技術資料

# 炭素鋼

이기영, 이 완,

## Carbon Steel

K.Y. Lee W. Lee

## 1. 서 론

자동차용 부품으로 사용되는 탄소강은 대부분 형단조에 의하여 성형되고 열처리 및 표면처리를 통하여각 부품의 특성에 맞는 공업적 성질을 갖추게 된다.

기계적 강도와 피로강도를 요하는 부품의 경우 quenching-tempering 열처리를 통한 tempered martensite 조직을 사용하고, 강도 보다는 내마모를 요하는 부품의 경우 fine Pearlite의 full-blocky조직을 사용하며 내마모를 요하는 부위를 표면경화 처리한다.

자동차 부품용 탄소강의 재질은 SM 35 C-SM 53C, SCr 4 , 등이며 적용부품으로는 crankshaft, camshaft, connecting, rod, gear 류, balance-weight rocker-arm, shaft, joint, yoke, hub 등이 있다.

탄소강은 주로 대형차량용에 사용되고 있으며 소형차량용의 경우 합금주철이나 구상흑연주철 등의 주조품이나 소결 성형품도 적용되고 있다.

즉 형단조 공정 및 quenching-tempering 혹은 normalizing열처리 공정에 소요되는 에너지비 절감을 위하여 고장력 주조품 및 소결품, 비철 복합재료 등의 개발이 추진되어 소형차용에 적용되고 있으며, 대형차용의 경우도 고장력(T.S.100N/mm²)의 austempered구상흑연주철(ADI)의 적용이 추진되고 있다.

## 2. 조 직

자동차용 탄소강의 조직은 tempered martensite와 fine pearlite로 나뉜다. Tempered martensite는 고강도 부품에 적용되며 normalizing-quenching의 열처리를 거쳐 얻어진다. fatigue strength를 증가시킬 필요가 있을때는 연질화 처리나 고주파 열처리, fillet rolling등의 표면경화처리를 추가로 실시하여 crack생성을 저지한다.

소형품의 경우는 normalizing을 생략하고 단조소입에 의한 quenching-tempering열처리만을 실시하기도 한다.

Fine pearlite는 큰 힘을 받지 않는 부품에 적용되며 normalizing을 실시하여 얻는다. 표면의 내마모성이 요구되는 경우 침탄경화, 연질화등의 표면처리 및 침탄+연질화 혹은 연질화+고주파경화등의 복합표면처리를 실시한다.

Tempered martensits조직은 높은 인장강도와 충격강도 증대를 통한 toughness확보를 위하여 필요한 조직이며 fatigue crack initiation을 방지하기 위하여 표면경화처리를 추가로 실시한다.

Fine pearlite조직은 일반 탄소강은 normalizing처리하고 표면처리를 추가하는 경우 큰 힘을 받지 않는 내마모품에 적용되며, V-steel ( fine pearlite )을 normalizing 처리하며 표면처리할 경우 고강도품에도 적용이 가능하다.

대표적인 tempered martensite 조직과 fine pearlite조직은 사진1 및 사진2와 같다.

## 3. 성 질

자동차부품용 탄소강의 grade별 물리적성질과 기계적성질을 표1 및 표2와 같다.

대우중공업주식회사

사진 1　Tempered martensite 조직

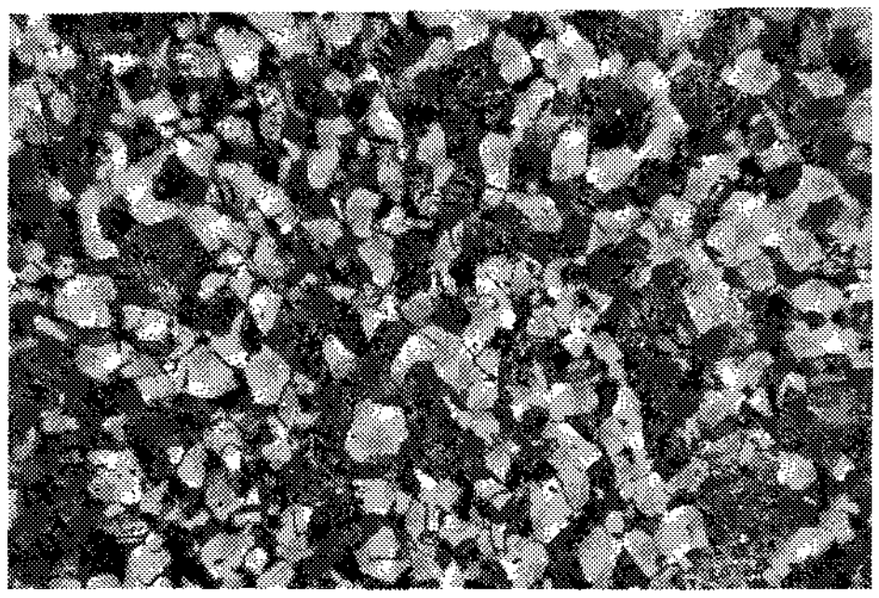

사진 2　Fine pearlite 조직

표 1 . 탄소강의 물리적성질

| NO | KS 기호 | 변 태 온 도 (℃) | | 열 | 처 | 리 | (℃) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Ac | Ar | N | A | Q | T | |
| 1 | SM 33C<br>SM 35C | 720-<br>800 | 770-<br>710 | 840-890<br>공냉 | 830 노냉 | 840-890<br>수냉 | 550-650<br>급냉 | AC : 가열시변태온도 |
| 2 | SM 38C<br>SM 40C | 720-<br>790 | 760-<br>700 | 830-880<br>공냉 | 820 〃 | 830-880<br>수냉 | 〃 | Ar : 냉각시변태온도 |
| 3 | SM 43C<br>SM 45C | 720-<br>780 | 750-<br>680 | 820-870<br>공냉 | 810 〃 | 820-870<br>수냉 | 〃 | N : Normalizing<br>A : Annealing |
| 4 | SM 48C<br>SM 50C | 720-<br>770 | 740-<br>680 | 810-860<br>공냉 | 800 〃 | 810-860<br>수냉 | 〃 | Q : Quenching |
| 5 | SM 53C<br>SM55C | 720-<br>765 | 740-<br>680 | 800-850<br>공냉 | 790 〃 | 800-850<br>수냉 | 〃 | T : Tempering |

표 2 . 탄소강의 기계적 성질

| No. | KS 기호 | 열처리구분 | 항복강도 ($kg \cdot f / mm^2$) | 인장강도 ($kg \cdot f / mm^2$) | 연 신 율 (%) | 충 격 치 ($kg \cdot f \cdot m / cm^2$) | 경도(HB) | 유 효 직 경 (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | SM 33C<br>SM 35C | N | 31 | 52 | 23 | - | 149-207 | - |
| | | A | - | - | - | - | 126-163 | - |
| | | H | 40 | 58 | 22 | 10 | 167-235 | 32 |
| 2 | SM 38C<br>SM 40C | N | 33 | 55 | 22 | - | 156-217 | - |
| | | A | - | - | - | - | 131-163 | - |
| | | H | 45 | 62 | 20 | 9 | 179-255 | 35 |
| 3 | SM 43C<br>SM 45C | N | 35 | 58 | 20 | - | 167-229 | - |
| | | A | - | - | - | - | 137-170 | - |
| | | H | 50 | 70 | 17 | 8 | 201-269 | 37 |
| 4 | SM 48C<br>SM 50C | N | 37 | 62 | 18 | - | 179-235 | - |
| | | A | - | - | - | - | 143-187 | - |
| | | H | 55 | 75 | 15 | 7 | 212-277 | 40 |
| 5 | SM 53C<br>SM 55C | N | 40 | 66 | 15 | - | 183-255 | - |
| | | A | - | - | - | - | 149-192 | - |
| | | H | 60 | 80 | 14 | 6 | 229-285 | 42 |

* H = Quenching + Tempering

## 4 . 화학성분

자동차용부품으로 사용되는 탄소강의 화학성분범위는 표 3과 같다.

표 3 . 탄소강의 화학성분

| NO | KS기호 | C | Si | Mn | P | S | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | SM 33C | 0.30 - 0.36 | 0.15- 0.35 | 0.60 - 0.90 | 0.030이하 | 0.035이하 | * 기타 불순물기준 |
| 2 | SM 35C | 0.32 - 0.38 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | Cu 0.30%이하 |
| 3 | SM 38C | 0.35 - 0.41 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | Ni 0.20%이하 |
| 4 | SM 40C | 0.37 - 0.43 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | Cr 0.20%이하 |
| 5 | SM 43C | 0.40 - 0.46 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | Ni + Cr 0.35% 이하 |
| 6 | SM 45C | 0.42 - 0.48 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | |
| 7 | SM 48C | 0.45 - 0.51 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | |
| 8 | SM 50C | 0.47 - 0.53 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | |
| 9 | SM 53C | 0.50 - 0.56 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | |
| 10 | SM 55C | 0.52 - 0.58 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | |

## 5 . 용 도

### 1) CRNKSHAFT

Crankshaft는 고강도를 요하는 부품으로서 내피로성, 내충격성, 내마모성이 요구되는 부품이다. Diesel 엔진용 중·대형품은 1.1Cr강이나 1.1Cr-0.2Mo강을 단조후 normalizing quenching tempering하여, 사용하고, 승용차용 소형품은 0.45-0.55% C탄소강을 단조후 normalizing quenching tempering하여 사용한다. 표면의 내마모성과 내피로성 향상을 위하여 연질화처리, fillet부까지의 고주파 열처리, fillet rolling 등의 표면강화 처리를 실시한다.

형단조후 열처리조직은 tempered martensite 로서 crankshaft 에 요구되는 성질은 인장강도 80*kg f/㎟* 이상, 항복강도 50*kg f/㎟*이상, 경도 HB 225-280, 사피충격치 6*kg f m/㎠*이상, 연신율 15%이상 등이다. 소형품의 경우 개발경향은 D.C.I를 사용하거나, quenching tempering을 실시하지 않는 V-steel을 사용하며, 탄소강의 경우 normalizing을 생략하고 단조후 고온상태에서 quenching 및 tempering을 실시하는 단조소입 공정을 사용하여 원가절감을 꾀하고 있다.

최근에는 대형품의 경우도 인장 100.*kg f/㎟*의 austempered구상흑연주철(ADI)이 개발되어 적용되고 있다.

### 2) CAMSHAFT

Camshaft는 구동중 큰 힘을 받지는 않으나 cam 부위의 내마모성을 요하는 부품으로서 탄소강을 형단조하여 normalizing 한 pearlite 조직을 사용한다.

소형차용의 경우 chilled주철, 합금강의 침탄, 소결 cam과 steel pipe구조물등을 사용한다. 대형차용의 경우 S53C 탄소강을 고주파 처리하거나 합금강을 침탄 처리하여 사용한다. 소형 및 대형품의 내마모성 향상을 위한 표면처리는 tappet의 재질과 조화를 이루어 수명을 연장할 수 있도록 고주파열처리, 침탄처리 이외 복합표면경화를 실시하기도 한다. (침탄+연질화, 연질화+고주파)

내마모성을 요하는 섭동면은 일반적으로 HRc 57-62정도의 경도를 요한다.

### 3) CONNECTING ROD

Connecting rod는 피로강도와 충격강도를 요구하는 부품으로 0.32-0.55C의 탄소강을 형단조후(normalizing)-quenching-tempering하여 tempered martensite조직을 사용한다. connecting rod에 요구되는 경도는 HB 235-285이다.

Connecting rod는 특별한 표면경화처리를 실시하지 않는다. 부품경량화 추세에 따른 connecting rod의 개발경향도 소형품의 경우 내열 Al합금을 matrix로 stainless steel장섬유 fiber를 강화한 FRM(fiber reinforced metal)부품을 용탕단조하여 성형하는 방법이 검토 개발되고 있다.

### 4) GEAR

자동차용 gear류는 S45C를 형단조하여 normalizing처리한 pearlite조직을 사용하고, 부품의 요구되는 성질인 내마모성과 내피로성을 만족시키기 위하여 동력전달이 작은 경우 표면을 연질화 처리하고, 동력전달이 큰 경우는 SCM420H, SNCM220H 등을 사용하여 1.0－1.5㎜ 깊이의 침탄처리를 한다. gear에 요구되는 경도는 일반적으로 HB163-127이다.

### 5) ROCKER ARM

Rocker arm은 강도보다는 내마모성이 요구되는 부품으로 S53C를 형단조후 normalizing한 pearlite조직을 사용하며, 내마모성을 높이기 위하여 고주파열처리를 실시한다. 소재경도는 HB180-220이다.

소형품의 경우 최근개발경향은 내마모를 요하는 접촉부에 내마모 소결합금을 insert로 사용하여 Al 다이케스팅으로 제작하고 있다.

### 6) TRANSMISSION 부품

Transmission용 shaft, gear, joint류는 동력전달을 위하여 큰 동하중을 받으므로 내피로성과 내충격성을 요한다. SCM822H, -420H, SNCM220H등을 형단조후 normalizing한 fine pearlite조직을 사용하며 침탄처리 한다.

소재의 distortion을 방지하기 위하여 단류선을 규제하며, fine pearlite조직의 이상조직인 band structure가 나타나지 않는 full brocky 조직을 요구한다.

Normalizing은 후공정인 침탄처리를 고려하여 920-930℃에서 실시하고 이상조직의 석출을 억제하기 위하여 일반적인 공냉보다 냉각속도가 느린 보온공냉을 실시한다.

침탄처리는 1.0－1.5㎜ 정도의 깊이로 실시하며 920-930℃에서 8-12hr 실시한다.

### 7) YOKE

Yoke는 universal joint의 부품으로 동력전달시 큰 동하중을 받는다. 내피로성 향상을 위하여 tempered martensite조직을 사용하고 후공정으로 표면처리는 실시하지 않으나 가공후 잔류 tempered martensite 조직의 깊이가 중요 factor가 된다.

S40C를 형단조후 quenching tempering 하여 tempered martensite 조직을 얻는다.

### 8) HUB

Hub는 감속장치로서 gear가공을 실시하므로, gear부위의 내마모성을 요구한다.

SCM882H, 420H등을 형단조후 normalizing 하여 fine pearlite 조직을 얻은후 침탄 표면처리하여 gear부위의 내마모성을 높여준다.

## 6. 개발전망

자동차부품용 탄소강은 소형품의 경우 합금주철이나 구상흑연주철, 소결부품, Al경합금 기타 복합재료등의 다양한 process를 이용하여 경량화 및 cost down을 추진하고 있다.

대형품의 경우 신규 process 적용시 큰 size 때문에 상기 process의 적용이 부진한 편이나 최근 오스템프드 구상흑연주철 (Austempered Ductile Iron)ADI100, 70의 개발이 활발히 추진되어 대형품에 대한 주조 proeess 적용이 검토되고 있다.

ADI는 matrix의 현미경조직이 austenite + bainite로 이루어져 있고 일반적인 성질 및 적용은 표4와 같다.

표4. ADI의 일반적인 성질 및 적용

| ㄱ) Mechanical Properties | | |
|---|---|---|
| 인장강도 70-100 kg f/㎟ | | |
| 항복강도 55-65 kg f/㎟ | | |
| 연 신 율 7-12% | | |
| 경　　도 260-310HB | | |
| 충격치 12-30 Joules/㎠ ( Charpy test ) | | |
| ㄴ) 크기제한 | | |
| | ADI 100 | ADI 70 |
| 제품두께 | 3-150㎜ | 3-75㎜ |
| 무　게 | 1-250kg | 1-200kg |
| ㄷ) 적용시 이점 | | |
| 신율증가 | | |
| 충격치 증가 | | |
| 경도저하 | | |
| 가공성 향상 | | |
| Fatigue Strength 향상 | | |

ADI 70 및 ADI 100의 현미경조직 및 연신율과 인장강도는 사진 3 사진 4 및 그림 1 과 같다.

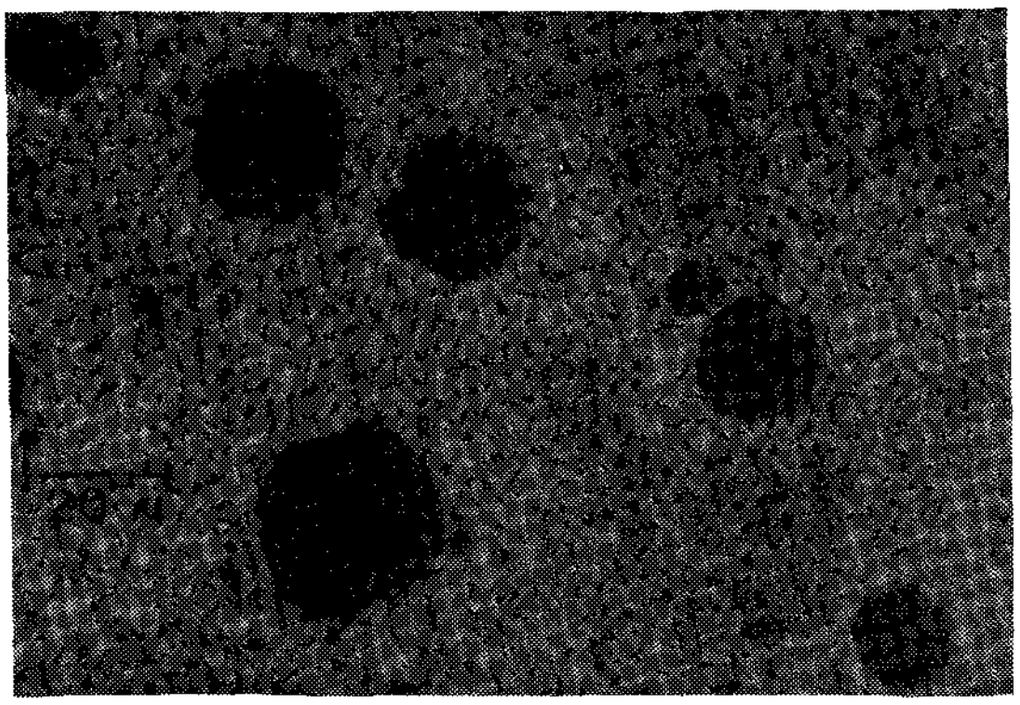

사진 3. ADI 70 현미경 조직

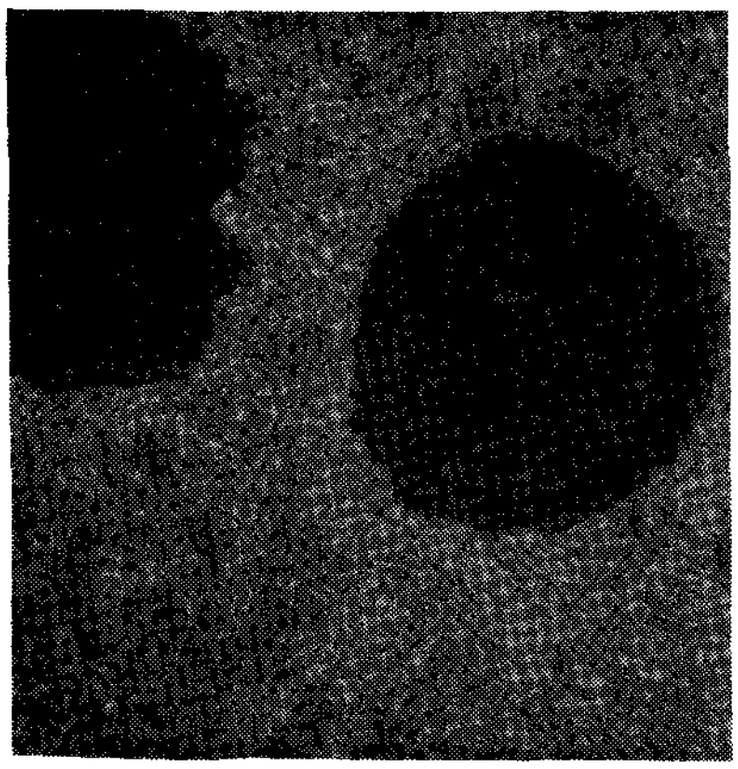

사진 4 ADI 100 현미경 조직

위에서 기술한바와 같이 자동차용 탄소강의 경우 과거 단조·압연강의 영역을 고강도 DCI의 개발로 그

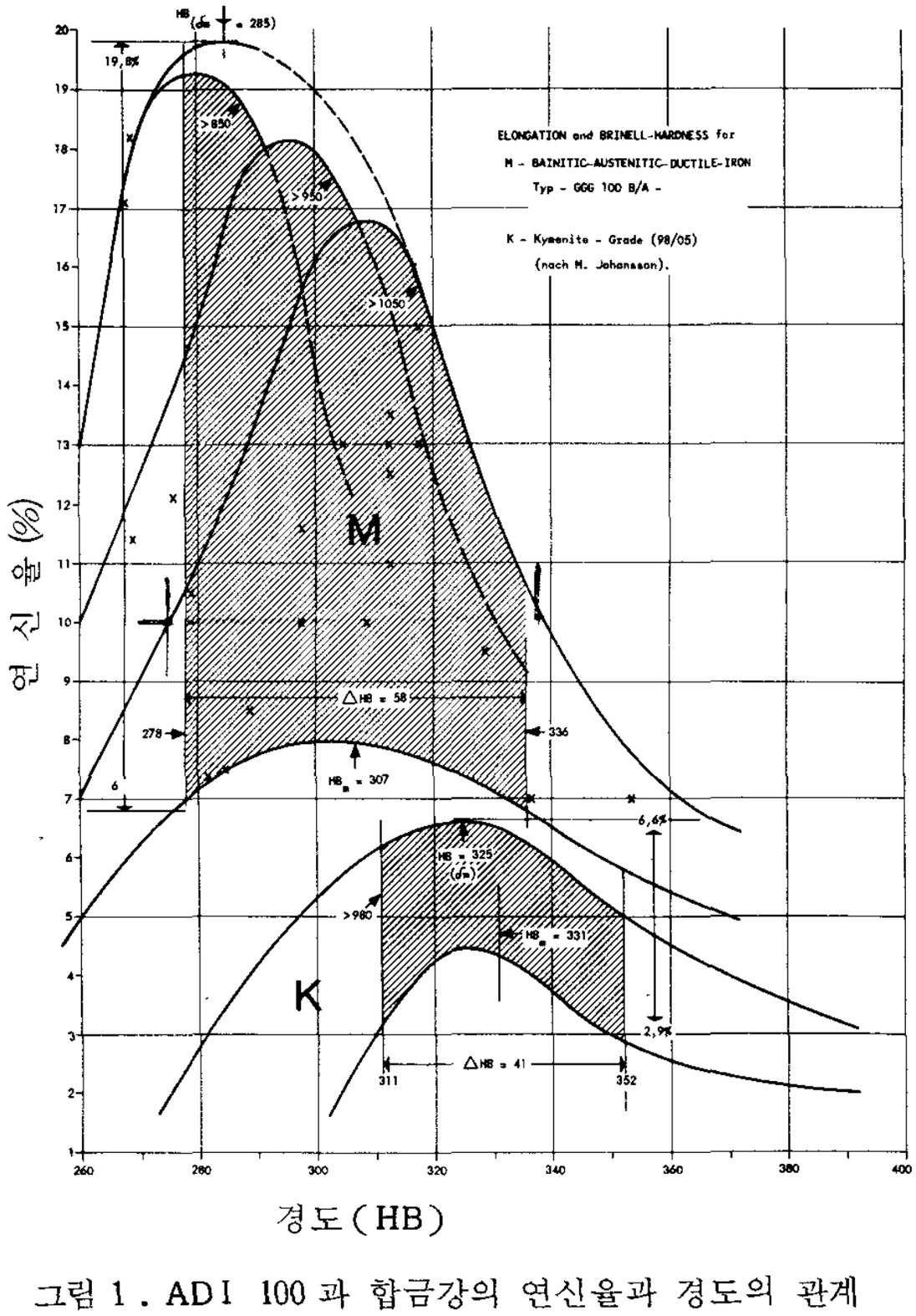


그림 1. ADI 100 과 합금강의 연신율과 경도의 관계

영역을 침범당하고 있는 것이다.

그러나 단조품의 경우도 crankshaft 항목에서 설명한바와 같이 단조후의 고온상태를 이용해서 필요한 열처리를 끝내고 별도의 가열열처리를 생략하여 원가절감을 도모하는 방법이 시행되고 있다.

따라서 탄소강을 단조성형하는 방법과 주물품과는 가격 경쟁력을 놓고 계속 원가절감을 위한 개술개발이 진행되고 있는 것이다.