刃物の切れ味の研究（第2報）薄板刃物の曲げ
試験と切れ味，仕上り性並に耐久力について

川 北 宇 夫*

Takao Kawakita : On the Bending Test, Sharpness, Finishability and Durability
of Thin Blade Cutleries (2nd Report). Carbon steel tape of 0.13 mm thickness was
quenched on a watercooled iron plate under varying drawing speed, quenching temperature and

* 京都大学理学部化学教室金相学研究室

tempering temperature. Razor blades were made of these samples, and the relationship between the sharpness and the bending test results was studied. The finishability of cutlery had much to do with the brittleness of the material. Concerning the finishability, the material must not be too brittle or too tenacious as well; it must break in a certain range in bending tests. Bending tests revealed sharply the remarkable difference among the samples which showed almost equal values in hardness tests. The optimum condition was strictly determined by bending tests.

(Received September 28, 1956)

I. 緒 言

著者はさきに刃物の初期切れ味試験機について発表した⁽¹⁾。本多氏等⁽²⁾⁽³⁾も述べておられる通り、刃物においては初期切れ味の他に耐久力が問題となる。熱処理を施した鋼に刃付けを行う場合、熱処理条件が上記初期切れ味と耐久力とに大なる影響を及ぼすことは容易に想像される。著者は薄刃物、例えば安全剃刀などの場合に熱処理が切れ味の2要素に及ぼす影響を曲げ試験の方法を導入して考察を行った。

なお刃物を研磨する普通の工程はまず鋼をグラインダーなどで大体の刃の形に削り(荒刃付け grinding)、次いで細かい砥石で砥ぎ(中砥 honing)最終的に革、フェルトなどに研磨剤を塗って砥ぐ(仕上げ finishing)。場合によっては中砥無しに荒刃付けより直接仕上げが行われるが、この仕上げの場合、仕上げし易いものとし難いものとがある。この仕上り性 finishability (仮称)をも考察の対象とした。

II. 実験方法

1. 試料

試料は厚さ 0.13 mm, 幅 23 mm の磨帯鋼でその組成は 1.21% C, 0.20% Si, 0.34% Mn, 0.22% P, 0.013% S, 0.48% Cr で、その顕微鏡組織は 2 μ 程度の球状セメンタイトが分布しているスフェロイドイトである。

試料の処理は安全剃刀製造に普通用いられている方式を採用し、連続的に 800~1000° に 1 min 加熱後定盤焼入した。引出し速度は 275, 410 および 550 cm/min の3種類とし冷却条件を変えた*。焼戻は 200°, 300°, 400° の塩浴中で 5 min 行つた。

2. 曲げ試験

焼入れた鋼の薄板の両端を Fig. 1 a に示す如く軽く支持して一端より力を加えると一定の力に至つて始めて b に示す如く薄板は曲り始

Fig. 1 3 stages of bending test.

め、後は力に比例して圧縮が起るが、c に示す如く両端が点でなく面で接触し始めると力と圧縮距離とは正比例しなくなる。いま薄板に加わる力を F とし、圧縮距離を L とし

Fig. 2 3 types of F-L curves.

すなわち図の a 点の如く F が小なる間は全然圧縮が起らないが b 点に至つて始めて圧縮が起り、b' の後しばらく F, L は直線関係を示し c 点より曲線は横に寝てくる。試料に加える熱処理の条件によつては、あるものは曲線 b c 間において破断してしまうものもある。bcd の曲線に沿つて曲がつた試料は逆に荷重を減じてゆくと、d c b に沿つて復元するが、試料によつては b c d e f の如く履歴現象を示すものもあり、極端な場合には b c d g h の如く永久変形を起してしまうものもある。

3. 切れ味および耐久力試験

初期切れ味は前報⁽¹⁾の糸切試験機で測定した。糸はカタン糸を用い、これを切断するに要する力をグラム単位で表した数字を糸切値とした。耐久力試験は本多式紙切試験機で行つた。紙は G ロール紙を用い、ストロークは 2 cm, 荷重は 500 g で繰返し紙切試験を行い切られた紙の枚数の減少を以て耐久力を測定した。

4. 硬度および刃先の検鏡

硬度は微小硬度計で測定し、刃先の観察は金属顕微鏡で行つた。よく仕上がった刃先を横からみると一直線になつているが、仕上りの悪いものでは刃先にペラが残つていたり、或いは刃こぼれが出来ていたりするのが観察される。

III. 実験結果

1. 曲げ試験

(1) 焼入温度の影響

Fig. 3 Relation between F and L affected by quenching temperature and drawing speed.

- (1) 岩瀬, 川北, 本誌, 18(1954), 1, 25.
- (2) 本多, 高橋, 奈良, 金属の研究, 3(1927), 465.
- (3) 堀井, 金属 (1955), 211.

* この実験範囲では、焼入温度が変らなければ引出し速度が大なるほど冷却が少しく緩くなると考えて大差ない。

800~1000° の各温度より焼入れたものの曲げ試験の結果を Fig. 3 に示す。たゞし各曲線は原点が 5 mm づつずらしてあり(以下同じ) 図中焼入温度の次に記した S, M および F はそれぞれ 275, 410 および 550 cm/min の引

出速度で焼入したものを示す。曲線が途中で急に垂直に上昇、切れている点はそこで試料が破断したことを示す。

Fig. 3 によれば試料の全部は Fig. 2 の b, c 間で破断しており、同温度より焼入れたものは引出速度が速いほど破断点が上つており焼が甘いことを示す。また焼入温度が高くなるにつれ破断点は下り、焼がよく入っている。なお荷重のかけ方は水圧により自働的に行つたので、荷重のかゝる時間の影響は殆んど無視して差支えない。

(3) 焼戻の効果

次に引出速度 410 cm/min M で焼入れたものを 200° で 5 min 焼戻し曲げ試験を行つた結果が Fig. 4 である。これによれば 800° 焼入れのものは靱性が附与され、500 g の荷重をかけても破断は起らず、荷重を減ずると履歴現象を呈する曲線を示す。850~1000° 焼入れのものは、焼入の

Fig. 4 F-L curves affected by tempering at 200°.

Fig. 5 F-L curves affected by tempering at 300°.

Fig. 6 F-L curve of the samples tempered at 400°.

る。次に 300° に焼戻したものは Fig. 5 に示す如く履歴現象は 200° に焼戻したものよりも大となり、850° 以上より焼入れたものでも 500 g の荷重では破断は起らない。またその曲線は焼入温度が

異なつても大差はなくなる。400° に焼戻したもの (Fig. 6) はさらにこの傾向が大となる。構造用鋼の焼戻しは多くの場合最低 400° であるが、特殊用途のもの例えば利器などは 200° の焼戻しも行われている。本実験 Fig. 3, 4, 5 を対照すれば 200° の如き低温焼戻しを行つても靱性が可なり増加することが明らかに示される外、急冷のものほど焼戻温度が高くないと靱性の増加が大とならないことが示されている。

2. 硬度並びに顕微鏡組織

引出速度 410 cm/min M で各温度より焼入れたものの並びに 200°, 300° で焼戻したものの硬度測定の結果 (Fig. 7) によれば、焼入れたままのものの硬度は焼入温度の如何に拘らず 900 前後の値を示し、硬いマルテンサイトが出

来ていることを示す。200° 焼戻しのもは焼入れたままのものと殆んど硬度差はないが、300° 焼戻では明らかに硬度は低下し可成りの組織変化があることを思わせる。

Photo. 1 は組織の一例で、850° 焼入れ 300° 焼戻しのもの

Fig. 7 Relation between hardness and tempering temperature.

Photo. 1 Microphotograph of the sample quenched from 850° and tempered at 300°.

の電子顕微鏡写真であるが、典型的な焼戻しマルテンサイト組織の地に 1μ 程度の球状セメントイットが分布している。

3. 初期切れ味試験

前述の各温度より焼入、焼戻した材料について、これを荒刃付後酸化クロムを塗つた革の自動研磨機で仕上げを行い刃を作り、このものにつき切れ味試験を行つた。たゞし荒刃付の角度は 13.5° であり、革で仕上げる際は Fig. 8 の如く最初 A なる革の研磨車で刃の上面を、次に B 車で下面を、繰り返して研ぎ上げる。これらは自動的に行う故研磨条件は全く等しいと見て差支えない。

Fig. 8 Diagrammatic representation of finishing.

仕上げ後の刃を検鏡すると刃先が一直線のものもあるが、熱処理条件によつては脆いため刃コボレがあつたり、或いは粘過ぎるためにペラが残つていたりし初期切れ味が劣る。

(1) 焼入温度および引出速度の影響

Fig. 9 に焼入温度と引出速度が変つた場合の糸切値を示すが、焼入温度が上昇すると初期切れ味は急速に低下する。引出速度による影響は殆んど見られないが、一般に引出速度の速いものゝ切れ味が稍よい。この試料の刃を検鏡すると 800~900° 焼入のものでは

Fig. 9 String cutting force affected by quenching temperature and drawing speed.

刃先が直線になっているが、 950° 以上のものでは直線を呈せず、細かい刃コボレが多い。すなわち焼入温度の上昇によつて Fig. 7 に示す如く硬度は少しく上昇するも刃コボレのため初期切れ味は低下する。

(2) 焼戻の影響

次に引出速度 410 cm/min で各温度より焼入、焼戻した試料の切れ味試験の結果を Fig. 10 に示す。 200° 焼戻しでは焼入温度の上昇と共に切れ味は急に上昇するが、焼入れのままのものに比し概して切れ味は劣り、両者の差は焼入温度上昇と共に少くなり、 1000° 焼入では 200° 焼戻しの方が焼入れよりよく切れる。検鏡によれば 800° 、 850° 焼入 200° 焼戻しのものは刃先に微少のペラ (或いはカヘリ) が附着しており、 $900\sim 1000^{\circ}$ 焼入れ 200° 焼戻しのものはかゝるペラの附着なく、刃先は直線である。Fig. 7より焼入れでは焼入温度 $800\sim 1000^{\circ}$ の相違は硬度ではわずか (最大 Hv 20) であるが、Fig. 9 より見れば切れ味には著しい相違が現われ、仕上げの際の刃コボレ生成難易に著しい差のあることを示している。また Fig. 9 すなわち

Fig. 10 String cutting force affected by quenching temperature and tempering temperature.

焼入れの切れ味では焼入温度 $800\sim 900^{\circ}$ の相違は刃コボレ生成の難易としては余りないが、 200° に焼戻せば Fig. 10 に見る如く切れ味に著しい差が現われ、この場合はペラ生成の難易に大差のあることを示している。本研究は剃刀替刃の製造工程を径たものについての切れ味試験であるが、 $800\sim 1000^{\circ}$ の焼入温度によつて得られる組織状態が普通の機械試験では殆んど差のないものとして現われる (Hv の差最大 20) にも拘らず、本研究の如き試験、すなわち仕上げ工程を径たものゝ切れ味試験をすれば上記組織

状態の差を拡大して知り得ることはかゝる差を知り得る他の機械試験法の探求の必要性を示唆しているものと思われる。

300° 、 400° 焼戻試料は焼入れのままのものに比し初期切れ味は遙かに劣るが、焼入温度の上昇と共にやゝ上昇する。これらを検鏡すると全部刃先にペラが附いている。以上は仕上り性の良否をも含めて熱処理条件が切れ味に如何に影響するかを示しており、薄刃物の切れ味を良好ならしめる条件が簡単でないことを示し興味深い。

なお一般に刃を研磨して仕上げる際に Fig. 8 に示す如く刃の両面を研磨するが、荒刃付けしたも

のでは必然的にペラが刃先に附着している。この荒刃を次の段階で細く研磨していくとペラは段々薄くなり根元より飛び去ると思われる。仕上り性の良い刃ではペラが充分薄くなつた時に飛び去る故、残された刃先尖端部の幅は充分狭く初期切れ味は優秀である。これに対し刃の材質の脆過ぎるものは、仕上げを行う際ペラが充分薄くなる前に飛び、残された刃先尖端部の幅も厚い。逆に粘過ぎるものでは仕上り研磨を行つても容易にペラが飛ばず、甚しいものは研磨後もこれが附着している。以上の如く刃の材質により仕上り性は左右され、仕上げた刃の初期切れ味に大なる差を生ずる。

以上の事柄は鋼或いは一般に金属材料に刃付けし鋭利な刃にしようとする際には必ず考慮しなければならないことで、このような細かい考察無しに刃先の切れ味を云々することは不可能である。すなわち剃刀以外の刃、例えばマイクロームの場合でも上述の如き考察が必要である。

次に仕上り性の面から考え、どの程度の脆さ(粘さ)が好ましいか、これを曲げ試験の面からみる。Fig. 10 を見ると仕上り性の良い刃は焼入れたままのものでは $800\sim 900^{\circ}$ 焼入れのもの、 200° に焼戻したものでは 1000° より焼入れたものである。これを Fig. 3, 4 と照合してみると曲げ試験において大約圧縮距離が $10\sim 15$ mm で破断するような刃が仕上り性の良い刃であるといひ得る。この範囲以下で破断するものは脆過ぎ、逆にこの範囲以上でないで破断しないもの、或いは全然破断しないものは粘過ぎる。硬度などの測定では Fig. 7 に示した如く焼戻温度 200° 迄では焼入温度、或いは焼戻による差は余り現われなにも拘らず、曲げ試験を行えば判然と差が現われ、かつこれが仕上り性と密接な連関を持つのである。

4. 耐久力

刃の耐久力を見るために引出速度 410 cm/min M で各温度より焼入れ、焼戻したものの繰返し紙切試験を行つた。結果を Fig. 11 に示す。横軸は試験回数、縦軸は切断された紙の枚数である。これらの曲線は指数関数の形をとる。すなわち n 回目の試験で切断された紙の枚数を N_n とすれば、 $N_n = N_0 e^{-kn}$ 、 k が減衰係数であり、これが耐久力の大小の目安となる。Fig. 11 の曲線群を解析して k を

Fig. 11 Paper cutting tests.

求めるには対数方眼紙を用い、曲線を直線に変換してその直線の傾斜を測ればよい。Fig. 12 は上述の如くして求めた k の値の結果である。これより明らかな如く、焼入温度が高くなると k は大となり、同じ焼入温度では焼戻温度が高くなるにつれて k は小となる傾向を示す。焼戻温度が高くなると焼戻温度による差が少くなる。

Fig. 12 Relation between quenching temperature and k affected by tempering temperature.

Fig. 13 Relation between number of tests and number of paper cut.

高くなるにつれて k は小となる傾向を示す。焼戻温度が高くなると焼戻温度による差が少くなる。

上述の如く、焼入温度の低いものほど、また焼戻温度の高いものほど減衰係数が小すなわち耐久力が大である。これを曲げ試験の面より眺めると耐久力の点では破断点の高いものほど良いということになる。すなわち刃の寿命の点では脆いものは好ましくない。300°、400° に焼戻したものは耐久力は大であるが

Fig. 10 に明らかな如く著しく仕上り性が悪くかつ硬度が低いので、第1回目の切斷により著しく刃先の損傷を受ける。

Fig. 13 に 800° より焼入れ 400° に焼戻した刃の紙切試験の結果を示す。縦軸

は対数目盛である。これにより明らかな如く n と $\log N_n$ との直線関係は $n=1$ および 2 の間は成立せず直線より遙かに上の位置を示す。これは焼戻して軟くなった刃先は第1回第2回の紙切試験で急速に潰れてしまい、後に摩耗に対して強い安定した刃先が形成されるためと思われる。

上述の耐久力に初期切れ味を加味したものが実際の場合の刃物の良否の判定となる場合が多い。この意味では 200° 焼戻しのみが問題となり、300°、400° 焼戻しは問題外となる。この点は Fig. 10 の初期切れ味試験の結果にも現われている。後者の場合は 950°、1000° 焼入れ以外はペラを生じ切れ味は焼入れ放しよりも劣っている。従つて初期切れ味および耐久力を勘案すれば、いままでの全試料中 950°、1000° 焼入れ、200° 焼戻しが熱処理として推奨されることとなる。

IV. 結 言

0.13 mm 厚の帯鋼を定盤焼入れで焼入れた。引出速度、焼入温度、焼戻温度などの熱処理条件を変え、これを研磨して刃とした時の切れ味が如何になるかを追求して最良の処理条件を求めると同時に曲げ試験の方法を導入し、この面より最良の処理条件を簡単に知り得ることを明らかにした。

本研究は上述の如く薄刃物の切れ味の最良条件を求めたのであるが、その結果普通の機械試験では余り差の認め難い熱処理条件によつて処理されたものも、本研究の如き試験法によつて、差を拡大して知ることが出来ることが明らかにされた。従つてかゝる大なる差を生ずる他の適当な機械的試験法が探求せられる可能性を示唆する結果となった。

終りに臨み終始御懇篤なる御指導を賜つた恩師岩瀬慶三先生に感謝の念を新にすると共に、実験に協力された鶴野君に感謝の意を表する。