

中学校技術科における熱処理方法の検討

深川和良*・満永純乃介**・伊豫谷拓実***

(2022年11月16日 受理)

A Study of Heat Treatment Method for Technology Education

FUKAGAWA Kazuyoshi, MITUNAGA Junnosuke and IYOTANI Takumi

要約

現在の中学校技術・家庭科（技術分野）において、材料と加工の分野では多くが木材を用いたものづくりがおこなわれている。この背景には、授業時数の削減や取扱う内容の増加、教材整備の停滞など複数の要因がある。さらに教員も木材以外の材料を用いた授業経験が乏しくなり、必修でないことも影響することから避けられる傾向にある。

筆者らは金属材料を用いたものづくりを普及させるべく、伝統的技術を内包した教材として鹿児島県の伝統的工芸品である刃物に注目し製作題材とした。教材化にあたっては、教育現場で容易に用いることができる機材が望ましいことから、学校で保有率が高いもの、あるいは入手性の良いものを念頭に作業方法などを考案した。結果、刃物製作で重要な熱処理工程での課題が残ったことから、本研究では硬さ試験や金属組織の観察からその原因を明らかにし、技術科における熱処理方法について検討した。

キーワード：金属加工、伝統的技術、刃物製作、熱処理

* 鹿児島大学 法文教育学域 教育学系 准教授

** 鹿児島県立奄美高校 教諭

*** 東広島市立高美が丘中学校 教諭

1. 緒言

中学校の技術・家庭科の技術分野（以下、技術科）は学校教育法施行規則および学習指導要領改訂のたびに実質的な授業時間の削減を伴い、学習の質、量の低下が危惧されている。特に「材料と加工」の内容では木材を対象とした内容が多く扱われ、ほとんどの製作題材は木材を材料としている¹⁾。学習指導要領には木材に限らず、金属材料やプラスチックも扱うよう記載されている²⁾が、実態との乖離が明白となっている。加えて、技術科教員の中堅とされる年代以下では金属加工の授業経験がほとんどない³⁾。このような状況が継続すれば、近い将来に授業だけでなく授業ができる教員そのものが不在になることも否定できない。このような背景から、現状の教育環境で容易に導入可能な機材や工具等を用い、なおかつ教員および生徒が興味・関心を抱く教材の開発が喫緊の課題となる。そこで、伝統的技術を内包した教材として鹿児島県の伝統的工芸品である刃物に注目した。

伝統的工芸品は国指定伝統的工芸品と県指定伝統的工芸品として定められているが、鹿児島県の場合は金属加工と関連する工芸品は県指定の打ち刃物と呼ばれる加世田鎌・加世田包丁、種子鋏などがある⁴⁾。筆者らは、同じく県指定伝統的工芸品である薩摩深水刃物⁴⁾に注目しその工程や技術・技能なども調査した。一方、学習指導要領においても、技術に込められた問題解決の工夫について考える学習で日本の伝統的な技術を扱うことが紹介されている²⁾。伝統的工芸品は、地域に受け継がれてきた文化や技術を具現化したものであり、現在も生活や産業界で活用されているものもある。このようなことから製作題材とすれば、製作時の技術・技能やその過程で得られる能力の習得だけでなく、技術・技能が発展し伝承されてきた経緯の理解、また製作後に日常的に使用できることから、その使用の中で道具に対する工夫を感じることもできる。加えて、技術や歴史的な視点から道具や地域に興味を持つことも期待でき、主体的な学びを広げていくことも考えられる。

実際の刃物製作においては、主要な工程として「切断」、「鍛造」、「研削」、「熱処理」などで構成されており金属加工の基礎的な技術を包括している。生産工程において機械を導入する以前は手作業で製作されており、刃物としての品質や機能を高い水準で求めなければ技術科で扱う基本的な技術・技能でも製作可能である。すなわち、技術・技能を学ぶ教材として十分期待できる。特に、材料特性を改善し製品の機能向上に寄与する熱処理は、製品に付加価値を与える重要な技術である。しかしながら、熱処理の技術は非常に難しいため、製造現場や製造者ごとに独自の知見や技術・技能を保有していることも少なくなく、機密扱いとしていることも多い。特に、測定技術が確立していない時代では、定量的に評価、管理することができないため、製品の品質は製造者の技量に大きく左右された。このように刃物の品質としての最適化は難しいが、材料特性を変化させる技術は技術科の扱う内容として興味深く、技術科の教科書でも掲載されている⁵⁾。

以上のことから、技術科の授業として導入できるように工程、作業方法および使用機材の検討を行ってきたが⁶⁾、検証により熱処理工程で課題が残っていることがわかった。そこで、熱処理工程について見直し、新たにその作業方法について検討、提案を行った。

2. 刃物における熱処理

刃物には硬さと強靭さが求められることから材料として刃物鋼、工程として熱処理が必須となる。刃物鋼は熱処理に適した組成が求められ、十分な硬さを得ることができる炭素を含んでいる必要がある。これは、硬さの起因となるマルテンサイト組織を得るためである。ただし、マルテンサイト組織は炭素を含んでいるだけではなく、組織内の炭素が過飽和状態になっている。そこで、この組織を得るために、材料を加熱することで組織を一時的にオーステナイト組織に変え、臨界冷却速度以上の速さで急冷する。徐冷であれば、オーステナイト組織に固溶されていた炭素が拡散し、炭素含有量の少ないフェライト組織に変態するが、冷却速度が速いため、炭素の拡散が抑えられ無拡散変態となりマルテンサイト組織となる。このマルテンサイト組織は、炭素が過飽和状態のため組織が歪み、炭素量も多いために非常に硬い組織となる。この工程が焼入れあり、水で急冷する場合は水焼入れと称される。しかしながら硬い材質は脆いため、このままでは容易に刃こぼれが生じる。そこで、刃物の場合は、焼入れの後に 200℃程度に再加熱、保持を行うことで硬さを減じ、じん性を与える焼戻し（低温焼戻し）と呼ばれる処理を行う。

以上の処理は、刃物の特性を決める重要な工程であり、材料の種類や形状、目的などで条件が変わる非常に難しい技術でもあることから、打ち刃物では製作者の技量が問われ品質に直結する。

3. 製作について

3.1 材料

材料は三層構造の利器材を用いた。これは、図 1 のように刃物鋼の両面を軟鋼で挟んで熱間圧延を行うことで金属学的に接合（固相接合）しているクラッド材であり^{7,8)}、刃物鋼は白紙 2 号である。利器材の組成を表 1 に示す。なお、推奨される熱処理条件は焼入れ温度が 760～800℃の水焼入れ、焼き戻し温度は 180～220℃である⁷⁾。

表 1 利器材組成⁷⁾

元素	C	Si	Mn	P	S
白紙 2 号 ⁷⁾	1.05~1.15	0.10~0.2	0.20~0.3	0.025 以下	0.004 以下
軟鋼	0.06	0.01	0.25	0.011	0.06

* 軟鋼の組成はミルシートを参照

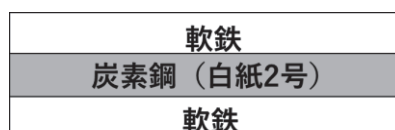


図 1 利器材構造

3.2 工程

学校現場では専用の機材を用意することが出来ないので、現状の環境で整備されているか、あるいは入手しやすい備品や道具で製作工程や作業方法を検討する必要がある。技術科の授業を想定して考案した工程例を表 2 に示す⁶⁾。

表 2 工程例

工程	概要
(1) 切断	弓のこによる利器材の切断
(2) 鍛造	木炭を燃料とした熱間鍛造
(3) やすりがけ	金工やすりによる成形、刃立て
(4) 熱処理	泥塗り後、焼入れ、焼戻し
(5) 砥ぎ	柄の接合後、砥石による刃立て

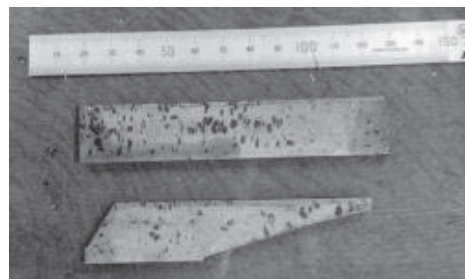


図 2 上：切断前形状
下：切断後形状

(1) 切断

利器材を直線で構成されたおおよその刃物形状に弓のこで切断する。利器材の寸法は厚さ 3mm、幅 20mm、長さ 110mm であり、刃渡りが 60mm 程度になるサイズを想定した。図 2 に利器材と切断後の形状を示す。授業時数により、帯鋸盤（コンタマシン）などで教員が事前に切断した材料を用いる場合は省略できる工程となる。

(2) 鍛造

木炭を熱源として被加工材を赤熱後、金床上に火造り箸で被加工材を固定し金工ハンマーで打撃を与え成形する。目標とする厚みまで繰り返すが、厚みはやすりがけ時の固定具として用いるアングル材に基準となる溝を設け、この溝で成形時に確認する。鍛造の様子を図 3 に示す。

(3) やすりがけ

アングル材にボルトで被加工材を保持する固定具と万力を併用することで被加工材を水平に固定した（図 4）。金工やすりは、粗目、中目、細目を用い、刃物形状への成形と刃立てを行う。

(4) 熱処理

焼入れは鍛造と同じ炉を用い、水焼入れを行う（図 5）。焼戻しは食用油と家庭用調理器具（フライヤー）を用い、焼戻し温度を 180℃、時間は 20 分とした。その待機時間中に木製丸棒で柄の製作を行う。柄には、中子を差し込むための穴を空けておく。

5) 柄付け

熱処理後は中子をバーナーで加熱し、図 6 のように柄に差し込むことで接合する。

(6) 砥ぎ

砥石による刃立てとなり、仕上げの工程になる（図 7）。最後にコピー用紙にて切れ味を確認した。完成品例を図 8 に示す。刃物形状は、安全面を考慮し切先は丸みを帯びた形状としている。



図3 鍛造



図4 やすりがけ



図5 水焼入れ



図6 柄付け



図7 砥ぎ



図8 完成品例

4. 熱処理について

4.1 検討対象

熱処理は被加工材を加熱するために炉が必要になる。この炉は鍛造でも用いるため、1000℃程度までの加熱が要求される。授業への導入を鑑み、簡素で入手の容易な機材を用いることを念頭に七輪、耐火煉瓦、U字溝を候補とした。燃料は木炭を用いる。いずれも、ホームセンター等で入手できる。なお、送風は電動の送風機（出力：550W）を用いた。

(1) 七輪

最も入手性に優れている。原料は主に珪藻土であり構造上断熱性が高い。直径 285mm、高さ 245mm の寸法形状のものを用いた。

(2) 耐火煉瓦

保管場所を確保しやすいように、都度、炉の形状に組み立てることを想定した。今回は、耐火度：SK-32、荷重軟化点：1420℃、寸法：230×114×65 の耐火煉瓦を用いた。

(3) U字溝

プレキャストコンクリート U 形 1 種 180 (U 形側溝) を用いた。価格的には優位だが、最も大きく重量もあり、取扱いづらさや保温性は他に劣る。



図9 七輪



図10 耐火煉瓦

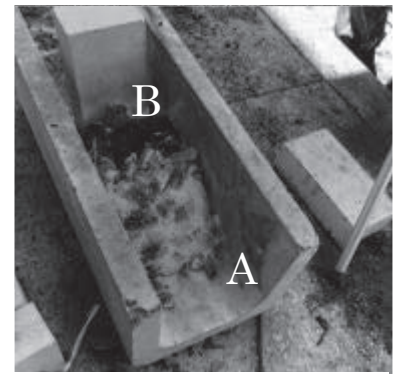


図11 U字溝

5.2 評価

作業性、炉内の温度測定、そして実際に熱処理性を評価するために、炉内温度の測定と熱処理後の組織および硬さ試験を行った。

(1) 加熱性能について

炉内温度を、サーモグラフィ (KEYSIGHT 社製、U5857A TrueIR 赤外線サーモグラフィ、温度測定範囲：-20～1200℃) で測定した。電動送風機で 5 分程度の送風後に測定した各温度分布を図 12～14 に示す。

これらの図より、全ての炉において推奨とされた焼き入れ温度の下限 760℃を超えていることがわかる。しかしながら、特に耐熱煉瓦と U 字溝では温度分布状況が均一ではなく刃物の挿入箇所を適切に選択する必要がある。これは、被加工材が適切な温度まで加熱できないこともあり、複数人が作業する上で非効率な状況を招くことになった。

(2) 作業性について

今回は、4～5 人を 1 グループとして 1 つの炉を使うことを想定した。鍛造時は複数回に渡り加熱と打撃を繰り返すが、鍛造時の温度が低くならないように素早く被加工材の加熱を行う必要があることから、ある程度は炉の近くで作業することが望ましい。一方、金工ハンマーで打撃を加えるために、作業者間の距離をある程度空けておかなければならない。七輪の場合は炉のサイズが小さ

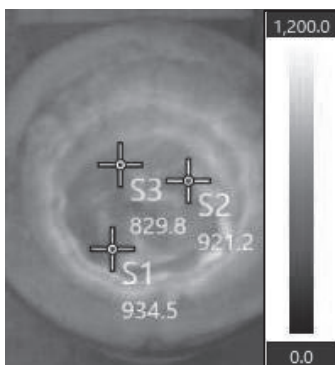


図12 七輪温度分布



図13 耐火煉瓦温度分

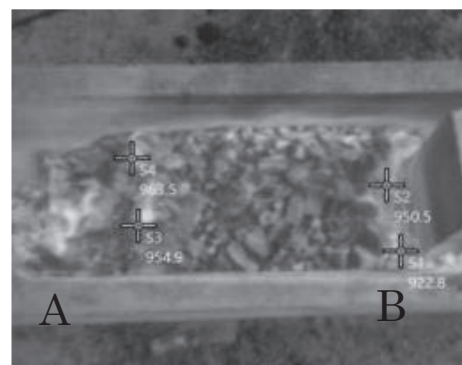


図14 U字溝温度分布

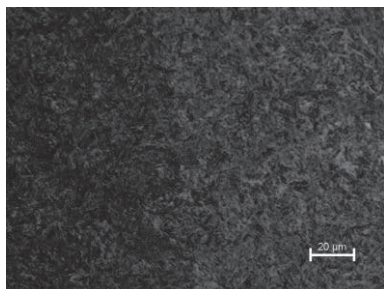


図 15 専用機材(882HV0.5)

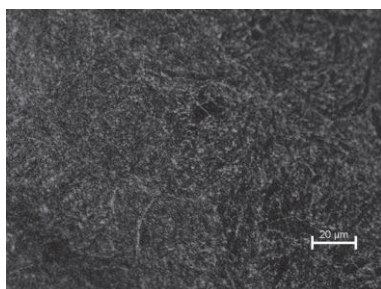


図 16 耐火煉瓦(319HV0.5)

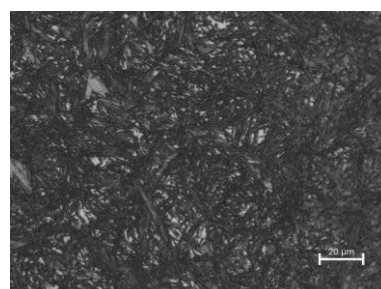


図 17 U字溝(933HV0.5)

く、炉を囲むように作業をすると各作業者の間隔が狭いため、鍛造時の作業性や安全性に課題が残った⁶⁾。耐火煉瓦とU字溝については、サイズの的にも作業性においても実用上問題がないことが確認できた。以上から、今回は七輪を不適だと判断し、金属組織および硬さ試験は耐火煉瓦とU字溝に限って行った。

(3) 金属組織および硬さ試験

水焼入れ後、フライヤーにて180℃の温度で20分の低温焼き戻しを行った刃物の硬さ試験（マイクロビッカース）を行った。比較対象として、実際に刃物を製造している企業に依頼し、筆者らが成形した刃物が熱処理（金属溶湯バス）されたものを用意した。試験片は、刃物製作後に低速精密切断機で切り出し、樹脂埋め後、研磨により鏡面仕上げとし、3%ナイトール液で10秒のエッチングにより得られたものである。図15~17に得られた金属組織の写真を示す。企業による熱処理は短時間で焼入れ温度まで加熱、保持し、焼き戻しは筆者らよりも高い温度、長い時間を行っていた。得られた組織は微細な焼き戻しマルテンサイト組織であり、硬さも刃物として適切な硬さであった。一方、耐火煉瓦は硬さが800HVを超えることもあったが、複数製作し評価した結果、半数程度が不十分な硬さであることがわかった。図16は一例であるが、マルテンサイト組織が得られておらず、焼入れ温度が不十分であることが予想された。原因として、炉内の温度分布のばらつきが大きく、複数の被加工材を同時に加熱すると適切な場所に挿入できず十分な温度上昇が得られないことが考えられる。U字溝は温度分布のばらつきはあるものの、被加工材の適切な挿入位置がわかりやすいこともあり十分な硬さが定常的に得られた。しかしながら、図17のように図15に比べ組織が粗く硬いことがわかった。今回のような炉の場合は温度調整が困難であり、また焼き戻しについても室内にて家庭用フライヤーで食用油を用いたことから、油煙発生を考慮し焼き戻し温度の下限で行った。このことから、企業による熱処理に比べ焼入れ温度が高く比較的長時間の加熱、保持であること、焼き戻し温度が低いこと、あるいは焼き戻し時間が短いことなどが考えられる。このように差異はあるが、教材としての実用上、刃物としての硬さが確実に得られるU字溝は適切であると判断した。

5. 炉の改善

作業性と熱処理の安定性から検討した3種の炉の中ではU字溝を用いる炉が最も適しているこ

とが分かったが、生徒が作業をすることを考慮しより確実な熱処理が実施できるように温度分布の不均一を改善する方法を検討した。U字溝の不均一な温度分布は、開口部からの送風が重ねられた木炭の表面の一部（図 11、14 におけるスロープ状になっている A と壁際の B）には効率良く送られるが、それ以外の箇所は空気量が不足していることから生じている。そこで、導入が容易になるよう可能な限り簡素な形とした、炉内への均一な送風を得るための図 18 のような送風管を考案した。これは、25A の鋼管（配管用炭素鋼鋼管：SGP）に千鳥配列で間隔 20mm、長さ 25mm の複数のスリットを設けたものである。このスリットは、一般的な切断機で加工が可能であり、ボール盤や電動ドリルによる穴あけより容易に加工できる。これを重ねた木炭に差し込むように配置し、従来と同様に電動送風機にて送風を行うことで重ねた木炭内に均等に空気を送り込めるようにした。外観と温度分布状態を図 19、20 に示す。図 20 から、図 14 と比べて温度分布が均一になっていることが確認できる。これにより、複数の刃物を効率良く容易に焼入れできるようになった。

6. まとめ

熱処理の方法を見直し、授業でも導入し易い簡素な炉を考案した。熱処理による硬さの変化は、熱処理の前後で刃先以外の箇所に金工やすりでやすりがけをすることで違いを体感できる。熱処理としては刃物として硬さがやや高すぎるなど不十分な点も予想されるが、技術科の授業として、金属材料の改質を体験的に学ぶ上では十分有効である。刃物製作は、製作後もその取扱いについて安全面の指導が欠かせず、十分な配慮や保護者の理解、協力などが必要であるが、有益な題材と言える。



図 18 送風管



図 19 改善された炉の外観

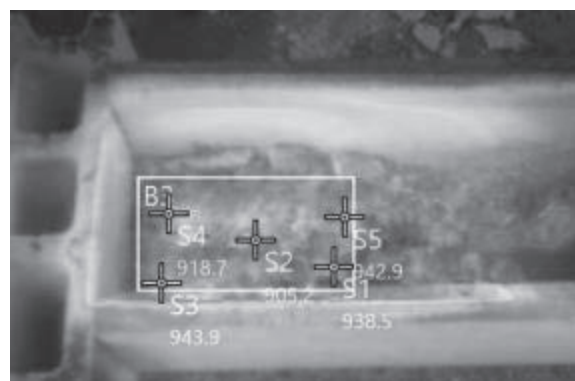


図 20 改善された炉の温度分布

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP20K02918 の助成を受けた。また、鹿児島県内企業より助言および技術指導、工業高校では授業実践での協力を得た。ここに記して謝辞を表す。

参考文献

- 1) 全日本中学校技術・家庭科研究会研究調査部：公共社団法人全国中学校産業教育教材振興協会「平成 26 年度中学校 技術・家庭科に関する第 3 回全国アンケート【技術分野】調査報告書」，(2015)
- 2) 文部科学省：中学校学習指導要領解説技術・家庭編
- 3) 深川和良・福永麻衣果：鹿児島県における中学校技術科の金属加工の教材に関する調査研究 — II:教材利用について—，日本産業技術教育学会九州支部論文集，25，(2017) 51-55
- 4) 鹿児島県：伝統工芸品，<http://www.pref.kagoshima.jp/kids/sangyou/dentoukougei.html>，(2022 年 11 月 14 日確認)
- 5) 竹野英敏ほか：文部科学省検定教科書「技術・家庭 技術分野」，開隆堂出版，(2021)
- 6) 満永純乃介・竹之内大輝・深川和良：中学校技術科における伝統的技術について学ぶことのできる授業の検討 — 刃物の製作について—，日本産業技術教育学会九州支部論文集，28，(2022) 37-42
- 7) 山陽利器株式会社：製品カタログ
- 8) 川並高雄・吉原征四郎：圧延クラッド材の製造技術，鉄と鋼，74-4，(1988)，27-33