

材料デザイン学 第3回

機械的特性 / 強度

岸田 逸平

2015年10月6日

目次

1	構造材料	2
1.1	歴史・分類	2
1.2	期待される基本特性	3
1.3	応用分野	3
1.4	復習	4
2	鉄の高強度化	5
2.1	組成をいじる	6
2.2	熱処理	6
2.3	加工硬化	6
2.4	強化機構の組み合わせ	6
2.5	新材料開発のために	7
2.5.1	既知の機構の組み合わせ	7
2.5.2	既知の機構の強化	7
2.5.3	未知の機構の利用	7
2.5.4		7
3	まとめ	7
4	小レポート: ジュラルミンの強化機構についての考察	8

今回は、材料の機械的特性を向上させるためのアプローチについて論じる。

1 構造材料

- 構造材料: 力学的特性が要求され、自重や外力に対して形状・構造を保つことを期待される材料。
- 機能材料: 力学的特性以外が要求され、電気的特性・光学的特性・磁気的特性といった性質を期待される材料。

Q. 以下はいずれに分類されるべきか？

- Si 半導体
- コンクリート
- プリズム用ガラス
- 磁石
- 鉄骨
- 木材

これらは使用方法による分類であり、素材によって決まるものではない。また、人間の使用目的に注目した分類であり、材料そのものの性質での分類でもない。

たとえば鉄はエンジンの部材やビルの鉄骨として使えば構造材料であり、磁針として使えば機能材料である。構造材料であり、かつ機能材料であるものも定義としては存在しうる。たとえば先に挙げた磁針は単一素材で構成され、構造材料として自重を支えつつ、機能材料として磁性を保持する必要がある。

1.1 歴史・分類

- 石器: 天然の石英や黒曜石。
- 土器・レンガ
- 木材
- 金属
- ファインセラミックス
- 高分子

Q. 現代工業における三大材料は何？

_____, _____, _____
Q. 土器・レンガは「伝統的セラミックス」とも呼ばれる。これと「ファインセラミックス」の違いは？

伝統的セラミックス: 陶磁器、ガラス、セメントなど。天然土質を原料とする。主に _____ 材料に利用される。

ファインセラミックス: 精製された微粉末を原料とし、材料の微組織を高度に制御しつつ精度よく製造した付加価値の高い無機材料。 _____ 材料としても、 _____ 材料としても利用される。

1.2 期待される基本特性

- 強度
- 靱性
- 耐摩耗性

おおまかに、これらをひっくるめた _____ と呼ばれる性質が重視される。構造材料であっても、機械的強度以外の物理的特性や化学的特性と無縁ではない。たとえば耐火性・耐熱性などの物理的性質や、耐食性などの化学的性質など。

_____ であっても機械的特性と無縁ではない。応力・ひずみ環境下におかれることがあり、製品の寿命に影響を与える。

例として、ジルコニア (ZrO_2) を挙げる。高温でジルコニアは酸素イオン伝導性を有し、酸素センサに使われる。非稼働状態と稼働状態とで、室温と高温とを行き来することになり、熱応力が生じる。純粋なジルコニアは脆性を有し、亀裂の発生などで機能を損ねることがある。

1.3 応用分野

一言に「構造材料」と言われるが、応用分野によって要求性能やその度合いが異なる。強度・靱性はほぼ全ての構造材料で必要とされる。

道具・工具

- _____ : 弾性変形のしにくさ。
- _____ : 容易に破損しない。
- _____

第1回授業のドライバーの例。

車両・船・工場設備

- _____ : 振動のような繰り返し変形を受けたときの破壊しにくさ。

鉄やアルミ合金などの金属材料が主に使われる。

航空機

- _____
- _____ : 質量あたりの強度
- _____ : 質量あたりの弾性率

Al 合金・Ti 合金・CFRP などが主に使われる。

エネルギー機器 ボイラー、タービンなど。

- 耐熱性
- 耐クリープ性
- 耐酸化性

金属・セラミックスが主に使われる。

建築物 ビル・ダムなど。

- _____ : 大量に使用されるため、特に重要。
- 耐久性
- 耐食性
- 耐火性
- 軽量性 (屋根)
- 美観 (外装)

鉄筋コンクリートが主に使われる。

宝石 厳密には構造材料ではないが、機械的特性が要求される。

Q. なぜか？ _____

参考: モース硬度 (Table 1)

1.4 復習

構造敏感・構造鈍感 Q. 以下の性質を構造敏感・構造鈍感で分類してみよう。

1. 加工硬化 _____
2. 結晶のすべり _____
3. 降伏 _____

表 1 モース硬度と鉱物。

モース硬度	鉱物	備考
1	滑石	
2	石膏	
3	方解石	
4	蛍石	
5	燐灰石	
6	正長石	
7	石英	
8	トパーズ	
9	コランダム	サファイア、ルビー
10	ダイヤモンド	

4. 弾性定数 _____

5. 熱伝導度 _____

6. 破壊 _____

7. 比熱 _____

8. 膨張係数 _____

9. 密度 _____

10. 融点 _____

11. 電気抵抗 _____

2 鉄の高強度化

今、手元に純鉄がある。これで刀を作ったら折れはしないものの曲がりまくって使い物にならなかった。刀が曲がったら切られて死ぬ。刀が折れても死ぬ。顧客が死ねば売れなくなり、自分が飢え死にする。強い材料を作りたい。さあ、どうする？

機械的特性と欠陥の制御 強度とはマクロには塑性変形のしにくさである。塑性変形はミクロには転位の移動に伴う物体の形状変化である。よって、材料の強度を上げるには転位の制御が重要。第2回授業では金属材料の強化機構を説明した。

Q. 4つの強化機構を書き出せ。(復習)

- _____
- _____
- _____
- _____

2.1 組成をいじる

- Fe に固溶する元素の場合、固溶強化が働く。(Mn, Si, Mo)
- Fe に固溶せず析出する元素の場合、析出強化が働く。(C, TiC)

2.2 熱処理

鉄鋼を高温から急冷すると極端に硬化する。これは _____ という処理で、この時材料には _____ が生じている。

マルテンサイト変態の詳細は機械材料学、材料基礎学 II など学んでいる筈なので割愛する。

- 微細組織となる . _____
- 炭素が過飽和に固溶される . _____
- 転位 (格子欠陥) 密度が上昇する . _____

単純に焼き入れしただけの鋼材は脆いので、_____ という熱処理を加えて粘りを出す。

2.3 加工硬化

圧延などによって機械変形を加えることによって組織に転位を導入する。

2.4 強化機構の組み合わせ

オースフォーム鋼 高温の _____ 相において鍛造・圧延などによって強加工 (_____) された鋼材を焼き入れすることで、高密度に転位が導入されたマルテンサイト組織が得られる。

マルエージング鋼 _____ 変態の後、時効処理 (_____) することで Ni, Ti 金属間化合物などを析出させ、析出強化が働く。現在得られる最も高強度の鋼の

一つ。

マルエージング鋼でオースフォーミングすればいいんじゃない？ マルエージング鋼は組成を厳密に調整し、炭素を排除している。オースフォームで強度を出すには組成に炭素が必要。炭素の利用という観点において両者は排他的な関係にあるため、これらの強化は両立しない。

2.5 新材料開発のために

2.5.1 既知の機構の組み合わせ

注目する材料をよく調べ、十分に活用されていない強化機構を組み入れるのが基本。§2.4 で挙げた材料の開発は、この観点から説明することができる。^{*1}

2.5.2 既知の機構の強化

2.5.3 未知の機構の利用

詳細が解明されていない現象が鍵となるだろう。

2.5.4

高強度化に伴って脆化するなど、何らかのデメリットが同時に生じることも多い。「硬くはなったが折れ易くなった」ではシャレにならない場合がある。注目する特性だけでなく、その他の特性がどう変化するかも注意を払う必要がある。

勿論何かの性能が低下しても、それが許容範囲内ならば問題ない。自分の目的に対して最良の材料をデザインするのは、全体としてより良くする為だ。特定の目的に対する材料デザインでない純粋な材料開発であった場合、何かの性能の悪化を伴ったとしても既知のあらゆる材料よりも何かの特性の最高性能^{*2}を更新したならば、きっと何かには使える有用な材料となるだろう。

3 まとめ

- 構造材料と機能材料
- 共通して求められる基本特性
- それぞれの用途における要求特性 (科学技術用語として重要)
- 金属材料の強化機構とその利用

^{*1} 厳密な開発動機、発見過程などは異なるかもしれない。

^{*2} チャンピオンデータと呼ぶことがある。

4 小レポート: ジュラルミンの強化機構についての考察

航空機には従来、アルミニウム合金が多く用いられてきた。アルミニウム合金は、比重が軟鋼の1/3と軽く、比強度が高いため、航空機の外板や構造などに広く用いられている。ジュラルミンはAlを母材としてCu, Mgなどを添加した合金であり、アルミニウム合金の代表格の一つである。ジュラルミンの特性として、高温もしくは焼き入れ直後は強度がさほど高くなく、さらに適度な温度(室温程度)で時効処理をすることで強度が大幅に向上する。これらのことから、ジュラルミンで働いている強化機構を推測せよ。また、上記の処理のみでは効果的に使われていない強化機構を指摘せよ。

ヒント

- 純粋アルミニウムに対し異種元素が添加されていることから、固溶強化か析出強化が働いていることが分かる。
- 時効によって硬化することから、強化は経時的な現象に依存していることが分かる。固溶と析出のうち、経時的な現象はどちらか。
- 室温から500℃までの範囲でAl母相はfcc構造であり、相変態を伴わない。よってマルテンサイト変態は生じえない。