

手打ち鑪における熱処理について

中村 滝雄・横田 勝

(平成10年10月15日受理)

要 旨

手打ち鑪において鉄、炭素の合金である鋼の熱処理は、その性質を決定づける重要な工程である。しかしながら、少量生産を行う職人の熱処理に関しては他者に公開されず秘伝とされる所が多かった。本稿では高岡において貴重な存在となった岡崎氏による手打ち鑪の製作工程中、熱処理のうちである「焼鈍」「焼入れ」を取り上げ、詳細に記録するとともに顕微鏡観察や硬さ測定を含めて考察した。その結果、温度計を使用しないO氏の熱処理温度の経験による判断が、工学的にも裏付けられた優れた鑪を生産していることが判明した。

キーワード

鑪, 熱処理, 焼鈍, 焼入れ, 鉛浴, 塩等混合物, 硬度, 顕微鏡観察

1 結 言

筆者等は、金属加工には欠かせない鑪を使用している過程で、市販されているものと高岡短期大学で購入している岡崎喜久治氏（以降O氏と記す）の手打ち鑪に、切削能力や耐久性に大きな違いがあることを体験した。またO氏の手打ち鑪製作には後継者がいないことから、その製作技術が途絶えてしまうのではないかと危惧されている。そのような状況の中で筆者等は、O氏の鑪製作の環境や道具、工程等を1995年より詳細に調査し、その実態を記録するとともに工学的立場から検討と考察を行ってきた。既報¹⁾では、鑪の切削性を左右する「目切り」について考察した。しかし硬度など鋼の性質を左右する熱処理、すなわち「焼鈍」と「焼入れ」も切削性を決定づ

ける重要な要因であることから、今回はこれらについて調査を行うとともに検討と考察を行った。

鑪を製作している大手企業、あるいは個人レベルにおいても量産性を重視しているところでは、リスクが少なく効率的で均一な製品が生産できるように、温度管理が行き届いた焼鈍炉や焼入れ炉を設置し、常に同じ条件の下で焼鈍や焼入れが行われている。一方、筆者等の一人が使用しているO氏の鑪は、量産思考というより工芸作家や工芸品を製作している企業など使用者個々の要望に応えた製品である。そのような特殊な鑪なども個々に請け負うシステムでは、常に同じような条件では行えない。したがって、このような状況では、製作者（職人）個人の目で一本ずつ仕上がりに状態の確認をする製作法になり、多くを

自らの知識や経験と勘に頼らざるを得ない。

このような職人と言われる人達の間では、師匠などの手伝いなどを行いながら、習うというより「仕事(技術)*¹は盗め」²⁾と言われてきた。また「仕事のやりそこないを作っておこられながら」実質的な経験から技術を会得し、「自分の仕事の手を動かしながら師匠の鑽スキの手つきを学ぶ」³⁾など視覚的な経験あるいは口伝と言われる言い伝えに加え、自らの試行錯誤によってより優れた製品を生産する技術を大成させてきた。

これらの技術は、工学的に確立された製作方法と基本的には変わらないにしても、職人の考え方や工夫、製作環境などによって代々また個々に少しずつ形を変えながら伝承されている。しかしながら、これらの技術は個人的な感性によって進められ、大切な点は弟子にも直伝されないことが多い。ましてや同業者には一切が閉ざされた状況に置かれている。また各企業において開発された技術も、生産競争などの社会環境によって重要なポイントが企業秘密になっていることが多く、公開されていない。

本稿では、このような職人の技術がいわゆ

る経験と勘の世界と言われ明確にされていない中で、O氏の協力により手打ち鑪の製作工程中特に熱処理である「焼鈍」と「焼入れ」の工程を詳細に調査するとともに、鑪の切削性に及ぼす金属組織と硬度の影響について調査した。また現在市販されている中から無差別に選択した鑪とO氏の鑪を比較検討することにより、O氏の鑪の優れた性能の原因について考察をした。

2 試料および実験方法

焼鈍温度と時間の測定に使用した試料は、250mmの鑪の大きさを想定し外径10mm、肉厚2mm、長さ260mmの鉄製パイプ2本を平行に溶接し、アルメル-クロメル熱電対*²を先端と中央部に設置した。パイプの一端は溶接し、他端は熱電対を挿入した後粘土によって密閉を行った(図1)。通常O氏は、一回の焼鈍工程で200~300本鑪地の焼鈍を行うが、本調査では250mmの鑪を80本程度焼鈍する中で工程を記録するとともにその温度、時間を計測した。この試料による温度測定はO氏の手により80本の作業中40本目に行い、約11分間コークス

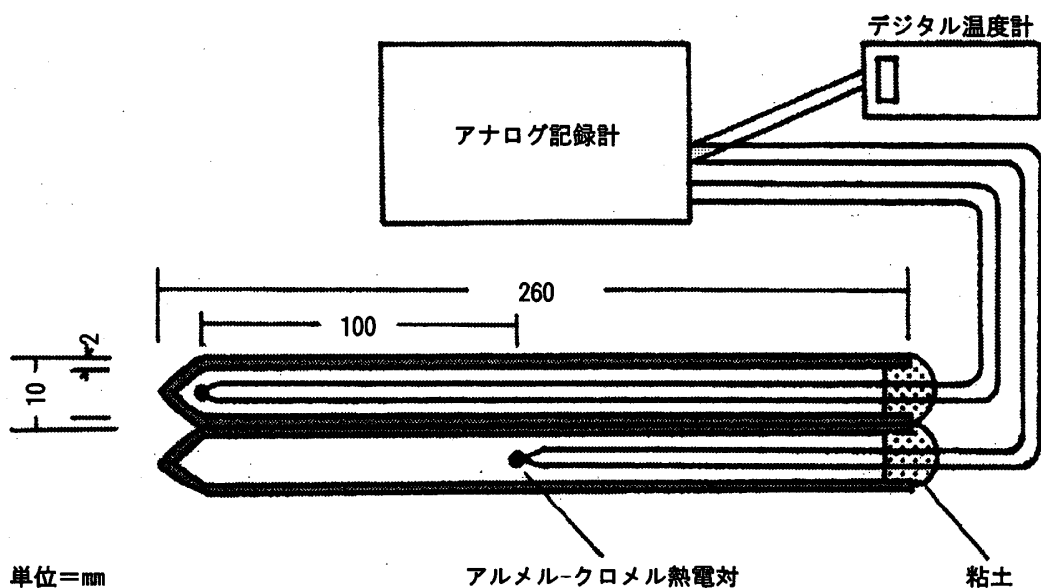


図1 焼鈍の温度と時間を計測するための試料図

上で約750℃まで加熱された後、724℃に保持された灰炉の中に挿入して徐冷した(図2-1, 2)。

また、焼き入れ温度と時間の測定に使用した試料は、焼鈍の場合と同じ材料を使用し、なるべく試料の表面温度を計測するように、また短時間における温度変化を正確に記録できるように次のような配慮を行った。すなわちパイプの先端を圧縮させてアルメルクロメル熱電対の先端部を挟み込み、パイプの先端と中央部に固定し作製した(図3)。この試料に通常の鑪と同じように塩等混合物を塗布して6分間焼入れ炉の上で乾燥させ、852℃の鉛

浴で35秒間加熱した(図4-1)。この試料は歪み修正や反りの調整を行わないため加熱回数を一回としたが、塩等混合物が溶ける状態すなわち加熱温度は通常の鑪と同じようにO氏の判断により、冷却水に投入した(図4-2)。なお、O氏の熱処理工程中の鉛浴や炉内などの温度測定は、アルメルクロメル熱電対によるデジタル温度計で行った。

また光学顕微鏡観察に際して、O氏が熱処理を行った鑪地と鑪、市販品の各鑪を鏡面まで研磨した後ナイトール(5%硝酸アルコール混合液)で腐食し試料とした。それに対応して硬さ試験をマイクロビッカース硬さによ

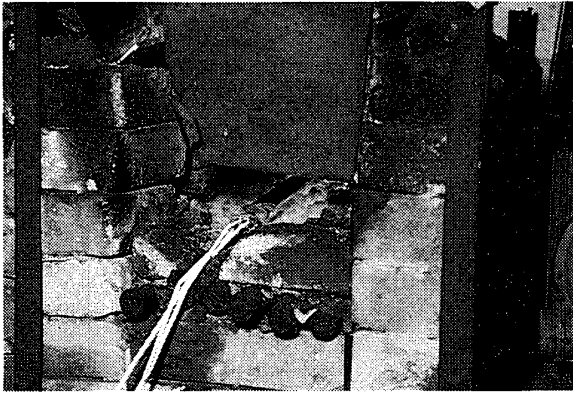


図2-1 焼鈍温度と時間の計測
コークス上の中央で11分間で750℃まで加熱

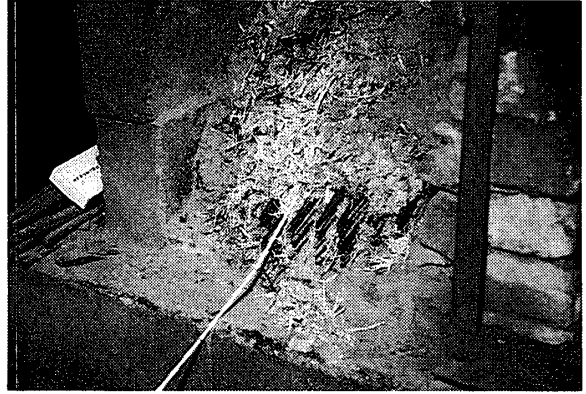


図2-2 焼鈍温度と時間の計測
藁灰の中で一昼夜かけて冷却

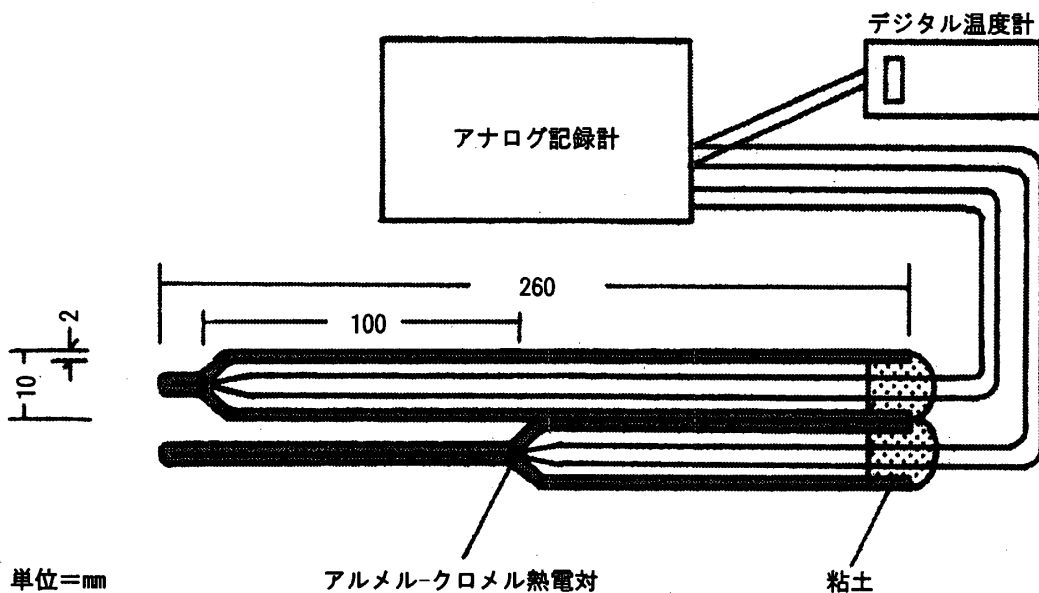


図3 焼入れの温度と時間を計測するための試料図

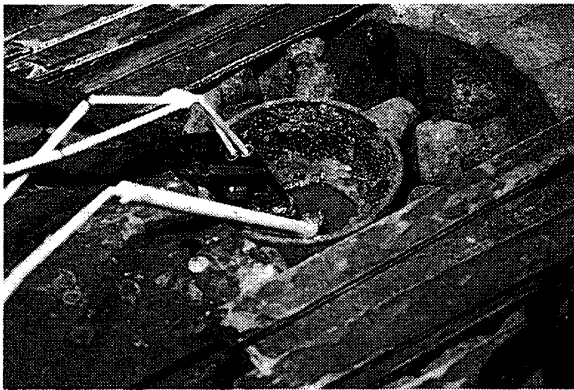


図4-1 焼入れ温度と時間の計測
852°Cの鉛浴内で836°Cまで加熱

り計測した。荷重は1kgとし、一つの試料内で3ヵ所測定した値の平均値とした。

3 調査結果ならびに考察

3.1 焼 鈍

焼鈍は目切りを行う際、目切り鑿がスムーズにまた的確に作用して優れた鑿目ができるように、鑿地の軟化を目的として行われる。またこの工程は、既報⁴⁾で報告した焼鈍加熱炉（コークス）により行われ、その後焼鈍徐冷炉（藁灰）に移して行われる。

鑿地の焼鈍が始められる状態の焼鈍加熱炉内の温度を測定した結果、炉内上部（予熱をかける場所）は730°C、コークス燃焼部中央は872°Cであった。この状態になると炉内の温度を変化させないように微妙な空気の調整を行い、また温度を下げないように新たなコークスを補充することもしない。O氏はこの焼鈍加熱炉の状態を保持する目安として、コークスの燃焼している色はもちろんのこと、炉口から出てくる炎の状態や加熱時間とともに変化して行く鑿地の色等を視覚的に総合判断している。コークスの温度が高ければ焼鈍時間が短くなり生産効率は良くなるが、温度分布が不均一になり、その結果鑿地に硬さの不均一性を残してしまい、目切りに支障をきたして優れた鑿目が切れないとO氏は言う。

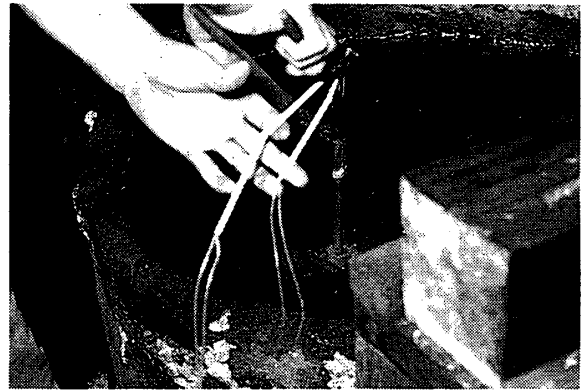


図4-2 焼入れ温度と時間の計測
冷却水へ垂直にゆっくり投入

予熱をかけた鑿地は、加熱が順次行われ、適度な時間と的確な温度が色観察できるように、コークスの上に5本置かれる。中央の1本が焼鈍温度まで加熱されるとこれを取り出し、残りの4本の鑿地を端から順次中央に送りながら加熱して行く。コークス上では中央が一番温度が高く、端にいくにしたがって少し低くなっているので間合いを取りながら時間をかけて移動させ、徐々に温度を上げながら加熱を行う。コークス上での加熱は、その状況によって多少異なるものの250mmの場合約4分間程度行う。その後、約725°Cに上昇した焼鈍徐冷炉^{*3}の藁灰の中に積み上げて行く。焼鈍加熱炉から取り出された鑿地には、コークスに直接当たった部分とそうでない部分との差から発生すると考えられる僅かな色斑が確認されるが、加熱温度の不均一さによって発生するその斑は藁灰の保温力により温度は均一に保持され消失する。また、一本目の鑿地を徐冷するには藁灰の温度は低すぎるが、特に前もって温度を上昇させる操作はせず、次々と入れられる加熱された鑿地によって藁灰の温度を上昇させて徐冷が行われる。徐冷時間は一昼夜かけられる。約18時間経過後手で持てるか持てないかの温度で藁灰の中から取り出され、焼鈍が完了する。

前章で記述した試料により、焼鈍時間と温度変化をアナログ記録計で約18時間計測した結果、鋼に変化を及ぼす変態点付近つまり

700℃付近では、先端部で1.2℃/S、中央部では1.8℃/Sの冷却速度であった。

3.2 焼入れ

焼入れは鑪の材料である鋼 (SK-2E) をマルテンサイト変態により硬化させ、強さを増加させて切削機能を得るために行われる。この工程も、既報⁵⁾で報告したようにステンレスパイプ (SUS-304) の中で溶融された鉛 (鉛浴) を使用した焼入れ炉で2度加熱し、その後冷却水の中に投入して急冷が行われる。一般的に刃物は、焼入れによって硬さを得る反面脆さも兼ね備えているために、「焼戻し」操作を行って韌性を出す。鑪ではその工程を行わない。

3.2.1 塩等混合物の塗布

目切り工程を終えた鑪に塩 (NaCl)、味噌、硝酸カリウム (KNO₃) の混合物を塗布する (図5)。その割合は、毎回計測器によらない



図5 塩等混合物の塗布

○氏の経験や勘によって製作されているので、常に同じ割合とは限らないが、おおよそ塩2,500gに一般家庭で使用されている味噌135gと硝酸カリウム (KNO₃) 35g、水を加えた混合物*4である。

その効果は既報⁶⁾で報告したとおりであり、

①焼入れ温度の評価

塩の溶解温度 (融点は800.4℃) が適性な焼入れの温度に近似しているため、その溶解状態を見極めて焼き入れ温度を確認する。

②水のガス抜き、急冷度

塩を10%混ぜると水中のガスが除かれ、静止の水の急冷度がH=1に対して2.0になる⁷⁾。

③酸化、脱炭防止

鑪は目切りなどで生じた歪みの修正や焼き入れ時に生じる反りに対してあらかじめ反対方向に反らせて調整を行う。この工程は水に投入する前に木槌によって木台上で叩きながら行う。またその衝撃によって塩等混合物が剥離しないで、低温から鑪に溶着するようにする。この混合物の溶着によって大気中の酸素を遮断し、酸化や脱炭を防止する効果を利用している。

塩と味噌、水を混ぜ合わせた混合物は、石臼 (図6) によって塩の粒度を均一かつ細かく粉碎する。この操作は、混合物を低温から溶解させて付着させるためであり、また混合物の溶融状態による加熱温度を的確に確認できるように、均一に溶着させるための工夫であると○氏は言う。

この方法の基本は先代が他産地から学んで来たとの由であるが、○氏自身も種々他の方

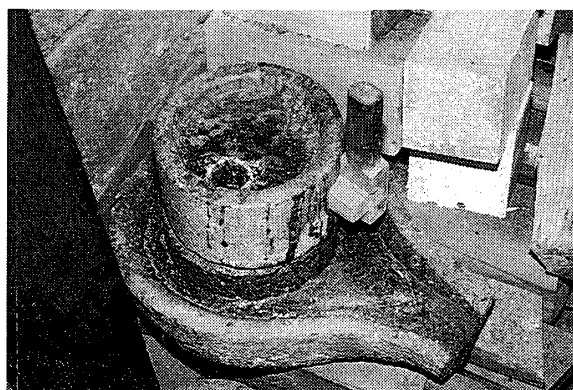


図6 石臼
塩等混合物を均一に細かくする。
臼には上下に目が切つてある。

法で試した結果この方法に行き着いたと言う。一般に刃物の焼入れに際し、その効果を上げるために砥の粉や炭が混合された泥（焼刃土）⁹⁾を塗布するが、刃物鍛冶である横山祐弘氏は「鍛冶屋の教え」⁹⁾の中で、「昔は味噌を塗る人がいました。今もいるんじゃないかと思えます。」「人間国宝の刀鍛冶の書いた本にも、塩を使うというようなことが書いてありますし、鍛造部品なんかの工場では、塩とかいろんなものを入れた液槽で熱処理をする。」「ヤスリの焼き入れも、まだ味噌でしょう。ヤスリ工場の多い広島あたりでは、焼き入れ専用の味噌っていうのがあるらしいですよ。」と語っているように、塩や味噌が焼き入れに効果的であると鍛冶職人の間では認識され言い伝えられている。要は塩等混合物の塗布による方法が、鑢として材料の性質を最大限に引き出し、切削に適した均一な硬度を得るためのO氏の行き着いた方法である。この方法から優れた鑢が製作されていることは、多くの使用者に受け入れられていることから確認できる。

3.2.2 鉛浴の温度管理

塩等混合物を塗布した鑢は焼き入れ炉の上に置き、鉛浴の中に水分が入って水蒸気爆発を起こさないように5～6分程度乾燥を行う。その後鉛浴に入れて加熱を行う。鉛浴の温度は300mmの鑢を境にして変えられており、大きな鑢の場合はやや高めの約850℃に、小さな鑢では約825℃に設定している。これは鑢を入れることによって鉛浴の温度が低下するためであり、大きな鑢はその低下率が大きいため高温にしているのである。実際鉛浴の温度を計測した結果300mmの鑢を入れると鉛浴の温度は15℃前後低下した。この様な状況で熔融温度を常時一定にして各サイズの鑢の加熱を行おうとすれば、大きな鑢では加熱に時間がかかり過ぎて生産効率が悪くなり、小さな鑢では

短時間で上昇してしまうため加熱斑ができてしまう。それが焼き入れ斑となって、優れた製品ができない。したがって、O氏は鉛浴を常時一定の温度に設定して行うのではなく、鑢の大きさなどによって温度と時間を微妙に調整して焼入れを行うなどの配慮をしている。

3.2.3 歪みの修正と反りの調整

使い手にとって鑢の肉厚の変化による鑢面の反りは、平面を切削する際に重要な意味をもっている。鑢の形状は、先端部が細くなりながら薄くなっている。その形状がどのように決まって来たかは現在明確な資料は見当たらないが、使い手はその形状をうまく利用している。

鑢先端部が細くなっているのは、微妙に異なる幅や穴の大きさを一本の鑢で切削できるように工夫、考案された結果であると考えられる。特に先端部にかけての肉厚の変化は、被切削物を平面に仕上げるために利用される。つまり、手元から約3/4までは平面が保たれ、その先は徐々に薄くなり始めるため鑢面に湾曲した部分ができる。例えば250mmの平鑢は手元の部分で6.2mm、先端部では4.5mmになっている。平面を切削するには鑢の平面部を使用すると考えがちであるが、この変化による湾曲した部分を駆使する。フライス盤やセーパーなどは機械的に水平移動して平面を切削できるが、手加工による切削では鑢の両端を持って水平方向に前後移動させるために、被切削物との接点を境に力のバランスが崩れ、弧を描くように移動してしまうのである。その結果、被切削面の端の部分は円く切削されてしまう。使用者はこの現象を補うために、被切削面の中央部を凹面になるように鑢面の湾曲している部分を当て、あたかも中央がマイナスになるように鑢を移動させて切削を行う。その結果として平面を得ている。これは人間の作業動作の習性と鑢の構造の一つの関係で

あるが、この部分は多くの鑢を調査しても一定の調整がされていない。また鑢はその芯を真っすぐに仕上げるのが一般的であるが、意識的に反らせたものもある。図7に取り上げたコテ鑢など特殊な鑢は、凹面部などを切削するために鑢の面を意識的に湾曲させて仕上げられている。

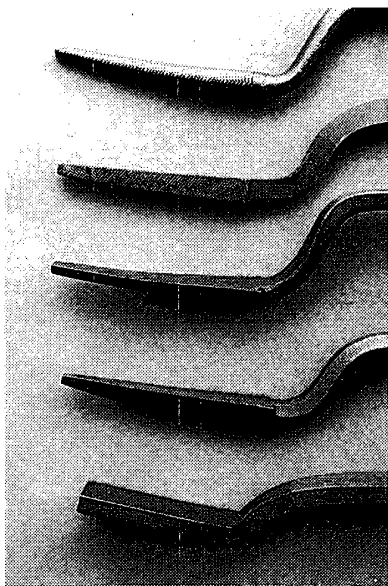


図7 コテ鑢
切削面(下面)を微妙に湾曲させ、反りの効果を利用している鑢。

いずれにしても、各工程において厚味や鑢目の変化で生じる歪みや反りは、修正や調整を行わなければ優れた鑢に仕上がらない。O氏は焼入れする鑢を鉛浴で2回加熱する際、一回目の加熱後に目切りや加熱による歪みの修正を行い、また急冷時の反りを予想し木槌で叩いて調整する。平、丸、三角、四角など断面が対称形の鑢は、芯が真っすぐになるように仕上げるため曲がりを真っすぐに修正する。しかし甲丸、燕尾、鑄など断面が非対称の鑢は、水に投入すると冷却による収縮の微妙な時間差によって一方向に反ってしまう。その反りの調整はその現象をあらかじめ予想し、反対方向に反らせて操作する(図8)。図9に非対称形の鑢で典型的な甲丸鑢の調整具合を横から見た写真で示す。ここで見られる特徴は、250mmの鑢(柄は木製であるため、差



図8 反りの調整(250mmの甲丸鑢)
木台の中央の浅い溝に鑢を斜めに置き、木槌で打って微妙に湾曲させる。

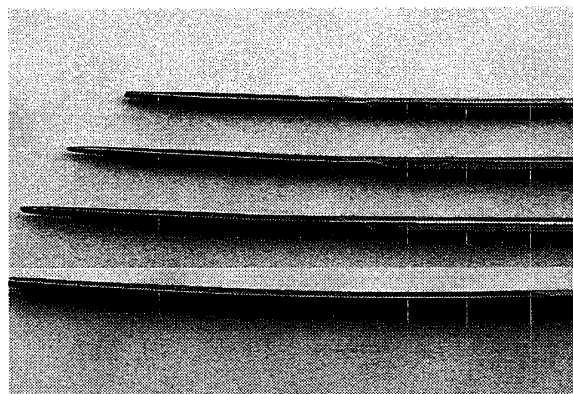


図9 甲丸鑢の反り調整
サイズは下から250mm, 5本組, 10本組, 12本組

し込むように細く尖っている)は全体的に反りをつけているが、5本組以下の小さな鑢(持ち手のところが鑢目のところと同じ幅の金属になっている)は鑢目と持ち手の境目付近に反りを多くつけていることが上げられる。また新品の鑢地を使用するときは一定の曲げ率で行えるが、打ち直しや特殊鑢があると条件が異なるため、反りは一定に現れない。例えば、同じ種類で同じ大きさの鑢でも打ち直した鑢など鑢地が薄くなるに従って反り率が多く、また木工鑢など表裏の鑢目が違うものは目の粗い方に反るなどが上げられる。また5本組など小さな鑢はパイプの中であらかじめ加熱をする(図10)ので反りが少なく、僅かに曲げておくだけで良いとO氏は言う。したがって、曲げ方も一本一本鑢の形状を観察しながら変化させて調整を行う。この調整はお

およそ予測されているものの、鉛浴や冷却水の状態によっても違うため、最初の一本目様子を見ながら曲げ率を確認して行う。しかしその予想に反して、急冷時に多く曲がりそうな時や足りなかったりする場合の調整は、水の中で完全に冷却する前に鑪の先端を水槽の端に当てて操作される*5(図11)。

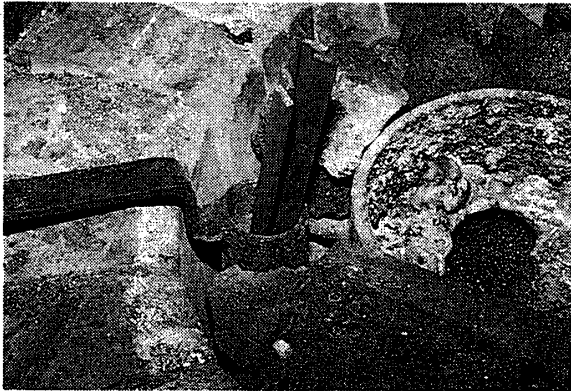


図10 5本組の予熱
5本組以下の鑪はパイプの中で予熱がかけられた後に鉛浴で加熱される。



図11 反りの操作
鑪を水槽に当てて鑪の芯を真っすぐにする。

調整時の鑪は鉛浴の中で塩が溶解してくる状態を観察し、塩等混合物が鑪に溶着するところを見極められて引き上げる。引き出された鑪の色を観察すると、根元が多少黒く先端は橙色をしていて色に斑があるのが確認できる。これは鑪の先端が少し薄くまた細くなっているうえに鉛浴に先に入るためである。しかしこの現象は、歪みの修正や反りの調整をしている間に温度が下がりつつも鑪全体の温度が平均化されてくるので、2回目の加熱では解

消されていた。またこの間の数分が加熱時間に加算されるため、加熱効果にもよい影響があると考えられる。

3.2.4 焼入れと冷却水

歪みの修正と反りの調整が行われた鑪は、再度鉛浴に入れられ加熱する。焼入れ温度約820℃を見極めるために塩等混合物が溶ける状態を確認し、鉛浴から取り出す。一回目、二回目の加熱時間を合計すると300mm平鑪で約60秒であった。その後、水槽の淵で2度目の加熱によってできた僅かな歪みを調整するなどして、少し間を取ってからゆっくり冷却水に投入する。間を取ることで鑪全体の加熱温度を均一にし、焼き入れに適した状態にする。またゆっくり投入するのは、焼き入れによる歪み率を低くするためである。「江戸鍛冶の注文帳」¹⁰⁾に口伝として記載されている「水の上でひと呼吸して、ゆっくり水に入れる」は、大工道具の刃物(炭素鋼)の焼入れのタイミングを記したものであり、O氏と同様加熱斑を無くする手段であると考えられる。

丸、三角、四角など対称形鑪の投入方法は、先端から水面に対してほぼ垂直に行う(図12)。甲丸をはじめとする非対称形鑪は、水面に対して斜めに投入する。その後180度上下を反転させながら水面近くに移動させ、前述したように水槽の端に先端を当てて芯を出すための



図12 対称形鑪(平鑪など)の焼入れ
冷却水へほぼ垂直に投入される。

操作が行われる。

冷却水は、既報¹¹⁾で報告したように約60年間取り替える事なく使われ、目減りした分量はその都度少量の水道水が追加補充^{*6}されてきた。O氏は焼入れを行うたびに新しい水を使用することはない。新しい水の中にはガスが存在し、急冷して行く途中で鑢のまわりに気泡が発生してしまうからであり、その泡が鑢の硬度に斑を生じさせるとO氏は言う。その現象は、鑢の表面に青の色斑になって肉眼でも確認できる(図13)。

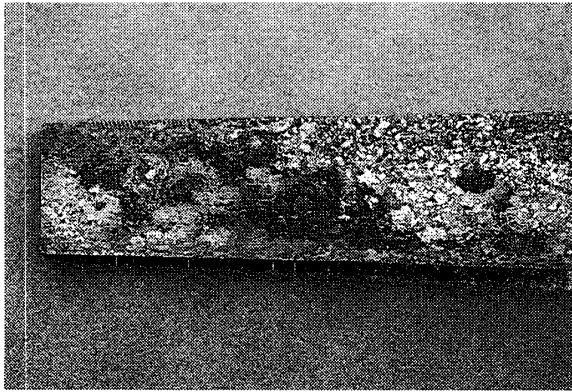


図13 水道水による焼入れ
色斑を見やすくするために、目切りを行わない鑢地を水道水で焼入れを行った。その結果、発生した気泡によって色斑が出現した。

刃物師である池上喬庸氏も「この水(冷却水)^{*7}は昭和30年以来、実に50年も一つ水を使っております。」¹²⁾と言うように長年同じ水を使用している。また目減りした水の補充後は「古い和鉄の錨や、練鉄の鎖など、大きな鉄を無駄焼きしたり、焼き延ししては焼場樽に投げ込んで、水を焼き漉しして、昨日入れた新し水が馴染む様に」工夫を行い、「焼き入れに適した気泡の出ない冷却水にして大切に使ってゆきます。」と言う。

また冷却水の温度も鍛冶屋にとって大切な一要素である。刀匠は弟子をもその場から排除し、一人で言うと言われている。「刀匠の弟子が、冷却水の温度を知ろうと焼入れの水の中に手を入れ、腕を切り落とされたという昔話」¹³⁾も存在するくらい、より優れた品物を製

作するための秘伝でもあった。刀匠の宮口靖廣氏は、冷却水の温度を「38度から40度位温めて焼入れをしました。」¹⁴⁾と述べ、その温度は「手を入れて加減するのです。」と言うように、経験と勘により確認されている。これらの言質は、刃物鍛冶が冷却水の性質とその温度をいかに重要視していたかを示すものである。

O氏の冷却水温度は、おおよそ35℃前後に保持されて焼入れが行われる。焼入れを開始する際の水温が低い場合は、はじめに低水温に影響されない300mm以上の大きな鑢を数本焼き入れを行って水温を適温まで上げる。また上昇し過ぎた水温は、途中で冷却水を攪拌したり水道水を補充^{*6}して下げられる。高温では鑢に大きな反りが生じ、適正な硬度が得られない。逆に低温では鑢に割れが入るなどのトラブルが発生する。その温度はO氏の場合、鑢とともに入れられた手の感触で感じ取ったり、急冷して行く間での鑢の曲がり具合、また冬場であれば水から立ち上がる湯気などで判断している。

前章で記述した試料により焼入れ時間と温度変化をアナログ記録計で計測した結果は次のとおりであった。鉛浴内で836℃まで加熱された後冷却水に投入、その直後から400℃までの平均冷却速度は、先端部で518℃/S、中央部で377℃/Sであった。

3.3 顕微鏡観察と硬度測定

鉄-炭素系合金、すなわち鋼はその使用目的によって炭素を約1.5mass%まで合金させた材料であり、この炭素の微量添加とその後の熱処理によって機械的性質が千変万化する特異な材料であり、古来多方面で多くの目的に応じて使用されてきた。

一般に、鑢においては切れ味を出すための硬さ、耐久性、使用時の快適性などが要求され、古来からの高炭素鋼、現代ではさらに合金鋼や特殊鋼が使用されている。これらの材

料を鑪として熱処理を施す場合、長年の経験で培った職人の技が生かされ、現代の鉄鋼材料学的根拠にも十分叶った技術が生かされている。鉄鋼材料の熱処理を施すに当たっては図14に示す鉄-炭素系状態図を理解することによってその条件を決定することができる。

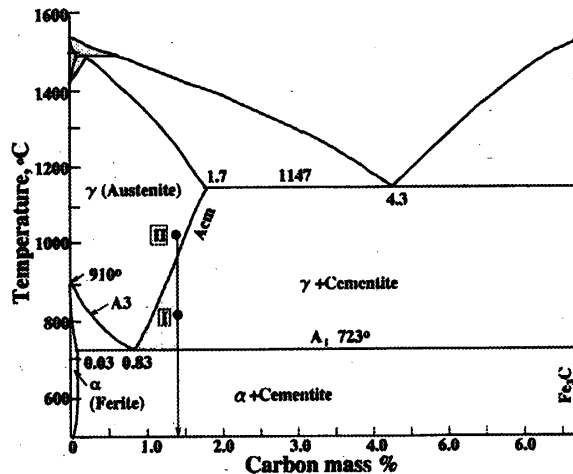


図14 鉄-炭素系状態図

先ず鑪では被切削性、すなわち1) 切削速度、2) 切削抵抗、3) 仕上げ面の粗さ程度が要求されるのでその主たる性質の一つである硬さが最も重要な要素となる。鑪には炭素含有量が約1.5%の炭素鋼が一般に採用されているので、この鋼を用いた鑪の製造工程と熱処理との関係を光学顕微鏡組織を観察しながら考察する。

熱処理の第一段階として焼なまし、または焼ならし(焼準)が行われる。既に3.1で述べたようにO氏による鑪製造の工程ではA₁温度よりわずかに高い約750°Cに加熱した鑪を予め加熱された藁灰の中に挿入し、半日を要して室温にまで冷却する。なお、この750°Cからの冷却は図14中の(I)点に相当し、この温度で適当な時間保持することによってγ+セメンタイト(Fe₃C)とするのであるが、熱処理前の母材中のセメンタイトを微細な球状に分散させる目的も含んでいる。この焼ならしをされた材料は金属組織の上でも硬さは低く、また十分な時間をかけた冷却が施されている

ので非常に柔らかく、鑪製造工程の目切り作業を容易に実施することが可能である。

次の熱処理に向けて金属組織が調整され、目切りも施された後、第2段階の焼入れ工程に入る。O氏による焼入れの方法は既に3.2で述べた通りであるが、図14中の(I)点から水中焼入れが施される。共析温度が723°CのA₁線以上約50°C高いA点はγ+セメンタイトの2相共存領域であることからこれらの相が水焼入れによって急冷されるとγは硬度の高いマルテンサイトに変態するが、セメンタイトは微細な粒状であり、その形態を高温での状態のまま冷却される。ここで重要な点はこのセメンタイトが熱処理第1段階の焼きなましと第2段階の熱処理時における温度とその保持時間によって決定され、ひいては最終の鑪の性能と寿命を決定することである。鑪として好ましい金属組織は硬度の高いマルテンサイトを地としてその中に硬度の高い微細で球形のセメンタイトが均一に分散している状態である。なお、このような組織を持つ材料は硬さは最も高いが、時に脆さが問題となる。これを解決する方法として、時には第3段階の熱処理として低温焼なまし(焼戻し)が施される場合もある。

以上、O氏が実施している熱処理を工学的な立場から検討してきたが、次にO氏によって作製された鑪の光学顕微鏡観察を行い、熱処理の妥当性を検討するとともに、図15E~Hの市販鑪の顕微鏡観察も同時に行いそれらの熱処理状態の評価を行った。

先ず、O氏による鑪地の焼なましを施した状態の光学顕微鏡組織を図15-Aおよび図15-Bに示す。図15-Aに示した試料は図14中の(II)点、すなわち約1,000°Cから焼きなましした場合であり、γ単一相から冷却されA_{cm}線以下の温度で初析のセメンタイトが網目状に出現し、それに囲まれるようにして黒色に着色されたパーライトがA₁温度で析出する。なお、このパーライトはA₁共析変態によりフェ

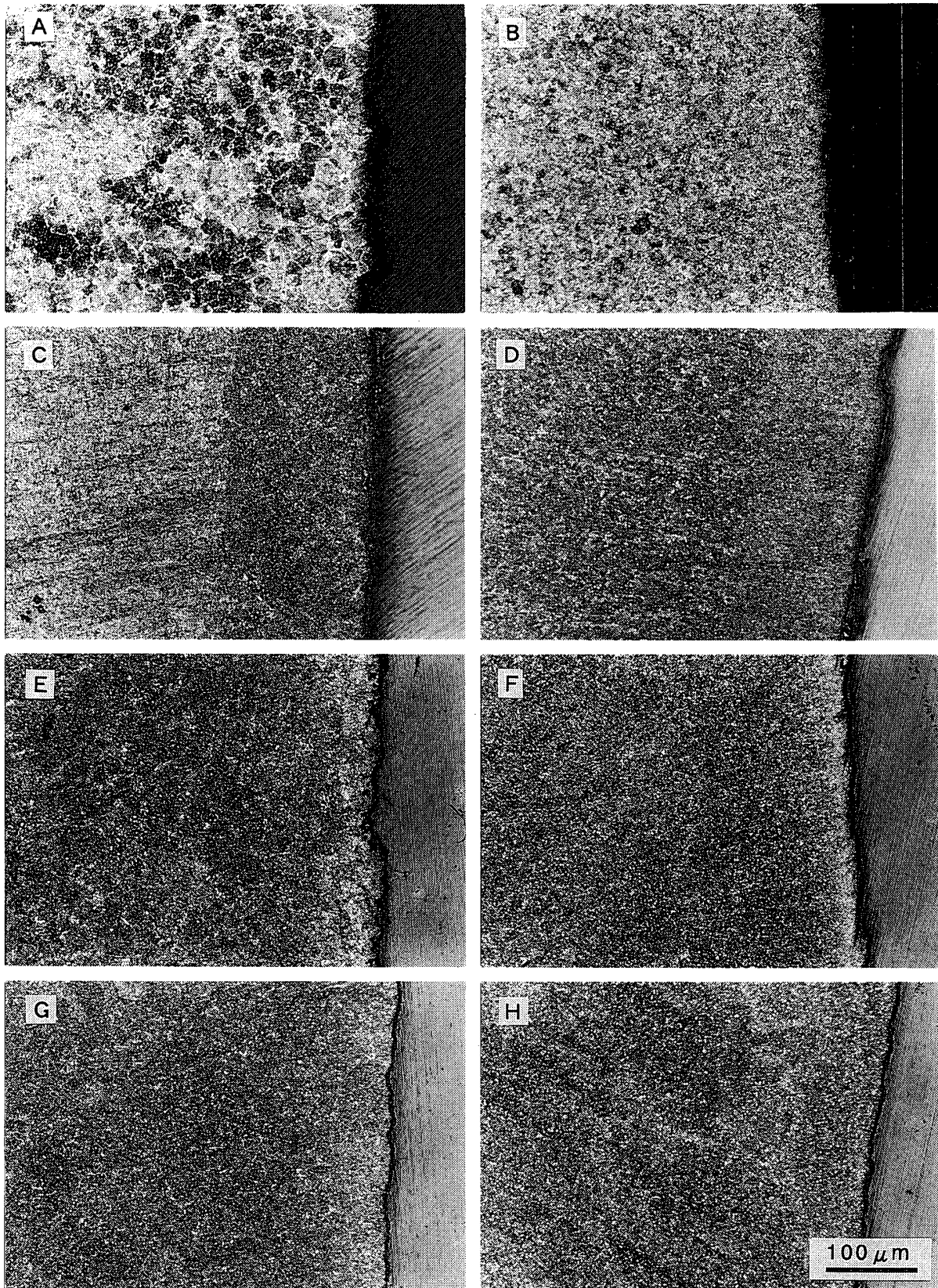


図15 鍍素材の各種熱処理による顕微鏡組織

A : 普通炭素鋼(1,000°C—炉冷)

B : 普通炭素鋼(800°C—炉冷)

C : 普通炭素鋼(1,000°C—水焼入れ)

D : 普通炭素鋼(820°C—水焼入れ)

E~H : 市販品(焼入れ条件不明)

ライトとセメンタイトの層状組織からなっている。また高温にまで加熱後冷却したために網目状のセメンタイトに相当する結晶粒界は大きく成長している。一方、図15-Bは同じ鋼をA₁線上の約800°Cにまで加熱後冷却した試料であり、組織は非常に微細である。これは800°C保持により母材に存在したセメンタイトの分解と状態図に従った微細で球状のセメンタイトに再析出するとともに冷却中A₁変態による微粒のパーライト組織に変化したものである。

図15-CおよびDはO氏によりそれぞれ図15-AおよびBに相当する温度から水焼入れした組織写真である。O氏による試料の焼入れ組織の特徴は次に述べる市販の鑪と比較して、鑪表面と内部の腐食状態が異なっている点である。すなわち表面相約200 μmの厚さ内では均一で微細なセメンタイトがマルテンサイト中に分散するようにして存在する。鑪内部の組織が比較的不均一となっている。なお、図15-Cに示した試料の表面相には網目状の初析セメンタイトが存在しているが、これはO氏が熱処理の悪い例として故意に作製したものである。

図15-E~Hは機械製作された市販の鑪に関する光学顕微鏡組織である。これら4種類の鑪に共通している点はいずれも鑪表面と内部が均一で比較的微細な組織を示していることである。ただし、図15-Eでは明らかな網目状の初析セメンタイトの痕跡が残っており、また図15-Gで示した試料にもわずかにその痕跡が観察される。一方、図15-FおよびHで示した試料では、微細で球形のセメンタイトがマルテンサイトの中に均一に分散しているのが観察された。

以上の顕微鏡観察により、O氏が採用している鑪の主たる鋼材は普通炭素鋼であり、市販されている鋼の鋼材は合金鋼と判断される。O氏が採用している主たる鋼材が普通炭素鋼であるのは歴史的にこの鋼材が安価であり、かつ高級な合金鋼が開発されていなかったこ

とによるものと考えられる。一方、市販品の鋼材が合金鋼と判断されるのは顕微鏡観察の結果から明らかなように微細な組織になっている点である。Mo, Mn, Cr等の合金化により焼入れ性が改善される¹⁵⁾ことは良く知られている。このような合金鋼には普通炭素鋼に求められる厳しい焼入れ条件は必要なく、そのために欠陥の少ない安価な製品が大量に生産される結果に繋がったものと考えられる。

また本研究で取り上げた鑪の硬度(表1)は、最高でHv887から最低でHv854であり、O氏の鑪と市販品それぞれの間には多少のばらつきは現れたが、大きな違いは認められなかった。またO氏の焼鈍したA, B 2種類の硬度はHv249とHv213であり、熱処理の悪い例として過熱ぎみに焼鈍された普通炭素鋼Aは初析セメンタイトが網目状に粗く出ている

	ピッカース硬さ (Hv)	ロックウェル (HRC)
A	249	22.2
B	213	13.4
C	885	66.4
D	866	65.9
E	862	65.9
F	887	66.4
G	870	66.4
H	867	65.9

表1 マイクロピッカース硬さによる硬さ試験

ためBに比べ硬度が高いものと考えられる。

4 おわりに

本稿は手打ち鑪製作工程中、切削性を左右する「目切り」とともに重要な熱処理として「焼鈍」と「焼入れ」を取り上げて調査と検討を行った。この工程は製作者個々の工夫により独特の製作法となった。またその勘所は多くが秘伝となって他者に公表されることが少なかった。その伝達方法も師匠の行動や口伝であり、たとえその理屈が解ったとしても

微妙な温度管理やタイミングの取り方等で得られた製品に差が生じてしまう。筆者等の一人が使用しているO氏の鑪は、被切削物に吸い付くような感触や心地良い切削抵抗が得られ、快適に作業を行うことができる。その製作技術はO氏の勘や工夫、長年の経験で培った技である。O氏の熱処理工程中の加熱温度や冷却方法、時間の調査や硬度の計測及び組織観察を行った結果、工学的にも理にかなっていることが解明できた。

以下、光学顕微鏡組織観察などから、O氏ならびに機械製作による市販の鑪を総合して評価すると次のような結果と考察が成り立ち、それらを箇条書きにすると次のようになる、

- 1) 鑪としての切削性は図15-Dで示したO氏による鑪表面の顕微鏡組織が最も微細で均一である。
- 2) O氏による鑪の内部は十分に焼きが入っていない。すなわち鑪の内部は顕微鏡観察から硬さが低いものと判断される。従って氏の鑪を使用する側の感想である使い

やすい、疲れないという点に繋がるものと判断される。このように一般では再現困難な熱処理技術はO氏独特のものと判断される。

- 3) O氏が熱処理の悪い例として作製した図15-C, 市販品である図15-EおよびGには網目状の硬くて脆いセメンタイトが存在する。このように脆い相が網目状に存在する場合には鑪としての刃先が欠損しやすい点に繋がる。
- 4) 市販品すべて共通している点は、鑪表面から内部まで均一に焼入れされた組織を示しているが、これは焼入れ性を改善するためにMo, Mn, Cr等を添加した合金鋼を採用しているものと判断される。

謝 辞

本研究に際し、岡崎鑪製作所 岡崎喜久治氏に調査協力及び試料提供をしていただき深くお礼申し上げます。

注 釈

- * 1 ()内は筆者等が補足したものである。
- * 2 異種の材料を接続してその接点に温度差を与えると、この回路に電流が流れ、この起電力は温度差にほぼ比例するので、この関係をあらかじめ知っておけば起電力から逆に温度を知ることができる。(金属術語辞典 アグネ社)
- * 3 焼鈍炉の中には既に30本の鑪が入っていた。
- * 4 製作毎による誤差は、塩、味噌は±5 g程度である。
- * 5 それ以上曲がらないように押さえたり、より曲がるように力を加えて促進させたりする。
- * 6 ()内は筆者等が補足したものである。
- * 7 水道水が補充されても少量であれば、ガスの発生に関して影響ないとO氏は言う。

引用・参考文献

- 1) 中村滝雄・横田勝：「鑪の目切りについて」, 高岡短期大学紀要, 第10巻, p.49~68
- 2) 池上喬庸：「江戸鍛冶の注文帳」, 「木工塾」内, 伝統技術研究会, 1992, p.46
()内は著者らの注
- 3) 同上 p.47

- 4) 中村滝雄：「手打ち鑪の製法と背景についての調査」, 高岡短期大学紀要, 第7巻, 1996, p.136
- 5) 同上 p.143~144
- 6) 同上 p.144
- 7) 大和久重雄：「熱処理ノート」第2版, 日刊工業新聞社, 1996, p.64, 203~204
- 8) 鈴木卓夫：「作刀の伝統技法」, 理工学社, 1994, p.3-45
- 9) かくまつとむ：「鍛冶屋の教え」, 小学館文庫, 1998, p.207
- 10) 池上喬庸：「江戸鍛冶の注文帳」, 「木工塾」内, 伝統技術研究会, 1992, p.74
- 11) 中村滝雄：「手打ち鑪の製法と背景についての調査」, 高岡短期大学紀要, 第7巻, 1996, p.144
- 12) 池上喬庸：「江戸鍛冶の注文帳」, 「木工塾」内, 伝統技術研究会, 1992, p.123
- 13) かくまつとむ：「鍛冶屋の教え」, 小学館文庫, 1998, p.197
- 14) 雄山閣編輯局：「日本刀剣の研究」, 雄山閣, 1934, p.174
- 15) 岡本正三：「鉄鋼材料」, コロナ社, 1953, p.122

Some Observations on the Heat Treatment Process Used in the Process of Making Handmade Files

Takio NAKAMURA and Masaru YOKOTA

(Received October 15, 1998)

ABSTRACT

In order to make handmade steel files from high carbon steel alloys, the heat treatment process is of primary importance. However, due to the small production volumes involved in the production of hand crafted steel files, and the shroud of secrecy that often was perceived to be necessary to protect the proprietary knowledge of individual craftsmen, many aspects of the heat treatment knowledge were not opened to the public. In this paper, we will describe the techniques used in one of the most prominent traditional metalworking foundries in the area—the Okazaki foundry in Takaoka. The techniques described include, annealing, quench hardening, hardening, and engraving; in addition, optomicroscopic observation is used to monitor the hardening process. The paper thoroughly describes how the skillful use of these temperature sensitive heat treatment techniques produce superior quality handmade files.

KEY WORDS

handmade files, heat treatment, annealing, quench hardening, salt mixture, lead bath, hardness, microscope observation,