

기계재료 이론 요약

제1장 기계재료 총론

1. 금속의 공통적 성질

- ① 실온에서 고체이며, 결정체(Hg제외)이다.
- ② 가공이 용이하고, 연·전성이 크다.
- ③ 고유의 색상이 있으며, 빛을 반사한다.
- ④ 열 및 전기의 양도체이다.
- ⑤ 비중이 크고, 경도 및 용융점이 높다.

1) 금속의 분류 : 비중 4.5를 기준

- ① 경금속: Al(2.7),Mg(1.74),Na(0.97),Si(2.33),Li(0.53)
- ② 중금속: Fe(7.87),Cu(8.96),Ni(8.85),Au(19.32),Ag(10.5),Sn(7.3),Pb(11.34),Ir(22.5)
- 포아송비 : 고무(0.5), 납(0.43,가장 큼), 철(0.28), 코르크(0)

* 금속의 재결정 온도 순서 : W-Ni-Pt-Fe-Cu-Ag-Ag-Al-Mg-Zn-Su-Pb

3) 합금의 특징

- 연성, 전성이 작다
- 용융점이 낮다
- 열, 전기전도율이 낮다
- 강도, 경도, 담금질 효과 크다
- 내열성, 내산성, 주조성 좋다

2. 금속재료의 성질

1) 물리적 성질

- ① 비중 ② 용융점 (W 3410°C, Hg -38.8°C) ③ 비열 ④ 선팽창 계수
- ⑤ 열전도율 및 전기전도율 : Ag-Cu-Au(Pt)-Al-Mg-Zn-Ni-Fe-Pb-Sb
- ⑥ 금속의 탈색 ⑦ 자성(호이스러합금 Mn,Al,Cu / 강자성체) ⑧ 성분, 조직, 전기저항

2) 기계적 성질

- ① 연성, 전성, 인성, 취성(메짐) ② 강도 및 경도
- ③ 피로한계, Creep, 연신율, 단면수축률, 충격값

3) 화학적 성질

- ① 내열성(내화성) ② 내식성

4) 제작상 성질

- ① 주조성(가주성) ② 소성 가공성(가단성) ③ 용접성 ④ 절삭성

* 밀리지수 : x,y,z 절편 역수값의 정수비

3. 재료 시험

(1) 인장 시험(tensile test)

- ① 인장강도(σ_t) ② 연신율(ϵ) ③ 단면수축률(ψ)

$$\sigma_t = \frac{P_{\max}}{A_0} \text{ (kg/mm}^2\text{)}, \quad \epsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \times 100(\%), \quad \phi = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100(\%)$$

(2) 경도 시험(hardness test)

① 압입자 하중에 의한 경도시험

- ㉠ 브리넬 경도(H_B): 고탄소강 강구 $H_B = P/A = P/\pi Dt$ (kg/mm²)
- ㉡ 비커어즈 경도(H_V): 대면각 136. $H_V = 1.8544P/d$ (kg/mm²)
- ㉢ 로크웰 경도(HR)

- [B 스케일: 1/16"강구 => $H_{RB} = 130-500h$
- [C 스케일: 120°원추 => $H_{RC} = 100-500h$

② 반발 높이에 의한 방법(탄성 변형에 대한 저항으로 강도를 표시)

-쇼어경도 : $H_s = 10000/65 \times h/h_0$

(3) 충격 시험(Impact test): 인성과 메짐을 알아보는 시험

① 방법 : 샤르피식(단순보), 아이조드식(내다지보)

② 충격값 : U ($kg \cdot m/cm^2$)

여기서, E : 시험편을 절단하는데 흡수된 에너지($kg \cdot m$)

A : 노치부의 단면적(cm^2)

$$U = \frac{E}{A} = \frac{WR(\cos\beta - \cos\alpha)}{A} \quad (kg \cdot m / cm^2)$$

* 피로파괴 : 재료의 인장강도 및 항복점으로부터 계산한 안전하중 상태에서도 작은힘이 계속적으로 반복하면 재료가 파괴를 일으키는 경우.

(4) 크리이프(creep)

: 재료에 일정한 응력을 장시간 가해두었을 때 시간경과와 함께 변형되는 것

; 재료에 인장 크리이프 스트레인의 크기를 측정하는 것으로 시료의 온도 및 시험시간을 규정.

주로 Pb, Cu 등의 순금속 또는 연한 경금속의 시험에 사용.

(5) 연성시험

에릭센시험 : 연성판재를 가압형성하여 변형능력 시험

4. 비파괴 검사와 조직 시험

(1) 비파괴 검사 : 시간 단축, 재료 절약 및 완성 제품의 검사

① 타진법 ② 자분 탐상법 ③ 침투 탐상법, 형광검사법

④ 초음파 탐상법(주파수 1~25MHz) ⑤ 방사선 탐상법(X-선, γ -선)

(2) 조직 검사

① 매크로 시험(육안검사)

종류) 파단면법

매크로 부식법

설퍼 프린트법: 황에 묶은 산을 혼합해 표면에 묻히고 이것을 인화지에 묻혀서 조직 검사

② 현미경 조직 시험

시료 채취 → 연마(가공) → 부식 → 세척 → 검사

-부식제 : 철강류: 피크린산 알코올 용액, 질산 알콜 용액, 피크린산 가성소다 용액

구리 및 구리합금: 염화 제2철 용액

알루미늄합금: 불화(플루오르화)수소 용액, 수산화나트륨 용액

5. 금속의 결정

1) 금속 원자 결정

	원자수	총진울	배위수			
BCC	2	68	8			
FCC	4	74	12			
HCP	2	74	12			

① 체심 입방 격자 (BCC): Cr, W, Mo, V, Li, Na, Ta, K, α -Fe, δ -Fe : 강도,경도 \uparrow , 용융점 \uparrow , 전성,연성 \downarrow

② 면심 입방 격자(FCC): Al, Ag, Au, Cu, Ni, Pb, Ca, Co, γ -Fe : 강도,경도 \downarrow , 전성,연성 \uparrow , 가공성 \uparrow

③ 조밀 육방 격자(HCP): Mg, Zn, Cd, Ti, Be, Zr, Ce : 취성

2) 금속의 변태

* 변태(Transformation): 고체→액체(액체→고체)로 결정격자의 변화가 생기는 것.

- 변태점 측정법 : 열분석법, 시차열분석법, 비열법, 전기저항법, 열팽창법, 자기분석법, X선분석법

* 동소체(Allotropy): α , γ , δ 고용체

① 동소변태: 고체 내에서 원자 배열이 변화함으로써 변화.

Fe(A_3 :912°C, A_4 :1400°C), Co(480°C), Ti(883°C), Sn(18°C)

② 자기변태(curie point): 자기의 세기가 768°C(A_2 점) 부근에서 급격히 변화

자기변태를 일으키는 금속으로 Fe: 768°C, Ni: 360°C, Co: 1120°C 등이 있다.

6. 금속 가공

- 1) 소성 변형: 금속에 외력을 가하면 변형이 되는데 외력을 제거해도 변형된 상태로 있는 성질
 - 2) 소성 변형 원리
 - ①슬립 (slip) ②쌍정 (twin) ③전위 (dislocation)
 - 3) 가공경화
 -
 - ; 재료에 외력을 가하여(냉간가공시) 변형시키면 굳어지는 현상.(결정결함수의 증가)
 - > 풀림/열간가공하면 없어짐
 - 4) 냉간 가공시 기계적 성질
 - : 제품의 치수 정확, 가공면이 아름답다. 기계적 성질 개선, 강도 및 경도 증가, 연신율 감소
 - 재결정 온도 : 열간(고온)가공과 냉간(상온)가공이 구분되는 온도(구결정 → 신결정)
 - : 한시간 안에 95% 이상 재결정 되는 온도. 0.3~0.5Tm
 - Fe: 400°C, W: 1200°C, Ni: 600°C, Pt: 450°C, Au,Ag,Cu: 200°C
 - 가공도 大, 재결정 온도 ↓
 - 5) 시효경화 : 시간의 경과와 함께 기계적 성질 변화 (황동, 강철, 두랄루민)
 - 6) 상률 : 상들 사이의 열적평형관계 표시
- 일반계 : F=C-P+2 금속계 : F=C-P+1 (C: 성분수, P: 상의수)
- * 포정, 공정, 공석반응 3상 , 자유도0: 순금속, 용융점일정

7. 합금의 조직

- 1) 고용체 : 2가지 이상의 물질이 혼합하여 완전히 균일한 고체가 되는 것
 - ① 치환형 : 원자반경크기 유사한거끼리 자리바꿈
 - ② 침입형 : 원자반경크기 다른 경우. 침입
 - ③ 규칙격자형 : 규칙적 치환
- 2) 합금되는 금속의 반응
 - 공석반응 : 고↔고+고 공정반응 : 액↔고+고 포정반응 : 고↔액+고 편정반응 : 액↔고+액

제 2 장 철 강 재 료

1. 철강재료의 개요

- 1) 철강의 분류

철강 재료	순철: 0.03%C ↓(전기재료, 용접 好)
	강(steel): 탄소강: 0.03 ~ 2.0%C (기계재료)
	합금강: 탄소강 + 다른 금속
	주철: 2.0 ~ 6.68%C (주물재료: 보통 2.0 ~ 4.5%C 사용)

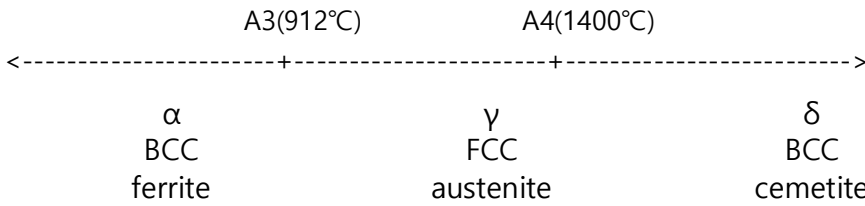
- 2) 철강재료의 5대 원소
 - C(강에 가장 큰 영향), S<0.05%, P<0.04%, Si<0.1 ~ 0.4%, Mn<0.2 ~ 0.8%
 - 3) 강괴(steel ingot)
 - ① 림드강(rimmed steel): Fe-Mn으로 약하게 탈산시킨 것.(기공 및 내부에 편석 발생)
 - ② 킬드강(killed steel): Fe-Si, Al로 충분히 탈산시킨 것.(상부에 수축관 생김)
 - ③ 세미킬드강(semi-killed steel): 약탈산강, 용접 구조물에 사용.
 - ④ 캡드강(capped steel) : 림드강 변형, 약한탈산이지만 편석, 수축공 적음
- *제련순서: 제선(선철제조) -> 제강(불순물제거, 정련) -> 강괴(탈산)

2. 순철(Pure iron)

- 1) 순철의 성질
 - ① 비중: 7.87, 용융점: 1538°C
 - ② 항자력이 낮고 투자율이 높아 전기재료(변압기, 발전기용 박판)로 사용
 - ③ 단접성, 용접성 양호하며 유동성 및 열처리성 불량

- ④ 상온에서 전연성 풍부. 항복점, 인장강도 낮고 연신율, 단면 수축률, 충격값, 인성은 높다.
- ⑤ 순철의 종류로는 아암코철, 전해철, 카아보닐철 등이 있다.
- ⑥ 인장강도: 18~25 kg/mm² , H_B: 60~70 kg/mm²

2) 순철의 변태



① 동소변태 : A₃ (912°C), A₄ (1400°C)

② 자기변태 : A₂ (768°C)

*공석점(A1, 723 °C) , 큐리점 (A2, 768 °C) , 공정점(1148 °C) , 포정점(1495 °C)

3. 탄소강(carbon steel)

1) Fe-C계 평형 상태도 (교재 참고)

① 변태점

A₀ (210°C) : 시멘타이트의 자기 변태점

A₁ (723°C) : 순철에는 없고, 강에서만 일어나는 특유한 변태 (펄라이트)

A₂ (768°C) : 자기변태(Fe, Ni, Co)

A₃ (912°C) : 동소변태, A₄ (1400°C): 동소변태

② 강의 표준조직(normal structure) : A₃ or A_{cm} 이상 40~50°C 까지 가열 후 서냉시켜 불림처리

α 고용체 : Ferrite (강자성체로 극히 연하고 전성과 연성이 크다 열처리X. H_B=90)

γ 고용체 : Austenite (A₁점에서 안정된 조직, 상자성체이고 인성이 크다. H_B=155)

Fe₃C : Cementite (6.68%C 경도가 높고 취성이 크며(압연, 단조X), 백색으로 상온에서 강자성체. H_B=820)

$\alpha + Fe_3C$: Pearlite (오스테나이트가 페라이트와 시멘타이트의 층상으로 된 공석조직.

$\gamma + Fe_3C$: Ledeburite (상온에서 불안정하고 Fe₃C는 흑연과 지철(地鐵)로 분해한다. 공정조직)

③ 탄소함량에 따른 분류

아공석강 : 0.025~ 0.77%C (페라이트+펄라이트)

공석강 : 0.77%C (펄라이트)

과공석강 : 0.77 ~ 2.0%C (펄라이트+시멘타이트)

아공정주철 : 2.0 ~ 4.3%C (오스테나이트+레데부라이트)

공정주철 : 4.3%C (레데부라이트)

과공정주철 : 4.3 ~ 6.67%C (레데부라이트+시멘타이트)

2) 탄소강에 함유된 성분

㉠ Si(0.1~0.35%) : 강도, 경도, 탄성한계 증가, 연신율, 충격값 낮고, 단점성 불량, 유동성 우수

㉡ Mn(0.2~0.8%) : 고온 가공이 용이, 강도, 경도, 인성이 크며, 담금질 효과가 크다.

황과 화합하여 적열취성방지(MnS)

㉢ P(0.06%이하) : 강도, 경도 증가, 연신율감소, 상온 취성(편석 및 균열)원인(Fe₃P)

㉣ S(0.08~0.35%) : 강도, 연신율, 충격치 저하, 용접성 및 유동성을 해친다. 적열 메짐 원인

MnS강: 절삭성 향상

㉤ Cu : 내식성 증가, 압연시 균열 원인

3) 탄소강의 기계적 성질

① 탄소량이 증가할 때(아공석강 일때)

-기계적 성질 : 인장강도 및 경도 증가, 열처리성 양호, 연성 및 인성 감소, 용접성 불량

-물리적 성질 : 결정입자 조밀, 비중, 용융점 및 열전도율, 전기전도도 감소, 전기저항 증가

* 공석점 부근에서 인장강도와 경도가 최대.

4) 탄소강의 용도

- ① 극연강 (0.03~0.12%) : 강판, 강선, 못, 파이프, 와이어
- ② 연강 (0.13~0.20%) : 관, 교량, 강철봉, 철골, 철교, 볼트, 리벳 (SM15C)
- ③ 반연강(0.20~0.30%) : 기어, 레버, 강철판, 볼트, 너트, 파이프
- ④ 반경강(0.30~0.40%) : 철골, 강철판, 차축
- ⑤ 경강(0.40~0.50%) : 차축, 크랭크축, 기어, 캠, 레일 (SM45C)
- ⑥ 최경강(0.50~0.70%) : 공구강, 핀, 차바퀴, 레일, 스프링
- * 0.60~1.5%C : 탄소공구강

5) 취성(메짐)의 종류

- ① 적열취성 : 900°C이상에서의 S에 의한 강의 메짐
- ② 상온취성 : P이 많은 강에서 발생
- ③ 청열취성 : 200~300°C의 강에서 강도는 크지만, 연신율이 대단히 작아져 취성이 발생, 원인N
- ④ H₂ : Hair crack 또는 백점(白點)의 원인 (철을 여러개 하고 산이나 알칼리에 약함)
- ⑤ 고온취성 : 구리(Cu)가 원인

6) 주강(cast steel)

: 형상이 복잡하여 단조로서는 만들기가 곤란하고 또 주철로서는 강도가 부족할 경우에 사용.

7) 강재의 KS 기호

- ① SM30C : 기계구조용 탄소강재 (0.25~0.35%탄소량)
- ② SS41(SS400): 일반구조용 압연강재(최저인장강도: 41kgf/mm²=400MPa)
- ③ SC49(SC480) : 탄소강 주조품(최저인장강도: 49kgf/mm²=480MPa)
- ④ SF360 : 탄소강 단조품(최저인장강도: 360MPa)
- ⑤ SWS500 : 용접구조용 압연강재(최저인장강도: 500MPa)
- ⑥ STC1 : 탄소공구강(1종)
- ⑦ STS1 : 합금공구강(절삭용)/스테인리스강 , STD :합금공구강(다이사용, 공냉가능, 담금질온도 1000°C)
- ⑧ SKH2 : 고속도강
- ⑨ GC : 회주철품

4. 특수강(Special steel)

● 첨가 원소의 영향

*자경성 : 자연히경화(공기중에 자연히 마텐자이트) 자경성우수 - Cr(특히우수),Ni,Mn/ 작음-W,Mo

- ① Ni: 강인성, 내식성, 내산성, 내마멸성 증가, 페라이트조직 안정화, 저온취성방지
- ② Si: 내열성 증가, 전자기적 특성
- ③ Mn: Ni과 비슷, 내마멸성 증가, 황(S)의 메짐 방지
- ④ Cr: 탄화물 생성(경화능력 향상), 내식성, 내마멸성, 강도, 경도 증가 , 4%이상 단조성 ↓
- ⑤ W: Cr과 비슷, 고온 강도, 경도 증가
- ⑥ Mo: W효과의 2배, 뜨임 메짐 방지, 담금질 깊이 증가
- ⑦ V: Mo과 비슷, 경화성 증가, 단독으로 사용하지 않음.

(1) 구조용 특수강

(가) 강인강: 탄소강에 강하고 질긴 성질을 가지게 하기 위해 Cr, Ni, Mo, Mn 등의 원소를 첨가한 강.

- ① Ni강: 질량효과가 적고 자경성 있다. 인장강도,항복점,경도,충격값 증가
페라이트의 안정화, 흑연화 촉진제 등.
- ② Cr강: 자경성이 있어 경도를 크게 한다. 내마모성, 내식성, 내열성 우수
- ③ Ni-Cr강(SNC): 가장 널리 쓰이는 구조용강.
850~880°C에서 담금질하고 600°C에서 뜨임하여 소르바이트 조직 얻음.
550~580°C에서 뜨임메짐 발생 (방지제: Mo첨가)
- ④ Ni-Cr-Mo강: 가장 우수한 구조용강. 뜨임메짐 방지하고 내열성, 열처리 효과가 크다.

- ⑤ Cr-Mo강: SNC의 대용품, 열간가공이 쉽고, 다듬질 표면이 깨끗하고, 용접성 우수, 고온강도 큼
- ⑥ 저Mn강(1~2%): 펄라이트 Mn강, 듀콜강, 고력강도강, 구조용으로 사용.
고Mn강(10~14%): 오오스테나이트 Mn강, Hard field강, 수인강.
용도로는 각종 광산기계, 기차 레일의 교차점 등의 내마멸성이 요구되는 곳에 사용.

(4) 표면 경화강

- ① 침탄용강: Ni, Cr, Mo 함유강. (SM09CK, SCr415, SCM415, SNC415, SNCM21)
침탄깊이증가 : C, Cr, Mn, Mo, Ni
- ② 질화용강: Al, Cr, Mo 함유강.(Al: 질화층의 경도 증가, Cr: 질화층의 깊이 증가)

(다) 스프링강: 탄성한계, 항복점, 충격치, 피로한도 ↑

- ① Si-Mn강(탈탄층O), Mn-Cr강(겍판·코일·비틀림 막대 스프링용: SPS 2,3,5,5A)
- ② Cr-V강(탈탄층X, 충격있는 곳, 코일·비틀림 막대 스프링용: SPS 6)

(라) 쾌삭강: 강의 피삭성을 증가시켜 절삭가공을 쉽게 하기 위하여 S, Pb, P, Mn 등을 첨가한 강

- i) 황쾌삭강 : MnS, 정밀나사. ii) 납쾌삭강 : Pb(0.1~0.3%)함유로 절삭성을 향상시킨 강.

(2) 공구강 및 공구 재료

(가) 공구강의 구비 조건

- ㉠ 상온 및 고온에서 경도를 유지할 것
- ㉡ 내마멸성 및 강인성이 클 것
- ㉢ 열처리가 쉬울 것
- ㉣ 제조와 취급이 쉽고, 가격이 저렴할 것

(나) 공구강의 종류

- ① 탄소공구강: 0.6~1.5%C, 300°C이상에서 사용할 수 없음.
주로 줄, 정, 편치, 쇠톱날, 끌 등의 재료에 사용.
- ② 합금공구강: 0.6~1.5%C +Cr, W, Mn, Ni, V 등을 첨가하여 성질을 개선
종류로는 절삭용(절삭공구), 내충격용(정,편치,끌), 열간 금형용(단조용 공구,다이스)
- ③ 고속도강(일명"하이스"): Taylor가 발명
-W계 고속도강 : 0.8%C, W(18)-Cr(4)-V(1%) : 표준형, 600°C까지 경도저하 안됨.
예열:800~900°C, 담금질(1차경화): 1250~1300°C, 뜨임(2차경화): 550~580°C(목적:탄화물 형성,경도 증가)
- ④ 주조경질합금(stellite)
W-Cr-Co-C, 절삭속도 SKH의 2배. 열처리를 하지 않고 주조한 후 연삭하여 사용.
내구력이 작고 경도, 내마모성, 고온저항이 크다.
- ⑤ 초경합금: 금속탄화물(WC, TiC, TaC)에 Co분말과 함께 금형에 넣어 압축성형하여
800~900°C로 예비소결하고, 1400~1500°C의 H₂기류 중에서 소결한 합금.
미디어(영), 위디아(독), 카블로이(미), 탕갈로이(일)
- ⑥ 시래믹(ceramic): Al₂O₃을 1600°C 이상에서 소결 성형. 고온경도가 가장 크며 내열성이 크다.
인성이 적어 충격에 약하며 고온절삭시 절삭제를 사용하지 않는다.

* 서멧(cermet) : Al₂O₃ + TiC / TiN

* 고온 경도 : 세라믹 > 초경합금 > 주조경질합금 > 고속도강 > 합금공구강 > 탄소공구강

(3) 특수 목적용 특수강

(가) 스테인리스강(STS: stainless steel)

: 강에 Cr, Ni 등을 첨가하여 내식성을 갖게 한 강으로 대기중, 수중, 산 등에 강하다.

- ① 13Cr : 페라이트계 스테인리스강으로 열처리하면 마아텐자이트계 스테인레스강이 된다.
- ② 18Cr-8Ni : 오스테나이트계(18-8형:표준형), 담금질 안 됨, 용접성이 우수, 비자성체,
내식성 및 내충격성이 크다. 600~800°C에서 입계부식 발생(방지제: Ti-탄화물형성하여 크롬탄화물 형성 억제).

(나) 규소강 : 자기감응도가 크고 잔류 자기 및 항자력이 작다.

주로 변압기 철심이나 교류 기계의 철심 등에 사용

-규소량에 따른 용도로

Si 0.5~1.5% : 연속적으로 운전하지 않는 발전기 및 전동기 철심

Si 3.5~4.5% : 변압기 철심 및 전화기용에 사용

(다) 불변강(고 Ni강)

비자성강: Ni 26%에서 오스테나이트 조직을 갖는다.

① 인바(invar): Fe-Ni 36%, 길이 불변이며, 미터기준봉, 표준자, 지진계, 바이메탈, 정밀 기계부품으로 사용.

② 초인바(super invar): Fe-Ni 29~40%, Co 5% 이하 / 인바보다 선팅창계수 작음

③ 엘린바(elinvar): Fe-Ni 36%-Cr 12%, 탄성 불변이며, 저울의 스프링, 시계 부품, 정밀계측기 부품으로 사용.

④ 코엘린바: 엘린바에 Co첨가

⑤ 퍼멀로이(permalloy): Ni 75~80%, 해저전선의 장하코일용

⑥ 플래티나이트(platinite): Fe-Ni 42~46%, 전구나 진공관의 도입선(봉입선) 열팽창계수가 유리나 백금과 같다.

(라) 자석강(=영구자석강) : 잔류자속밀도, 보자력(항자력), 경도 클 것

KS자석강 : 단조에 의해 형성, 950°C 유냉

4. 강의 열처리

1) 일반 열처리

① 담금질(Quenching or Hardening)

i) 목적: 강의 강도 및 경도 증대(단단하게 하기 위함)

ii) 담금질액(냉각제)

: 기름, 비눗물, 보통물(담금질 효과↑), 소금물(NaCl: 1.96, 냉각효과 큼)

-냉각 효과 가장 큰 냉각제는 NaOH(2.06)이다.

(고온가열한 철강재를 물속에 넣으면 수증기 발생→냉각효과 감소 → 소금물사용)

iii) 담금질 조직(냉각 속도에 따라서)

㉠수중 냉각: 마아텐자이트(M)

㉡기름 냉각: 트루우스타이트(T) : 탄화철 큰입자. 부식에 약함

㉢공기중 냉각: 소르바이트(S) : 강도+탄성이 함께 요구되는 곳(스프링, 와이어, 피아노선)

㉣노중 냉각: 펄라이트(P)

※ 마텐자이트가 큰 경도를 갖는 원인

; 내부응력의 증가, 초격자, 무확산 변태에 의한 체적 변화

*질량효과 : 질량에 따라 담금질의 효과가 달라지는 것. (질량효과 줄이려면 : Cr, Ni, Mo, Mn 첨가)

● 심랭(sub-zero)처리

: 담금질 직후 잔류 오스테나이트를 마텐자이트화 하기 위하여 0°C 이하로 처리하는 것.

v) 각 조직의 경도 순서

C(H₈ 800) > M(600) > T(400) > S(230) > P(200) > A(150) > F(100)

* 파텐팅 : 강을 A₃이상으로 가열하여 연육납을 용융한 수증기중에 담금질에 의해 소르바이트 조직 얻음. 경강

② 뜨임(Tempering; 소려) : A₁ 변태점 이하에서

i) 목적: 내부 응력 제거, 인성 개선

ii) 종류 : 저온 뜨임: 400°C, 경도 (M → T), 고온 뜨임: 600°C 강인성 (T → S)

iii) 가열 온도는 뜨임 색으로 판정

iv) 열처리 조직변화순서 : A → M → T → S → P

A → M (Ar' 변태, 상부임계냉각속도), M → P (Ar' 변태)

③ 풀림(Annealing;소둔)

i)목적: 내부 응력 제거, 재질 연화, 노냉

ii)종류

완전 풀림: A₃(아공석강,A₁(과공석강)점 보다 30~50°C 높은 온도에서 실시

저온 풀림: A₁점 이하(500~650°C), 내부응력 제거, 재질 연화 목적

항온풀림: A₁바로 위 온도->항온으로 변태 완료

응력제거풀림: 기계가공시 담금질 균열방지, 내부응력제거, 재질연화

연화풀림: 냉간가공시 가공경화된 재료 연화

구상화풀림: 시멘타이트 연화

④ 불림(Normalizing;소준)

: A₃, A_{cm}점보다 30~50°C 높게 가열후 공기중에서 냉각하면 미세하고 균일한 조직을 얻는 방법
가공재료의 내부응력을 제거하고 결정조직을 미세화(균일화)시킬 목적으로 실시.

2) 항온 열처리

항온 변태 곡선(TTT곡선, S곡선, C곡선)을 이용하여 열처리하는 것.

* 균열 방지 및 변형 감소의 효과(담금질+뜨임을 동시에)

- 항온담금질

① 오오스템퍼(Austemper): 하부 베이나이트(B), 뜨임할 필요가 없고 강인성이 크며, 담금질 변형 및 균열방지.

② 마아템퍼(Martemper): 베이나이트(B)와 마텐자이트(M)의 혼합조직.

③ 마아퀀칭(Marquenching): 마텐자이트(M), 복잡한 물건의 담금질.(고속도강,베어링,게이지)

④ M_s 퀀칭 : 급냉하여 잔류오스테나이트를 감소

-항온풀림, - 항온뜨임

-오스포밍: 과냉오스테나이트를 냉각 중 마텐자이트화

* TTT곡선(time temperature transformation diagram): 온도, 시간, 변태곡선

3) 표면 경화법

① 화학적 표면 경화법

i)침탄법: 고체(목탄, 코우크스), 가스(CO,CO₂,메탄,에탄,프로판), 침탄깊이 0.5~2mm

담금질2번 (1차: ,2차: 중심조직미세화)

ii)시안화법: KCN, NaCN (청화법)

iii)질화법: NH₃, 50~100 Hr, 자동차의 크랭크축, 캠, 펌프축 등에 사용. 질화층 0.4~0.8mm

* 특징: 경화층이 얇고 경화는 침탄한 것보다 크다. 마모 및 부식에 대한 저항이 크다.

질화강은 질화처리 후 담금질 할 필요가 없고 변형이 적다.

600°C 이하에서는 경도가 감소되지 않고 산화도 잘 안 된다.

	경도	열처리	수정	시간	변형	깊이
침탄법		O	O	↓	↑	↑
질화법	↑	X	X	↑	↓	↓

② 물리적 표면 경화법

i)화염 경화법: 대형 가공물에 사용(선반의 베드, 공작기계의 스피들)

ii)고주파 경화법: 경화시간이 짧다(수초에...)

4) 금속 침투법(시멘테이션에 의한 방법)

① Cr: 크로마이징, 내식성, 내산성, 내마멸성 증가(공구재료에 사용)

② Al: 칼로라이징, 내스케일성 증가 및 고온산화에 견딘다.

③ Si: 실리코나이징, 내식성, 내산성 증가

④ B: 보오르나이징, 내마모성 증가 ⑤ Zn: 세라다이징, 고온산화에 강하다,대기중 부식방지

5. 주철(Cast iron)

*흑연화 촉진제 (C,P↓, 냉각속도 ↓): Ni, Ti, Co, Al, Si (Ti 너무 많으면 흑연화 방지/탈산제)

흑연화 방지제 (탄화물 안정) : Mo, S, Cr, V, Mn, W

- 주철의 성장(균열) : A₁(720°C)에서 가열, 냉각 반복

주철성장 방지: 흑연미세화(조직치밀), C,Si적계, 탄화물안정화원소(Cr,Mn,Mo,V)첨가, 구상흑연화

* 주철의 5대원소

S : 유동성↓, 절삭성↑

Si : 흑연화 촉진, 주조쉬움

C : 용융점↓, 주조성↑

P : 용융점↓, 유동성↑, 절삭성↓

Mn : 펄라이트 조직을 치밀화하여 강도증가

※주철의 장점

㉠ 용융점(1110~1250°C) 및 비중(7.1~7.3)이 낮고, 유동성(주조성)이 우수하다.

㉡ 단위 무게당 값이 싸고 복잡한 형상도 쉽게 제작할 수 있다.

㉢ 녹이 잘 생기지 않으며 전·연성이 작고 가공이 안 된다.

㉣ 마찰 저항 및 절삭성이 우수하다.

㉤ 인장 강도, 휨 강도 및 충격값이 작으나 압축 강도는 크다.

㉥ 열처리의 경우 담금질, 뜨임이 안되나 주조응력 제거의 목적으로 풀림 처리를 한다.

(500~600°C, 6~10시간) (저온풀림: 주조응력제거, 고온풀림: 절삭성↑)

㉦ 자연시효(시즈닝): 주조후 장시간(1년이상)외기에 방치하여 주조응력(냉각속도 불균일)을 없어지는 현상.

(1) 주철의 종류

주철을 함유한 탄소의 상태와 파면에 따라 분류하면

회주철(grey cast iron): 탄소가 흑연(유리탄소) 상태로 존재(Si多), 냉각속도↓, 경도↓

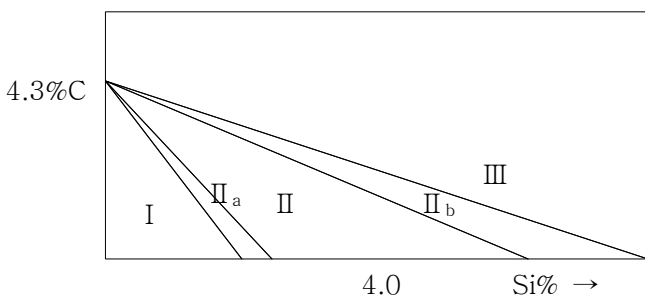
백주철(white cast iron): 탄소가 시멘타이트로 존재(Si小), 냉각속도↑, 경도↑

반주철(mottled cast iron): 회주철과 백주철의 중간

이 외에 고급 주철, 합금 주철, 구상 흑연 주철, 가단 주철, 칠드 주철이 있다.

* 전탄소(total carbon) : 유리탄소+화합탄소

(2) 마우러 조직도 : 탄소와 규소 및 냉각속도에 따른 주철의 조직도



구역	조직	명칭
I	P + C	백주철(극경주철)
II _a	P + C + 흑연	반주철(경질주철)
II	P + 흑연	회주철(강력주철)
II _a	P + F + 흑연	회주철(보통주철)
III	F + 흑연	회주철(극연주철)

(2) 보통 주철(회주철: GC 1~3종) → GC100 ~ GC200

① 인장강도: 10~20kg/mm²

② 조직: 펄라이트+흑연(편상)

③ 용도: 주물 및 일반기계부품, 농기구, 공작기계의 베드, 프레임 및 기계구조물의 몸체
(기계 가공성이 좋고 값이 싸다)

(4) 고급 주철(회주철: GC 4~6종) → GC250 ~ GC350, 내마멸성이 요구되는 주철로 펄라이트 주철이라고 한다
제조법 ; 란쯔법, 애멜법, 코오살리법, 피보와르스키법, 미한법

① 인장강도: 25kg/mm² 이상

② 조직: 펄라이트+흑연

③ 용도: 강도를 요하는 기계 부품

* 미하나이트 주철(Meehanite cast iron): 흑연의 형상을 미세, 균일하게 하기 위하여 Fe-Si, Ca-Si 로 접종 처리하여 흑연을 미세화하여 강도를 높인 주철.

① 인장강도: 35 ~ 45kg/mm²

② 조직: 펄라이트+흑연(미세)

③ 용도: 고강도, 내마멸, 내열, 내식성 주철로 공작기계의 안내면, 내연기관 실린더, 피스톤 링 등에 쓰임

(5) 특수 합금 주철

① 합금 주철

; 보통주철보다 기계적 성질을 향상시키거나 내식성, 내열성, 내마멸성, 내충격성 등의 특성을 가지도록 한 주철.

㉞ 내열 주철 : 고크롬 주철(Cr 34 ~ 40%); 내산화성(1000°C)

오오스테나이트 주철: 니크로실랄(Ni-Cr-Si 주철); 강도가 높고 열충격이 높다.(950°C)

니-레지스트(Ni-Cr-Cu 주철); 500~600°C

㉞ 내산 주철 - 고규소 주철(Si 14 ~ 18%)이라고도 하며, 절삭가공이 곤란하여 그라인더로 가공. 화학성분에 따라 듀리런, 코로실론

② 특수 용도 주철

가) 구상 흑연 주철(GCD) : 일명 노둘러 주철, 덕타일 주철이라고도 한다.

용융상태에서 Mg, Ce, Ca 등을 첨가 처리하여 흑연을 구상화로 석출시킨 것.

내마멸성, 내열성, 내식성 등이 우수하며, 소형 자동차의 크랭크축, 캠축, 브레이크 드럼 등의 자동차 주물, 잉곳 상자 및 특수 기계부품용 재료로 사용.

㉞ 기계적 성질

㉞ 주조상태: 인장강도 50 ~ 70kg/mm² ㉞ 풀림상태: 인장강도 45 ~ 55kg/mm²

㉞ 조직: 시멘타이트형(Mg 다량), 페라이트형(bull's eye 조직), 펄라이트형

㉞ 특성: 풀림 열처리 가능, 내마멸성, 내열성이 우수

* 페이딩(fading) 현상 : 구상화가 풀려 편상으로 복귀되는 현상

나) 칠드(냉경) 주철

주조시 Si가 적은 용선에 Mn을 첨가하고, 용융상태에서 금형에 주입하여 접촉면을 백주철(Fe₃C)로 만든 것

철의 깊이는 10 ~ 25mm이며 용도로는 각종 용도의 롤러, 기차바퀴 등에 사용

다) 가단주철

: 백주철을 장시간 풀림하여 탄소의 상태를 분해 또는 소실시켜 인성 또는 연성을 증가시킨 주철. 주조성과 피삭성이 좋고, 대량생산에 적합하므로 자동차 부품, 관이음쇠 등의 대량 생산에 많이 이용되는 주철이다.

㉞ 백심가단주철(WMC): 탈탄(40~100시간)이 주목적

㉞ 흑심가단주철(BMC): Fe₃C의 흑연화가 목적

제1단계 흑연화 과정 : 850~950°C → 유리시멘타이트를 흑연화

제2단계 흑연화 과정 : 680~720°C → 펄라이트 중의 시멘타이트를 흑연화.

㉞ 고력(펄라이트)가단주철(PMC) : 인성은 약간 떨어지나 강력하고 내마멸성이 좋다.

(6) 주강품(강주물) : 강을 주조한 것. 내부응력 때문에 풀림해야함. 평균주조 수축률 2%

저탄소주강 C<0.2% , 중탄소주강 C0.2%~0.5% , 고탄소주강 C>0.5%

제 3 장 비철 금속 재료

1. 구리와 그 합금

1) 구리의 성질

- ㉠ 비중은 8.96, 용융점 1083°C이며, 변태점이 없다.
- ㉡ 비자성체이며, 전기 및 열의 양도체이다.
(전기전도율을 해치는 원소: Al, Mn, P, Ti, Fe, Si, As)
- ㉢ 전연성이 풍부하며, 가공 경화로 경도 ↑ (600~700°C에서 30분간 풀림하여 연화)
- ㉣ 황산, 질산, 염산에 용해, 습기, 탄산가스, 해수에 녹 발생. 암모늄에 침식. 공기중에서 산화피막 형성.
- ㉤ 수소병: H₂가 동중에 확산 침투하여 균열(hair crack)이 발생

2) 황 동(Cu-Zn)

① 황동의 성질: 가공성, 주조성, 내식성, 기계적 성질, 광택이 우수, 압연과 단조가 가능하다.

- Cu + Zn30%: 7·3황동(α 고용체)은 연신율 최대, 가공성을 목적
- Cu + Zn40%: 6·4황동(α+β고용체)은 인장강도 최대, 강도 목적(일명 문쯔메탈)

*자연균열(=응력부식균열) : 냉간가공한 황동이 잔류응력에의해 자연히 균열발생. → 도금. 도색. 풀림으로 방지

*탈아연현상(=탈아연부식) : 해수에 침식되어 Zn이용해. Cl함유한 수도관에서 발생 → 아연편 도선으로 방지

*고온탈아연 : 고온에 의해 Zn 탈출 → 황동표면에 산화물 피막 형성

② 종류

- i) 톰백(tom bac): 8~20% Zn 함유, 색상이 황금빛이며, 연성이 크다
금대용품, 장식품(불상, 악기, 금박)에 사용
- ii) 연황동(lead brass: 쾌삭 황동) : 6·4황동에 Pb 1.5~3.0%를 첨가
- iii) 주석 황동: 내식성 및 내해수성 개량(Zn의 산화, 탈아연 방지)
 - ㉠ 애드미럴티 황동(admiralty brass): 7·3황동+Sn 1% , 소금물에도 부식X
 - ㉡ 네이벌 황동(naval brass): 6·4황동+Sn 1%
- iv) 델타메탈(delta metal: 철 황동): 6·4황동에 Fe 1~2% 첨가
- v) 강력 황동: 6·4황동에 Mn, Al, Fe, Ni, Sn
- vi) 알루미늄 황동: 7·3황동에 Al첨가 (알부락)
- vii) 양은(nikel silver): 7·3황동에 Ni 15~20% 첨가
전기 저항선, 스프링 재료, 바이메탈용에 사용

3) 청 동(Cu-Sn)

① 청동의 성질

- ㉠ 주조성, 강도, 내마멸성이 좋다.
- ㉡ Cu + Sn 4% : 연신율 최대
Cu + Sn 15~17(20)% : 인장강도 최대

- ② 인청동 : Cu+Sn 9%+P 0.35%(탈산제), 스프링제(경년변화가 없다), 베어링, 밸브시트 등에 사용.
- ③ 베어링용 청동 : Cu+Sn 13~15%
- ④ 납 청동 : Cu+Sn 10%+Pb 4~16%
- ⑤ 켈멧(kelmet) : Cu+Pb 30~40%, 고속 고하중용 베어링에 사용
- ⑥ 콜슨 합금(탄소 합금): Cu+Ni 4%+Si 1%, 인장강도 105Kg/mm²
- ⑦ 오일레스 베어링: Cu+Sn+흑연분말을 소결시킨 것. 기름 급유가 곤란한 곳의 베어링용으로 사용.
주로 큰하중 및 고속회전부에는 부적당하고, 가전제품, 식품기계, 인쇄기 등에 사용.
- ⑧ 베릴륨 청동(Be-bronze): Cu+Be 2~3%, 베어링, 고급스프링 등에 이용
- ⑨ 니켈청동(Cu-Zn-Ni) : 열전대 및 뜨임시호 경화성 합금
- ⑩ 포금(청동주물): Cu 88%+Sn 10%+Zn 2%, 대포를 만들 때 사용

2. 알루미늄과 그 합금

1) 알루미늄의 성질

- ① 비중 2.7, 용융점 660°C, 변태점 없다.
- ② FCC, 열 및 전기의 양도체, 전연성 풍부, 열간가공온도: 400~500°C
- ③ 염산, 황산 및 무기산 염류에 침식, 대기 중에서 표면 산화막 형성

④ 용도로는 송전선, 전기재료, 자동차, 항공기, 도료, 폭약 제조, 다이캐스팅에 사용

* 알루미늄 합금의 열처리 : 용체화 → 담금질 → 인공시효 → 풀림

용체화 : 금속재료 석출경화. 내부응력 제거

인공시효 : 용체화 처리후 얻어지는 과포화고용체를 석출

2) 알루미늄 합금

① 특징: Cu, Si, Mg 등과 고용체를 형성하며 열처리로 석출 경화, 시효 경화시켜 성질 개선

② 주조용 Al 합금 : 모래형, 금형주조와 다이캐스트용 재료로 사용

i) 실루민(알팩스): Al-Si계, 개량처리(Na, NaOH, NaF 첨가), 공정반응, 시효경화X

ii) 라우탈: Al-Cu-Si계, 피스톤, 기계부품, 시효경화성이 있다.

iii) Y합금(내열합금): Al-Cu 4%-Ni 2%-Mg 1.5%, 내연기관의 실린더, 피스톤 *알구니마*

iv) 로우엑스: Al-Si-Mg계, 열팽창 계수가 적고 내열성, 내마멸성이 우수, 피스톤

v) 하이드로날륨: Al-Mg계, 내식성이 가장 우수(Mg첨가 때문)

③ 단련용(가공용) Al합금

i) 두랄루민: Al-Cu-Mg-Mn계, 항공기 재료, 시효경화합금 *알구마망*

④ 내식용 Al 합금

i) 하이드로날륨(hydronalium): Al-Mg계, 내식성이 가장 우수

ii) 알민(Almin): Al-Mn계 iii) 알드레(Aldrey): Al-Mg-Si계

iv) 알클래드(Alclad): 두랄루민에 내식 알루미늄 조각을 피복한 것.

* 알루미늄 분말소결체(SAP:Sintered aluminum powder)

: 고도로 산화된 Al분말을 만들고, 이것을 가압, 성형, 소결한 후 압출한 소결체.

3. 마그네슘과 그 합금

(1) Mg의 성질

① 실용 금속 중 비중이 가장 작다(비중 1.74, 용융점 650°C)

② 조밀육방격자이며, 고온에서 발화하기 쉽다.

③ 대기중에서 내식성이 양호하나 산 및 바닷물에 침식되기 쉽다.

④ 알칼리성에 거의 부식되지 않는다.

⑤ Al합금용(비행기, 자동차 부품), 구상흑연 주철재료, Ti제련용, 사진용 플래시 등

(2) Mg 합금의 종류

① Mg-Al계 합금(Al 4~6% 첨가)

도우메탈(Dow metal)이 대표적이다. Al 6%(인장강도 최대), Al 4%(연신율 최대)

② Mg-Al-Zn계 합금(Mg, Al 3~7%, Zn 2~4%)

엘렉트론(Electron)이 대표, 주로 주물용 재료

4. 니켈 및 그 외의 금속 및 합금

(1) 니켈의 성질

① 비중 8.9, 용융점 1455°C이며, 전기 저항이 크다

② 상온에서 강자성체(360°C에서 자성 없음: 자기변태)

③ 연성이 크고 냉간 및 열간 가공이 쉽다.

④ 풀림 상태의 인장강도 40~50kg/mm²

⑤ 내식성과 내열성이 우수하며, 질산, 염산에 약하고 알칼리성에 우수, 황산에 잘 부식되지 않는다.

⑥ 용도로는 화학 및 식품공업, 진공관, 화폐, 도금용에 사용된다.

(2) 니켈 합금

① Ni-Cu계 합금

㉠ 콘스탄탄(constantan): Cu - Ni 40~45%, 전기저항성, 열전쌍재료

㉡ 어드밴스(advance): Cu - Ni 44%, Mn 1%

㉢ 모넬메탈(monel metal): Cu - Ni 65~70%, Cu, Fe 1~3% (터빈날개, 펌프임펠러, 화학기계)

종류로는 KR모넬, K모넬, R모넬, H모넬, S모넬 등이 있다.

(3)티탄(Ti)

- ①성질: 비중 4.5, 인장강도 50kg/mm², 용융점 1730°C
강도 ↑, 고온강도, 내식성, 내열성 우수, 절삭성 ↑, 전기전도도 가장유해
- ②용도: 초음속 항공기외판, 송풍기의 프로펠라, 가스터빈

(4) 베어링용 합금

- ① 화이트 메탈(white metal): Sn+Cu+Sb+Zn의 합금, 저속기관의 베어링
 - 주석계 화이트 메탈: 배빗 메탈(babbitt metal : Sn-Sb-Cu계)이라고 하며, 우수한 베어링 합금
 - 납계 화이트 메탈: Pb-Sn-Sb계
 - 아연계 합금: Zn-Cu-Sn계
 - 오일리스베어링 Cu+Sn+흑연분말 소결. 기름보급 곤란한곳. 고속, 중하중X

(5) 저용융점 합금

- ① 3원합금 : Bi-Pb-Sn계, 종류로는 로즈합금, 비스무드 합금, 뉴톤 합금 등이 있다.
- ② 4원합금 : Bi-Pb-Sn-Cd계, 종류로는 우드메탈, 리포위즈, 디아세트 등이 있다.

(6)전자기용 금속(반도체) : Si, Ge, Se

(7) 귀금속류

24금 = Au 100%

$$18금 = \frac{18}{24} \times 100\% = Au 75\%$$

$$14금 = \frac{14}{24} \times 100\% = Au 58.3\%$$