

Orientation

강의명: 소성가공 (MSA0026)

정영웅

창원대학교 신소재공학부

YJEONG@CHANGWON.AC.KR

연구실: #52-212 전화: 055-213-3694

HOME PAGE: [HTTP://YOUNGUNG.GITHUB.IO](http://youngung.github.io)

Outline

- 강의 소개
- 평가
- 강의 진행 방식 및 규칙

강의 소개

- 창원대 신소재공학부 3학년 학부 대상
- 시간
 - 수 (52401) 9:00 am – 10:15 am
 - 월 (52401) 10:30 am – 11:45 am
- 15주 (9월 1일 개강)

평가

- 등급 평가 (ABCDF)

- 중간 기말 고사

- 학생의 이해도를 평가할 수 있는 '기술' 문항
- 다양한 수준의 문항으로 이루어진 중간/기말 (낮은 난이도 및 높은 난이도 문항 모두 출제)
- 수업 중 다루었던 내용을 주로 출제하나, 난이도 높은 문항은 수업 내용의 응용 가능하여야 풀이 가능
- 중간 기말 고사에 국문을 주로 출제하나, 때때로 영문 문항도 출제 가능함

- 출결

- 뒤의 internal policy를 따른다.

Internal Policy

- (대면수업) 지각
 - 수업시간 시작+10분 < 도착 < 수업시작+30분
- (비대면수업) 지각
 - 창원대학교 비대면 수업 방침에 따름
- (대면수업) 결석
 - 수업 시작 시간을 30분 초과하여 나타나거나, no-show
- (비대면수업) 결석
 - 창원대학교 비대면 수업 방침에 따름
- ¼ 이상 결석시에 자동으로 F 학점 부여 (창원대학교 학칙)
- 평가
 - 출결 (10%)
 - 과제/Quiz (20%)
 - Mid-term (30%)
 - Final (40%)
- 강의자료

<https://youngung.github.io/teaching/>

Chapter1

Introduction

강의명: 소성가공 (MSA0026)

정영웅

창원대학교 신소재공학부

YJEONG@CHANGWON.AC.KR

연구실: #52-212 전화: 055-213-3694

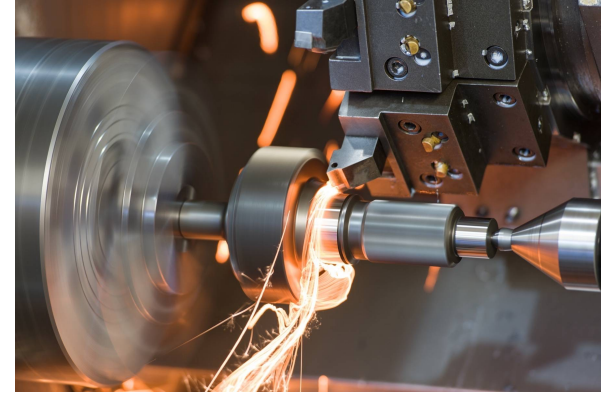
HOME PAGE: [HTTP://YOUNGUNG.GITHUB.IO](http://youngung.github.io)

Shaping & Forming

- Metal products in **desired shape** (금속 제품을 원하는 형상으로 만드는 공정)
- 관련하여 중요한 성질
 - Plasticity (소성)
 - Ductility (%EL?) (최대 인장 변형률)
 - Ceramics, Metals, Composites
- How could we manufacture an item in desired shape made of a certain kind of material?

소성 가공?

<http://lasvegasmachineandfab.com/precision-machining-las-vegas/>



절삭 가공법의 한 예

- 재료에 힘을 가해 원하는 형태로 가공하는 제조법. A manufacturing process in which external load is applied to the material to achieve the desired shape.
- Advantages:
 - 재료의 손실이 거의 없다 (no big loss of material) – 절삭 가공 (machining)과 비교 (Machine shop – 절삭가공실)
 - Additive manufacturing에서 절삭가공법을 subtractive manufacturing으로 일컫기도 한다..
 - 동일한 제품을 ‘대량’으로 생산하기에 적합 (adequate for mass production)
 - 주물(casting)에 비해 치수 정확도가 높다.
- 여러 소성 가공방법
 - 단조(forging), 압연(rolling), 인발(drawing), 압출(extrusion), 프레스(press)가공
- Q1. 소성이란? What is plasticity?
- Q2. 탄성이란? What is elasticity?
- Q3. 소성가공의 단점?

소성 가공과 물성

- 기계적 물성
- Q. 기계적 물성이란? (자극, 반응 사이의 연결고리)
- Q. 기계적 물성의 종류, 그리고 측정 방법
- Q. 기계적 물성을 나타내기에 적합한 물리량이 무엇일까?
- 소성 가공에서의 물리량? 힘, 변형, 탄성계수 (힘과 변형률의 연결고리) 등등.

<https://ko.wikipedia.org/wiki/물리량>

물리량(物理量)은 **물리학**에서 대상이 되는 양으로, 측정 가능한 **물리학**의 양이거나 종종 **수치 값**과 **물리 단위**(주로 **SI 단위**)의 곱으로 표현되는 측정의 결과치이다.

물리량에는 길이·면적·체적·질량(실제로는 무게), 밝음(광도나 조도), 소리의 강함과 높이, 온도 및 전류와 전압 등이 있다. 이와 같은 갖가지 물리량을 정확하게 측정하기 위해서는 그 양의 크고 작음을 길이로 바꾸어서 표시하는 경우가 많다.

예를 들면, 힘은 용수철의 탄성으로, 온도는 액체 등의 열팽창으로, 전류·전압은 전류에 의해 생기는 자기장(磁氣場)을 이용, 바늘의 움직임으로 표시된다. 대기압 등도 진공의 관 속에 있는 수은의 높이 즉, 길이로 직접 판독할 수가 있다. 물체의 부피는, 용기에 물을 가득 채우고 이것에 물체를 가라앉혀서 넘치는 물의 부피를 **메스실린더**로 측량하면 된다. 이 방법은 기원전에 아르키메데스가 발견한 것으로 결국은 길이로 대치함으로써 물체의 부피를 측정하고 있는 것이다. 물에 뜨는 물체의 무게도 넘치는 물의 무게로 측정이 가능하다.

물성과 물리 법칙

- Q. intensive property (세기 성질)와 extensive property (크기 성질)를 설명할 수 있는가?
- Q. 크기에 의존하지 않은 물리량은 무엇이 있는가?
- 물성을 나타내기 위해서는 해당 물질의 '크기' (혹은 무게, 부피)에 의존하지 않은 물리량 (physical quantity)을 사용한다.
- 많은 경우, 물리 법칙은 크기에 의존하지 않은 물리량들간의 관계를 나타낸다.

응력 그리고 변형률

Q. 왜 응력과 변형률을 배울까?

Q. 한 물체가 가지는 응력과 변형률의 관계?

응력과, 변형률의 연결 고리

■ 한 물체의 **기계적 성질**을 구성모델 (constitutive model)로 표현한다. 구성 모델은 물체에 작용한 응력에 대해 어떤 변형률로 반응이 나타나는지 표현해낸다 (혹은 vice versa). 많은 자연의 법칙이 그렇듯이 '수학' 이라는 언어로 표현한다.

■ 금속이 가지는 기계적 성질은 구성 모델로 표현되고, 그 구성 모델들은 '수학'이라는 '언어' 로 쓰여져 있다.

■ 일차 함수 (선형), 혹은 더욱 복잡한 함수의 형태로 나타날 수 있다.

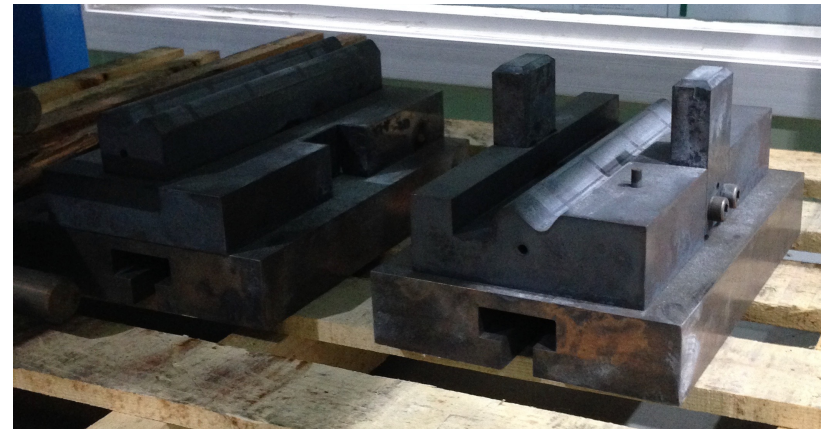
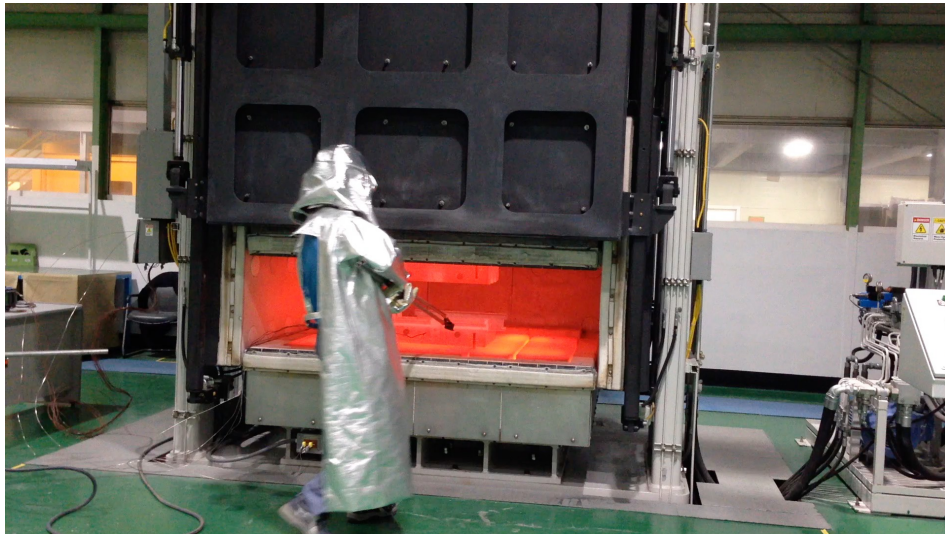
■ 앞으로 몇주간 금속의 기계적 성질을 표현하는데 가장 중요한 두 물리량, 응력(stress)과 변형률(strain)에 대해서 집중적으로 살펴본다.

창원과 소성 가공

창원의 지역 특수성

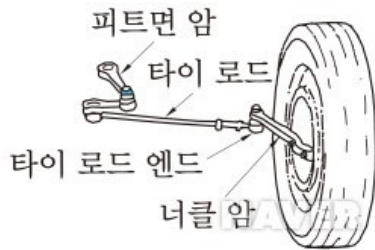
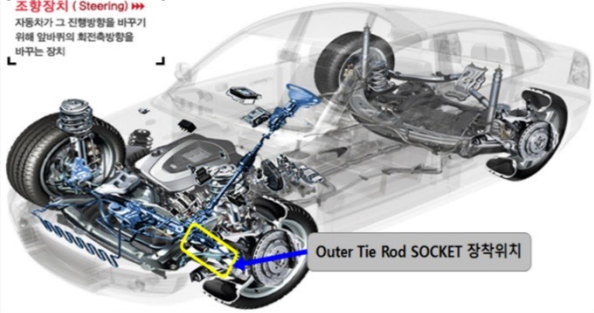
예) 삼우공업 방문

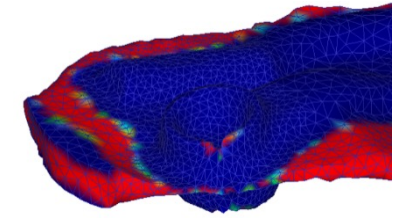
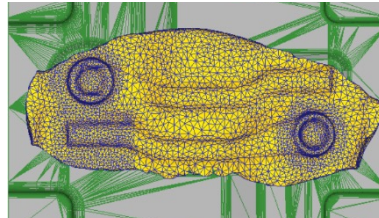
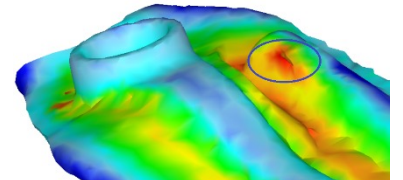
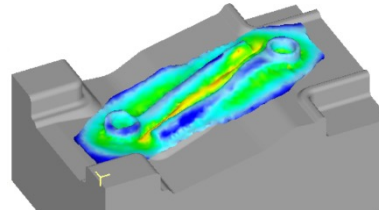
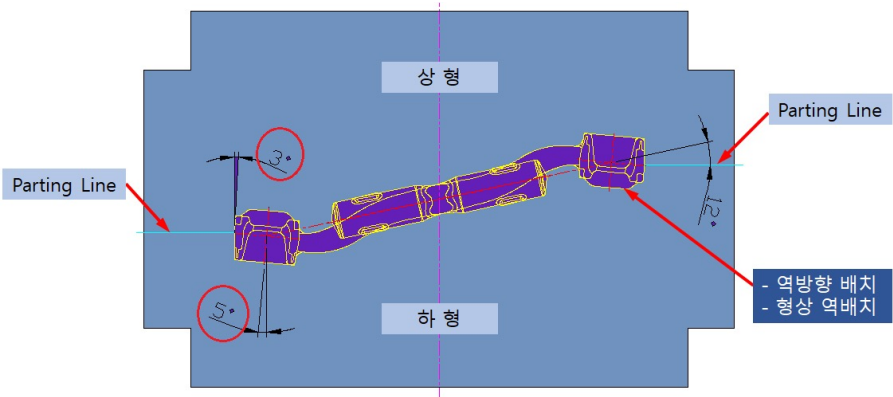
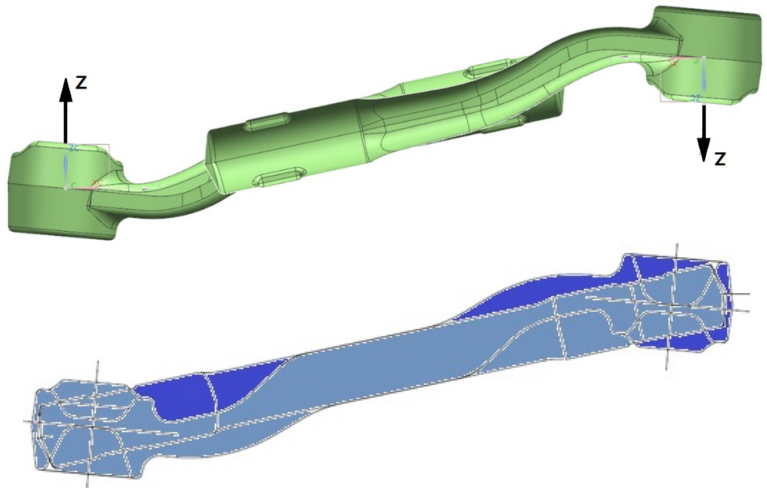
- 다양한 Titanium 합금 소재 성형 솔루션이 필요.
- 합금 소재의 기계적 물성을 이해하는 전문성을 갖춘 인재가 필요.





조향장치 (Steering) ▶▶▶
자동차가 그 진행방향을 바꾸기
위해 앞바퀴의 회전축방향을
바꾸는 장치





최신 소성 가공 연구 동향

- 기계, 자동차, 군수 등 다양한 제조 산업 업체
- 소성 가공 커뮤니티에서의 최신 연구 동향에 따르면 기계 및 열적 물성을 총체적으로 고려한 솔루션이 널리 요구되고 있다.
- 또한 컴퓨터를 활용한 예측 시뮬레이션의 개발과 이용이 날로 확장되고 있다.
- 과거에 소성가공은 기계 전공이 주였다면 현재는 복잡해지는 금속 소재의 특성을 이해하는 재료 전문 분야로 확장중.
- 지난 10년간 나의 연구 주제: 금속 소재의 미세 구조 (microstructure)가 물질의 기계적 물성에 끼치는 영향 파악. 그 반대로 (an inverse approach), 특정 기계적 물성을 향상 시키기위해서 어떤 미세 구조를 가져야 하는가?

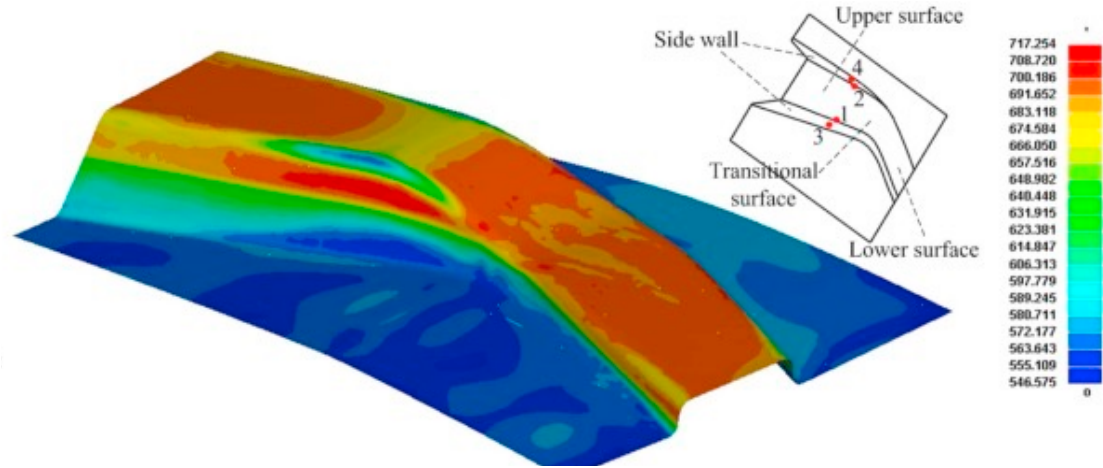
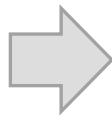
최신 소성 가공 연구 동향

향후 연구주제: 버튼 하나로 제공되는 재료 맞춤형 소성 가공 예측 프로그램 개발

Tuning microstructure

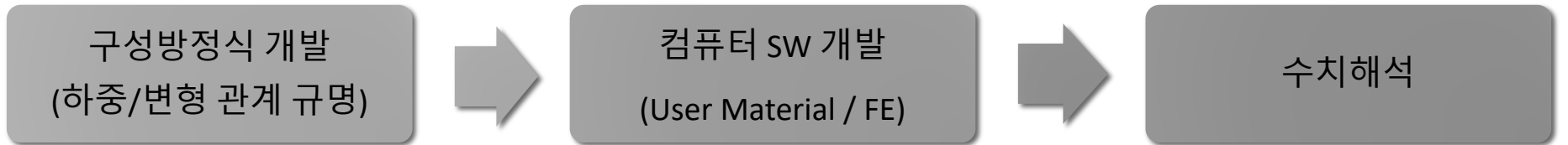


Grain size, CRSS control,
crystallographic texture, single
crystal structure,
dislocation density
...



금속 판재의 성형성 측정과 예측

성형성 예측 모델의 개발 과정

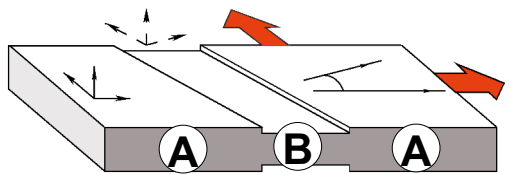


구성방정식 개발
(하중/변형 관계 규명)

컴퓨터 SW 개발
(User Material / FE)

수치해석

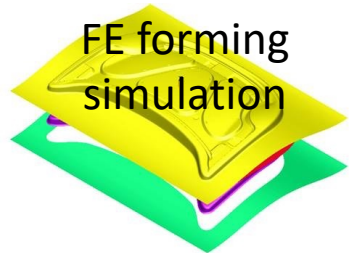
$$\dot{\epsilon} = \dot{\gamma}_0 \sum_s \mathbf{m}^s \left(\frac{\mathbf{m}^s : \boldsymbol{\sigma}}{\tau_c^s} \right)^n \text{sgn}(\mathbf{m}^s : \boldsymbol{\sigma})$$



$$L_{ij}^{(A)} = c \cdot \begin{bmatrix} 1 & L_{12}^{(A)}/c & 0 \\ 0 & \rho & 0 \\ 0 & 0 & -(\rho + 1) \end{bmatrix} \mathbf{e}_i^{\text{lab}} \otimes \mathbf{e}_j^{\text{lab}}$$

```

dstran_pl(:) = 0.00
dstran_el(:) = dstran(:)
dstress(:) = stress(:) - stress_ns(0,:)
else
    ! plastic
    if (idiam) then
        call u_chr(idia,'PLASTIC')
        call print_foot(idia)
    endif
-----
c
c vi. Return mapping
c Return mapping subroutine updates stress/statev
c
    if (idiam) then
        call u_chr(idia, '** Inquiry for state variable before RM')
        aux1(:) = stran_el_ns(1,:)
        aux2(:) = stran_pl_ns(1,:)
        aux3(:) = yldp_ns(1,:)
        call restore_statev(0, statev, nstatv, eeq_ns(1), aux1, aux2,
            ntens, aux3, nyldp, .true., idia, .false., kinc, noel, npt,
            time(1), stress)
    endif
    aux1(:) = stress_ns(1,:) ! predictor stress
    aux2(:) = stran_el_ns(0,:)
    aux4(:) = stran_pl_ns(0,:)
    if (idiam) call u_chr(idia, '** Begin return-mapping **')
    call return_mapping(cel, aux1, phi_ns(0), eeq_ns(0), dphi_n, dstran,
        aux2, aux4, ntens, idiam, idia, hrdp, nhrdp, hrdc, nhrdc, ihrd_low,
        iyld_low, iyld_num_calc, yldc, nyldc, yldp_ns, nyldp, stress,
        deeq, dstran_pl, dstran_el, statev, nstatv, ddsdde, failnr, kinc,
        noel, npt, time)
    if (idiam) call u_chr(idia, '** Exit return-mapping **')
c$$$ Exit IMAT if NR routine tried in return_mapping failed.
    
```



물성 모델 개발에서의
다양한 접근법 가능

현상학적 모델
(Phen. Model)

- 상대적으로 빠른 전산 속도
- Macro 기계물성 (예: R-value, Yield stress ...)

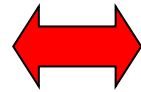
미세구조기반
미세역학모델

- 상대적으로 느린 전산 속도
- Micro 기계물성 (예: slip/twin system, texture ...)

Microstructural parameters, Properties

Properties

- Strength
- Toughness
- Conductivity
- Corrosion Resistance
- Piezoelectric strain
- Dielectric constant
- Magnetic Permeability
- **Formability**



Microstructural Parameters

- Grain size
- Grain shape
- Phase structure
- Composite structure
- Chemical composition (alloying)
- Crystal structure
- Defect structure (e.g. porosity)

Microstructural parameters, Properties

- Yes, when we study the plasticity of metals, we now should consider the microstructure of the material of interest
- Q. What is microstructure?
- A. Microstructure = internal structure

*Biology was revolutionized when Leeuwenhoek and others started to use **microscopes** to look at the internal structure of plants. They were able to relate many characteristics of plants to their cell structure, for example.*



Similarly, Sorby[†] was one of the first to make cross-sections of materials such as iron and examine them in the microscope, so that he could relate properties to structure.



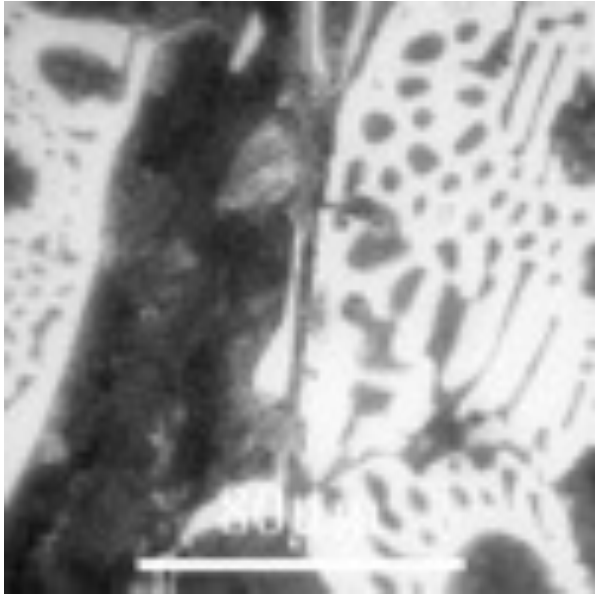
* <http://www.ucmp.berkeley.edu/history/leeuwenhoek.html>

† <http://www.shu.ac.uk/sorby/hcsorby.shtml>

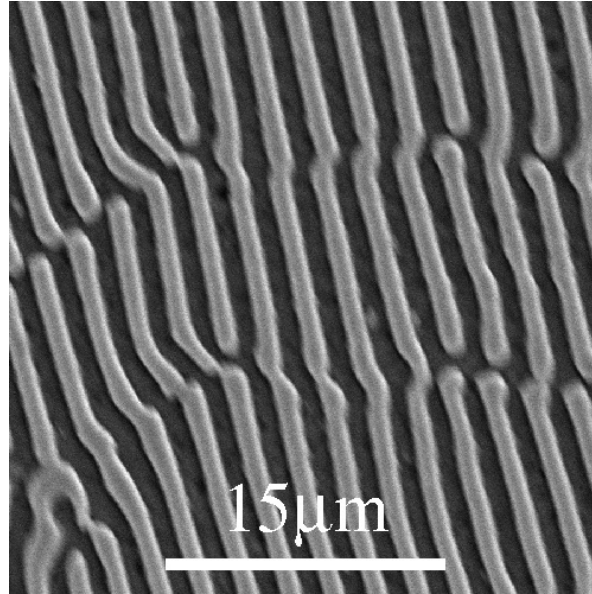
What is microstructure?

- Microstructure originally meant the structure inside a material that could be observed with the aid of a *microscope*.
- In contrast to the crystals that make up materials, which can be approximated as collections of atoms in specific packing arrangements (*crystal structure*), *microstructure is the collection of defects in the material*.
- What defects are we interested in?
 - Interfaces (both grain boundaries and interphase boundaries)
 - dislocations (and other line defects)
 - and point defects.
- Since the invention of prefixes for units, the *micrometer* (1 μm) happens to correspond to the wavelength of light. Light, obviously is used to form images in a light/optical microscope. Thus *microstructure* has come to be accepted as those elements of structure with length scale of order 1 μm .

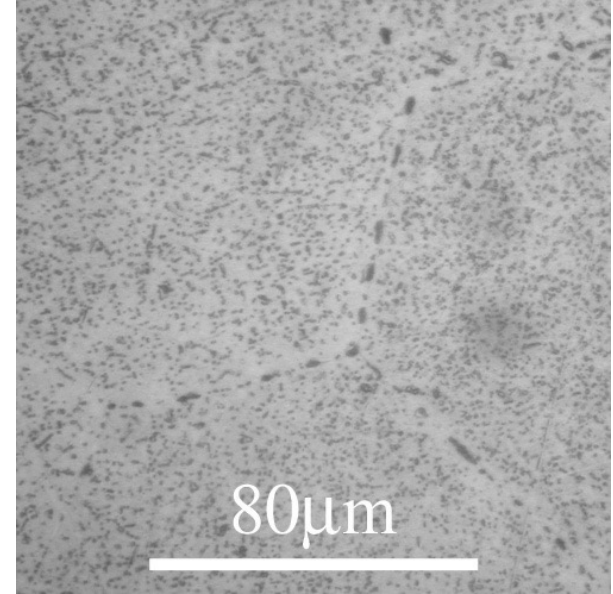
If you look 'inside'



Fe-C-X; Hypoeutectic white cast iron

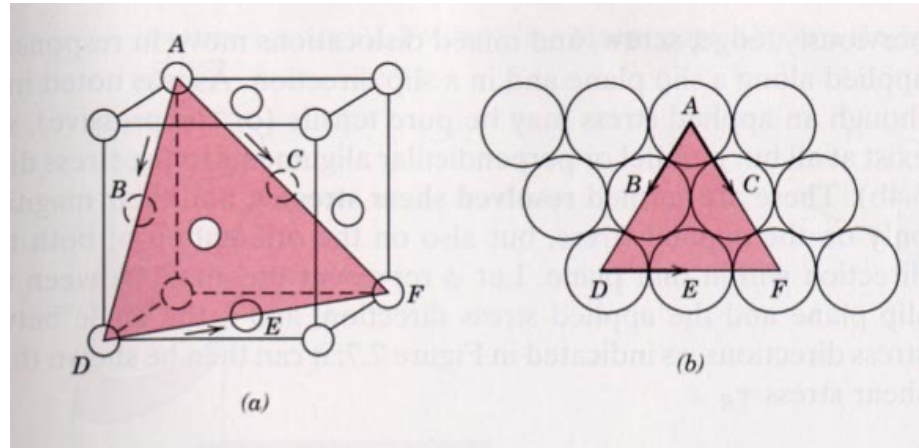
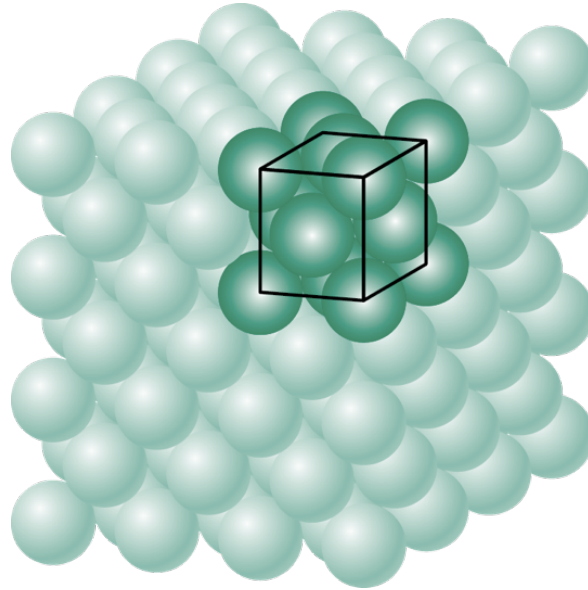
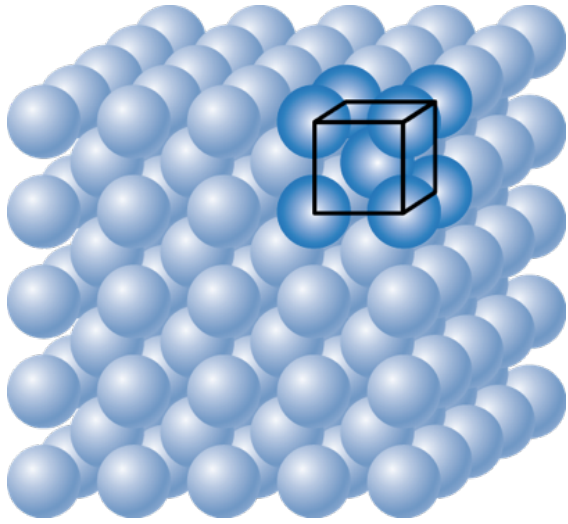


Al 67wt% Cu 33wt%,
Eutectic alloy



Al 96wt% Cu 4wt%
Precipitates

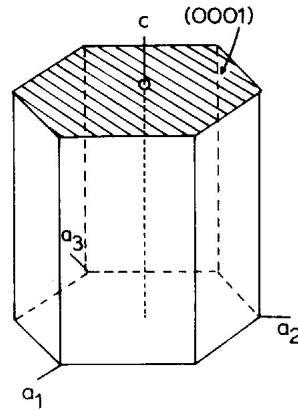
If you look 'inside' (crystal structure)



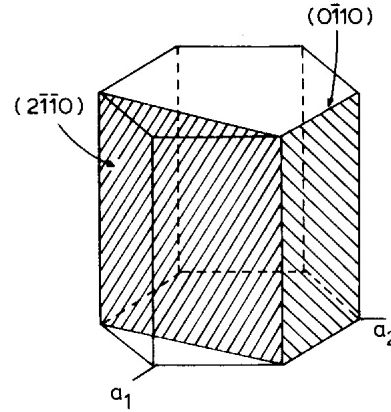
If you look 'inside' (crystal structure)

HCP is more 'anisotropic' than cubic structures.

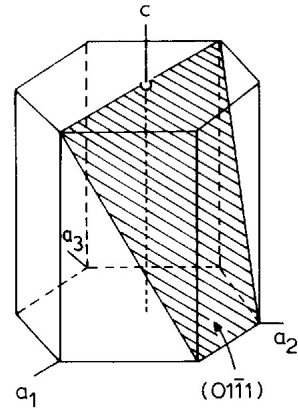
Basal
 $(0002) \langle 2 -1 -1 0 \rangle$



Prism
 $\{0 -1 1 0\} \langle 2 -1 -1 0 \rangle$
 Also:
 $(2 -1 -1 0)$



Pyramidal (c+a)
 $(1 0 -1 1) \langle 1 -2 1 3 \rangle$
 Pyramidal (a)
 $(1 0 -1 1) \langle 1 -2 1 0 \rangle$



Pyramidal
 $(1 0 -1 2)$

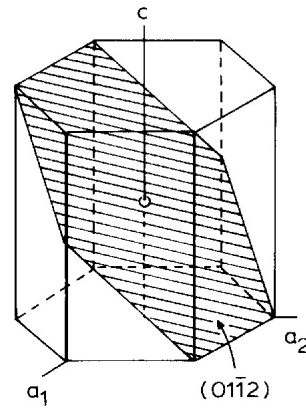
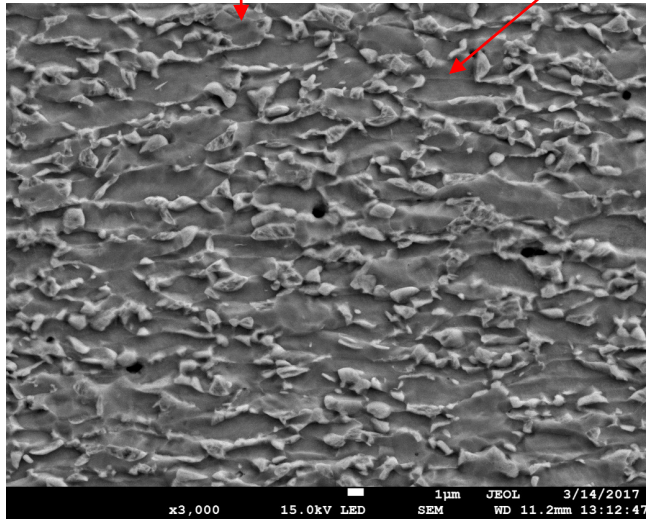


FIG. IV-5—Some important planes in the hcp system and their Miller-Bravais indices.

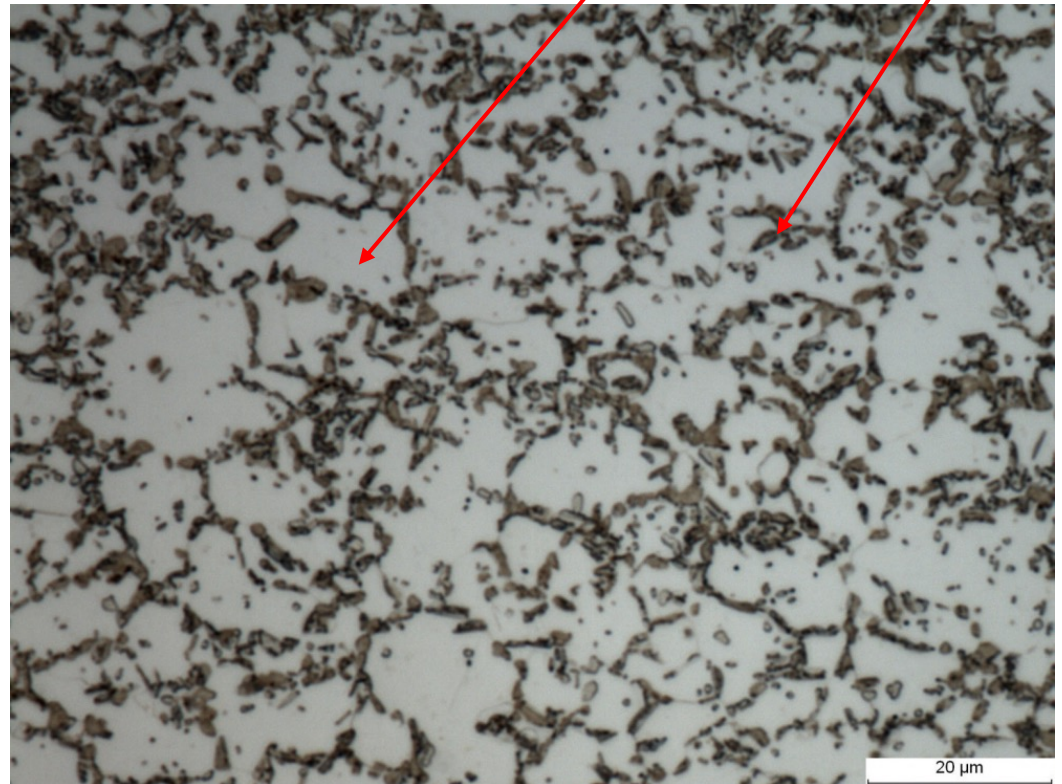
If you look 'inside' (multiphase)

Modern steels are often multiphase alloys

Martensite Ferrite



ferrite martensite



Important microstructural features

Examples of quantitative microstructural parameters:

Grain size

Void fraction

Aspect ratio of second phase particles or grains

Crystal orientation distribution (crystallographic texture)

Anisotropy

- All crystal structure is intrinsically anisotropic.
- Q: Should polycrystalline materials consisting of many crystals anisotropic?
- Q: If not, what makes polycrystal material anisotropic?

Plastic anisotropy

Figure shows example of a cup that has been deep drawn. The plastic anisotropy of the aluminum sheet resulted in non-uniform deformation and “ears.”



Randle, Engler, p.340

Recap

- How can we determine mechanical properties?
 - Stimulus and Response
- Pros and cons of metal forming
- How polycrystalline material can be 'isotropic'?
- What is crystallographic texture?
- What is inverse pole figure and pole figure?
- Can we have a type of new material that is best for everything? If not, why?

References and acknowledgements

- References.

- Acknowledgements

- Some of the slides are based on the slides of prof. A.D. Rollett @ Carnegie Mellon University. He kindly permitted the reuse of his slides.
- Some images presented in this lecture materials were collected from Wikipedia.