

それでは、原子力安全工学実験Ⅰの課題で、熱処理による鉄鋼材料の硬度・金相観察実験の、概略と実験目的について、説明します。

担当は、福元です。

レポートの提出は、福元のメールアドレス宛に、この実習が終わって、次の週の5月27日に提出してください。5月27日に提出して添削しますので、訂正して、6月3日の次の実習前までに再度提出願います。

メールアドレスは表紙に書き込んであるアドレスをお願いします。

レポートは、手書きでもPCによる電子レポートでもかまいませんが、電子レポートの場合は、剽窃や盗用は、厳に慎んでください。

本実験の目的は、

炭素含有量の異なる4種類の金属材料の顕微鏡組織観察、きんそう観察と硬さ測定を行い、炭素含有量による組織変化および硬さの変化について検討することです。

本実験の実験作業工程は、試料研磨、きんそう観察、硬さ試験、の順に行われます。

今回は遠隔授業の形式になりますので、実験の手順はビデオを観てもらって、その工程を理解してもらいます。

こちらですでに測定や観察したデータがありますので、そのデータを使って、レポートを作成してもらって、データから考察をしてもらうこととします。

それではまず、実験で使う、炭素こう、について説明していきます。

炭素こうは、鋼です。鋼というのは、鉄の合金のことを意味します。

まずはその鉄について説明していきます。

鉄でも純度の高い鉄のことから始めますが、純鉄は融点が1536度と高いですが、溶けた状態から、冷えて固まるときに、様々な状態を取ります。これを温度による、変態、といいます。

変態とは、昆虫がさなぎから成虫に変わるときなどその形状が大きく変化することを表す言葉です。

これは金属にも当てはまります。

鉄は溶けて最初に固まったときは、デルタ鉄と呼ばれ、たいしん立方格子を取ります。この状態からどんどん冷えていくと、1392度で、鉄は γ 鉄に変わります。

この γ 鉄はめんしん立方格子です。めんしん立方格子は、たいしん立方格子よりも密度が高い構造ですから、冷えてる途中で体積が、ぎゅっと小さくなることになります。

さらに温度を下げていくと、こんどはがんま鉄が911度でアルファ鉄に変化します。このアルファ鉄は、デルタ鉄と一緒にたいしん立方格子です。ですのでアルファ鉄とデルタ鉄は同じものですが、温度が異なるので違う呼び名で呼ばれます。

また、アルファ鉄やデルタ鉄のたいしん立方格子の鉄は磁気を帯びる、つまり磁性を持ちます。しかしながらめんしん立方格子の γ 鉄は、磁気を帯びない、つまり磁気を持たない材料です。

このように変態によって材料は大きくその性質を変えます。

次に、炭素こうについて説明していきます。

炭素こうとは、鉄に炭素を加えた合金のことです。

鉄に炭素を加えると、その強度が大幅に強くなります。それは炭素を混ぜることによって鉄の中にあらたな組織が発生するからですが、それが今回の実験の目的と大きく関わります。

まず、鉄を溶鉱炉などで作る際には、鉄鉱せきと石炭と一緒に混ぜられて、鉄鉱せきから酸素を石炭が奪って二酸化炭素にしてしまい、残った鉄は還元されて、純鉄となって溶け落ちる、その鉄を集めて溶鉱炉の中で精錬して、鉄鋼材料ができます。このとき石炭を混ぜますので、大なり小なり炭素は鉄の中に入ってきてしまいます。しかしのこ炭素が鉄を固くすることで様々な恩恵を人類に与えてくれました。

炭素こうは純鉄に0.02%から2.14%の間に炭素が中に入ったときに作られる合金のことをいいます。

これよりも多くの炭素が入ると鑄鉄という別の鉄鋼材料ができます。

炭素こうは、その作成条件によって非常に硬く、強い合金にもなります。炭素量の多いちゅう鉄では硬くてもろい材質の鋼になってしまいます。

炭素こうは様々な産業で使用されています。

加工が容易で、お値段が安いいため、いろんなところで使われる材料です。

図にその代表例を示しますが、小さいものから大きな建築物まで、様々な用途で使われていることが分かります。

炭素こうは区分があって炭素こうのうち、炭素含有量が、質量パーセント濃度で、0.25%以下を低炭素こう、0.25 から 0.6%をちゅう炭素こう、0.6%以上を高炭素こうと呼びます。特に0.6%以下の低炭素こうとちゅう炭素こうは広く使用されていることから、0.6%以下の炭素こうを普通こうともよびます。一般に、炭素こうは炭素含有量0.6%以下のものを構造用こうとして、0.6%以上のものを工具こうとして使用されます。

次に鉄と炭素の相図について説明します。

図に示すようなFe-C系の状態図は、工業的には最も重要な鋼の基本系であり、この状態図の理解が欠かせないものです。余談ですが、ここ十数年の技術士試験二次試験の金属部門（金属材料試験関係）の論文問題として、この状態図の拡大図を示して、あらゆる角度から設問されています。

特にここでは炭素濃度が低いところに着目してみます。

一般にアルファ鉄が他の元素をこようした状態をフェライトといいます。

炭素のこようげんは0.001%以下で、723° Cでは0.025%となるこようげん以上の炭素は、化合物Fe₃Cを形成し、これを、セメンタイト、と言います。

セメンタイトの化学組成はFe₃Cですが、これは炭化鉄がFe₃Cの分子を作っているというのではなく、単に結晶格子がFeとC原子を3:1の比で含んでいることを意味します。シータはグラファイトあるいはFe₃Cの形でこようされることを示し、鋼の熱処理ではFe₃Cが、鑄鉄ではグラファイトが形成されます。

アルファ鉄とセメンタイト相とが層状に交互に重なり合ったきょうしょう組織、ここではきょうせき組織と言いますが、その組織を、パーライト、と呼びます。

それでは炭素濃度が1%以下の領域でどのようになっているかについて、次から観ていきます。

まずは炭素濃度が0.0218%以下のところの領域で生成するフェライトについて説明します。

フェライトは、純鉄と同じで、たいしん立方格子です。このたいしん立方格子の結晶の中に、炭素が溶け込んでいます。

フェライトは柔らかく、すぐに変形するものです。727度がきょうしょう温度ですが、その温度で最大の炭素をこようします。

次にオーステナイトです。オーステナイトはめんしん立方構造を持ちます。めんしん立方構造を持つ金属は、金銀銅プラチナといった貴金属で知られていますが、延性に富んだ材料です。

鉄では、 γ 鉄といわれる相で、温度は1147度から727度の高温で生成します。オーステナイトは延性に富む材料ですが、比較的強く、粘り性質を持ちます。

つぎは、パーライトです。

パーライトとは、フェライトとセメンタイトからなる層状組織であり、二つの相から構成される構造体です。

これはきょうせき構造であり、炭素濃度が0.765%のとき、全面がきょうせき組織で覆われます。

きょうしょうについては、材料学などで習っていると思われませんが、きょうしょうは液体から固体になるときの呼び方であるため、この場合は固体から固体に変化するものであることから、きょうせき、と呼ばれます。

このパーライトは、セメンタイトの硬さとフェライトの柔らかさにより、硬く粘り性質を持ちます。

またパーライトは、層状構造を持っているため、光の散乱はランダムに生じるので、白色の散乱となり、表面は真珠のような色合いを示すことから、パールのようなものと言うことで、パーライトと呼ばれます。

セメンタイトについて説明します。

セメンタイトは鉄と炭素の化合物です。

前のところでは、グラファイトが混じったものとも説明しましたが、炭素濃度が低いときは、セメンタイトは、鉄と炭素の化合物、 Fe_3C 、で形成されています。金属の炭化ぶつは、一般に硬くてもろい性質を示し、セメンタイトも同様に、硬くてもろい性質を示します。

このセメンタイトは、炭素濃度や温度によってその形状は大きく変化することが知られています。

ここで、鉄と炭素の相図の中で、その組織について纏めてみます。

温度と炭素濃度によって、大きく組織が変化し、特にきょうせき温度ときょうせき点を境にして、組織が変化することが示されます。

しよせきと書いてあるものは、温度の高いところから低いところに変化する際に領域が変わるところで、元あった組織が生き残ったものをしよせきそう、といい、変化した相と分けて記述されます。

7つの領域に色分けされてますことから、このように炭素濃度と温度で様々な組織が形成されます。

特に炭素濃度が0.765%の濃度以上と以下で組織が大きく変わります。

炭素濃度が0.765%よりも低い場合は、あきょうせきこう

炭素濃度が0.765%の場合は、きょうせきこう

炭素濃度が0.765%よりも高い場合は、かきょうせきこう

と呼ばれます。

あきょうせきこうは、きょうせき組織パーライトと、フェライト相のこんそうとなり、

かきょうせきこうは、きょうせき組織パーライトと、セメント相のこんそうとなります。

この組織の違いは、結晶りゅうの大きさ、腐食特性、破壊強度なその機械的強度、など、様々な特性の違いとして現れます。

あきょうせきこう、かきょうせきこう、きょうせきこうの、組織については、次の図のように纏められます。

あきょうせきこうは、高温から冷却していくときに、オーステナイトこうが一部フェライトに変化しますが、727度のきょうせき温度を下回ると、オーステナイト領域がパーライトに変化して、パーライトと初析フェライトの混相になります。

一方、かきょうせきこうは、高温から冷却していくときに、オーステナイトこうが一部セメンタイトに変化しますが、727度のきょうせき温度を下回ると、オーステナイト領域がパーライトに変化して、パーライトと初析セメンタイトの混相になります。

きょうせきこうは、727度を境に、オーステナイトが、パーライトに変態します。

このように、一つの材料中に、いろいろな相が、様々な形で形成していくことになり、これらの大きさや種類によって、材料の様々な特性が変化します。

それでは次に、機械試験について説明していきます。

本実験では硬さ試験を行いますが、まず機械試験で分かることについて説明します。

機械的性質として求められる性質は、その材料を機械のどの部分で使うかによって大きく変わります。

とくに、機械強度としては、頑丈さ、硬さ、粘り強さ、といった材料が破壊に至る過程で重要な挙動についての、その程度について知ることが重要です。

頑丈さには、剛性と強度があり、剛性は、変形しにくさ、強度は、だんせい範囲の広さと破壊のしにくさ、が目安、または指標となります。

硬さは、材料表面の抵抗力、を示し、粘り強さは、急激な力に対する破壊のしにくさ、を示します。

それでは硬さ試験について説明いたします。

まずはテキストの硬さ試験について読みますが、

金属材料の硬さは、弾性変形と塑性変形による変形挙動を区別無く含んでいるため、物理量としては複雑であり、材料変形の本質を表すものではありません。しかしながら、硬さ試験は簡易な材料評価試験法です。例えば、異種材料間の強度や熱処理や加工度による材料中の強度変化について、相対的な変化を知る上ではきわめて有効な材料強度評価法です。また硬さ自体には、引張強さや粘り等と関連があるため、硬さ試験は、硬さそのものを目的とする場合以外にも、多く利用されています。

硬さ試験では、定荷重で所定の形状のあしを試料に押し込み、試料表面にできるあこん形状を測定することによって、試料硬さを求める事ができます。

ビッカース硬さ試験およびマイクロビッカース硬さ試験は

対面角 θ が 136° のダイヤモンド4角錐あしを用いて出来た窪みの表面積を測定して、それで試験荷重を割った値を用いて、硬さの値にしています。これは圧力と同じ関係になります。

くぼみの大小に関わらず形が相似であることから、原則的には荷重の大小は硬さちに関係しないことになります。これは、広範囲の硬さに対して硬さ試験ちは適用される、ことを意味します。

硬さ試験には、ビッカースの他にも様々な硬さ試験があります。

それは、あっしの形状が異なることによって、用途が異なってきます。

ブリネルは、球状あっしを用いた硬さ試験で、押し込み深さに依存しない真の硬さをエルのに適していますが、あっしが球状でみずらいため、精度がよくありません。

ヌープは、ビッカースのような四角錐をしていますが、四角錐は正四角錐でなく、ちょうへんとたんぺんによる方向性が異なるあっしです。これにより組織の硬さが方向によって異なる場合の硬さを求めることができます。

ロックウエルは円錐状のあっし形状の硬さ試験で、ビッカースと似た試験方法として知られています。

ここで硬さ試験と引張試験の相関性について示しておきます。

図は、様々な材料のビッカース硬さに対する硬さや、ひっぱり試験によるひっぱり強さを、対応して示したものです。

図で見られるように、ビッカース硬さに対して、ブリネル硬さや、ひっぱり試験の引張強さ、ロックウエル硬さなどは、直線的な傾きを持った関係で示されていることが分かり、およそ1対1の関係であることが分かります。

このことから、硬さ試験で得られる材料間の相対的な強度は、ひっぱり強さにも反映され、簡単に材料強度の多い差を知る手段としても、硬さ試験は有効であることが分かります。

以上で本実験の概要と結果を理解するのに必要な知識について説明してきました。

これとともに、実験方法のビデオを観ていただいて、本実験で得られるデータの詳細について、知識を深めていただければと思います。

それでは結果整理について説明していきます。

まずはきんそう試験で得られた、各試料の組織写真を用いたデータ整理について説明します。

撮影されたきんそう観察写真について、スケールなど測定するなどして整理し、4種類の材料（S25C、S35C、S45C、SKS93）の材質のスケッチを行い、材質、拡大倍率、腐食条件、スケール等を記入して整理してください。手書きのスケッチでは材料の構成要素の説明を図中に、フェライト相やパーライト相などを明記して記述ください。フェライトは金属光沢をしており、パーライトはセメンタイトとフェライトの層状構造をしています。層状構造は高倍率にしないと分からないかと思います。例としてS25Cの写真の整理した図とそのスケッチ例を示します。このようにそれぞれの鋼材の組織情報を整理してください。一つの考え方として、低倍写真、高倍写真、高倍写真のスケッチ、の3枚で一組とすることなどがよいと思います。

次に、マイクロビッカース硬さの測定結果をひょうにまとめてください。本実験では各試験片の炭素含有率を測定していないが、各材料の炭素含有率の値は、JIS規格（G4051, G4404）で決められている各材料の炭素含有率の中央値で示されます。

硬さ測定は各試料について7回測定し、最大最小の二つのデータを除いた5個のデータで平均値および測定誤差を求めて整理してください。

S25Cでの硬さ測定結果の例をひょうにしています。エクセルでの評価の際には、平均の関数や誤差の関数を使って数値化してください。

ビッカース硬さ,炭素含有率線図を作成します。縦軸にビッカース硬さ、H、横軸に炭素含有率、C (%) をとり、全てのデータをプロットしてください。SKS93 以外のデータを用いて、最小二乗法により近似直線を決定し、図中に最小二乗近似直線を記入してください。データをもとに S45C ~ SKS93 間のグラフを加えて作図してください。

データ中には誤差を含めて作図するようお願いします。

エクセルでの誤差の付けかたについてネットなどを使って調べて作図ください。

上記の結果をもとに、炭素ここの炭素含有率と顕微鏡組織、炭素含有率と硬さの関係について検討してください。ただし、各組織の大きさ（りゅうけいなど）とあっこんの大きさ等のばらつき要因について考慮し注意深く議論することとします。

データを整理した上で、次の課題に関して考察して、レポートに纏めてください。金属材料の強度と組織の相関は機械系技術者には必須の技術・学問です。本実験の内容について理解を深めるため、以下の事項について調べてレポートで報告してください。

(a) 鉄鋼の金属組織について調べる。特に鉄-炭素系の相図中に登場するフェライト、パーライト、セメンタイト、マルテンサイト、オーステナイトについて調べて、報告する。

(b) 鉄鋼の熱処理の基本的な処理法について調べる、特に、やきいれ、やきもどし、やきなまし、やきならしについて調べて、レポートで報告する。

です。ネット上にこれらの用語の説明があります。これらの語句を引用するときは必ずその出典を明らかにしてください。そうでないと盗用になりますので、ちゃんと出典を記載するよう心がけてください。

レポートは、二週間目の5月27日に提出してください。受け取ったら添削します。添削後大至急返しますので、皆さんが6月3日までに修正して、次の課題が始まるマエまでに再度提出してください。

それではよろしく申し上げます。