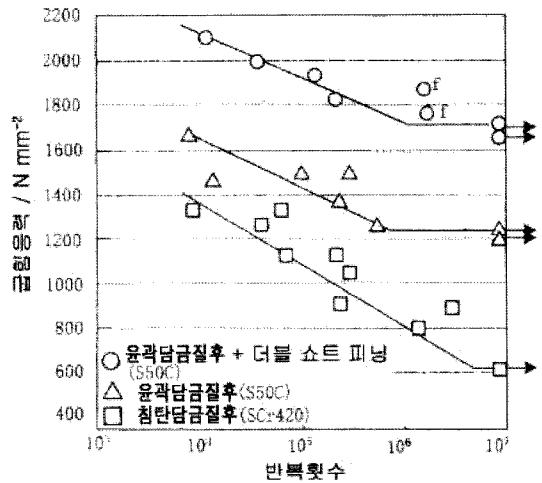


그림 5. 윤곽담금질기어의 치원 굽힘피로강도에서의 더블 샷 피닝의 효과.

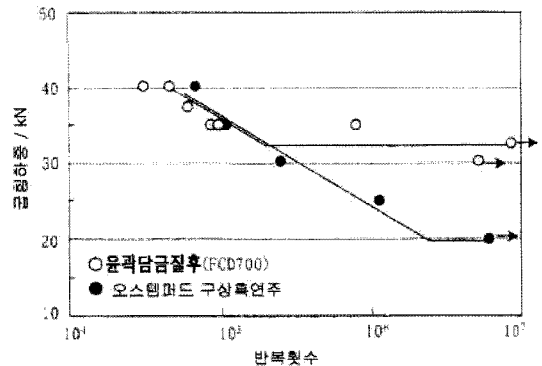


그림 6. 윤곽담금질한 구상흑연주철(FCD700) 기어의 치원 굽힘피로강도.

서 해석을 진행하였다[10, 11].

5. 초고속단시간가열열처리에 관한 기초연구

본 개발은 「초고속단시간가열」의 특징을 이용한 기어의 윤곽담금질을 목표로 하여 대학 및 소재메이커와 공동으로 여러 가지의 기초연구를 실시하였다.

5.1 기초적 회전 굽힘 피로거동[12]

일반적인 피로특성을 파악하기 위해 S45C강의 모래시계형의 평판 시험편을 0.5 mm에서부터 전체(주부)가열을 통하여 여러 가지의 경화층 깊이에 초고속 또는 통상의 급속 단시간가열담금질을 하여 시험을 실시하였다. 이 시험의 분석결과, 경화층이 얇은

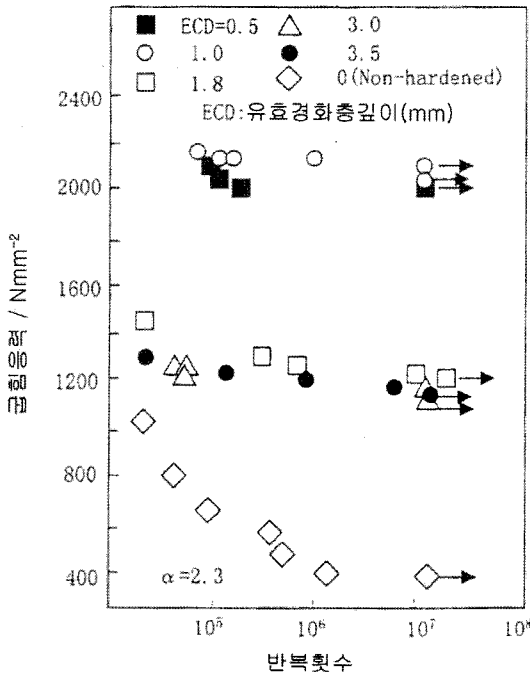


그림 7. 회전굽힘피로 강도에 대한 초급속단시간가열 담금질 효과.

시험편에서는 높은 표면압축 잔류응력과 높은 경도 값을 보인 반면, 전체 경화한 시험편에서는 내부의 비경화층과의 경계부분 및 내측을 기점으로 한 내부파괴가 발생하였고 기대한 피로강도를 얻을 수 없었다.

그런 다음에 응력집중계수 $\alpha = 2.3$ 의 절결을 갖는 시험편을 동일하게 고주파담금질 후 피로시험을 실시하였다. 그 결과 그림 7을 통해 알 수 있듯이 경화층이 얇아짐에 따라 보다 높은 피로강도를 얻을 수 있었다. 또한 이 절결 시험편에서 2500N/mm^2 의 높은 압축잔류응력이 측정되었다.

5.2 소입 전 조직의 영향[13]

통상의 초단위의 고주파담금질 시에 담금질전의 조직이 담금질 후 조직이나 경도에 영향을 주는 것은 잘 알려져 있는 사실이다. 초 급속 단시간가열은 가열시간이 0.1~0.5초이기 때문에 전조직의 영향이 커지는 것은 또한 분명한 사실이다. 그러면 동일한 S45C 강의 전 조직을 전 열처리조건(조질(담금질-템퍼링)조직, F + P조직, F + 구상화 세멘타이트)을 달리하여 회전 굽힘시험편을 제작하고 초급속단시간 가열 γ 화 담금질 후 정적인 기초특성과 피로강도를

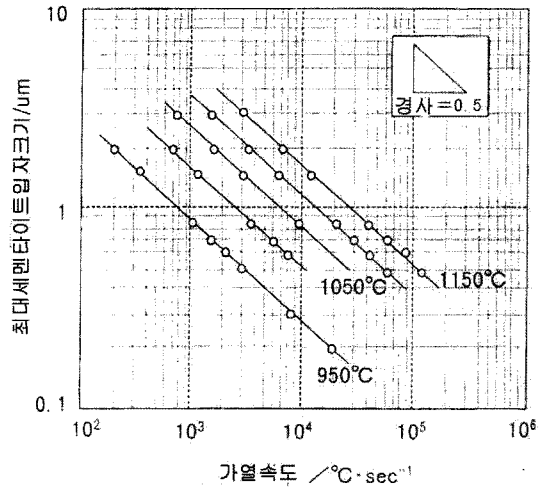


그림 8. γ 화가열속도와 분해시 최대 세멘타이트의 입자크기와의 관계.

조사하였다.

그 결과 초단시간 가열에 의해서도 통상고주파담금질과 마찬가지로 조직 조직의 경우에는 균일한 γ 화 담금질이 용이하고 구상탄화물 조직의 경우에는 쉽지 않음이 밝혀졌다. 또한 F + P 조직의 경우 괴상(塊狀) F가 보이지 않고 F 면적비율이 약 15% 이내 라면 초급속 단시간 가열에 의하여 균일한 담금질조직과 경도를 얻을 수 있었다.

5.3 전용강재개발

치절(齒切)가공에 의한 제작된 기어에의 적용을 고려할 경우에 강재에는 낮은 경도가 바람직한 절삭가공성과 앞서 말한 것처럼 높은 경도가 바람직한 초급속가열 γ 화성이 서로 상반된 특성이 요구된다. 그러면 냉간 단조용 고주파 담금질 강을 기본으로 한 강에 초급속단시간가열로 처리한 특성을 분석한 결과, F 면적율이 작아도 경도가 비교적 약간 낮게 된 강종 및 전열처리·전조직을 적절히 선택할 경우 서로 상반된 특성이 나올 수 있다는 것을 보여준다[14].

또한 고 경도라도 피 절삭성을 개선할 수 있는 양립의 가능성에서 볼 때 쾌삭 원소의 첨가효과를 분석한 결과 역시 양립의 가능성을 보여주었다. 이와 같은 초급속단시간 급속가열 담금질의 장점을 끌어낼 수 있는 전용 강재의 개발은 매우 중요하다고 생각 한다.

5.4 초고속단시간가열에서의 금속조직변화

「0.1~0.5초의 초단시간 가열로 균일한 담금질조직이 얻어질 수 있는가?」라는 의문을 해명하기 위해 초 고속 가열중의 모재상의 구상 시멘타이트의 분해, 고용, 확산프로세스에 관하여 시뮬레이션을 통하여 계산하고, 실제적인 급속가열 γ 화 도중에 급냉 시켜 조직을 고정한 시험편을 SEM 관찰결과와 비교해석하였다.

그 결과 그림 8에서 보여주듯이 계산상으로 가열 속도 5000°C/s(1000°C에서 0.2초)로 초 급속 가열한 경우 1 μ m 정도의 시멘타이트라면 분해 가능한 것으로 예측되었다. 단지, 실제의 SEM 사진으로 0.1~0.5 μ m 정도의 미소(微少), 미고용(未固溶) 시멘타이트가 보여지고 있다. 현재 이에 대한 3차원적인 분석 및 시뮬레이션의 정밀도 향상에 대한 연구도 진행하고 있다.

또한 최근 「0.1초 정도의 초 급속가열 열처리하면 소입하고 어떤 마르텐사이트가 생성되는가?」 템퍼링 시에 탄화물의 석출거동이 어떻게 나타나는가? 등 기어의 윤곽담금질에 대한 객관적인 급속학적 관점에서 이슈가 되고 있고 기초적 연구 또한 계속하고 있다.

6. 맺음말

초 급속 단시간 가열기술이나 설비에는 아직도 연구개발을 통하여 밝혀야 할 현상들과 개선점, 그리고 메리트를 최대한 살리는 등의 많은 과제가 남아 있다. 단지, 약간 앞서 얘기하기 미흡하지만 지금까지의 실용레벨에서 이야기되고 있는 고주파 열처리에 의한 기어윤곽담금질기술이나 초고속단시간가열 열처리가 현실적 기술이 되어 있는 기업으로서는 개발 기록이나 보고에 머무르지 않고 지속적인 시작테스트나 적용대상의 확대를 통한 일본 국내에서의 건수(본사 설비 도입 예 1건을 포함하여)의 실용화 실적을 조금씩 늘릴 수 있도록 노력하고 싶다. 표면경화 기술·제품에 관계된 산·관·학의 연구자 및 기술

자 모두에게 새로운 고주파 열처리에 대하여 인식시켜주고 연구개발에 조그만 도움이 될 수 있었으면 한다.

(1999년 6월 14일)

* 이 글은 日本 “熱處理” 제 39권 3호에 게재된 내용을 번역 정리한 것이다.

참고문헌

1. 川寄一博 : 열처리 37, 3, p.133 (1997)
2. 川寄一博 : 전기제강, 67, 1, p.44 (1996)
3. 川寄一博, 山崎隆雄 : 특수강, 46, 9, p.6, p.24 (1997)
4. 古賀久喜, 川寄一博, 山崎隆雄 : 열처리, 39, 3, p.142 (1999)
5. Y. Misaka, Y. Kiyosawa, K. Kawasaki and T. Yamazaki : SAE Paper, 970971 (1997)
6. 生田文昭, 堀野孝, 三阪佳孝, 川寄一博 : 일본재료학회 제47기학술강연논문집, p. 83 (1998)
7. 堀川武, 中村宏, 河原仁, 川寄一博, 三阪佳孝 : 일본재료학회주최 「제6회 기계구조물의 강도설계 안전평가 심포지엄」, p.64 (1998)
8. 三阪佳孝, 清津裕, 堤邦彦, 川寄一博, 山崎隆雄 : 일본기계학회 99년도년차대회 발표예정 (1999.7.)
9. 松井勝幸, 衛藤洋仁, 川寄一博, 三阪佳孝, 安藤柱 : 일본기계학회논문집특고중
10. 片平和俊, 鈴木秀人, 魯勤武, 川寄一博, 三阪佳孝 : 일본기계학회논문집 (A 편), 64, 622, p.53 (1998)
11. 中津正一郎, 米倉大介, 小茂鳥潤, 清水真佐男, 三阪佳孝, 川寄一博, 中野英治 : 일본기계학회 99년도 연차대회발표예정 (1999.7.)
12. 小茂鳥潤, 清水真佐男, 井上史, 三阪佳孝, 川寄一博 : 제44회 일본열처리기술협회강연대회개요집, p.29 (1997)
13. 三阪佳孝, 清津裕, 伊藤大二, 川寄一博, 山崎隆雄 : 제42회 일본열처리기술협회강연대회개요집, p.57 (1996)
14. 井上幸一郎, 中村貞行, 三阪佳孝, 川寄一博 : 제46회 일본열처리기술협회강연대회개요집, p.61 (1998)
15. 伊藤誠司, 蟹 j 畢秀雄, 三阪佳孝, 川寄一博 : 재료와 프로세스, 11, 3, p.550 (1998)
16. 大内朋樹, 楠欣浩, 梅本実, 三阪佳孝, 川寄一博 : 재료와 프로세스, 10, 3, p.581 (1997)