

(기술자료)

## 자동차용 기어 강화를 위한 열처리 기술

자료정리 경북대학교  
교수 정인상

### Strengthening Technique for Gear by Heat Treatment

In-Sang Chung

#### 1. 열처리에 의한 기어강화기술\*

##### 1-1. 서론

자동차의 주행 성능, 연료 효율 및 정숙성 향상을 위해서는 엔진이나 구동계에 사용되는 기어가 대단히 치수 정밀도가 대단히 높아야 함은 물론, 증대되는 추세에 있는 엔진 출력을 보다 콤팩트하게 전달할 수 있어야만 한다. 소형이며 경량화를 도모하면서 동시에 충분한 내구성과 신뢰성을 확보하기 위해서 엔진에 사용되는 기어의 강도 증대가 기술과제의 하나로 떠오르고 있다.

기어의 강도 특성은 내굽힘피로성, 내피치성, 내마모성 및 내마모성 등이 있다. 그 중에서도 이뿌리(齒元) 굽힘 피로 파손에 의해 기어의 수명이 결정되는 경우가 많다. 그에 대한 대응책으로 재료, 열처리 및 가공 측면에서 연구가 진행되고 있다. 이번에는 이뿌리 굽힘 강도의 향상책으로서 Mazda사에서 개발한 침탄 기어 및 질화 기어의 강화기술을 소개한다. 기어의 피로강도와 치수 정밀도의 관계에서 강화기술과의 관계는 그림 1로 나타낼 수 있다.

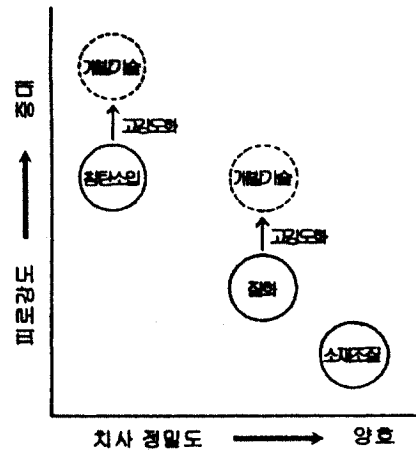


그림 1 기어 강화기술 개념도

##### 1-2. 침탄기어의 강화기술<sup>1),2)</sup>

###### 2.1 강화수단의 비교

침탄된 기어는 대표적인 고강도 기어이지만 현실은 더 강화된 것을 요구하고 있다. 그림 2는 여러 공정에 포함되는 피로강도 향상에 기여하는 인자들을 비교하여 놓았다. 높은 피로강도를 얻기 위해서는 조직과 경도같은 특성이 열처리 후 적절해야 됨은 물론이며, 좀 더 적극적으로 압축 잔류응력을

\* 이 자료는 熱處理(J. of The Japan Society for Heat Treatment), 38(1998)277에 게재된 Shinya Shibata(柴田伸也)의 기술해설, "High Strengthening Technique of Gear by Heat Treatment"를 번역 정리한 것이다. 저자는 Mazda(주) 技術研究所에 근무하고 있다.

좀 더 적극적으로 압축 잔류응력을 이용할 필요가 있다. 그 수단으로서 shot peening 에서 peening 가공을 강하게 하는 것이 가장 효과적이다. 그러나 peening 가공을 강하게 하면 표면 조도가 나빠지게 되며, 표면조도가 나쁘면 피팅(pitting)강도가 저하되고, 더불어 스키링 강도에도 나쁜 영향을 미친다. 표면 조도가 나빠지는 것은 종래의 가스침탄에서 불가피하게 생기는 표면이상층(表面異常層)이라고 불리는 연질조직(軟質組織) 때문이다. 그러므로 침탄 기어의 경우에는 강화의 개념으로 다음 사항을 점검하면 될 것이다.

1) 응력집중부로서 작용하며, 동시에 shot peening 가공에서 표면조도를 나쁘게 만드는 표면이상층을 줄인다.

2) 좀 더 큰 압축잔류응력을 부여하기 위해 shot peening 가공을 더 세게 한다.

### 2.2 표면이상층을 줄임

침탄공정에서 나타나는 표면이상층의 생성원인은 Si, Mn, Cr 등의 합금원소가 내부 산화되어 표면층에만 경화능이 떨어진 때문이다. 따라서 표면이상층을 줄이기 위해서는 렌칭할 때 냉각속도를 크게 하든가, 다른 경화능 향상 원소를 첨가하여 표면층의 경화

능을 보강하면 된다. 그러나 전자는 부품의 얼처리 뒤플림 변형이 크게 되기 때문에 현실성이 없다. 후자의 방법으로는 다음 두 가지가 제안될 수 있다.

1) 침탄분위기에서 산화되기 쉬운 원소 함량을 줄이고, 산화되기 어렵고, 경화능 향상 원소를 첨가한다.

2) 합금원소의 내부산화에 의해 떨어진 표면층의 경화능을 경화능 강화원소를 침투시켜 이를 보완한다.

전자에 개념을 둔, 표면 이상층이 잘 발생하지 않는 강과 후자에 개념을 둔 특수 침탄\질화법이 개발되었다. 사진 1은 두 방법에 의해 발생된 표면이상층 조직을 나타낸다.

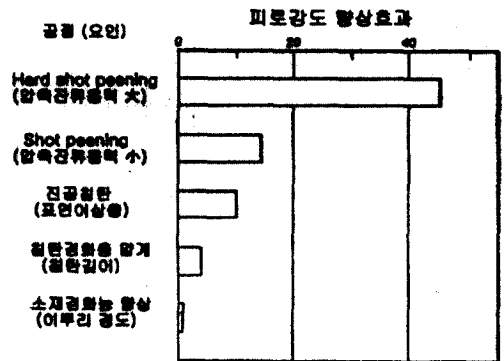
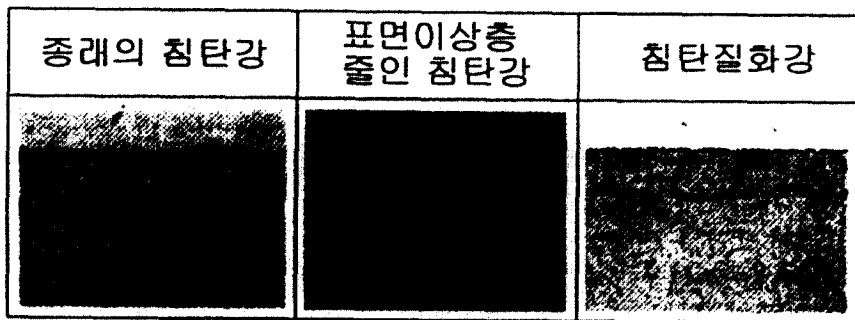


그림 2 침탄 기어 강화 기술의 효과 비교



(module 2.5 기어의 이부리 부분)

25 μm

사진 1 표면 이상층

(1) 표면이상층을 줄인 강

표면경화강에서 산화되기 쉬운 원소는 Si, Mn 및 Cr이고, 산화되기 어려운 원소는 Ni, Mo이다. 침탄 열처리 특성 외에 소재의 단조성, 열처리성과 피삭성 등을 고려하면 Si를 줄이고 Mo를 더 첨가하는 것이 실용적이다. 표 1에 Si를 줄여 표면이상층을 줄인 강의 화학성분을 실어 놓았으며, 이 강에서 발생하는 표면이상층의 깊이는 종래 강종인 SCr420에 비하면 약 1/2 정도이다.

표 1 표면 이상층을 줄인 강의 화학성분(mass%)

C	Si	Mn	Cr	Mo
0.13	0.06	0.55	0.85	0.35
-0.19				
0.17	-0.15	-0.90	-1.25	-0.45
-0.23				

태이긴 하지만 역시 표면에 이상조직이 나타나며, 표면층의 경화능을 확보할 수 없다. 이러한 이상조직은 침탄한 것과 비교할 때 결정입계를 따라 더 깊이 생성되어 있는 것이 특징으로, 강 중의 Cr이 침입질소와 반응하여 Cr 질화물을 생성한 것이 경화능을 떨어뜨린 것으로 판단된다.

침탄에서 내부산화 때문에 고용 Cr량이 감소된 가장 바깥 표면층만을 질화하면 입계 Cr질화물의 생성을 최소로 할 수 있다. 이러한 개념에 기본을 두고 개발된 침탄질화 공

표 2 Hard shot peening법의 처리 조건

항목	임펠러 식	에어 노즐 식
shot 입자 종류	HrC 46-48	HrC 53-55
shot 입자 크기	0.6mm	0.6mm
입사속도	50-60m/s	90-100m/s

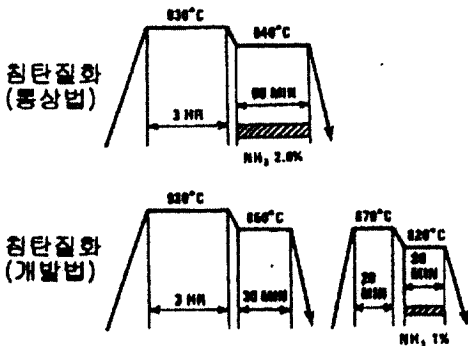


그림 3 침탄 질화 처리법의 비교

(2) 침탄질화법

표면층의 경화능을 보완하기 위하여 질소를 표면에 침투시키는 침탄질화법이 유효하다. 그러나 기어재료의 대표 강종인 Cr 함유강을 일상적인 방법으로 침탄질화하면 침탄에서 나타나는 표면이상층과는 약간 다른 형

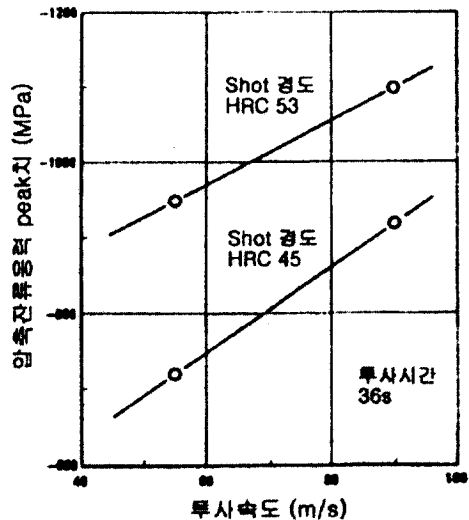


그림 4 압축 잔류응력에 대한 shot 경도와 입사 속도의 영향

정도를 그림 3에 나타낸다. 바깥층만 질화하기 위해 소량의 NH<sub>3</sub> 가스를 극히 짧은 시간 투입하는 것이 특징이다. 이 공정에서 생성된 표면이상층의 깊이는 종래 침탄법에 비교하면 아주 작아 수  $\mu\text{m}$  이하이다. 또한 질소는 변태온도를 낮추므로 오스테나이트를 안정화시키는 작용이 있는 까닭에 침탄 질화에서는 침탄에 비교하여 표면층의 잔류 오스테나이트 량을 조절하기가 쉬운 장점이 있다.

2.3 압축 잔류응력 증대

표면에 압축 잔류응력을 증대시키는 방법은 peening 가공 시 가공강도를 높이는 것이다. 이것은 shot의 경도를 높이거나 속도를 빠르게 하는 것인데, 그림 4에 표시한 대로 압축 잔류응력은 이들 요인과 거의 직선적인 비례관계가 있다. 이런 이유로 표 2에 나타낸 조건에서 하는 hard shot peening 법이 개발되었다. 지금까지의 방법에 비해 shot 경도를 높이고, 입사속도가 빠르게 한 것이 특징이다. 이 방법을 사용한 후의 압축 잔류응력 분포를 그림 5에 나타내었다. 최고 경도가 종래 방법에 비해 훨씬 증가했음을 알 수 있다. 그러나 압축 잔류응력의 분포는 shot의 크기 등 입사조건 외에, shot peening하기 전의 잔류 오스테나이트 량에 따라서도 변하고, 그 최적조건이 존재한다. 이것은 잔류 오스테나이트가 마르텐사이트로 가공유기 변태하여 압축잔류응력의 생성에 간여하기 때문이며, 강재의 종류와 열처리 방법 등에 따라 최적의 조직제어를 할 필요가 있다.

2.4 피로강도 증대 효과

이상과 같이 표면이상층을 줄이고, 침탄질화에 hard shot peening 처리를 복합적으로 시행한 기어의 피로시험결과를 그림 7에 나타내었다. 종래의 침탄기어에 비교하면 피로

한도가 2-3배 향상되어 있는 것을 확인할 수 있다.

1.3. 질화 기어의 강화기술<sup>4)</sup>

인질화에 의한 질화 기어는 침탄기어에 비하여 처리온도가 낮은 관계로 열처리에 의한 뒤틀림이 작기 때문에 치수 정밀도가 수

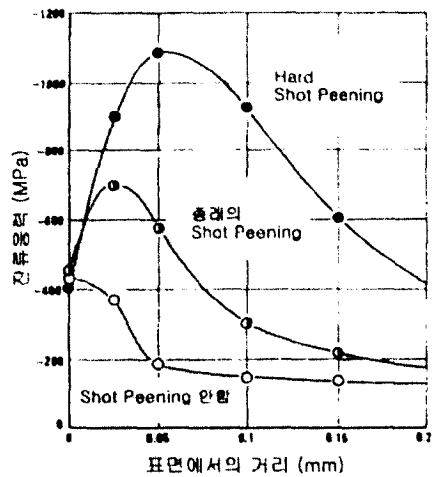


그림 5 Hard shot peening의 압축 잔류응력 분포

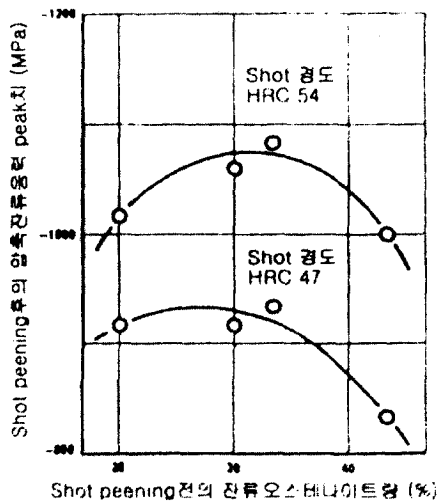


그림 6 압축 잔류응력에 대한 shot peening 전 잔류 오스테나이트 량의 영향

수하다. 그러나 보통의 강제에서는 피로강도를 향상시킬 수 없는 것이 문제였다. 질화강의 피로강도가 침탄강에 비해 피로강도가 낮은 이유는 주로 표면경화 깊이가 낮은 것과 중심부 경도도 낮은 것이 주요 원인으로 알려져 있다. 지금부터 질화 깊이를 크게 하고 중심부의 경도도 향상시킬 수 있는 고강도 질화강에 관하여 설명한다.

### 3.1 고강도 질화강

#### (1) 질화 경화깊이의 증대

질화에 의한 표면경화 기구는 주로 질화물이 석출상으로 강화에 기여하는 것으로 알려져 있다.<sup>5)</sup> 대표적인 질화물 생성원소인 Al, Cr, V의 질화 특성에 미치는 영향은 다음과 같다.

- 1) Al은 표면경도 향상에는 유효하지만 경화깊이 증대에는 도리어 역효과를 미친다.
- 2) Cr은 표면경도와 깊이 향상에 모두 기여한다.
- 3) V은 경화깊이 증대에 큰 효과를 나타낸다.

경화층 깊이 증대에는 Cr, V을 첨가하는 것이 좋다.<sup>6)</sup> 유효 경화깊이(Hv 420)에는 Cr을 1.0% 첨가함으로써 최대가 되고, V은

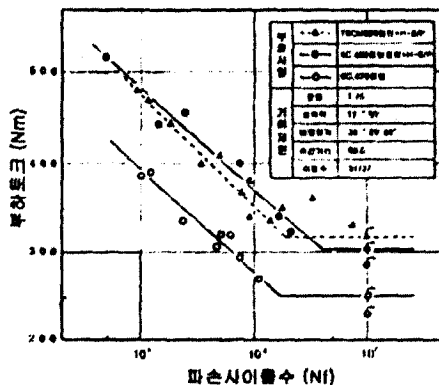


그림 7 Hard shot peening 기어의 피로강도

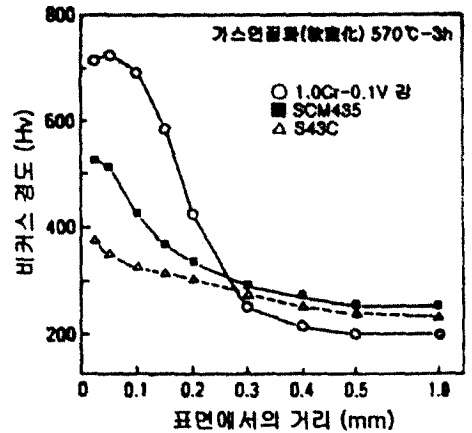


그림 8 Cr-V강의 질화 정도 분포

0.1% 이상의 첨가로서 포화된다. 따라서 실용적인 기본 조성은 1.0% Cr-0.1% V이 되며, 그림 8에서 알 수 있는 대로 이 강재는 일반적인 탄소강이나 합금강에 비해 더 깊은 경화층을 얻을 수 있다.

#### (2) 중심부 경도의 향상

강의 표준조직인 페라이트-펄라이트 조직에서는 충분한 중심부 경도를 얻기가 어렵다. 경도를 높이기 위해서는 조절공정(Q/T)으로 템퍼드 마르텐사이트 조직으로 만드는 것이 일반적인 방법이다. 그러나 이 방법에서는 질화 특성이 떨어지는 문제점이 있다. 그 이유는 분명하지 못하지만 템퍼링에 의해 강 중의 Cr, V이 안정된 탄질화물로 석출되었기 때문이 아닌가 하고 생각된다. 이에 비해 연속 냉각에 의해 얻어지는 베이나이트 조직에서는 양호한 질화 특성이 있는 것으로 판명되었다. 앞서의 Cr-V강을 강제 공냉시켜 베이나이트 조직으로 하면, 그림 9에서 알 수 있듯이 페라이트-펄라이트 조직이나 마르텐사이트 조직에 비하여 중심부 경도와 경화 깊이가 모두가 향상되고 있음을 확인할 수 있다.

실용적으로 보면 보통의 노발라이징 처리

만으로 베이나이트조직이 되면 바람직하다. 그러한 목적으로는 마르텐사이트 생성을 억제하고, 펄라이트 변태는 늦출 필요성이 제기된다. 이 목표에 알맞는 원소로서는 Mo이 있다. C를 0.25%로 고정하고, Mo를 0.2% 첨가하므로써 그림 10과 같은 폭넓은 범위의 냉각속도로서 안정된 베이나이트 조직이 얻어지고, 노말라이징 정도도 안정화가 가능하다. 이러한 목적으로 개발한 고강도 질화강(이하 Cr-V-Mo강)의 화학성분은 표 3과 같다.

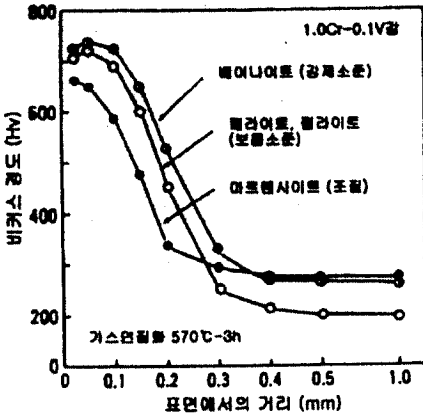


그림 9 질화 정도 분포에 대한 이온 조직의 영향

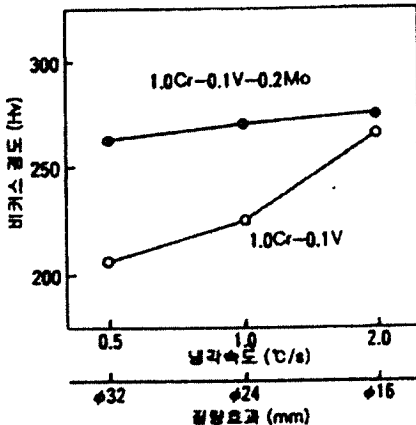


그림 10 노말라이징 조직에 대한 Mo의 영향

표 3 질화용 Cr-Mo-V강의 화학성분(mass%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Mo
0.23	0.15	0.70	0.90	0.15	0.08	0.04
-0.28	-0.35	-1.00	-1.20	-0.30	-0.14	-0.08

### 3.2 피로강도 향상효과

그림 11에 Cr-V-Mo강의 회전 굽힘 피로 시험 결과를 나타낸다. 베이나이트 조직으로 출발하는 Cr-V-Mo강은 다른 질화강에 비해 큰 폭으로 향상된 피로강도를 보여주고 있다. 이러한 질화강의 피로강도 특성 중 피로 한도는 경화깊이와, 시간강도는 중심부 정도와 각각 비례관계에 있음도 잘 알려져 있다. 그림 12에서 알 수 있는 대로 압축잔류응력이 경화층 깊이에 대응하여 높아지고 있다. 이상과 같이 Cr-V-Mo강의 피로강도 향상은 우수한 경화 특성과 그에 수반되어 생성된 높은 압축 잔류응력에 의한 것으로 볼 수 있다. 실제 기어에 의한 피로시험에서도 Cr-V-Mo강 질화기어는 침탄기어와 같거나 그 이상의 피로강도를 가지고 있었다.

### 3.3 이온 질화 적용에 의한 치수 정밀도의 개선

연질화 등 질화처리한 부품의 치수 정밀도

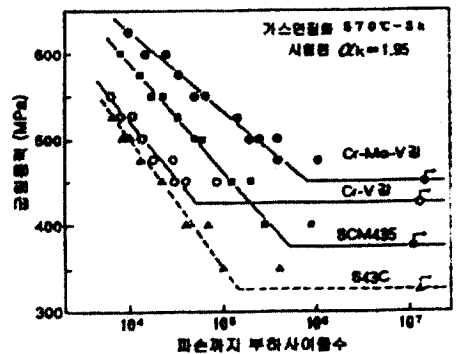


그림 11 Cr-Mo-V 질화강의 회전 굽힘 강도

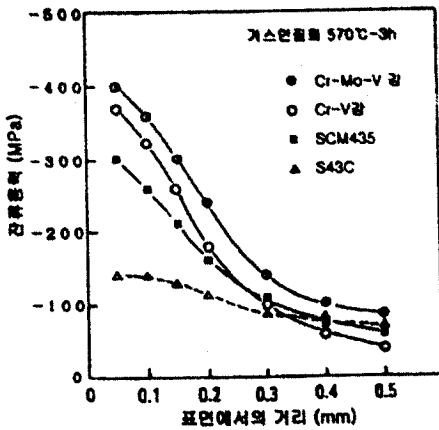


그림 12 질화강의 압축 잔류응력 분포

는 침탄 퀴칭처리에 비해 우수하지만 그래도 엄격한 치수 정밀도가 요구되는 경우에는 더욱 개선되어야 한다. 질화에 수반되는 치수 변화는 주로 표면층에 생성되는 압축잔류응력 때문이며, 그 변화량을 줄이려면 부품의 필요 부위만 질화하는 것이다. 이온 질화법은 강 표면에 그로우 방전을 이용하여 질화하기 때문에 적당한 간격을 가진 마스크 치구를 이용함으로써 쉽게 활용할 수 있는 이점이 있다.

또한 이온질화는 연질화에 비해 20% 정도 깊은 질화층을 얻을 수 있으므로 피로강도 개선에 도움이 된다.

1-4. 실제 부품에의 적용

Mazda(주)에서는 표면이상층을 줄인 강 또는 침탄질화와 hard shot peening법을 적용한 강을 높은 피로강도가 요구되는 트랜스미션 기어에 적용하고 있다. 특히 침탄질화에서는 질소 첨가로 템퍼링 연화저항이

증대되기 때문에 피팅강도 개선이 필요한 기어에도 적용되고 있다.

고강도 질화강은 피로강도와 함께 치수 정밀도가 중요한 로타리 엔진용 기어에 적용하고 있으며, 이 부품은 종래에는 탄소강을 조절 처리하여 기계가공하여 사용하였으나 이온질화에 의한 선택질화를 실시하여 치수 정밀도를 높임으로서 그 문제를 해결하였다.

이상으로 침탄기어와 질화기어의 강화기술에 대하여 소개하였다. 이와 같은 방법으로 기어의 피로강도는 향상되었으나 앞으로 더욱 강도 향상을 요구할 것으로 생각된다. 그러한 요구에 부응하기 위해서는 앞서 소개한 압축 잔류응력을 한층 더 활용하는 기술이 필요할 것으로 판단된다. 침탄기어에서는 shot peening에서 shot의 경질화와 세립화 및 2단처리에 의한 압축 잔류응력의 최적화에 대한 연구가 진행되고 있다. 동시에 부하조건이 더 엄격해짐에 따라 기어의 고강도화가 진행됨으로써, 트랜스미션기어에서는 피팅강도, 디프렌셜 기어에서는 충격강도의 향상도 동시에 고려되어야만 한다.

II. 표면처리에 의한 기어 특성 개선\*\*

II-1. 서론

자동차를 둘러싼 환경은 최근 급격하게 달라지고 있으며 그에 따라 자동차에 대한 요구도 다양화되고 있다. 특히 최근에는 안전과 환경문제에 대한 요구가 높아지고 있다. 이러한 요구에는 여러 대응책이 있으나 그 중에서 중요한 것은 차량 유니트의 중량감소이다. 여기에는 알루미늄이나 고분자 재료

\*\* 이 자료는 熱處理(J. of The Japan Society for Heat Treatment), 38(1998)283에 게재된 Shunzo Umegaki(梅垣俊造)의 기술해설, "Improvement of Gear Properties by Surface Treatment"를 번역 정리한 것이다. 日産自動車(株) 技術開發센터에 근무하고 있다.

등을 적용하는 경량화도 있으나 동력을 전달하는 부분에 사용되는 부품에는 이러한 재료가 적용되기 어려운 실정이다.

그 중에서도 트랜스미션이나 파이널 드라이브 유니트 등에 사용되는 자동차용 기어에 요구되는 강도를 고려한다면 경량재료로의 변경은 도저히 불가능하다. 그러나 경량화에 대응하기 위해서는 지금보다 더 강한 고강도강이나 표면처리강을 채용하여 기어의 강도를 높여 더욱 소형화할 필요성이 대두하게 된다. 기어의 소형화가 이루어지면 작은 유니트가 적용될 수 있기 때문에 차량의 경량화나 연비향상은 물론이거니와 재료비용절감까지 이루어 질 수 있다. 본 자료에서는 자동차용 기어 재료와 표면처리에 의한 고강도화 수법에 관해 소개한다.

### II-2. 기어에 요구되는 강도

기어에 요구되는 주요 강도로서는 이뿌리(齒元)에서의 굽힘강도, 충격강도, 이끝면(齒面)에서의 피로강도가 있다. 자동차 변속기에는 하나의 유니트에도 여러 장소에 기어가 사용되고 있고, 사용되는 장소에 따라 기어에 작용하는 응력상태가 다르기 때문에 요구되는 특성도 달라지게 된다. 예를 들어 트랜스미션용 기어에는 주로 이뿌리 굽힘 피로강도와 이끝면 피로강도, 파이널 드라이브용 기어에서는 주로 충격강도가 요구되는 것처럼 그 특성을 다르게 요구한다.

이처럼 사용되는 장소에 따라 기어에 요구되는 특성도 다르기 때문에 그것에 적용되는 고강도화 수법도 달라져야 한다. 한 방법이 어떤 기어에는 효과적이라고 해도 모든 기어에 모두 효과적인 것이 아니며, 기어에 따라 그 강화방법이 달라지게 된다. 강도를 향상시키기 위해서는 합금원소의 첨가, shot peening의 실시, 열처리 방법의 변경, 피막처

리 등을 들 수 있다. 이러한 강화수법이 기어에 요구되는 특성에 어떻게 영향을 미치는가를 설명한다.

### II-3. 이뿌리 굽힘 피로강도의 향상

기어의 강도 중에서 가장 중요한 것은 이뿌리 굽힘 피로강도이고, 고강도화 수법으로서 shot peening의 적용, 합금원소의 첨가, 유효 경화층 깊이와 열처리 공법의 최적화가 있다. 이러한 수법을 적용한 실험 결과를 소개한다.

#### 3-1. 실험방법

실험에 사용된 기어 재료는 표 4와 같은 4종 류이다. 열처리 방법은 가스침탄, 진공침탄, 가스침탄질화 3종류이다. 가스침탄에서는 오일 퀘칭과 솔트 퀘칭 두 가지로 사용하였다. 유효 경화층 깊이는 0.2-0.3mm와 0.5-0.6mm이다. 열처리 후의 shot peening에 관해서는 임펠라 타입의 설비를 사용하여 아크하이트 0.4mm, 카버레이지 300%로 실시하였다. 기어의 평가는 동력 순환식 기어 피로시험기를 사용하여 60°C의 기어 오일을 사용하여 강제윤활에서 시험하였다.

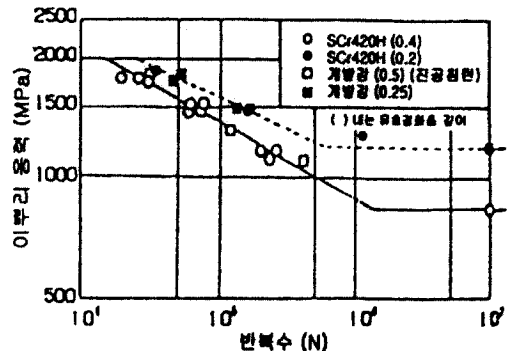


그림 13 유효 경화층 깊이와 피로강도(1)



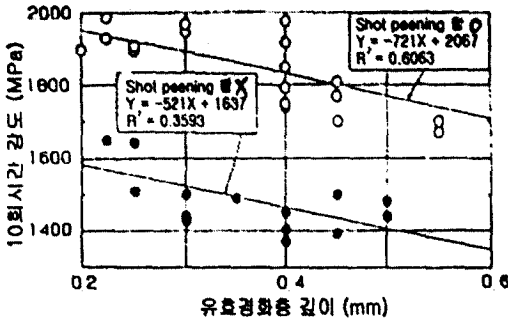


그림 14 유효 경화층 깊이와 피로강도(2)

### 3.2 실험결과

#### (1) 유효 경화층 깊이

그림 13에 유효 경화층 깊이를 변경시킨 경우의 피로시험 결과를 나타낸다. 그 결과를 보면 개발강, SCr420H 모두 경화층 깊이가 얇은 쪽이 높은 피로강도를 나타내고 있고 재료에 따른 차이는 거의 없다. 그림 14는 shot peening 유무에 따른 경화층 깊이와의 관계를 조사한 것으로 shot peening 유무에 관계없이 경화층 깊이가 얇은 쪽이 높은 피로강도를 보여 주고 있다. 이처럼 경화층 깊이를 알게 하면 피로강도는 항상되지만 경화층이 없다면 강도가 떨어지게 되므로, 기어의 형상이나 크기에 따라 최적의 경화층 깊이가 있는 것으로 판단된다.

#### (2) 합금원소의 효과

그림 15는 합금원소의 효과를 평가한 결과

이다. Ni과 Mo이 많이 함유된 SCr420H강이 피로강도가 높게 나타났으나 이는 경화층 깊이가 0.25mm로 다른 강에 비해 얇은 것이 기인된 것으로 판단된다. 경화층 깊이를 같이 하면 피로강도는 거의 비슷할 것으로 예측되어 합금원소의 첨가는 기어 뿌리의 굽힘 피로강도 향상에는 유효하지 못한 것으로 생각된다.

#### (3) 열처리 공정의 효과

가스침탄에서는 입계산화가 발생하여 강도가 떨어지는 것으로 알려져 있으므로 그 정도가 어느 정도이며, 질소가 어느 정도 영향을 미치는 가를 조사하였다. 그 결과가 그림 16이다. 열처리 공정의 차이에 의한 효과는 나타나지 않았다. 입계산화가 없는 진공침탄 처리한 것에서도 그 효과는 나타나지 않았다. 또한 침탄질화에서도 피로강도의 증대효과

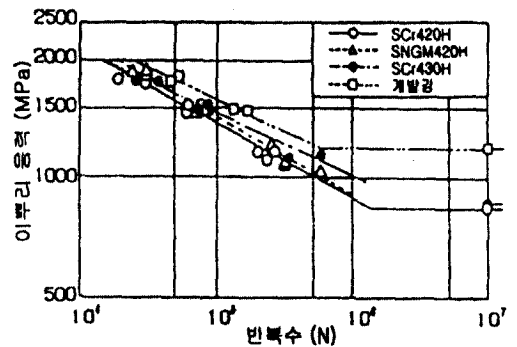


그림 15 재료와 피로강도

표 4 피로강도 시험강의 화학성분(mass%)

강종	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Cr
SCr420H	0.19	0.26	0.82	0.022	0.021	0.05	1.11	0.02
SNCM420H	0.19	0.20	0.59	0.024	0.015	1.74	0.49	0.20
SCr430H	0.31	0.24	0.75	0.016	0.018	0.02	1.05	-
개발한 강	0.19	0.10	0.30	0.008	0.012	2.00	0.31	0.75

과는 보이지 않았다. 이것은 이 실험에서 적용한 기어에서는 경화층 깊이가 얇아서 입계산화가 적었기 때문으로 생각된다.

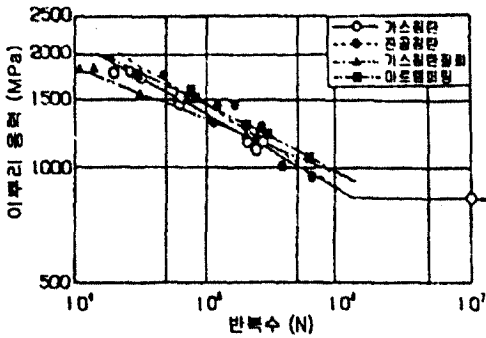


그림 16 열처리 공법과 피로강도

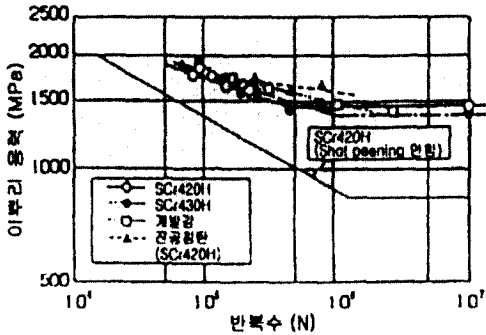


그림 17 shot peening의 영향

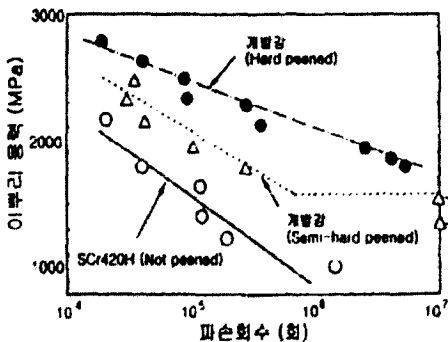


그림 18 기어 피로시험 결과

#### (4) shot peening의 효과

그림 17에 shot peening을 한 경우의 결과를 나타내었다. 열처리나 재료와 무관하게 피로강도는 증대되었다. 105사이클에서의 강도증가가 약 30% 정도로 그 효과가 대단히 큰 것을 알 수 있다. 따라서 그 효과를 더욱 증대시키기 위해 hard shot peening을 하여 그 결과를 그림 18에 나타내었다.<sup>8)</sup> 피로강도는 크게 향상됨을 확인할 수 있다. 이 이유는 압축 잔류응력의 증대에 기인되는 것으로, 그 분포는 그림 19와 같다. 그림 19에서 알 수 있듯이 표면에서 비교적 얇은 위치에 큰 압축잔류 응력이 존재하고 있으며, 이것이 강도향상에 크게 기여하고 있다.

#### (5) 정리

shot의 강도를 높여 peening함으로써 기어 뿌리 굽힘 피로강도는 약 1.3-1.5배 까지 향상시킬 수가 있으며, 그 효과도 가장 크다. 동시에 경화층의 깊이를 얇게 함으로서 강도를 증대시킬 수가 있다. 그렇지만 합금원소의 첨가나 진공침탄의 효과는 얻을 수가 없었다.

#### II-4. 반복 충격강도의 향상

기어 중에서 파이날 드라이브 내의 피니온 메이트나 사이드 기어는 기어뿌리 피로강도보다도 충격특성의 향상이 요구된다. 이것은 자동차의 급발진과 급제동시에 발생하는 충격적인 부하가 이 기어에 걸리기 때문이다. 이 충격강도를 향상시키는 방법으로 재료 측면의 대응과 경화층 패턴 변경으로의 대응이 있다.

#### 4.1 실험방법

시험한 재료는 표 5에 나타낸 4종류이다. 개발강 A는 P와 Si 함량을 낮추고 Mo 함량을 높여 침탄경화층의 인성을 높인 고강

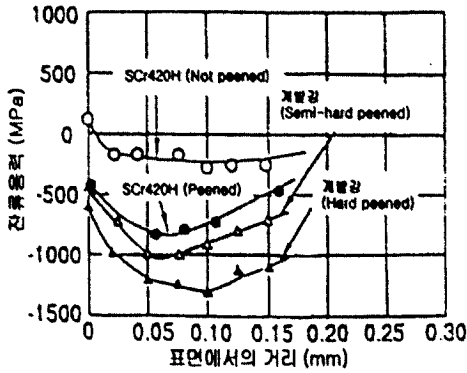


그림 19 잔류응력 분포

도강이며, 개발강 B는 A에 비해 Cr을 줄이고 Ni을 증가시킨 고강도강이다. 열처리하는 가스침탄 후 오일 퀴칭하였으며, 유효 경화층

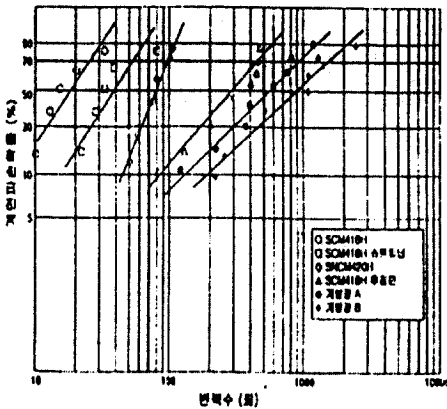


그림 20 반복 충격 내구시험 결과

깊이는 0.9-1.0mm와 0.4-0.5mm인 두 종류이다.

기어의 평가는 100kgf의 하중을 1.3m 높이에서 낙하시켜 기어에 충격하중을 주어 파손될 때까지의 반복회수를 측정하였다.

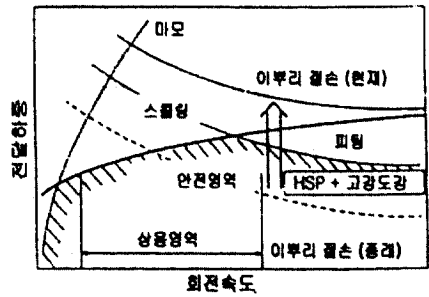


그림 21 기어의 입력과 파손모드

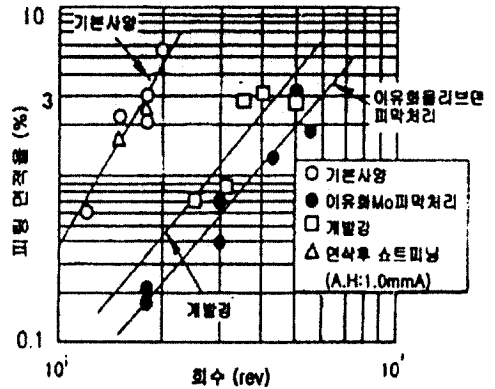


그림 22 피팅 면적율의 변화

표 5 충격강도 시험강의 화학성분(mass%)

강종	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
개발강 A	0.17	0.07	0.87	0.006	0.012	0.01	0.03	0.95	0.39
개발강 B	0.17	0.07	0.30	0.005	0.015	0.01	3.01	0.29	0.40
SCM418H	0.18	0.25	0.80	0.020	0.017	0.10	0.08	1.10	0.15
SNCM420H	0.20	0.20	0.60	0.020	0.015	0.15	1.70	0.50	0.20

## 4.2 시험결과

### (1) 합금성분의 영향

충격시험결과는 그림 20과 같다. 개발강 A, B 모두 기어의 충격강도는 크게 향상되고 있음을 알 수 있다. 종래의 재료보다 20-30배 정도이며, 기어 이뿌리 굽힘 피로강도와는 달리 합금원소의 영향이 대단히 크다.

### (2) 경화층 패턴의 영향

경화층 깊이가 얇은 0.4mm인 기어의 충격강도 결과는 그림 20에서 알 수 있는 대로 충격강도는 높아졌지만 고강도강보다는 못하다. 그러나 이 얇은 침탄재는 기어 면에 함몰현상이 발생하여 뿌리 부분의 반복 충격강도에는 유효하나 디프렌셜 기어처럼 기어면에 부하가 걸리는 기어에는 적용할 수 없음을 알 수 있다.

### (3) shot peening의 영향

shot peening한 기어의 수명향상은 약 2배 정도로서 고강도강에 비해서 그 효과는 크지 않다. 그러므로 충격강도 향상에는 이 shot peening이 그다지 효과가 없는 것으로 판명되었다.

## 4.3 정리

P와 Si를 줄인 개발강은 반복 충격시험에서 수명이 20-30배 향상되어 다른 방법에 비해 이 합금성분 조절이 효과가 큰 것을 확인할 수 있다.

### II-5. 이끝면 피로강도의 향상

기어의 부하 입력조건과 파손모드를 정리한 Nieman의 손상한계 모식도<sup>9)</sup>를 그림 21에 나타내었다. 그림에서 곡선은 각 파손모드의 발생한계를 나타내고 있다. shot peening 등에 의해 이뿌리 피로강도를 비약적으로 향상시키고 있기 때문에 이끝면의 마모와 피팅이 새로운 과제로 등장하고 있다.

특히 FF차에서는 소형경량화와 더불어 콤팩트해짐에 따라 윤활유로서 기어오일이 낮은 점도의 작동오일(ATF)로 바뀌고 있는 점도 문제를 심각하게 하고 있다. 이에 대한 대응책으로서 표면처리, 재료, 열처리면에서의 대응이 있다. 이러한 문제점의 고강도화 수법의 실험결과를 설명한다.

## 5.1 실험방법

재료는 개발한 강과 SCr420H강 2종류를 사용하였다. 시험 기어의 열처리는 가스침탄 후 오일 퀘칭한 것만이고, 열처리 후 표면처리로서 shot peening과 이황화몰리브덴 피막처리를 하였다. 롤라 피팅시험편은 침탄과 침탄침질처리를 하였다.

기어의 평가로서는 동력 순환식 피로시험을 이용하였으며, 적당한 맞물림 회전수에서 시험 중단 후 피팅 면적율, 이끝면 마모 깊이를 측정하였다. 침탄질화는 롤라 피팅시험기에서 평가하였다.

## 5.2 시험결과

### (1) 재료의 효과

재료는 탄화물의 석출에 의한 템퍼링 경도의 증대와 연화저항의 향상을 목적으로 Cr, Si를 약간 많이 함유한 강을 개발하였다.<sup>10)</sup>

그림 22에 여러 재료의 기어에 대하여 맞물림 시험기에 의한 이끝면 피로시험결과를 나타내었다. 개발강은 이황화몰리브덴 피막한 것에는 미치지 못하지만 종래 강종에 비해서는 약 3배의 수명 연장을 보여주고 있다. 그림 23에는 이뿌리 부분의 마모결과로서 마찬가지로 개발강이 가장 좋은 결과를 보여주고 있다.

### (2) 표면처리의 영향

그림 22에 이끝면 피로시험결과가 있다. 이황화몰리브덴 피막처리한 것의 효과가 현저하게 나타나고 있다. 다음 그림 23에서 같

은 시험에 의한 이부리 부위의 마모 깊이의 변화를 보면 개발강보다도 그 효과가 적다. 이처럼 이황화물리브덴 피막처리의 효과는 크지만 이 처리는 열처리 후에 별도의 공정을 해야 되므로 처리비용이 많이 들어 생산성이 나쁘게 된다. shot peening에 의한 효과는 거의 없는 것으로 판명된다.

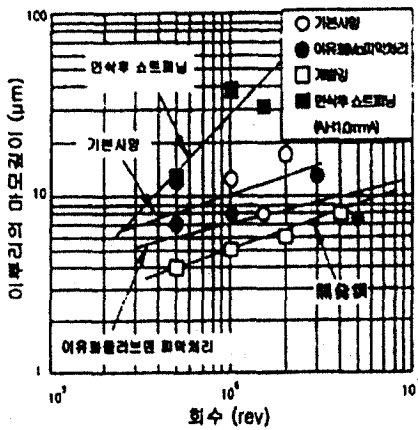


그림 23 기어 마모 깊이 변화

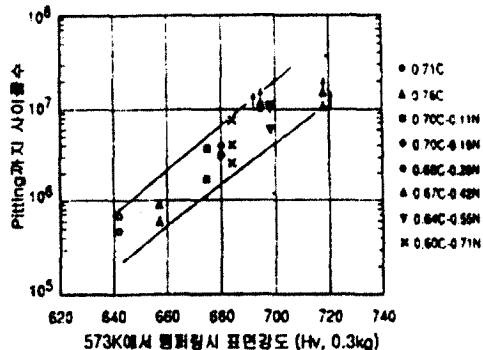


그림 24 템퍼링 경도와 피팅 수명

(3) 열처리의 효과

침탄질화의 효과는 물라피팅시험으로 확인하였다. 물라피팅시험을 마친 시험편의 표면 경도는 저하되었으며, 겹도결과 표면 부근이

약 300°C까지 온도가 올라가서 템퍼링된 것으로 판단되었다. 따라서 이 온도에서 템퍼링 정도의 향상을 위해서 질소를 선정하고 그 효과를 확인하였다.<sup>11)</sup> 그 결과가 그림 24이다. 300°C 템퍼링 정도가 상승하면 수명도 향상되는 것을 알았다. 또한 질소가 300°C 템퍼링 정도의 향상에 효과적인 것도 확인되었다.

5.3 정리

피팅수명에는 재료의 템퍼링 연화저항이 큰 효과를 나타내고 수명을 향상시키는데는 Cr, Si 등의 합금원소를 더 첨가하는 것이 효과적이며, 침탄질화처리하여 템퍼링 연화저항을 높이는 것이 유효하다. 또 에 의한 현저한 효과도 확인하였다. 이끝면의 피로기구는 아직도 불명한 점이 많으므로 앞으로의 연구과제이다.

이상으로 기어의 고강도화 수법에 관해 설명했으나 자동차용 기어에 대한 소량화의 요구가 더욱 심해지고 있으므로 지금까지의 수법만으로는 그 대응이 불가능한 실정이다. 동시에 개발기간도 이전보다 짧게 요구하고 있으므로 재료와 공법을 조합시킨 새로운 고강도 기어 개발 수법이 필요한 때라고 생각된다.

참고문헌

- 1) 小島, 三輪, 須澤, 西村, 有見 : マズダ技報, 5(1987)165
- 2) 小島, 三輪, 柴田, 有見 : 自動車技術, 42(1988)755
- 3) 市原, 明和 : 日本金屬學會誌, 32(1968)745
- 4) 三輪, 柴田, 花川, 生野 : 自動車技術會學術講演會前刷集, 892(1989)395
- 5) 神原, 大谷, 塚本 : 日本熱處理技術協會學術講演大會豫告集, 20(1985)1

- 6) 神原, 大谷, 中理, 村山 : 鐵と鋼, 68(1982)S1274
- 7) 岡田, 田原, 松本, 吉田 : 自動車技術會學術講演會前刷集, 891(1989)5  
Y. Okada, T. Matsumoto, A. Kawaguchi, T.
- 8) Tanaka, and K. Nisino : SAE Technical Paper, No.920761, (1992)
- 9) Niemann, Rettig : VDI-Nr., (1967) 105
- 10) 吉田, 岡田, 松本, 渡邊 : 自動車技術會論文集, 27(2)(1996)125
- 11) Y. Watanabe, S. Umegaki, N. Narita and Y. Mishima : Proc. of the 6th Inter. Seminar of IFHT, (1997)261

## 용어 해설

### 피로(fatigue)

정적인 항복응력보다 훨씬 작은 응력인데도 반복적인 응력에 의해 재료가 파괴에 이르는 현상을 포괄적으로 피로라고 부른다.

### 피로한도(fatigue limit)

피로한도 및 시간강도의 총칭, 인장-압축, 회전굽힘, 평면굽힘, 비틀림피로한도 등이 규정되어 있다. 시간강도는 지정된 반복회수에 견디는 응력의 상한치를 말한다. 이값을 언급할 때는 응력값 뒤의 괄호 속에 반복회수를 반드시 기입해서 나타낸다.

### 피닝(peening)

1) 표면을 가공경화시키면서 어느 정도의 마무리를 유지시키는 일종의 가공법으로, 피가공물에 구형의 단단한 미립물을 분사시켜 표면에 압축 잔류응력이 존재하도록 가공해서 피로강도를 증대시킨다. 이것을 하면 인장응력에 대한 저항력이 증가하기 때문에 결과적으로는 비틀림 굽힘 등의 피로강도를 증대시키는 효과가 있다.

2) 금속의 위를 해머로 치는 가공법으로 용접의 경우에는 피드 또는 그 근처를 두드리는 것의 의해 잔류응력이 줄어든다.

### 잔류응력(residual stress)

외력이 작용하지 않고 있는 상태에서, 재료나 구조부재 내부에 존재하는 응력을 말한다. 일반적으로 냉간 등의 소성가공, 열처리나 용접에 의해 발생한다. 잔류응력은 연성재료인 경우라면 그정적 강도에 거의 영향을 미치지 않지만, 피로나 취성 파괴 등 국부적인 응력상태가 파괴를 지배하는 경우에는 영향을 미치게 된다. 잔류응력에는 인장응력과 압축응력이 있고, 그 재료나 부재내에서는 그 합이 항상 0이다. 즉 어느 부위에 압축 응력이 존재하면 그와 반대되는 인장응력이 그 인접 부위에 존재한다. 잔류응력의 제거에는 어닐링 처리(풀림)가 대표적이다.