

基礎材料組織学 第8回

- 前回：
- ・ ミラー指数
 - ・ ミラー指数の一括表示
 - ・ 分解せん断応力



- 今回：
- ・ 臨界分解せん断応力
 - ・ 結晶粒微細化
 - ・ ホール・ペッチの関係式

8.1 臨界分解せん断応力

- ・分解せん断応力 $\tau = \sigma \cos \theta \cos \phi$ がある臨界値に達する $\rightarrow$ 転位の運動が可能となり塑性変形が開始する

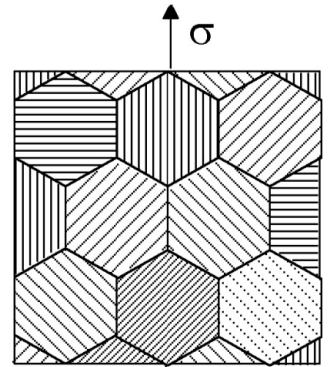
$$\tau_c = \sigma_Y \cos \theta \cos \phi$$

臨界分解
せん断応力
(θ, ϕ による
一定)

単結晶の
降伏応力
(θ, ϕ にお
き変化)

シュミット因子,
0 ~ 0.5 の値を
取る $\uparrow$

$$\theta = \phi = 45^\circ$$



$\rightarrow$ パイリス応力と同義 (転位運動に必要な応力)

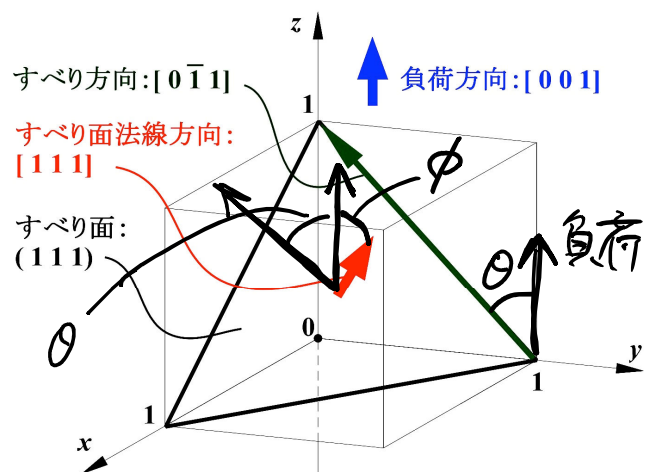
- ・例題: Al の結晶格子に $[001]$ 方向の引張応力 $\sigma = 30.0$ [MPa] がかかっている場合, すべり面 (111) , すべり方向 $[0\bar{1}1]$ における分解せん断応力を求めよ。

- ・ θ と ϕ を求める。

θ : 幾何学的関係より

$$\theta = 45^\circ = \frac{\pi}{4}$$

ϕ : 目石等ではない、内積を用いて求めらる。



② ミラー指数が同一な面と方向は直交する

$$[001] \rightarrow a, [111] \rightarrow b$$

$$\cos \phi = \frac{|a \cdot b|}{|a||b|} = \frac{1 \times 1 + 0 \times 1 + 1 \times 1}{\sqrt{0^2 + 0^2 + 1^2} \sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$\rightarrow \tau = 30.0 \times \cos \frac{\pi}{4} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 12.247 \dots$$

$$\rightarrow \phi = 54.73^\circ \neq 45^\circ$$

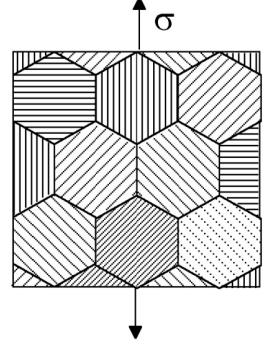
$$= 12.2 \text{ MPa}$$

8.2 結晶粒の微細化

- これまでの転位運動の議論: 結晶内に限定
- 実際の材料: 多結晶... 結晶同士の境界(結晶粒界)の影響も考慮する必要がある.

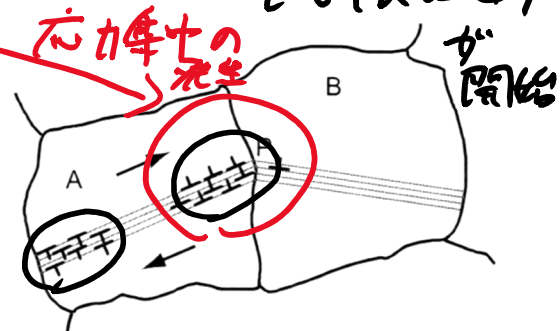
・問い: すべり面を運動してきた転位が結晶粒界に達した時, どうなるか?

そのまま運動できずに、粒界近傍で
停止 → 集積する.



- 応力集中の発生: 粒界近傍で、転位の集積による
応力集中が発生 → その領域での応力
レベルが上昇することにより、隣接する結晶
でも転位運動が開始

応力集中: 欠陥(穴やき裂)がある
領域では特異的に応力が
上昇する現象.



- 結晶粒界 自体が転位運動をせよける働きをもつ
- 結晶粒が大きいと、粒界に集積する転位の増加により
応力集中による応力の上昇が生じやすくなる.

図 8.1 隣接結晶粒へのすべりの伝ば
[新版 基礎機械材料学, 朝倉書店]

●結晶粒微細化により

塑性変形(転位運動)を
抑制する一つの方法となる.
強度とともにじん性も向上する.

「じん性」 材料の伸びの主要進展に対する抵抗、
ねばり強さ.

8.3 ホール・ペッチの関係式

→多結晶における降伏強度 σ_Y と
結晶粒径 d の関係

$$\sigma_Y = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

σ_0 : 結晶粒内の転位を運動させるのに
必要な応力

k : 結晶粒界による強化の比例定数

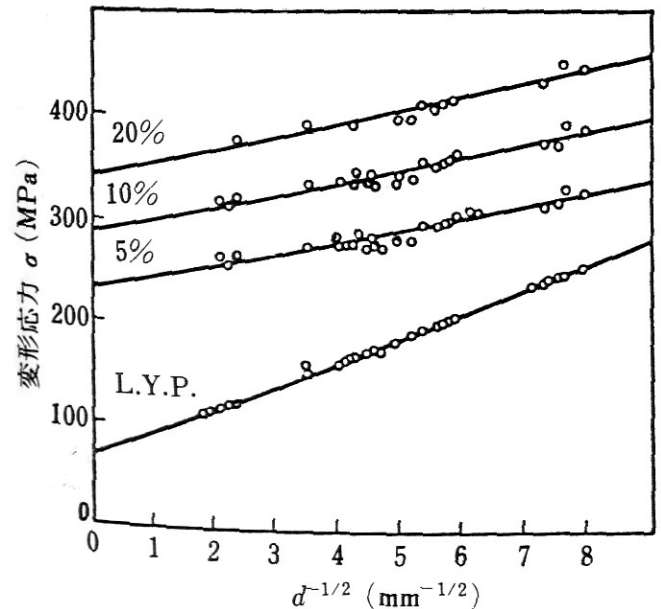


図 8.2 軟鋼における結晶粒径と変形応力の関係
[新版 基礎機械材料学, 朝倉書店]

- ・ 例題: ホール・ペッチの関係式において $\sigma_Y = 13.3 \times 10^6 + \frac{2.57 \times 10^6}{\sqrt{d}}$ Pa を示す金属材料において, 結晶粒径 $d = 100.0 \times 10^{-3}$ mm の場合の降伏応力 σ_Y を求めよ. また $d = 16.0 \times 10^{-3}$ mm の場合も求めよ.

• 2.70×10^2 MPa or 270. MPa

$$100.0 \times 10^{-3} \text{ mm} = 100.0 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$\sigma_Y = 13.3 \times 10^6 + \frac{2.57 \times 10^6}{\sqrt{100.0 \times 10^{-6}}} = 13.3 \times 10^6 + 2.57 \times 10^8$$

$$= 13.3 \times 10^6 + 257 \times 10^6 = 270.3 \times 10^6 = 270.3 \text{ MPa}$$

小数第1位 < 1の位

• 656 MPa (16.0×10^{-3} mm の場合)

約270 MPa
→ 270. MPa
→ 2.70×10^2 MPa

●結晶粒微細化方法

1) 凝固時の冷却速度を著しく高める

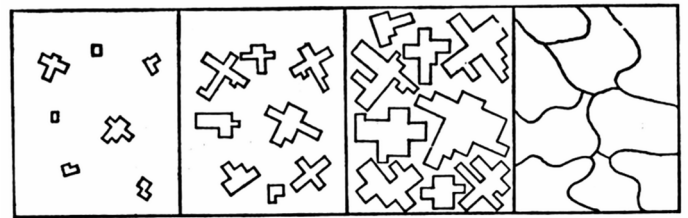
個々の結晶粒の成長を
阻害↓
微細結晶組織の形成

図 8.3 凝固時の結晶粒成長の模式図

[新版 基礎機械材料学, 朝倉書店]

2) 加工(塑性変形)後の熱処理

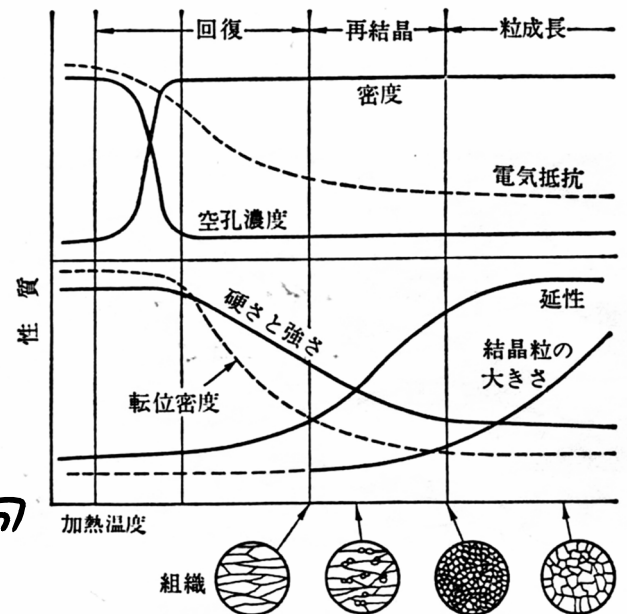
塑性変形により転位密度
上昇↓
欠陥増加により内部エネルギー
が高い状態↓
加熱による原子拡散の促進↓
拡散により欠陥を減少する方向
に迫る↓
「結晶粒の再形成」
(再結晶)

図 8.4 再結晶に伴う組織および性質の変化

[金属材料工学 改訂・SI版, 森北出版]

3) 変態(同素変態)

↳ 結晶構造の
変化

例、Fe

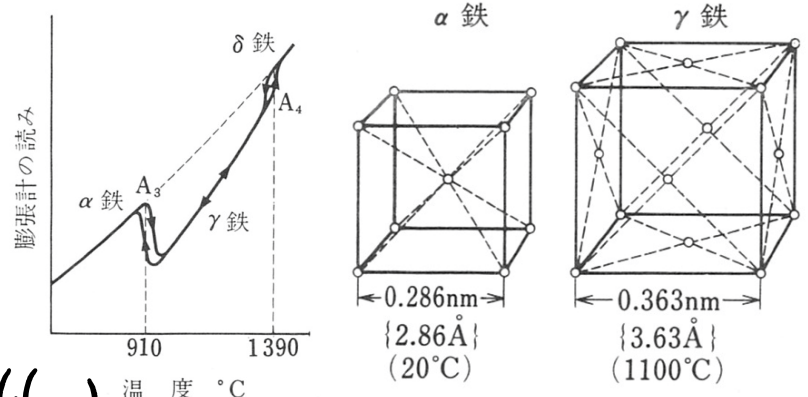
 α 鉄 (bcc) $\rightarrow$ γ 鉄 (fcc)

図 8.5 鉄における変態

[金属材料工学 改訂・SI版, 森北出版]

↓
この変態に伴い、新たな結晶が形成

4) 微細化に効果的な元素の添加

8.4 第 8 回講義に関する意見・感想・質問のまとめ

●意見・感想

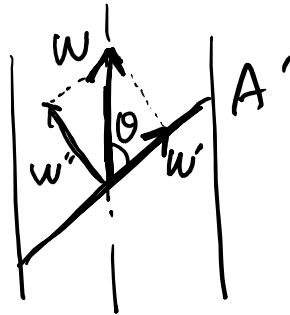
- ・参考問題がなくなるので復習をより一層しっかりする, 計算問題の復習に励む, 勉強して理解を深める, $\cos \phi$ の求め方を確認する, 覚えることと計算がいっぱいあったので復習する, ごちゃごちゃにならないよう整理する, ミラー指数と分解せん断応力の復習を重点的にする, ミラー指数がまだ理解しきれていないので復習する, 折り返し地点まで来たがだらけることなくしっかり勉学に励む, 欠席した分を自分で学習し直す, 小テストが一段と不安:27←次回からは参考問題がありませんので, ちゃんと準備している人としてない人との差がはっきり出るでしょうね. 頑張ってください.
- ・分解せん断応力の角度を求める時ない席を使う意味が理解できた, 結晶粒微細化のメリットがわかった, 結晶が材料の性質に影響することがわかった, これまで学んだ理論と実際に起こることの違いが面白い, 分解せん断応力を自分で解くにはしっかり理解しなければならない, 転位運動に対する結晶粒界の働きが理解できた, 強度とじん性の関係について理解できた, ホール・ペッチの関係式を理解できた, 軟鋼について材料評価学の話思い出した:12
- ・例題単位についてまだ甘いところがあった, 例題の難易度がなかなか高いと思った, 例題を通して解き方を身につけられた, 1 つ目の例題で ϕ も幾何学的にすぐ導けるのでは, 有効数字についてまだ注意が足りていない, 単位をいつ揃えればいいのかわかっていなかった, 有効数字も含めて正解できた:10
- ・小テストは解きやすかった, 参考問題を解いておいたので問題なくできた, パズルみたいで解いていて楽しかった, 小テストの 1 問目で少し混乱した, ミラー指数をちゃんと理解できているかわからないので解答を確認したい, 前回のすべり系について再確認できた, 前回休んだので全然解けなかった, 復習をしておらず小テストがわからなかった, あまり解けなかった:9←今回の小テストは平均 6.7 点, 満点 16 名でした. 気のせいかもしれませんが, 今回は再履修の皆さんの出来が悪かったみたいです. 「復習をしていなかった」ら解けるわけですね. 問題は, なぜ復習せずに小テストに臨めた(臨もうと思った)のか, ということです.
- ・授業内容が難しいと感じた, 内容の理解が難しくなってきた:2
- ・参考問題があるのにカンニングする人が出るのは残念であり呆れた, カンニングする奴がこの中にいると思うとすごく残念だしムカつく, そんな奴は…(略):2←全く同感です. とりあえず, 今回のように部屋の後方を中心に小テスト中の巡回を続けるつもりです
- ・分解せん断応力の計算に内積が応用されているのを見て外積もあるのか疑問に思った←ぜひ自分で調べてみてください!
- ・基本的に全て理解できた
- ・もっと緊張感を持って小テストや授業に参加していくべきと感じた←いい傾向です.

●質問

- ・朝眠くないのか?←4:00 起きで W 杯見た時は流石に眠いです.
- ・分解せん断応力でどこの角度を求めるのか? (3 名)←前回, 図で示しながら「負荷方向とすべり面の法線方向のなす角: ϕ 」「負荷方向とすべり方向のなす角: θ 」と説明したはずですが, 自身で前回内容を見直してください.
- ・ホール・ペッチの関係式で単位は $\text{mm}^{-1/2}$ と $\text{m}^{-1/2}$ のどちらを用いればいいのか?←どちらでもいいです. 問題に合わせて単位を揃えてください.
- ・定期試験はどのような出題形式なのか?←小テストでやっているように計算が主ですが, 描画や穴埋め問題もあります. あと小テストでは出していませんが, 記述問題もあります.

- ・参考問題がなくなったら出題範囲の指定はあるのか？←今日もしたように、口頭で「〇〇のところが大事ですのでそこを勉強しておいてください」というふうに指示します。
- ・「凝固時の冷却速度を高める」は具体的にどのくらいなのか？←材料の種別や寸法によっても変わりますが、炭素鋼でいうと数十°C/sec程度で、ちょうど鋼の熱処理における「焼ならし」と同程度です。
- ・結晶粒界を介した転位運動の伝播がわかったのはなぜ、どのようにしてわかったのか？←転位の研究の歴史については私も詳しくは知りません。興味があったら自身で調べてみてください。
- ・材料分野の面白いと思うところは？←やはり新しい性質や特徴を持った材料を開発することで、産業界や身の回りの生活にも大きな影響を与えられる可能性があるところ、ですね。
- ・分解せん断応力の力の分解の仕方がわからない←前回の4ページ目の説明がそれで、一部省略していたので以下に改めて描きます。

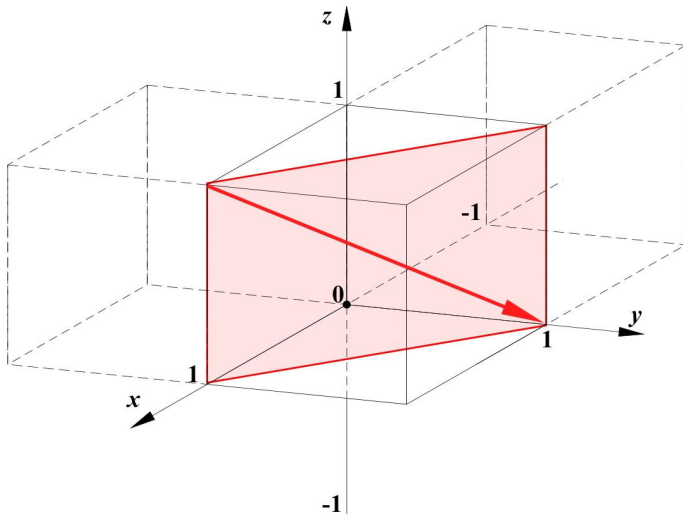
w' : すべり面平行方向
の力
 w'' : すべり面垂直方向
の力



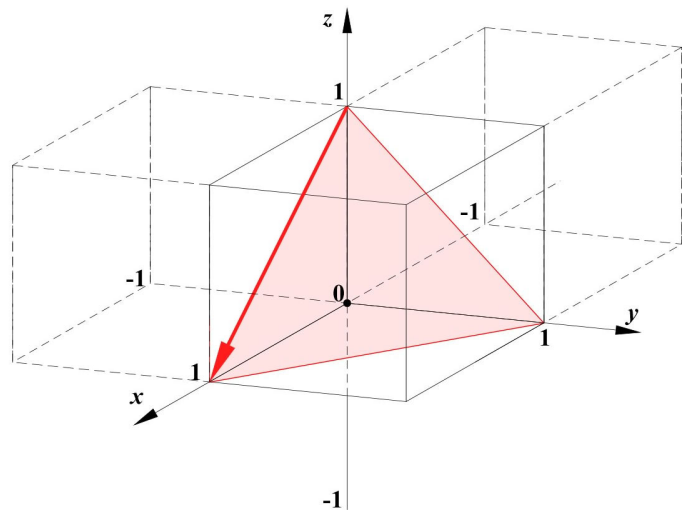
8.5 第7回小テスト解答

Q.1 以下に示すミラー指数のすべり系(面および方向)を下图に図示せよ。[各2点, 計4点]

(1) (110)面上の $[\bar{1}1\bar{1}]$ 方向



(1) (111)面上の $[10\bar{1}]$ 方向



Q.2 右図に示す面のミラー指数を求めよ。[2点]

A.2 設問の図ではZ軸との交点が不明なため、面を拡張してZ軸との交点を確認する
→ $-3/4$ であることが分かる。よって

$$(x, y, z) = \left(1, 1, -\frac{3}{4}\right)$$

$$(h, k, l) = \left(1, 1, -\frac{4}{3}\right)$$

$$(hkl) = (33\bar{4})$$

