

Chapter7

Fabrication

강의명: 기계재료공학 (MFA9009)

정영웅

창원대학교 신소재공학부

YJEONG@CHANGWON.AC.KR

연구실: #52-208 전화: 055-213-3694

Homepage: [HTTP://YOUNGUNG.GITHUB.IO](http://YOUNGUNG.GITHUB.IO)

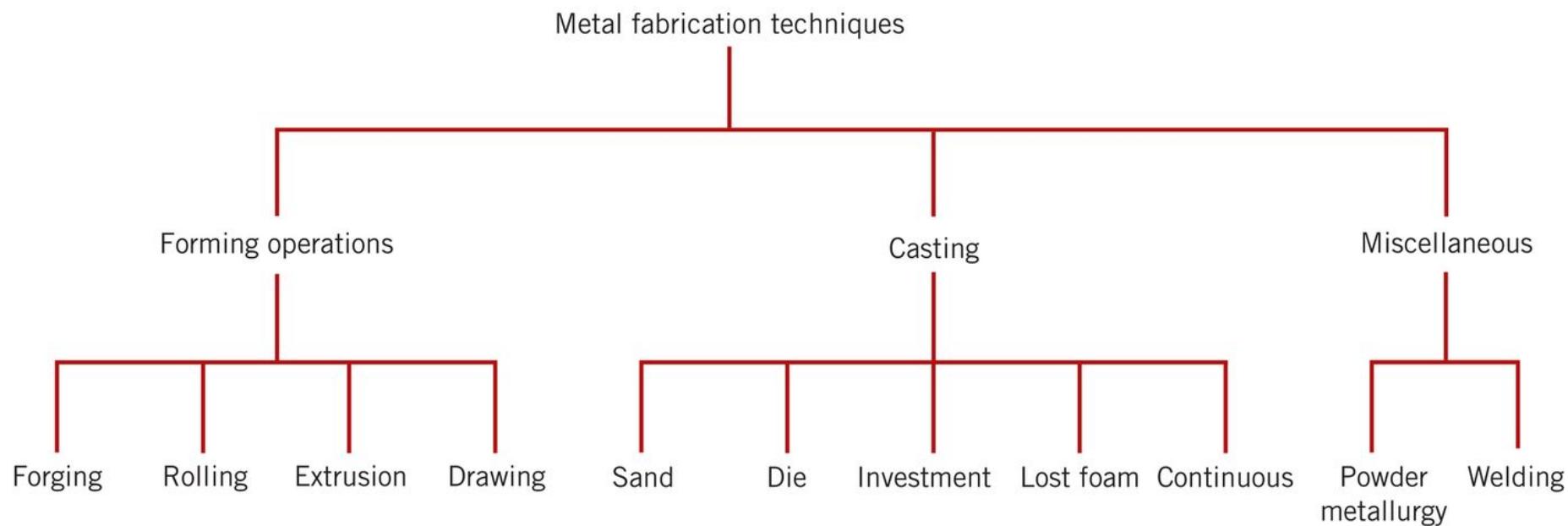
Recap

Intro

- 가공 방식이란 최종 제품에 사용할 부품을 재료의 성형 및 제작을 통하여 생산하는 방법이다.
- 금속의 가공법
 - 성형
 - 주조
 - 분말 야금, 용접 등
- 열처리
 - 어닐링 ...
- 강의 열처리
 - 경화능, 금랭재,
- 석출 경화

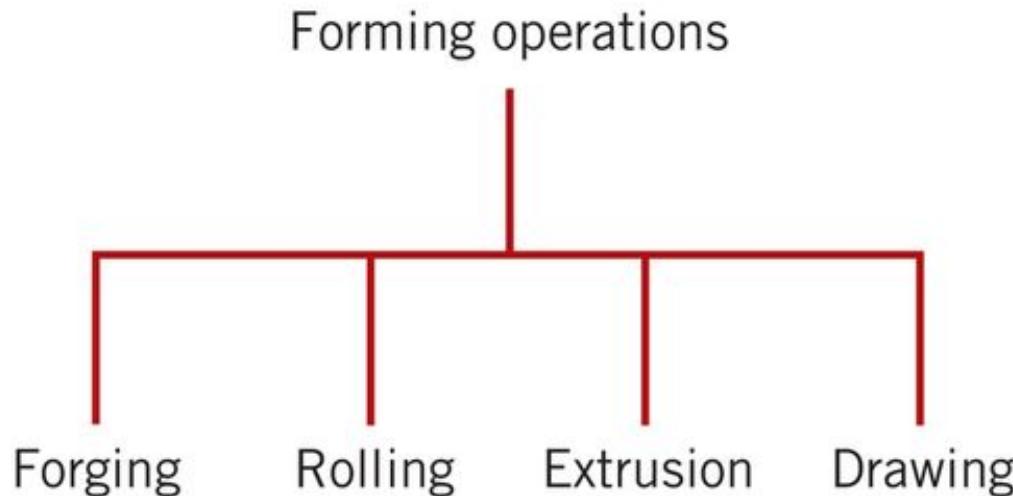
Intro

Metal Fabrication Techniques



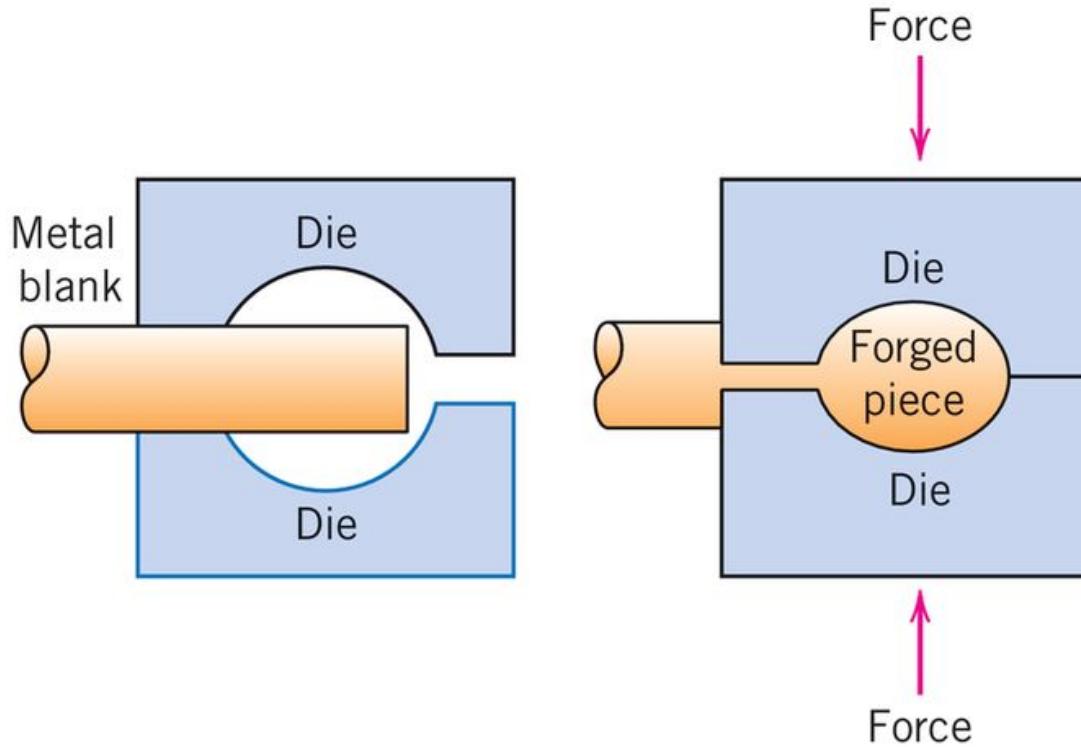
Forming operation

- 성형 작업(forming operation)은 소성변형을 통해서 금속재의 형태를 바꾸는 과정이다. 그 예로
 - 단조, 압연, 압출, 인발 등이 있다. 적절한 연성이 없는 금속에게는 적용할 수 없다.
- 변형이 재결정 온도 이상에서 행해질 때, 열간가공. 그렇지 않으면 냉간 가공이라 한다.
 - 온간가공시 더 많은 소성변형이 가능. 하지만 표면의 산화 분위기. 불량한 표면
 - 냉간가공시 변형 경화 발생으로 인한 강도 증가 – 연성 감소. 표면이 좋다.



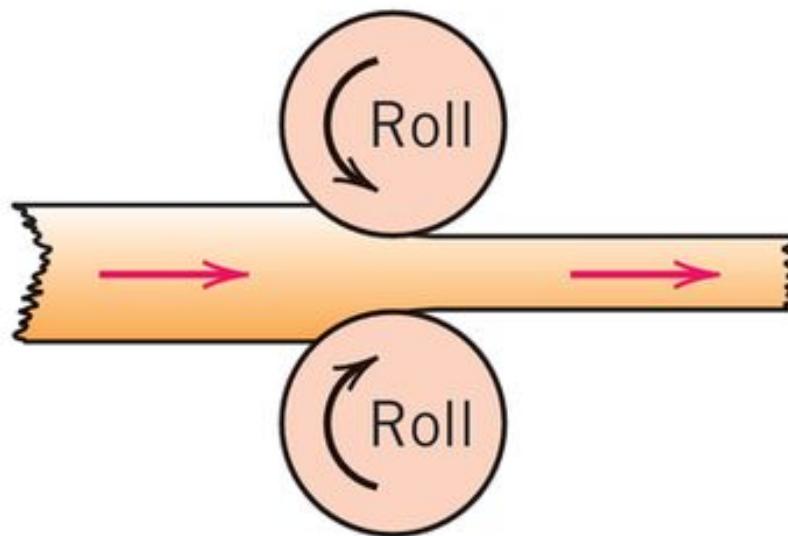
단조 (forging)

- 일반적으로 가열된 금속을 대상으로 행해지는 가공법.
- 연속적인 망치질이나 압착에 의해 행해진다. 폐쇄형 혹은 개방형 다이로 분류한다.



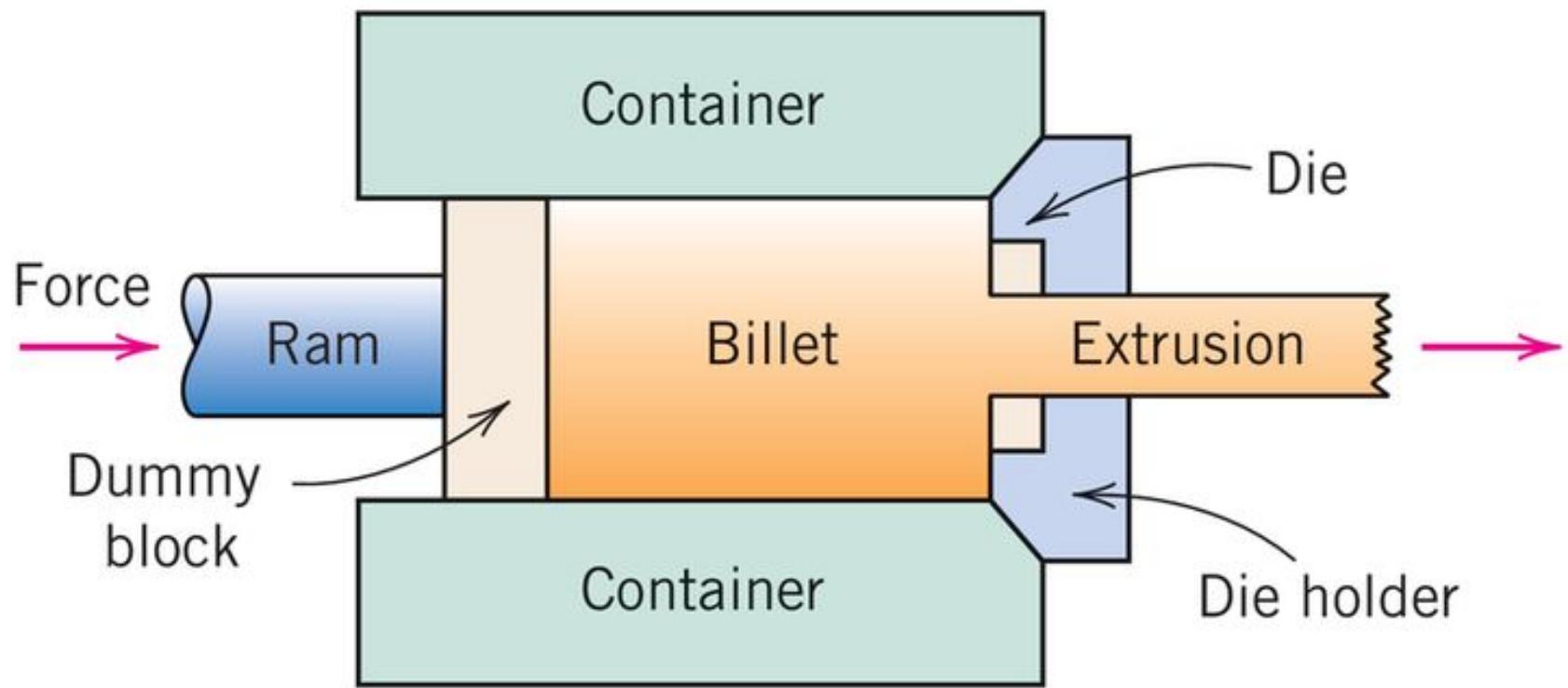
압연 (rolling)

- 가장 널리 알려진 소성변형 기술
- 압연에 의한 두께 감소는 두 원통제에 의해 걸리는 압축 응력에 의해 이루어진다.
- 냉간 압연은 우수한 표면 마감을 갖는 판재, 띠, 박판의 제조에 사용된다.



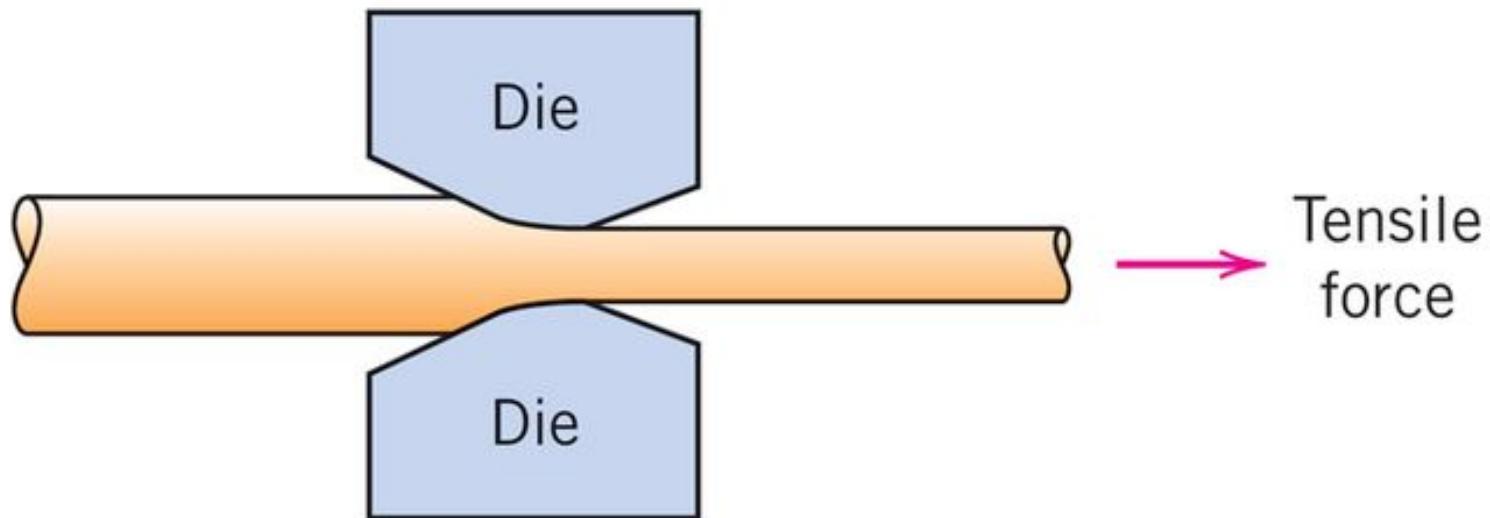
압출 (extrusion)

- 금속봉을 피스톤에 가해지는 압축 응력에 의해 다이의 구멍을 통하여 '밀어내는' 방법이다. 복잡한 단면의 형태를 가진 '관'의 형태로. 이음매 없는 관을 제조하는 방법.



인발 (drawing)

- 경사진 구멍을 갖는 다이를 통해 출구 쪽에 가해지는 인장력에 의해 금속제를 당기는 방법. 단면적이 감소하며 길이는 증가. 몇 개의 다이를 연속적으로 배열하여 조업 가능.



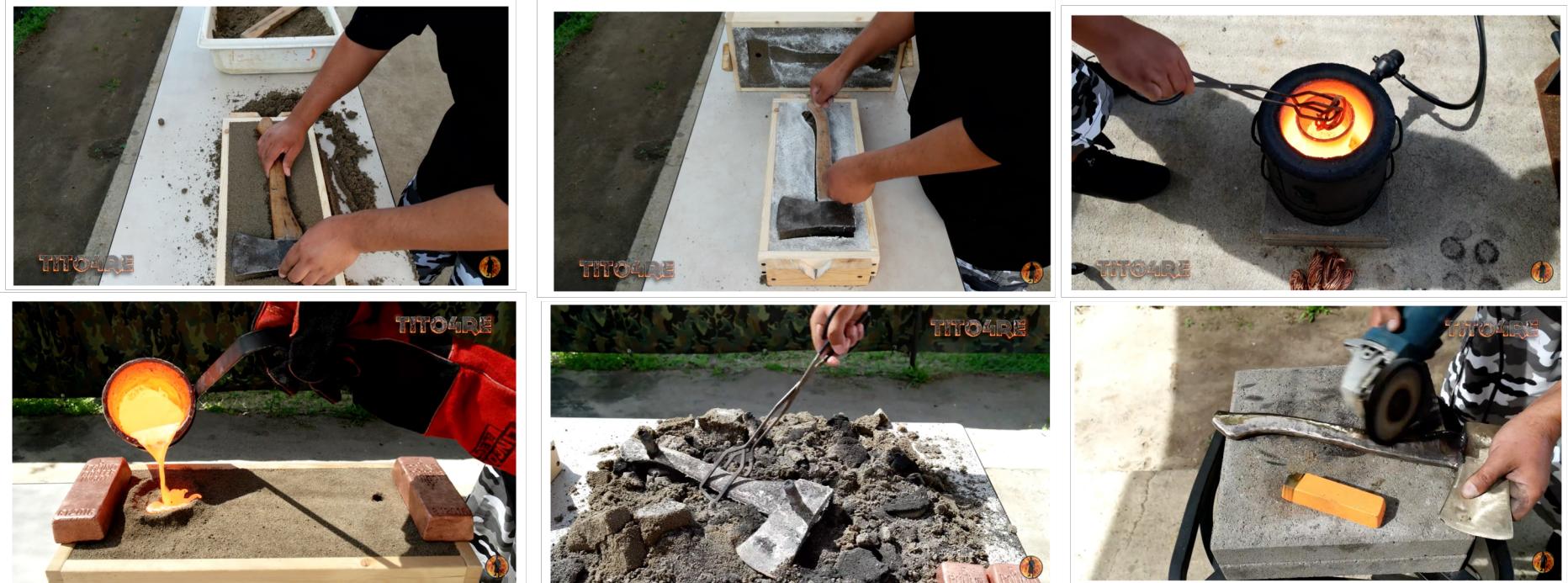
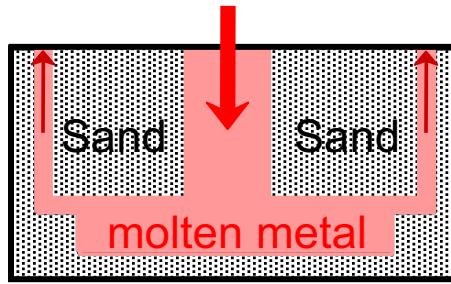
주조 (casting)

- 완전히 용융된 금속을 원하는 형태의 주형(mold) 공간에 부어 성형하는 방법



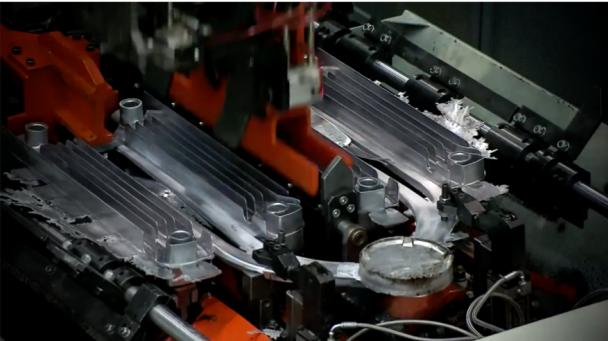
Sand casting

- 모래를 주형 재료로 사용한다.
- 모래는 섭씨 1600도를 견디다.



Die casting

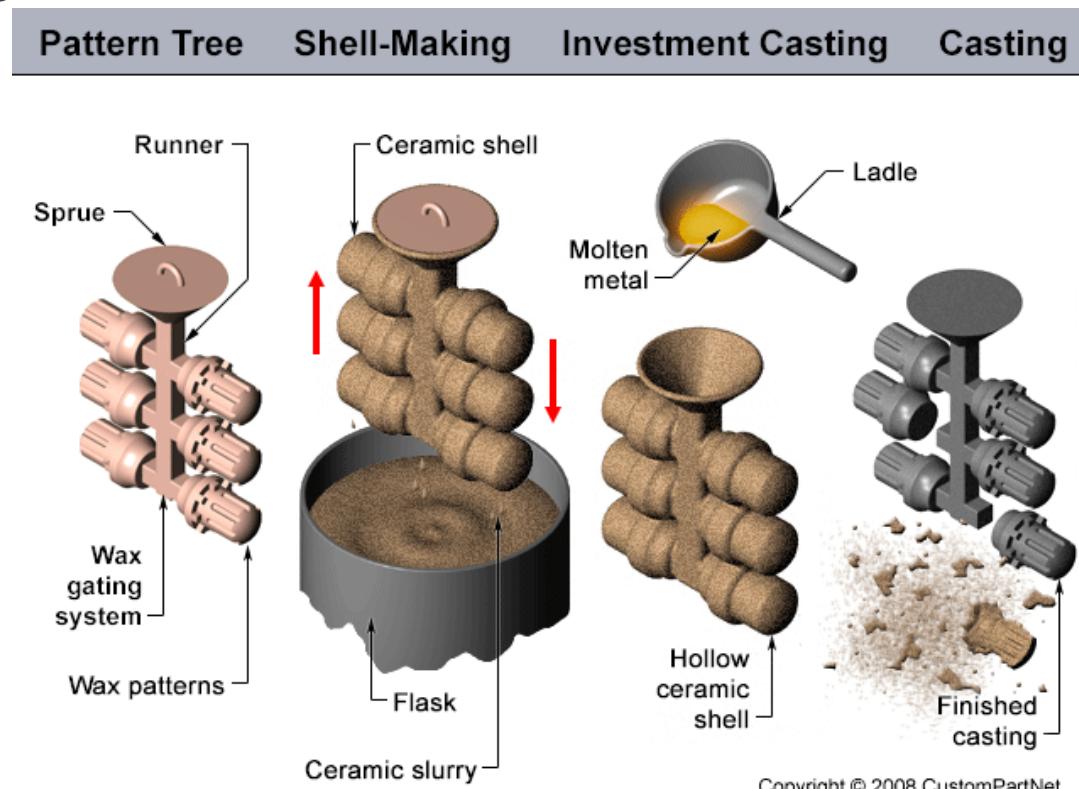
- 다이 주조: 액상의 금속을 금형 내에 압력을 가해 삽입 후 응고.
- 영구적인 강 주형 또는 다이를 사용. 빠른 주조 속도로 생산비가 비교적 저렴
- 주형/다이를 여러번 사용 가능



Investment casting

■ 인베스트먼트 주조 (lost-wax 주조)

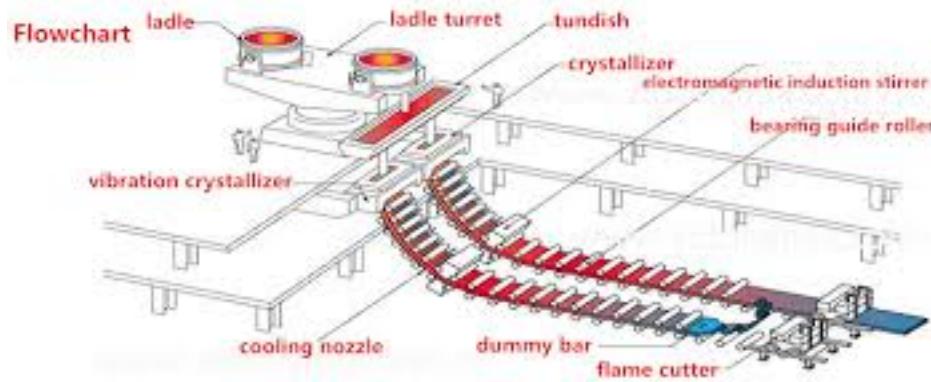
- 주형틀을 왁스나 플라스틱
- 주형틀은 타서 날아가고 원하는 형태의 주형만 남는다.
- 보석, 치과에 사용 – Dental crown.



Other casting methods

소모 거품 주조

- 인베스트먼트 주조의 일종 – lost foam casting; 금형이 소모되는 주조법 – compressing polyesterine - (스티로폼은 회사명...) ESP – Expanded PolyStyrene



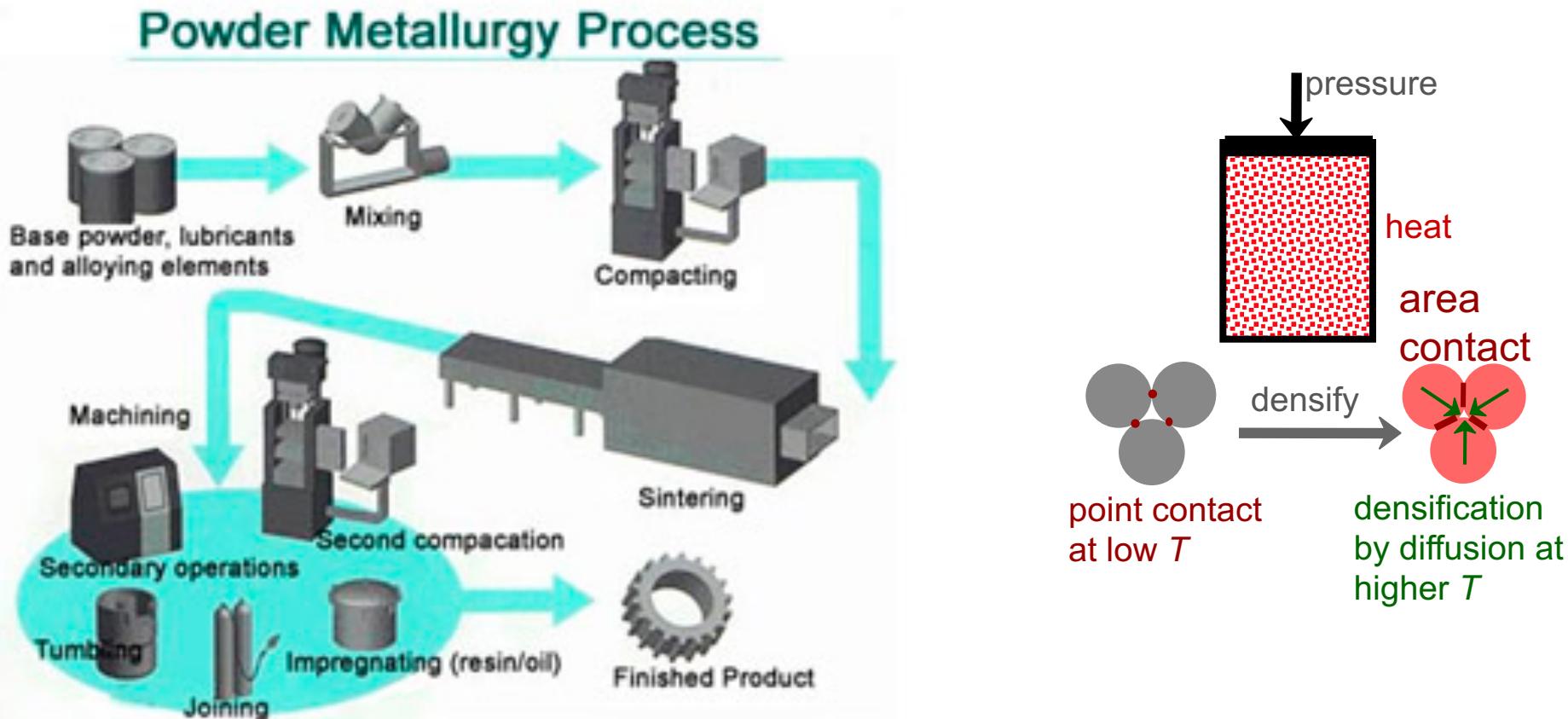
연속주조법

- 주조와 압연의 단계를 동시에 수행하는 방법 – 사격형이나 원형의 단면 형상을 갖는 연속 주관에서 직접 응고 – 대량 생산과 자동화에 적합



Powder metallurgy (분말 야금)

- 금속 분말을 압축하여 원하는 형상을 얻는 가공법



용접 (welding)

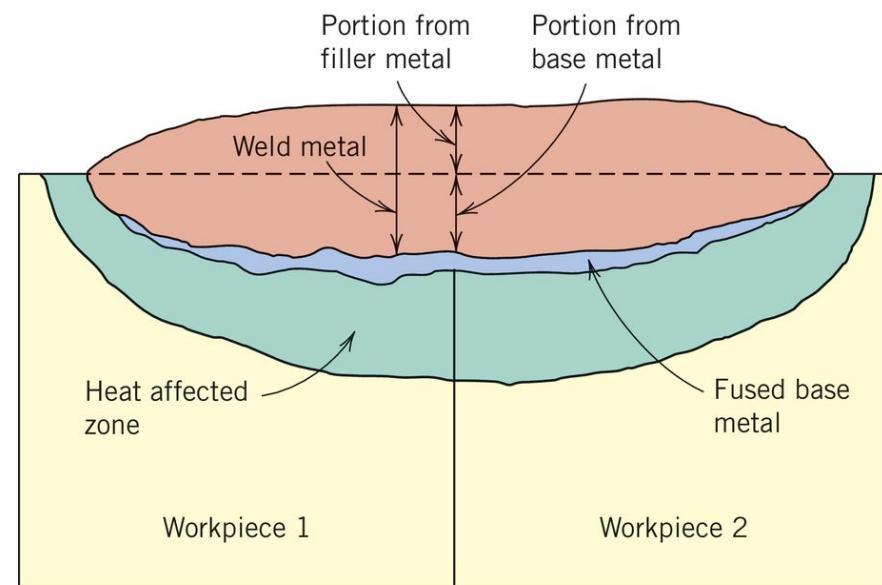
- 2개 이상의 금속 부위를 서로 붙이는 기술

- 종류

- Arc 또는 가스 용접
- 땜질 (Brazing)
- 땡납 (soldering) 등 다양한 종류가 있다.

- 아크 용접

- 두 대상 구조물과 용가재 (filler material; 용접봉 (welding rod))에 열을 가해 함께 녹인다. 필러가 녹아 두 대상물 사이에 용융 접합 부위 (fusion joint)를 형성한다.
- 따라서, 용접 부위 주위에는 미세구조와 물성이 변하는 영역이 존재한다. 이 영역을 열영향부 (heat-affected zone, HAZ)라 한다.



From Iron Castings Handbook, C. F. Walton and T. J. Opar (Editors), Iron Castings Society, Des Plaines, IL, 1981.

1. HAZ에서 재결정화, 결정 성장이 발생 (기계적 물성 변화 발생)
2. 냉각과 동시에 잔류應力 형성 – 접합 강도 저하
3. 합금강의 경우 austenite가 변태하며 마텐사이트 형성 (취성 ...)
4. 스테인레스강의 열화로 내부식성 저하

Annealing

- Annealing: 재료를 고온(annealing temperature)에 장시간 유지시킨후 서서히 냉각하는 열처리법.
 - 상온에서 Annealing temperature까지 가열
 - Annealing temperature 의 유지
 - 다시 상온까지 서서히 냉각
- Annealing 열처리를 통해 다음과 같은 효과가 기대된다.
 - 1) residual stress relief
 - 2) Ductility, toughness increase
 - 3) 특정한 미세구조의 형성
- 가열과 냉각시에 걸리는 온도 변화 속도; 즉 시간이 중요한 변수.

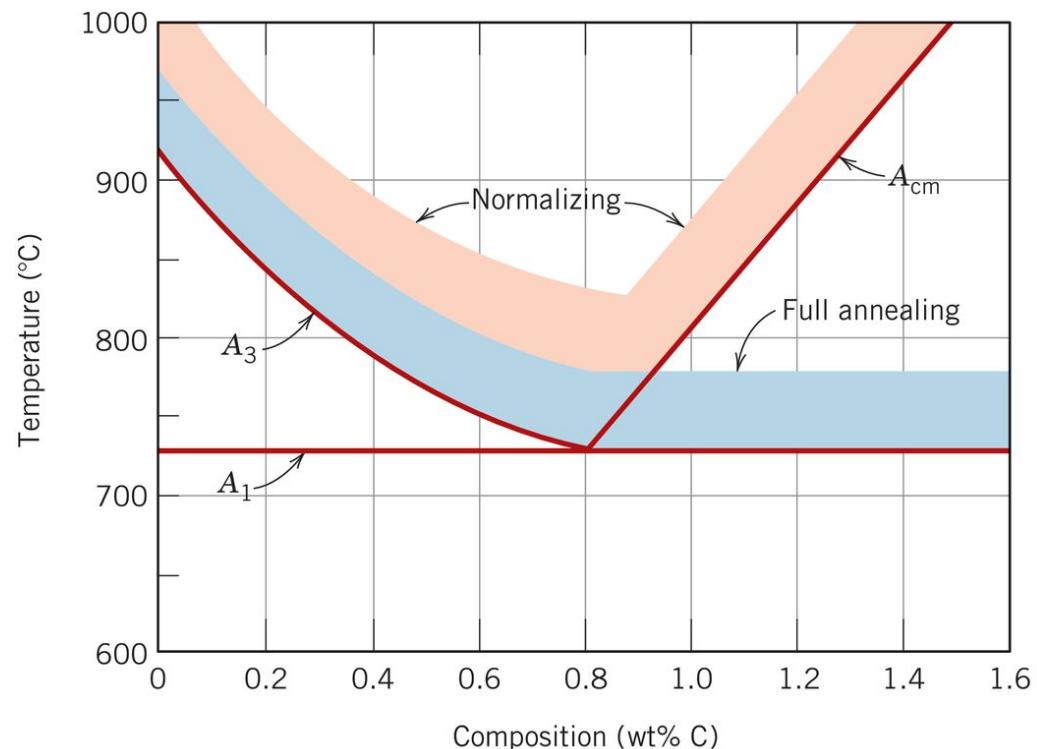
Annealing

Types of Annealing

- **Stress Relief:** Reduce stresses resulting from:
 - plastic deformation
 - nonuniform cooling
 - phase transform
 - Welding, casting ...
- **Spheroidize** (steels): Make very soft steels for good machining. Heat just below $T_{\text{eutectoid}}$ & hold for 15-25 h.
- **Full Anneal** (steels): Make soft steels for good forming. Heat to get γ , then furnace-cool to obtain coarse pearlite.
- **Process Anneal:** Negate effects of cold working by (recovery/ recrystallization)
- **Normalize** (steels): Deform steel with large grains. Then heat treat to allow recrystallization and formation of smaller grains.

철합금의 어닐링 온도

- Fe-C 상태도에서 상경계에와 관련한 다양한 열처리 온도
- A₁: 하부 임계 온도 (lower critical temperature)
- A₃/A_{cm}: 상부 임계 온도(upper critical temperature)

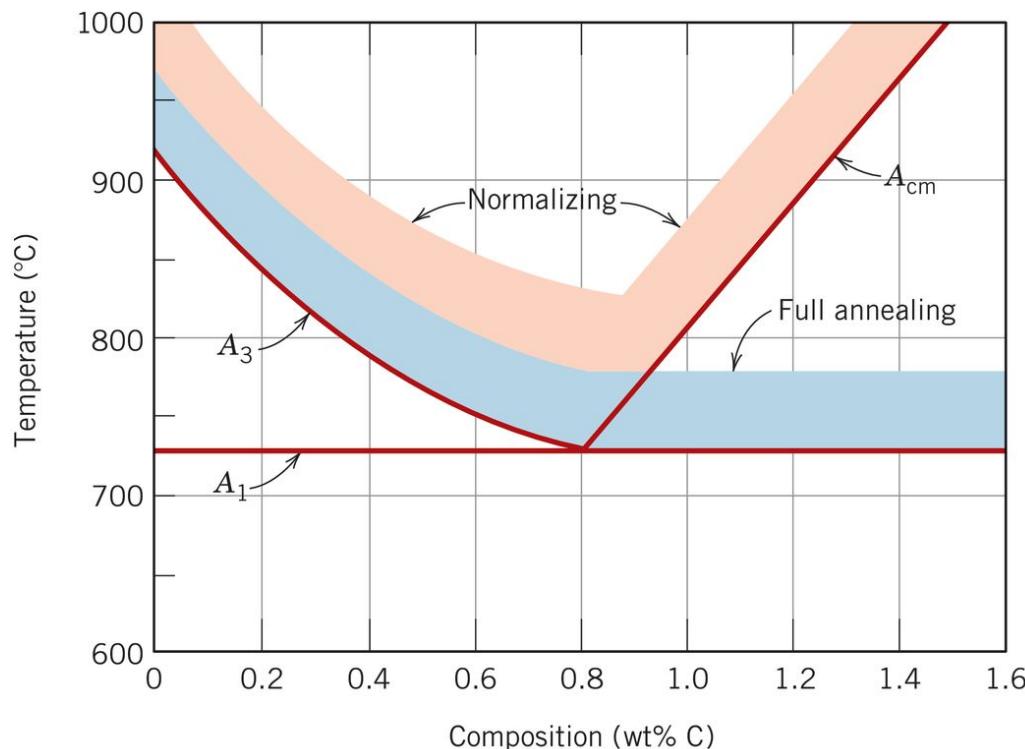


Adapted from G. Krauss, Steels: Heat Treatment and Processing Principles, ASM International, 1990, page 108.

철합금의 어닐링 - Normalizing

■ Normalizing

- 압연에 의해 소성변형하여 얻어진 강은 펄라이트상을 가지고 그 결정립은 불규칙한 형태, 조대하며, 크기의 편차가 심하다.
- Normalizing 공정을 통해, 결정립을 미세하고, 균일한 크기의 분포도를 가지게 할 수 있다.
- 상부 임계 온도보다 55도 높은 온도에서 행해진다.
- C 0.77 wt% 기준으로 좌우 A_3 , A_{cm}



Adapted from G. Krauss, Steels: Heat Treatment and Processing Principles, ASM International, 1990, page 108.

철합금의 어닐링 - Full annealing

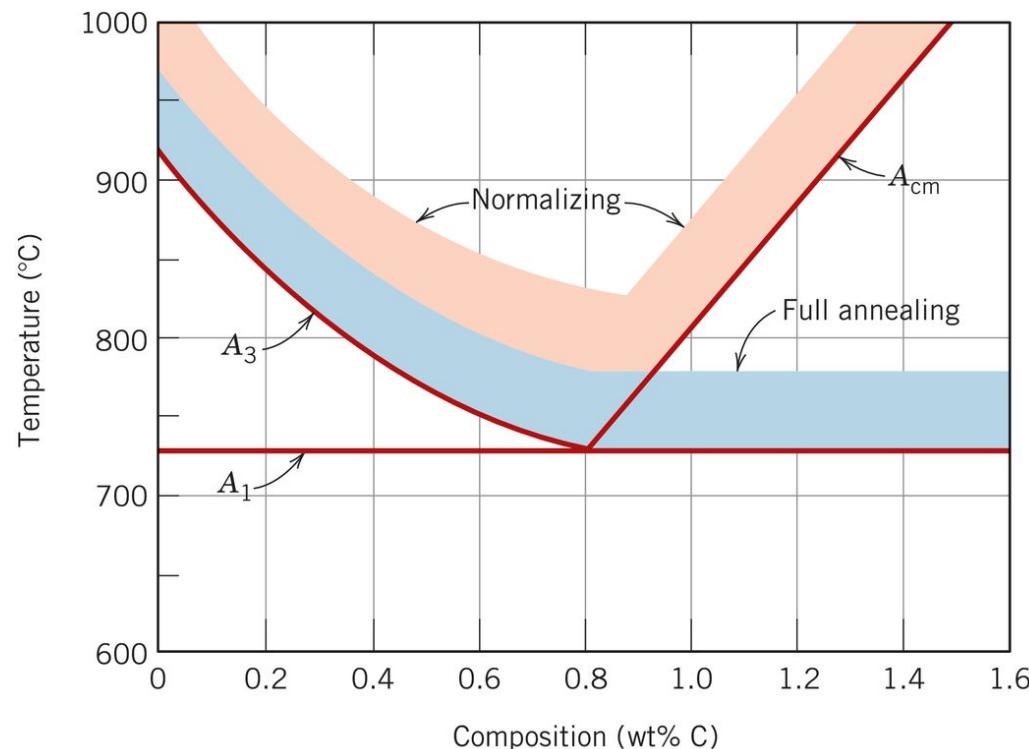
완전 어닐링 (full annealing)

- 기계 가공되었거나, 성형 가공 중 상당한 소성변형을 받게 될 저/중 탄소강에 적용된다.
- Hypo-eutectic: $A_3 + 55$ 도에서 가열
- Hyper-eutectic: $A_1 + 50$ 도에서 가열
- 가열 후 노(furnace) 냉각: 노와 강을 함께 상온으로 냉각 – 수시간 걸림

미세구조:

- Pro-eutectoid + 조대 펄라이트

연성이 증가한다.



Adapted from G. Krauss, Steels: Heat Treatment and Processing Principles, ASM International, 1990, page 108.

철합금의 어닐링 - Spheroidizing

- Coarse pearlite를 가지는 저/중 탄소강의 연성을 높이기 위한 열처리

- Spheroidite를 형성시키기 위한 열처리 – spheroidite는 연성이 매우 좋다.

- 여러 열처리 방법이 가능:

- A_1 이하에서 – 기존의 pearlite를 spheroidite로 바꾸는데 15~25시간 소요
- A_1 위까지 가열한 다음 노냉각, 혹은 A_1 바로 밑의 온도 유지
- A_1 온도 위아래 $\pm 50^{\circ}\text{C}$ 내에서 가열/냉각 반복

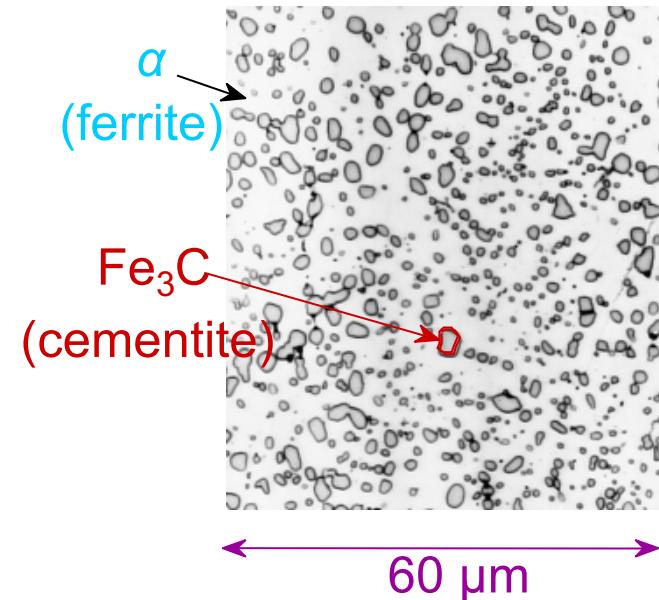


Fig. 12.19, Callister & Rethwisch 9e.
(Copyright United States Steel Corporation, 1971.)

강의 열처리

- Martensite를 얻기 위한 열처리는 austenite 강을 물/기름/공기 등의 coolant에 노출시켜 연속 급랭을 통해 이루어진다.
- 급랭과 템퍼링된 강의 최적 성질은 급랭하여 얻어진 시편의 대부분이 martensite로 변할 수 있을 때 얻어질 수 있다.
- 하지만 급랭할 때 시편 전체를 균일한 속도로 냉각시키는 것은 불가능하다 – 표면이 항상 내부보다 더 빨리 냉각.
- 시편 전체가 마르텐사이트로 변태될 수 있는 조건은 다음 변수에 좌우:
 - 합금 조성
 - 냉각재의 종류
 - 시편의 크기/모양 등
- 이를 경화능(hardenability)라는 컨셉으로 이해할 수 있다.

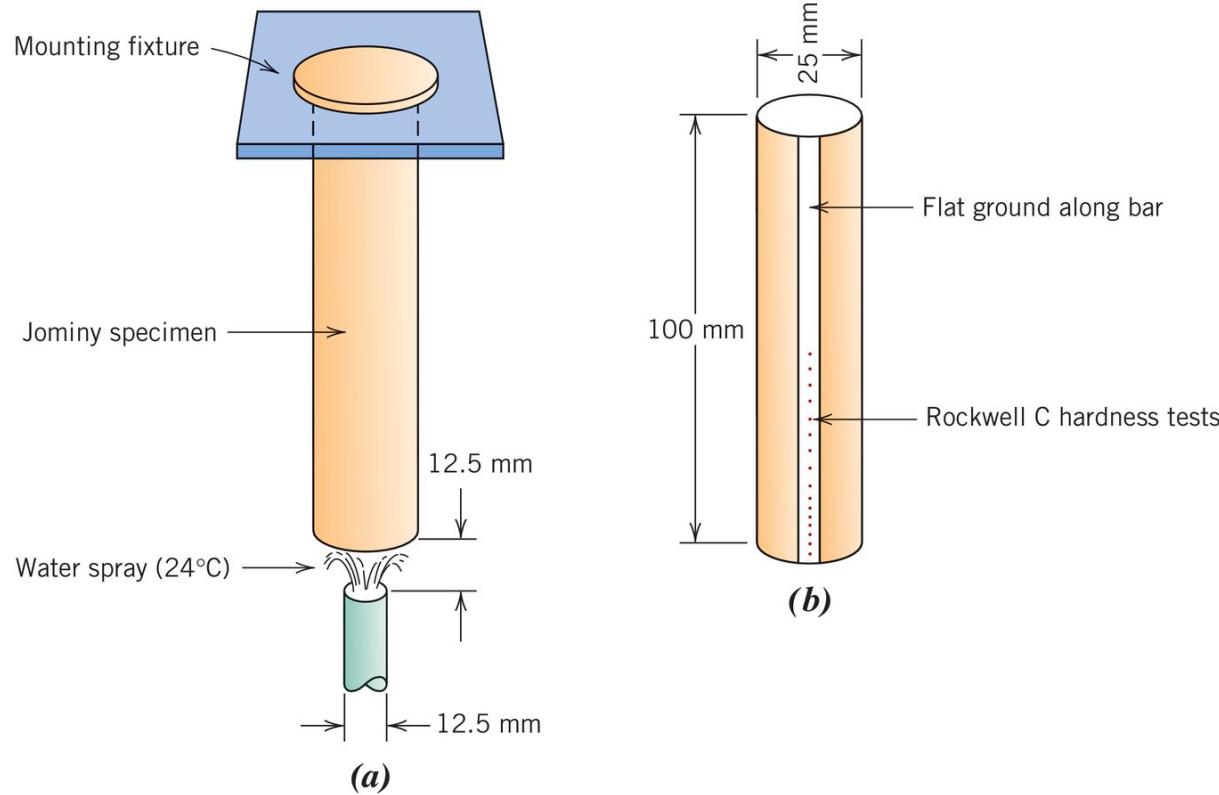
경화능 (hardenability)

- 경화능(Hardenability)은 합금이 주어진 열처리에서 얼마나 많은 martensite를 얻을 수 있는 능력(포텐셜)이 있는지를 가르키는 용어다. (hardness가 아니다!)
- 경화능은 시편 내부로 들어갈수록 마텐사이트의 양감소에 의한 경도 감소율을 수치로 나타낸 것이다.
- 높은 경화능을 가진 합금은 표면뿐만 아니라 내부 전체에 martensite를 가질 수 있다.

Martensite 생성 조건

- 냉각재의 종류
 - 물, 기름, 공기
- 합금의 조성
 - TTT, CCT에서 martensite 생성을 방해하는 nose가 alloying element에 의해 split 혹은 shift 됨을 언급함.
- 시편의 형상 – 시편 내부는 외부보다 늦게 식게 된다...

Hardenability (Jominy test)

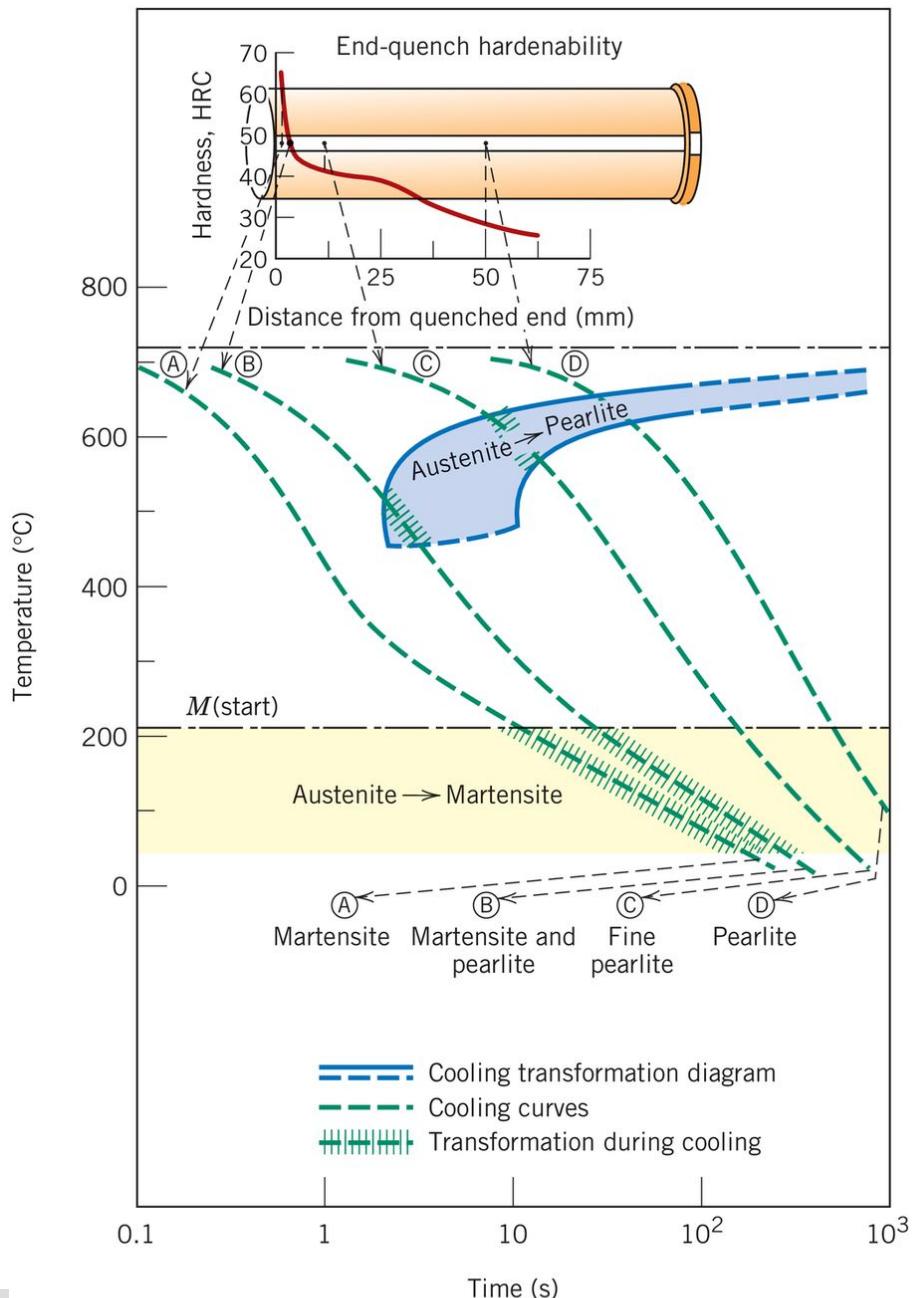


Adapted from A. G. Guy, Essentials of Materials Science. Copyright 1978 by McGraw-Hill Book Company, New York.

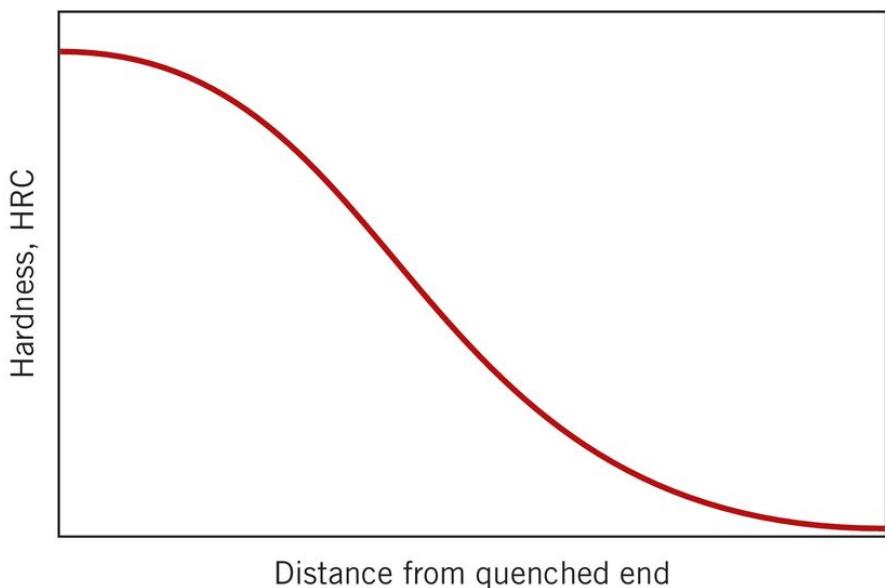
경화능 측정하는 표준 시험 중 하나

(Jominy end-quench test)

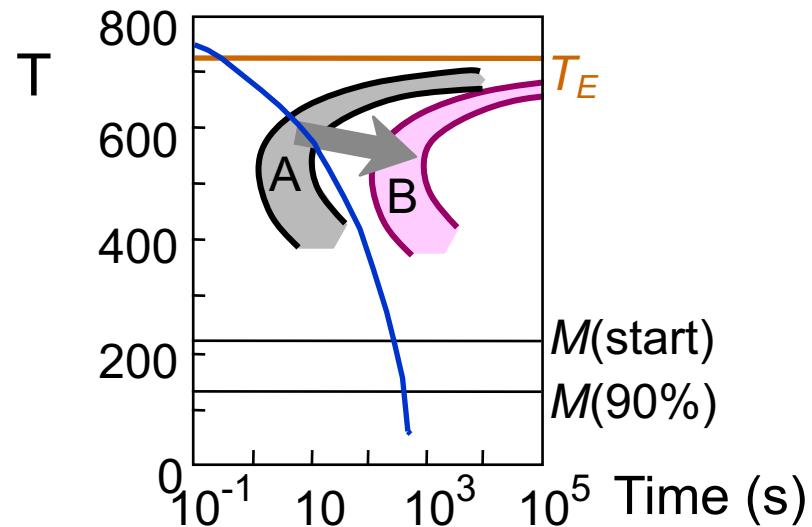
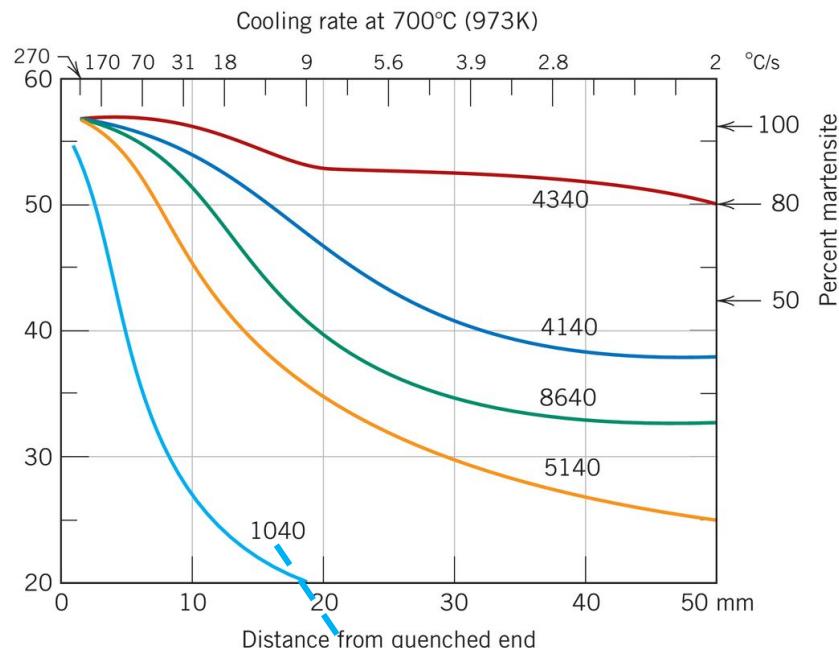
- Austenitization 후, 시편의 한 끝을 급랭 (규정된 온도와 유량으로)



경화능이 높으면, 상대적으로
quench-end에서 먼 거리까지 높은
경도 값을 가지게 된다.



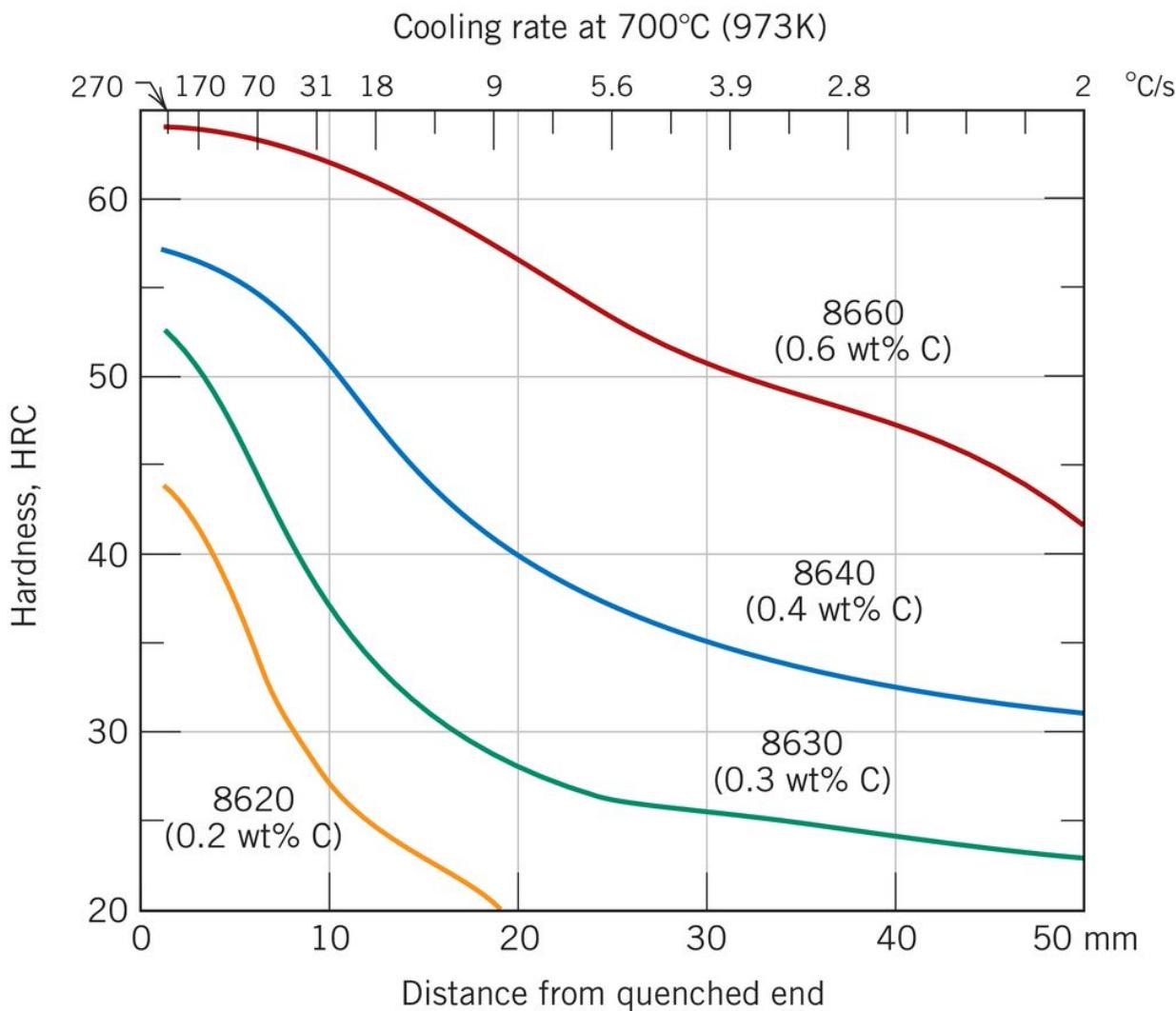
Hardenability comparison (alloys)



Adapted from figure furnished courtesy Republic Steel Corporation.

Plain-low carbon steel

Hardenability comparison (CC)



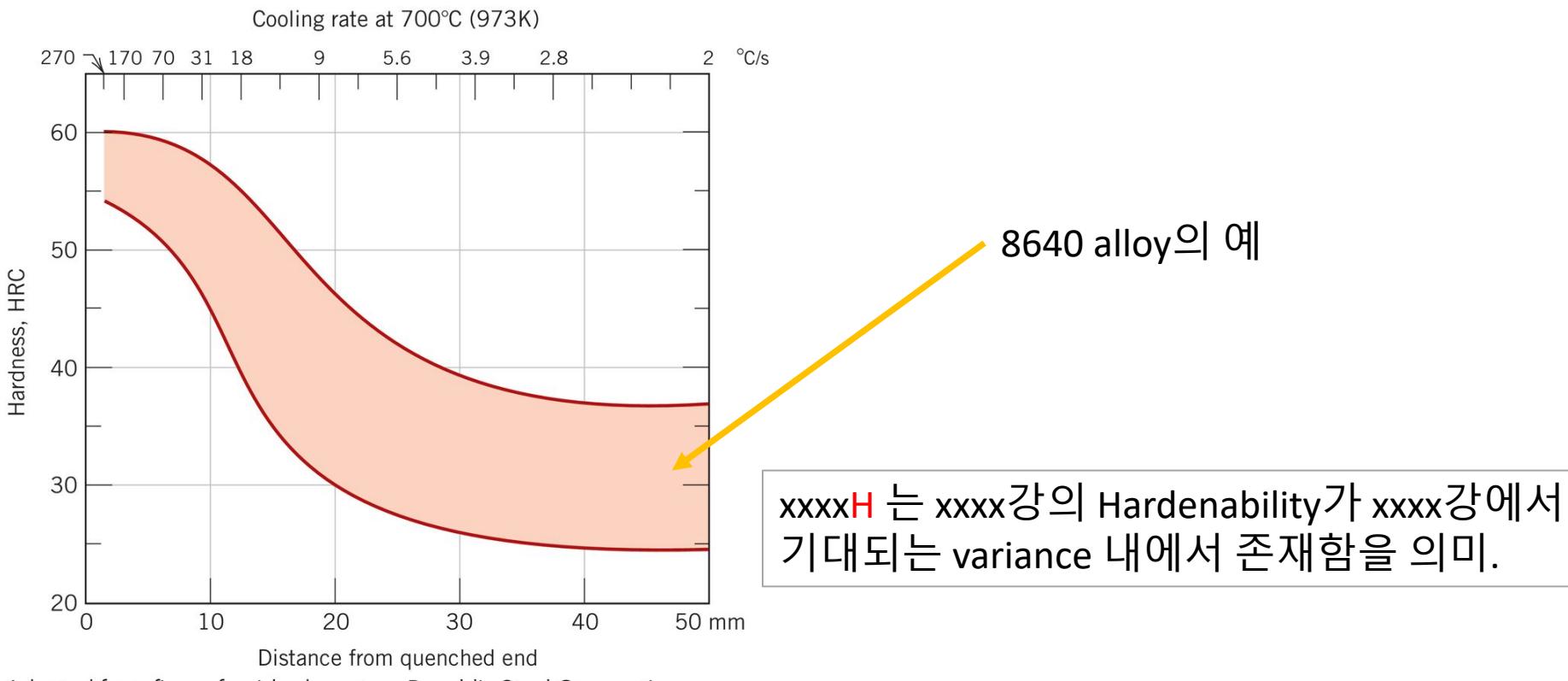
같은 종류의 합금강을 대상으로 (86xx) 다른 양의 carbon content에 따라 달라지는 hardenability를 보여준다.

일반적으로 carbon 함유량이 높을 수록 hardenability 높아진다.

Adapted from figure furnished courtesy Republic Steel Corporation.

Variance in Hardenability

- 한 batch (같이 생산되는 .. Ex. 한번에 구워낸 빵들: a batch of bread) 에서 생산된 재료라고 하더라도 근소한 농도 차이, 결정립 크기 차이 등에 기인하는 variance 존재한다. 경화능 데이터도 마찬가지.



Hardenability; quenchant, specimen geometry

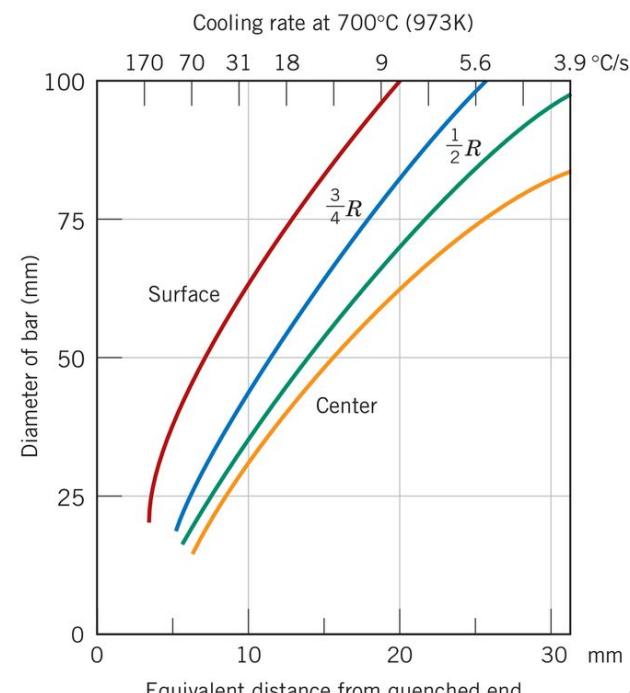
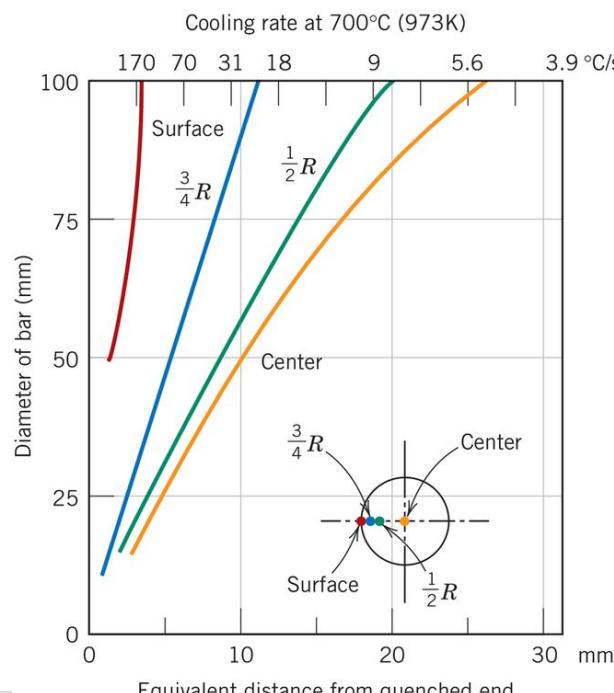
- Types of quenchants:

- 물, 기름, 공기

- Severity of quench:

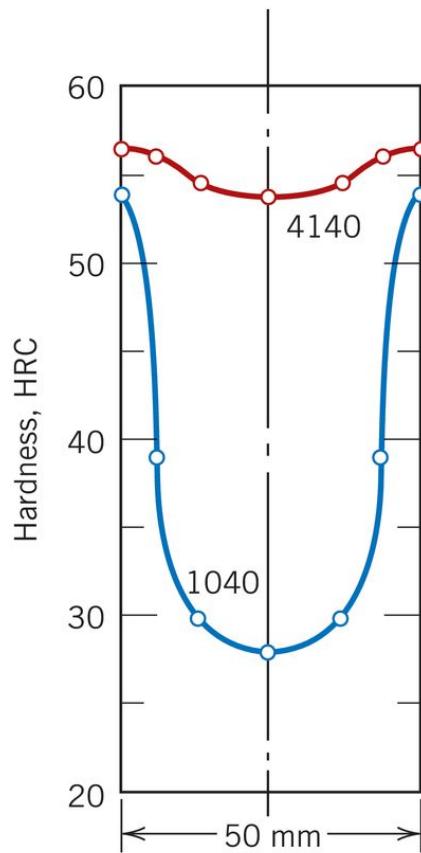
- 물 > 기름 > 공기 (급랭제의 교반, 열전도도 등이 영향)

- Austenite를 물과 기름을 사용하여 quench; 공기의 경우 pearlite 생성.

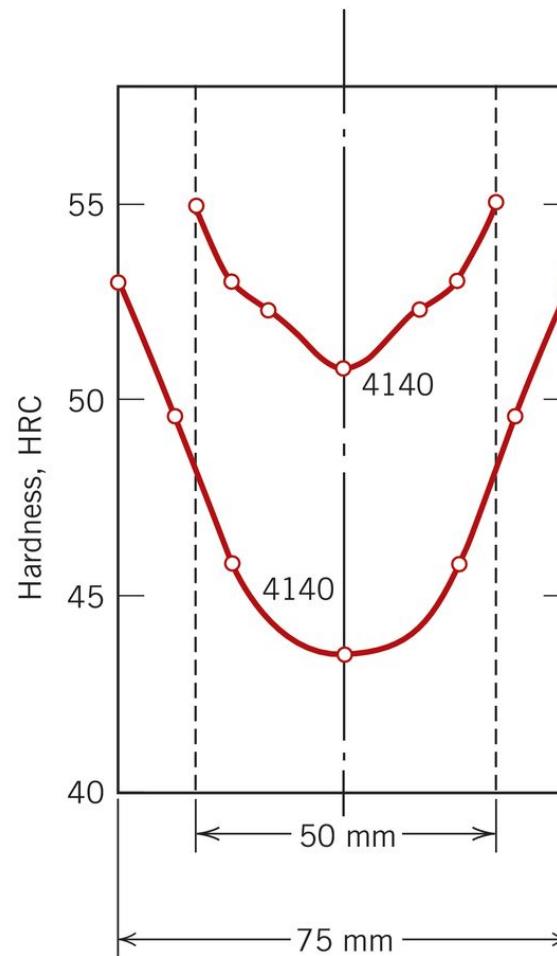


Adapted from Metals Handbook: Properties and Selection: Irons and Steels, Vol. 1, 9th edition, B. Bardes (Editor), 1978.
Reproduced by permission of ASM International, Materials Park, OH.

시편과 시편의 크기 영향



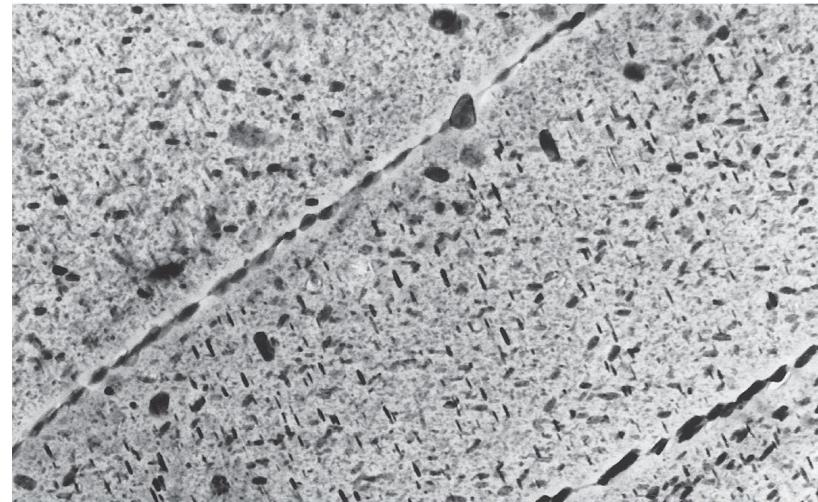
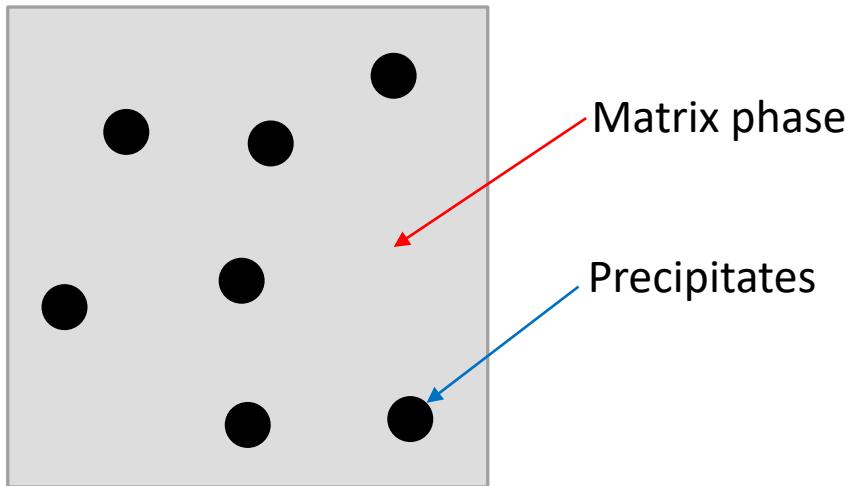
(a)



(b)

Precipitation hardening

- Precipitate: 석출물 (석출상)
- Precipitation hardening: (아주 미세하고 균일한) 석출물을 사용한 경화



Precipitation 생성 조건:

1. Solutes can be dissolved into matrix forming solid solution.
2. The solubility limit of solute should be 'drastically' decreasing as temperature decreases

Courtesy of G. H. Narayanan and A. G. Miller, Boeing Commercial Airplane Company.

Precipitation hardening

- Particles impede dislocation motion.
- Ex: Al-Cu system
- Procedure:
 - Pt A: solution heat treatment
 - Pt B: solid solution temp. (retain **metastable** α solid solution)
 - Pt C: reheat to nucleate small θ particles within α phase.
- Other alloys that precipitation harden:
 - Cu-Be
 - Cu-Sn
 - Mg-Al

Adapted from Fig. 17.16, Callister & Rethwisch 9e.

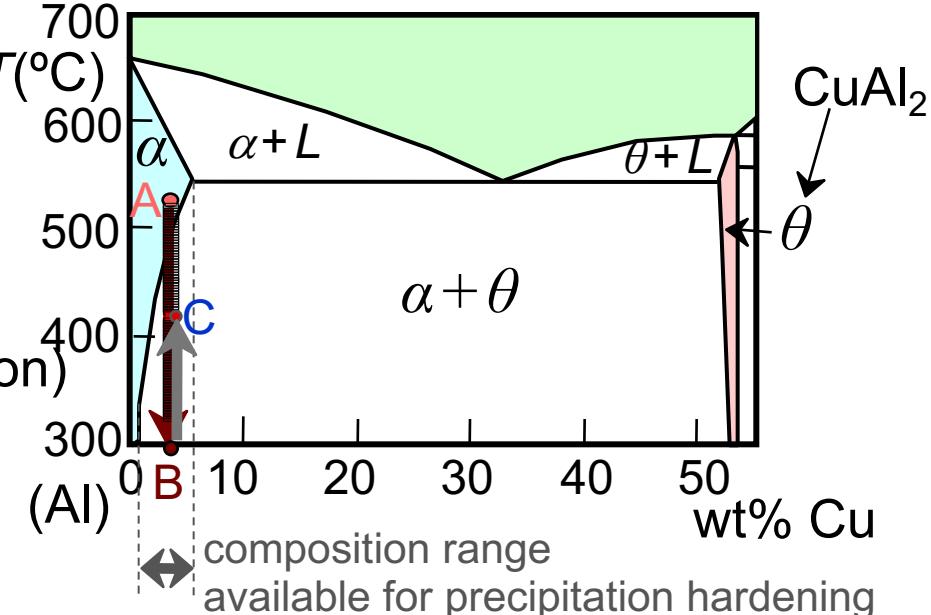
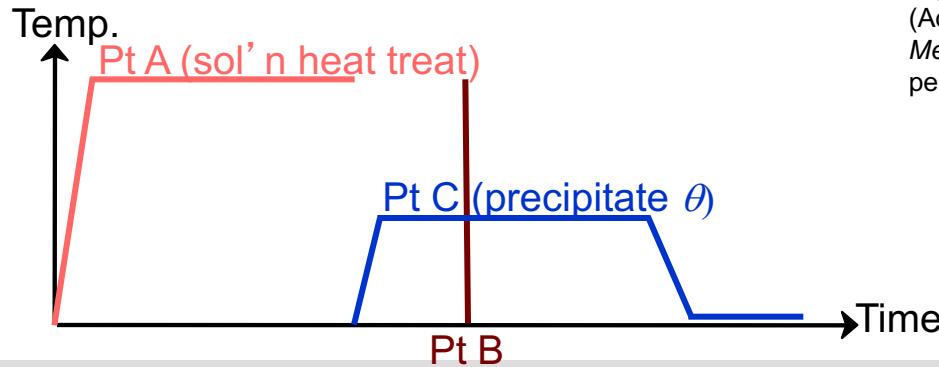
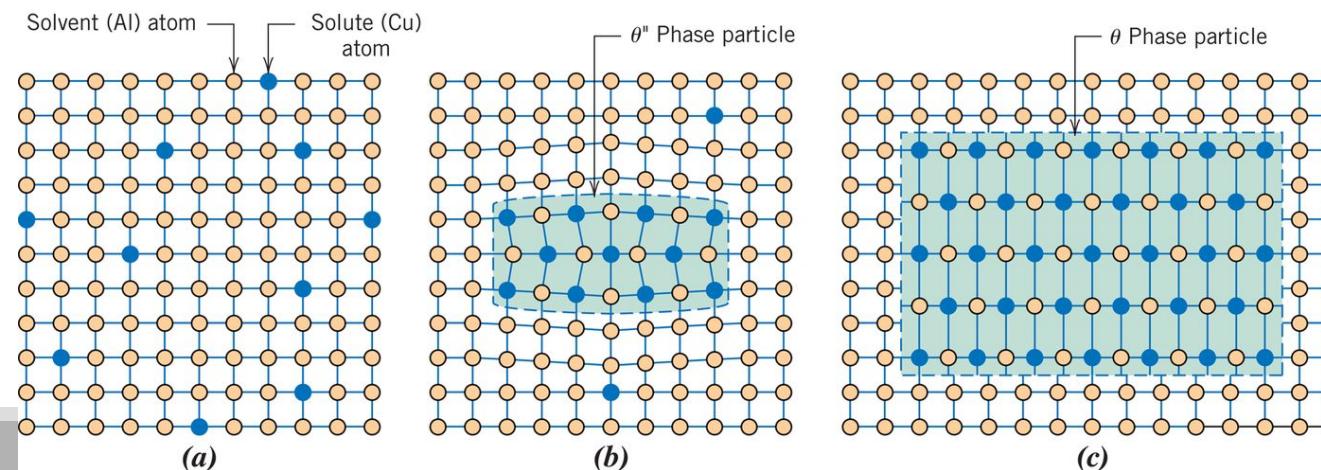
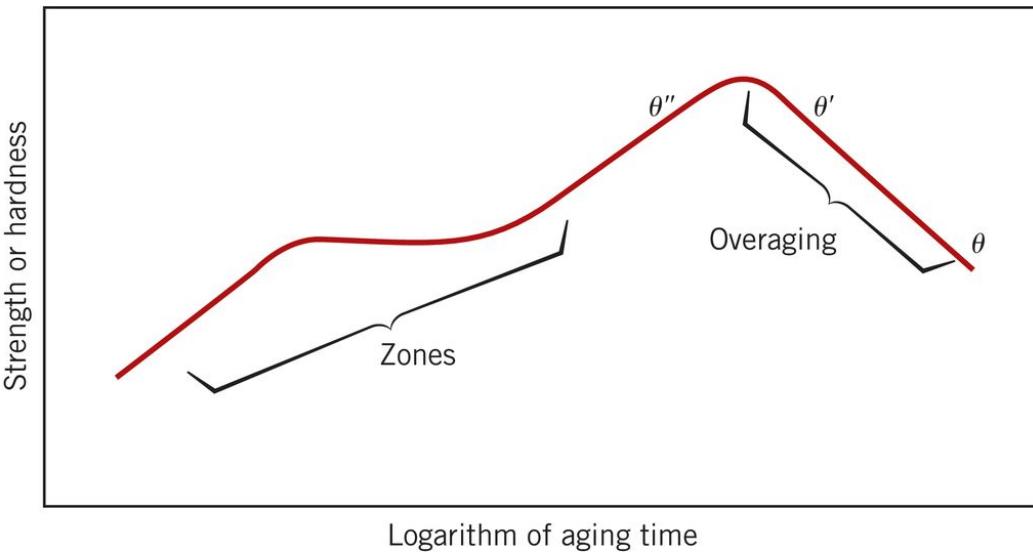


Fig. 17.18, Callister & Rethwisch 9e.
(Adapted from J.L. Murray, *International Metals Review* 30, p.5, 1985. Reprinted by permission of ASM International.)

Over aging

- Precipitation hardening의 별명: age hardening (시효 경화)



한 학기 동안 수고 많이 하셨습니다

기말 고사 준비 잘하고,
겨울 방학 알차게 보내세요.