アルミクラッドによる傾斜硬度刃物材料の開発

今井 順二^{*1)} 濱田 糾^{*2)} 山田 修司^{*3)}
竹川 禎信^{*4)} 山田 廣志^{**}

1. 緒 言

刃物材料は、(1)硬くて鋭利な刃がついている、(2)刃欠けがないという主要な要素の他に、熱処理後の歪が取りやすい、研削などの加工が容易である、錆びにくいなどの要求を満足する必要がある⁽¹⁾。金属系の刃物材料として炭素鋼、合金鋼、ステンレス鋼などを使用している。特にシェーバーなど家電製品用としては錆びないことが重要であるため、ステンレス系が用いられる。刃先に硬い中炭素 Mo 添加のステンレス鋼を使用し、母材は靱性に優れた SUS430 を使用した 2 種類のステンレス鋼のクラッド材料がある⁽¹⁾⁻⁽³⁾。この材料は、刃こぼれがなく又靱性のある刃物用として用途は広い。しかし、硬いといっても金属であるため硬度は Hv=4.0 GPa が限界である。

シェーバーの切れ味を向上するには、刃の高速駆動と共に刃先の鋭利化が重要である。刃を加工がするためには 20% 以上の伸びがあり、且つ刃先を鋭利にするためには熱処理後は表面硬度が大きいことが必要である。そこで、母材硬度は焼入れ鋼並みの Hv=5 GPa 以上の硬度を持ち、且つ表面は Hv=10 GPa 以上の硬度を持つ刃物材の開発を目標とした。Fe-13Cr-2Mo のマルテンサイト系ステンレスの両面に Al をクラッドした材料を加工後熱処理を行い、表面および母材を硬化し刃物とした。表面に FeAl 系の金属間化合物が形成された。この材料は、Al が表面から内部にかけて拡散し、表面には FeAl 系の金属間化合物が形成される。表面の硬度は Hv=12 GPa、母材の硬度は Hv=5 GPa で、内部に向かっ

て傾斜的に硬度が低下する。この材料をシェーバーに応用したとき刃先の曲面半径(刃先 R という)が $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下の鋭利な刃先となり切れ味のよい刃材料が完成した。

2. 開発の内容

(1) 材料構成

前述したように、家電用刃物としては錆びないという要求から、Cr を 13 mass% 以上含むステンレス鋼をベース材としてを使用することが多く、クラッドのベース材もこの観点から選んだ。410J1(Fe-13Cr-0.13C-0.5Mo)では、焼き入れ後の硬度が Hv=4.7 GPa と低い。硬度を上げるため C の多い 440C(Fe-17Cr-1.1C)を採用すると、硬度は Hv=6.5 GPa と大きい、曲げなどの加工性が悪い。そこで、加工性および硬度を満足するさせるため C, Cr 量を減らした 420J2(Fe-13Cr-2Mo-0.45C)を採用した。常温での伸びは 25% 以上で、焼入れ後の硬度は Hv=5.1 GPa である。次に 420J2 と金属間化合物をつくる材料として Al, Ti などが考えられるが、Ti は TiC の化合物をつくる、熱処理時に酸素、窒素を吸着しやすいこと⁽⁴⁾などを考慮し Al を選んだ。420J2 の両面に約 $9\text{ }\mu\text{m}$ の Al を冷間でクラッド圧延し、厚みが 0.2 mm の帯状のフープを作製した。その後、熱処理を行い刃物とした。図 1 に表面硬化層の形成工程を模式図で示す。

(2) 熱処理条件

大気中で連続熱処理を行った。表面の Al はステンレス中に、ステンレスの Cr, Fe は Al 中に相互に拡散し、表面から

* 松下電工株式会社

電器 R & D センター：1)センター員 2)主査技師
3)主幹技師

パーソナル商品(事)技術部：4)課長

** 大同特殊鋼株式会社技術開発研究所

Development of the Hardness-gradient Blade Material by Aluminium Cladding; Junji Imai*, Tadashi Hamada*, Shuji Yamada*, Yoshinobu Takegawa*, Hiroshi Yamada**(*Matsushita Electric Works, Ltd.. **Daido Steel Co., Ltd.)

1998年1月31日受理

図1 表面硬化層の形成行程。

内部に向かって FeAl 系の金属間化合物を形成する．1223～1323 K で 60 s 熱処理した時の表面硬度および母材硬度を 図 2 に示す．熱処理条件により，表面から内部に向かっての Al 濃度の分布が異なり，温度が高くなると表面硬度がむしろ低下する．熱処理条件が 1223～1248 K, 60 s の時最適と考えられ，表面硬度は Hv=11.5 GPa 以上，母材硬度は Hv=5 GPa 以上が得られる．

図 2 表面硬度と母材硬度の熱処理温度による変化 (熱処理時間 60 s)．

図 3 表面近傍の元素濃度分布．

(3) 材料特性

図 3 に熱処理後の断面の組成変化を示す．前述したように Al 濃度は表面から内部に行くに従って傾斜的に減少し，Fe, Cr 濃度は Al 中で表面に近いほど逆に減少する．刃材料の場合，表面の材料特性が重要であるため，表面の生成物を TEM (透過型電子顕微鏡) で調べた．その結果を図 4 に示す．表面から内部に向かって FIB (集束イオンビーム) で薄片に加工した試料を観察したもので，表面から約 2 μm 深さには 1～2 μm の大きさの FeAl₂ の結晶粒が，深さ 5 μm 近傍では約 5 μm の大きさの FeAl の結晶粒ができる．

次に図 5 に断面の硬度分布を示す．表面から 5 μm までは Hv=12 GPa で，それより深くなると傾斜的に硬度が低下し表面から 15 μm で母材の硬度と同じ大きさになる．即ち，表面から 15 μm の深さまで硬化層を形成していることになる．この硬化層は窒化処理の窒化物のように硬くなく傾斜的に形成しているため，剥離やクラックの発生がなく鋭利な刃先が形成できる．

(4) 刃の性能

シェーバーの刃の性能は，髭を切るときに切断抵抗を如何に小さくするかがポイントである．切断抵抗は，外刃に入

図 5 表面からの距離と硬度．

図 4 表面生成物の TEM による観察．

図6 リニアスーマー(ES881)の内刃.

れた疑似髭(0.15 mm のナイロン糸)を内刃で切断するときの荷重をロードセルで測定した値とする. よく切れる刃は小さな荷重で切断できるが, そのため刃先の R を小さくする必要がある.

当社シェーバーの内刃は, 図6に示すように半円形の刃が一行に並んでいる. この内刃の半円部が外刃の内面と接して摺動し, 外刃の穴に入った髭を挟んで切断する. 内刃の平滑化と刃先を出す目的で半円部を研削するが, 材料の硬度が低いとこの研削部の刃先部に研削だれ(以後かえりという)ができる. これは刃材の研削とりしろが, 刃端部で切れずに残るためである. このかえりが刃先の鋭利化の障害となる. このかえりを取る処理として砥粒を吹き付けるなどの方法があるが, 刃先が丸くなるのを避けられなかった. 市販 420J2 (Fe-13.5Cr-1.3Mo-0.4C) マルテンサイト系ステンレスのみと本開発材とを刃形状に加工し, 研削後の刃先のかえりの状態を比較した結果を図7に示す. (a)の 420J2 の刃は, 刃のエッジ部に底のようにかえりが出ている. 420J2 は, $H_v=5.1$ GPa の硬さがあるものの, この硬さではかえりをなくすことはできない. 一方, (b)の本開発材料では表面の硬度は前述したように $H_v=12$ GPa あり, $15\ \mu\text{m}$ の硬化層がフープの両面にあるため, かえりが硬いエッジ部で切断され, かえりのない鋭利な刃先が達成できる. また, 刃先 R も小さくできる.

この刃材を使った内刃の切れ味評価のため切断抵抗を測定した. その結果を図8に示す. 横軸は刃先角度で, 角度が小さいほど切断抵抗が小さい. 本開発材料は 420J2 に比べ, 各刃先角度にわたって約30%ほど切断抵抗が減少している. これは前述したように刃先のかえりがなく, 且つ刃先 R が小さいためである. このように, 本開発材を当社リニアシェーバーに応用した結果, 刃先の鋭利な, したがって切れ味のすぐれたシェーバーの開発に結び付けることができた.

図7 材料による刃先エッジの比較.
(a) 開発クラッド材, (b) 市販 420J2 材.

図8 開発材と市販材の切断抵抗の比較.

3. 特 許

本件材料に関する特許出願は国内 8 件および海外 2 件出願済み.

文 献

- (1) 山本 工, 堀内景治, 二本松雅徳: 特殊鋼, **32**(1983), 39.
- (2) 篠原忠広: 特殊鋼, **33**(1984), 52.
- (3) 福島捷昭: 特殊鋼, **43**(1994), 49.
- (4) 日本金属学会編: 金属データブック改訂3版, 丸善, **96**(1993).