

ROSEリポジトリいばらき（茨城大学学術情報リポジトリ）

Title	熱処理用小型電気炉の試作と実験について
Author(s)	小島. 勤
Citation	茨城大学教育学部紀要(26): 151-157
Issue Date	1977
URL	http://hdl.handle.net/10109/10810
Rights	

このリポジトリに収録されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作権者に帰属します。引用、転載、複製等される場合は、著作権法を遵守してください。

お問合せ先

茨城大学学術企画部学術情報課（図書館） 情報支援係
<http://www.lib.ibaraki.ac.jp/toiawase/toiawase.html>

熱処理用小型電気炉の試作と実験について

技術科機械研究室 小島 勤

1. 緒 言

学習指導要領に準拠して、中学校技術・家庭科では、第2学年において熱処理についての指導がなされている。技術・家庭科の教科書は、現在実教と開隆堂の2社から出版されているが、両教科書とも70頁に1頁をさいて、熱処理の説明がなされている。

実教では、金属加工の設計のなかに、材料の研究があり、ここではよく使われている金属材料として、炭素鋼、黄銅、アルミニウム合金についての簡単な説明があり、更に70頁の製作の段階で、熱処理について焼入れ、焼もどし、焼なましについての説明がなされている。

一方開隆堂でも同じように、金属加工の設計のなかに材料についての記述があり、ここでは炭素鋼、黄銅、アルミニウム合金の性質と用途が表にまとめられており、更に炭素工具鋼、合金工具鋼、高速度鋼の性質も表にあらわされている。70頁では、ドライバーの先端部の焼入れとして、焼入れと焼もどしの説明があり、おもな材料の焼入れ温度が表にされていると同時に、ガスバーナーを使用しての焼入れの方法が図示されている。

県内の中学校に出した調査によると、熱処理実験の設備のある学校はほとんどなく、そのためかこの箇所は、やりにくく授業の一つとされている。

また生徒に授業前におこなった熱処理についての質問からもわかるように、焼入れという言葉は聞いてはいるものの、目的や方法などについては、ほとんど知らないのが実状である。

そこで実際に教室において、教師が熱処理の実験をしてみせるための、或は授業の準備(たとえば、ノコ刃全体にわたる均一な焼なまし等)としての、簡易熱処理実験装置(電気炉)を試作してみた。そして次の諸点を満足するように設計した。

- 1) 家庭用100Vのコンセントから電源がとれること。
- 2) 低電力でしかも速かに所定の温度まで上げられるこ

と。

- 3) 品物を金火箸やヤットコなどでつかんで取出さなくとも、炉を傾けることによって、中の品物がそのまま冷却液などの中に入れられること。
- 4) 金ノコなどの刃が長いままで入れられて、必要な処理ができること。
- 5) 持ち運びが楽にできること。
- 6) 簡単に作れ、しかも安く出来ること。
- 7) 品物の加熱状態(色と温度との関係)が容易にわかること。

などを目標にして製作した結果、電圧を小型スライダックにより120Vまであげると、約1時間で900℃まで上昇させることができた。しかも耐熱材として中に石綿をつめた場合は約1万2,000円、石綿のかわりに普通の砂で代用した場合には僅か3,500円程度で作ることができた。しかも砂で代用した場合でも、普通の電気炉と同じ程度の性能が得られることが実験の結果からわかった。

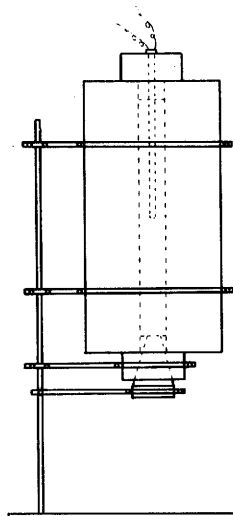
2. 炉の設計と製作

A 設計の条件

炉を設計するにあたっては、特に次の点を考慮した。

- 1) 単相100Vで使用できること。
- 2) 電気容量は、400W程度の低電力とし、しかも1時間以内に900℃まで上げられること。
中学校で炉があるとすれば、図工関係で使用する焼窯であるが、これとても900℃まであげるとなると、かなりの時間がかかる。教師が熱処理の実験をしてみせるためのものならば、内容積は大きくなくても、速かに温度が上げられる方が便利である。
- 3) 簡単に作ることができ、しかも安価にできること。
教師が自作することを目的としているから、材料が容易に入手でき、簡単にしかも安価にできなければならない。
- 4) 品物の加熱状態(色と温度との関係)が容易にわかること。

第1図 試作電気炉(タテ型)



最初は第1図のように、タテ型とした。下のフタの部分を、このように二重式に作ると、試料が小さい場合には、最下端の部分を下げただけで、試料を確実に落下させることができ、大変便利であった。しかし、これでは(1)品物の加熱状態が見えなく、生徒に焼入温度と色との関係を理解させることが容易ではないこと。(2)下のフタの部分に接している試料の面は、上面よりも若干温度が低くなるという欠点が出たために、第2図のように横型に改良することにした。これによって、タテ型炉にみられた欠点を取除くことができた。

B. 材料

発熱体：直径 0.7 mm のニクロム線

炉心管：内径 30 mm、長さ 300 mm の素焼の筒

発熱部被覆材：カオリン SiO_2 46.3%, Al_2O_3 39.8% H_2O 13.9% これは白陶土といわれるもので、陶磁器の原料である。

断熱材：アスベスト(クリソタイル系)だけを使用する場合は、総量約 2.500% 重くはなるが、普通の砂で代用することもできる。

スタンド：鋼板、丸棒、板材、などを加工して作る。

外部：1 mm 鋼板を加工して作る。

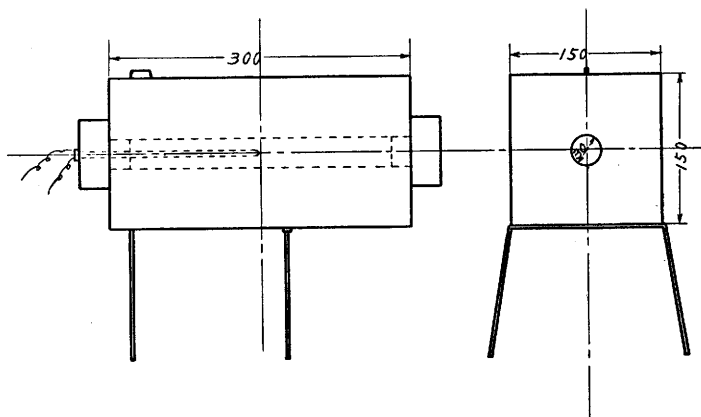
炉のふた：耐火粘土を用いて、左右 2 個作る。一方のふたには、熱電対がそう入される。

C. 加工および製作

1) 炉心管にニクロム線を巻く

長さ 300 mm、外径 37 mm の炉心管に、両端 15 mm を残して、5 mm 間隔に印をつけ、ニクロム線を巻いていくと、54 巻できる。1 巻が 37π mm であるから、取出部を両方合

第2図 改良型電気炉



せて 300 mm と考えても、約 6.6 m 程必要となる。

2) 炉心管に巻いたニクロム線を、カオリンで固定させる。

カオリンを水で固めるとき、一様にやや厚めに(8~10mmの厚さ)にぬり、半日程かけ干しする。こうして、カオリンがまだ完全に乾かないうちに、水でぬらしたアスベスト(手で軽くにぎって水がぎれる程度)を、カオリンの上に厚めに(10mm くらい)つけていくのであるが、アスベストが水を含みすぎていると、カオリンを溶かしてしまう恐れがあるので注意しなければならない。このようにして、アスベストを均一にぬり終わったら、アスベストが乾燥しないうちに、布きれなどで何回も巻き、約1週間かけ干しにする。このような作業を行なわないと、アスベストは乾燥してカオリンからはがれ、カオリンも又ニクロム線のもどる力で、ひびわれを起す危険がある。1週間後に巻いた布きれを取除けば、ニクロム線は完全に炉心管に固定されて、ひびわれなど起すことはない。尚作業の前に、あらかじめニクロム線を炉などで十分に焼なましをしておけば、上記の作業は一層楽になる。

3) 外わくの製作

鋼板で作った $150 \times 150 \times 300$ mm のわく本体の中に炉心部を入れ、アスベスト又は砂を入れて突き固め、炉心部を本体中心に固定させる。電源に入る 2 本のニクロム線は、保護管に通し、本体の 2 箇所にあけられた穴から出す。両わきの部分は、炉心管の外径と同じ大きさにくりぬき、これをわく本体にはめ溶接する。

4) 炉のふた

耐火粘土で炉のふたを作るのであるが、一方は熱電対が入るので、その径に合わせて、穴のあいたふたを作らなければならない。耐火粘土は空气中で乾燥した場合は全体の約10%、素焼した場合は、ほとんど収縮がない。実際には成形後1週間かげ干しをし完全に固化した後、布ヤスリその他で仕上がり寸法まで加工し、電気炉又は焼窯に入れて焼く。素焼をするに際しては、最初の300℃までは、できるだけ時間をかけて(4前間程度)温度を上げていき、その後も1000℃くらいまでは注意しながら温度を少しずつあげていき、全体の所要時間が8時間くらいになるように加熱をおこなう。尚はじめのうちは、100℃くらいまでは炉のふたは開けておき、粘土中の水蒸気を逃がした方がよい。冷却もできるだけ、おそい方がよく、電気炉の場合であれば、ふたをしたままで電源を切ればよい。

3. 電気炉の性能

試作電気炉に熱電温度計を取付け、電流計、電圧計、小型スライダックを通して通電する。ここで、スライダックにより電圧を100V、110V、120V、130Vとかえていったとき、炉内の温度が900℃になるまでに、どのくらい時間を要するかを測定したところ、第1表のようであった。

電圧(V)	電流(A)	900℃になるまでの時間(分)
100	4.0	120
110	4.15	95
120	4.3	65
130	4.5	30

第1表 電圧の変化と炉内温度が900℃になるまでの時間

尚電圧を130Vにあげると、900℃までに30分というスピードで、炉内温度をあげることができる。しかも、いったん炉内の温度が900℃まで上昇してしまうと、そ

冷却液	水(常温)	水(90℃)	食塩水(10%)	植物性食用油
HRC	57.2	46.1	58.4	42.0

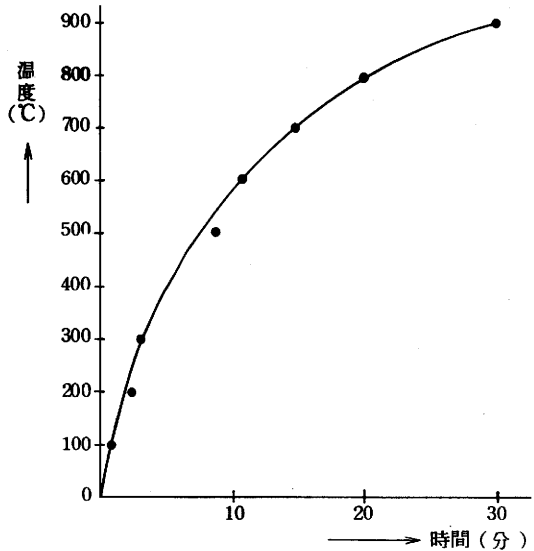
第2表 S30C 焼入れ結果(焼入温度900℃)

冷却液	水(常温)	水(90℃)	食塩水(10%)	植物性食用油
HRC	62.1	55.8	62.3	44.3

第3表 SK2 焼入れ結果(焼入温度800℃)

の後の温度上昇はきわめてゆるやかであるため、高価な熱電対及び高温計、電圧、電流計など使用しなくても実験はできるのである。(測定器具が中学校にない場合)

この急速加熱能力は、この試作電気炉のもっとも大きな特長であって、他のいかなる市販電気炉の場合であっても、このような急加熱はできないであろう。いま電圧を130V、電流5Aの場合の時間と炉内温度との関係をグラフに示せば第3図のようになる。



第3図 電圧130Vの場合の時間と炉内温度との関係

次に実際に試料を用いて、かたさ試験、顕微鏡組織試験、引張り試験をおこなってみた。いまこれらについて示す。

A. かたさ試験

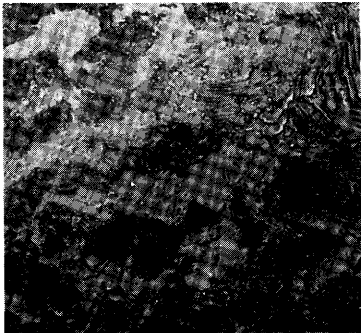
直径8mm、長さ35mmのS30C(炭素量0.25~0.35%)、SK2(炭素量1.1~1.3%)の試料を用いて焼入れ(冷却液は常温水、90℃水、10%食塩水、植物性食用油)の実験をおこない、かたさの変化をロックウエル硬度計により測定した。その結果は第2表および第3表に示すとおりである。

焼入妥当温度は、S30C の場合は約 850℃、SK2で約 780℃である。試料は高温にさらすほど粒子が粗大となり、機械的性質を悪化させるが、ここでは S30C で 900℃、SK2で 800℃にそれぞれ15分間保持した後焼入れをおこなった。

B. 顕微鏡組織試験

直径 8mm、長さ20mmの S45C、SK2の試料を試作電気炉で熱処理し、端面を鏡面研磨した後、3%硝酸アルコール溶液で10~30秒腐食し、水洗、乾燥後その面を金属顕微鏡を用いて、組織を観察し写真をとった。以下それらについて示す。尚倍率はすべて 600倍、腐食液は3%硝酸アルコール溶液である。

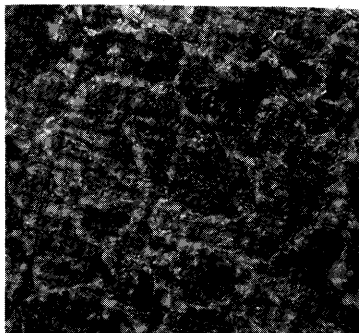
1) パーライトとフェライト(第4図)



組織：白の結晶フェライト，地はパーライト
腐食時間：10秒
材質：S45C
熱処理：900℃焼なまし

鉄に炭素が0.1%以上含まれると、フェライトにパーライト(フェライトとセメントイトが交互に重なり合ってきた層状組織)が現れ、パーライトの占める面積は、炭素含有量の増加と共に増し、0.4%前後で約半分くらいとなる。この写真では、黒い部分、黒っぽい部分がパーライトで、パーライトの面積は60%くらいである。

2) 網状セメントイト(第5図)



組織：白い部分が網状セメントイト，黒い部分はパーライト

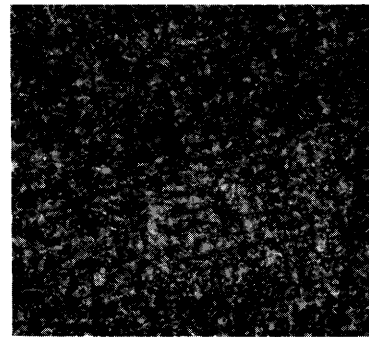
腐食時間：10秒

材質：SK2

熱処理：900℃焼なまし

焼なましの冷却過程で、セメントイトはオーステナイトの粒界に網状に析出し、オーステナイト地はパーライトとなる。この写真では、黒いパーライトを割るように、白い部分(セメントイト)が網状に走っているのがわかる。

3) 球状セメントイト(第6図)



組織：白い粒がセメントイト，地はフェライト
腐食時間：10秒
材質：SK2
熱処理：900℃で焼なまし後、800℃で1時間加熱後徐冷

炭素量が0.85%以上の炭素鋼を焼なましすると、2)の網状セメントイトがでてくる。しかしこのような状態のものは、もろいので、かたさ、引張り強さを適当に保ち、伸び、絞り、衝撃値などを上げ、鋼の機械的性質を高めるためにセメントイトを球状化するのが普通である。

この写真で白い粒は網状セメントイトが球状化焼なましによって、細かく切れ表面張力によって球状化したものである。尚黒い部分はパーライトであり、完全に球状化したものとは言いがたいが、完全なものにすることはできなかった。

4) マルテンサイト(第7図)



組織：針状組織（マルテンサイト）

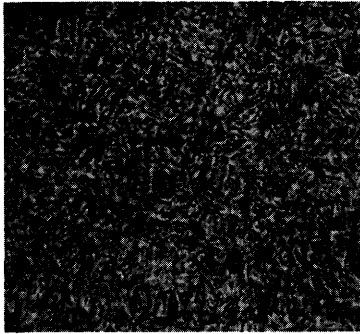
腐食時間：30秒～60秒

材質：SK2

熱処理：900℃から水焼入れ

この組織は、鋼材をオーステナイトから急冷して得られる針状組織で、もっとも硬いのが特徴である。写真で白い部分はセメントイトである。腐食時間がすべてのうちで30～60秒ともっとも長くなっているのも、この組織が最高にかたいために、腐食されにくいことを物語っている。焼入れ組織ともいわれている。

5) ソルバイト（第8図）



組織：ソルバイト

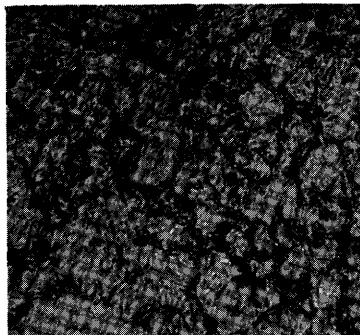
腐食時間：10秒

材質：S45C

熱処理：900℃水焼入れ,600℃焼もどし

鋼材を500℃以上に焼もどしすると、遊離したセメントイトは凝集して粒状化してくる。組織そのものは、パーライトと同じものであるが、フェライトとセメントイトの凝集の仕方が違うだけである。パーライトよりもずっと細かいパーライトなのである。パーライトに比較して、強さ、かたさ、靱性共に大であるために、機械部品などに使われる0.25～0.55% Cの炭素鋼は、焼入れ、焼戻しをしてソルバイト組織にして使うのが普通である。

6) マルテンサイトと結節状トルースタイト（第9図）



組織：マルテンサイトの地にトルースタイトが黒く結節状又は網状に現れる。

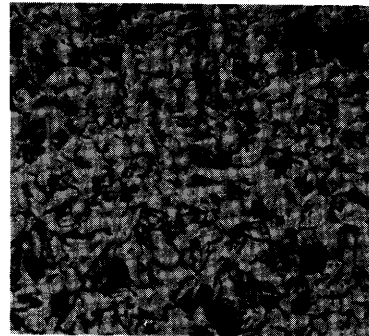
腐食時間：前と同じ

材質：S45C

熱処理：900℃油冷

炭素鋼を油に焼入れた場合は、水焼入れした場合よりも冷却速度がおそいので、マルテンサイトになる前に、トルースタイトが現れ、オーステナイトの粒界に結節状にトルースタイトが現れ、残留オーステナイトがマルテンサイトに変化する。写真で黒い部分がトルースタイトであるが、このトルースタイトもパーライトと同様、フェライトとセメントイトからできている。ただフェライトとセメントイトの凝集の仕方が違うだけである。

7) マルテンサイトとフェライト（第10図）



組織：白い部分フェライト，黒い部分マルテンサイト

腐食時間：30～60秒

材質：S30C

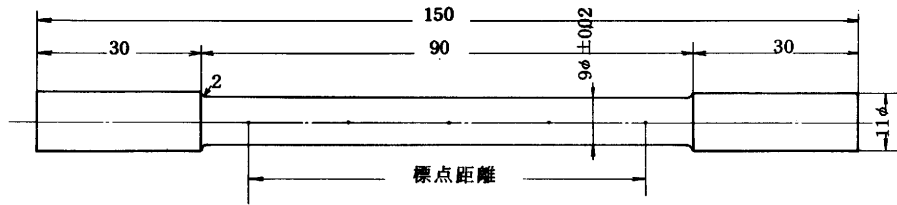
熱処理：950℃から750℃まで炉冷，その後水冷

低炭素鋼を焼入れする時、炉から取り出して冷却液の中に入れる時間が長いと、フェライトが析出し残ったオーステナイトが水焼入れにより、マルテンサイトになるので、写真のようにマルテンサイト（黒い部分）とフェライト（白い部分）が共存するようになる。

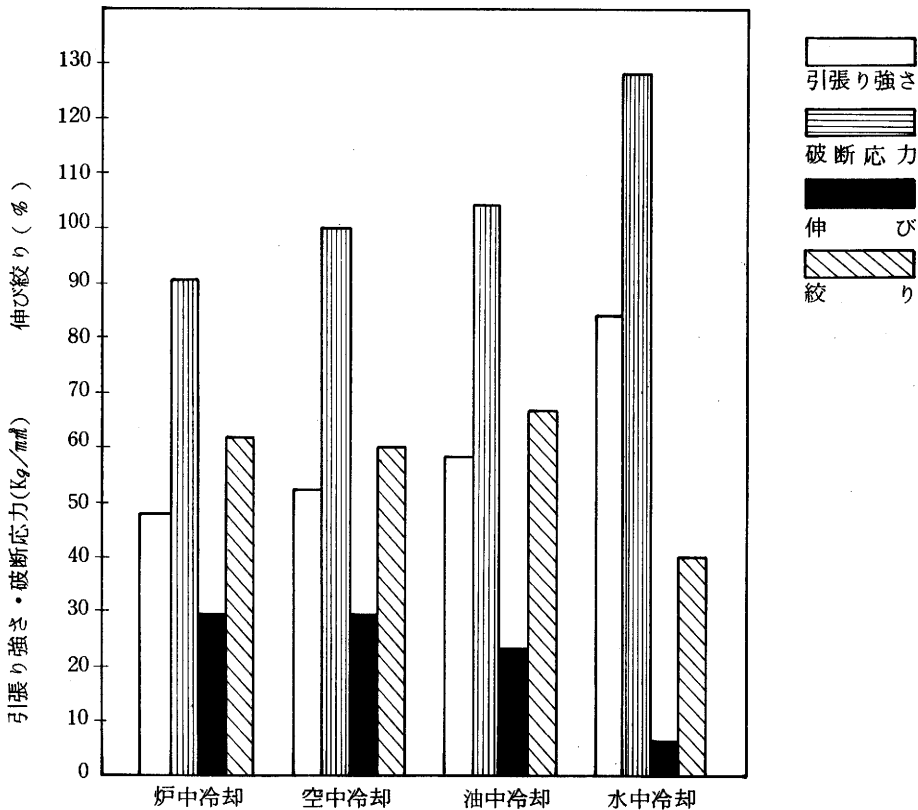
C. 引張り試験

最後にS30Cの丸棒材からJISZ2201規格2号試験片（第11図）を10本程作り、これを試作電気炉に1本ずつ入れて、まず全部を900℃に20分程加熱した後、空冷し試料を標準状態にした。その後2本ずつを再び900℃まで上げた後炉中冷却、空中冷却、油中冷却、水中冷却などの熱処理をおこなった後、万能試験機にかけて、降伏点荷重、最大荷重、破断荷重を求め、降伏点、引張り強さ、破断応力、伸び、絞りなどを計算してみた。

その結果を示したのが第12図である。



第11図 引張り試験片 (JIS Z 2201 規格2号試験片)



第2図 冷却方法による引張り強さなどの変化

4. 考 察

この炉は、主として中学校で熱処理実験をしてみせるためのもの、或は生徒実験のための材料をあらかじめ準備するための炉として試作したものである。

中学校での熱処理としては、温度は900℃まで上げれば十分であるし、しかも電圧を130Vにすれば、900℃までわずか30分で上昇させることができることもわかったし、時間を更に若干多くかければ、950℃以上にもすることができる。

中学校でどのような熱処理をするかは、その教師にもよるが、ここではかたさ試験、顕微鏡組織試験、引張り

試験を、この試作炉を使って実験し、このような簡単な炉でも、十分その機能が果せることができることを示したものである。

かたさ試験については別に問題はないようである。ただ最初に試作したタテ型炉では、下のフタに接する試料の面の温度が思うようには上らず、そのためにかたさに差異がみられたが、ヨコ型に改良してからは、別に問題となることはない。

顕微鏡組織試験については、第4図～第10図にみられるように、いずれの場合をとってみても、それぞれの場合の理想組織にきわめて近いという良い結果がでた。これは市販電気炉でやった以上に、説明しやすい写真がと

れたように思われる。

実際に筆者が県内のある中学校に行き、授業をしたとき、熱処理について生徒達が一番疑問をいだいた点は、「焼入れするとなぜ硬くなるのか？」ということであった。これについては、あらかじめピンポン玉と竹ヒゴを使って作成した、面心立方格子、体心立方格子、セメントタイトの原子模型と、鉄-炭素系状態図および顕微鏡写真などを持っていったので、ある程度説明することができた。実はこの問題は大変むつかしく、中学生の段階では十分に説明することは不可能に近いことである。しかし全体の授業については、最後におこなった評価(ペーパーテスト)からしても、大半は理解したように思えるのである。以上の事柄を考え合わせ、更に炭素量の変化によるパーライトの量との関係などいくつかの写真をとり、一枚の図表にして見せることができるならば、更に面白いと思う。このような点で、この炉はかなり活用することができるであろう。

5. 結 論

1) 小型スライダックを用いて、電圧を130 Vにまであげて使用すると、わずか30分で900 °Cまであげることができる。(100 Vの場合には、900 °Cまでに2時間ほどかかる。

- 2) 品物を金火箸やヤットコなどを使って取り出さなくても、炉を傾げるだけで簡単に冷却液の中に入れることができる。(フタと本体とは、チェーンガイで止めてある)
- 3) 金ノコの刃や2号引張り試験片(JIS Z2201 規格)など、長いものまで入れられるので、かたさ、衝撃、引張り、顕微鏡による組織観察試験など、多くの材料実験をおこなうことができる。しかもその性能は、市販電気炉の場合と何ら変るところがなかった。
- 4) 小型、軽量のため、持ち運びが簡単である。
- 5) 横型に改良したために、品物の加熱状態(色と温度との関係)が容易に理解できる。
- 6) 中学校の授業に応用して効果をあげることができた。

6. 追 記

ごく最近作り上げた第3号改良炉によると、950 °Cまで上昇させるのに、100 Vで70分、130 Vで20分という好ましい結果がでた。このため、授業が始まってから通電しても20分後には950 °Cまで上がるので、さらに実験が楽になった。

なお、アスベストのかわりに、普通の砂で代用した改良炉の場合でも、電圧を130 Vにすれば、950 °Cまで35分という速さで、炉内の温度をあげることができる。

On the Making and Experiments of the Small Type Electric Furnace for Hete Treatments

Tsutomu Ozima

Abstract

This small type electric furnace used the heat generated by the passage of an electric current through solid conducting wire (0.7 mm ϕ) wound on the ceramic pipe (length: 300 mm, inside diameter: 30 mm).

This is suited to the school lesson of junior high schools in following points.

- 1) We can make this furnace with a law price if we used the ordinary sand insted of the asbest.
- 2) It is possible to goes up the temperature to 900 °C through a small electric power.