研 究

粉末を用いたステンレス刃物用鋼の開発

納富 完至^{☆1}, 塩浦 時宗^{☆2}^{☆1} 神戸製鋼所鋳鍛鋼事業部技術部開発室, 〒676 高砂市荒井町新浜2-3-1.^{☆2} 新潟県県央地域地場産業振興センター, 〒955 三条市須頃1-17.

The New P/M Stainless Steel "PM21" for Cutlery

Kanji Notomi^{☆1} and Tokimune Shioura^{☆2}^{☆1} Engineering Department, Steel Casting & Forging Group, Kobe Steel Ltd., 2-3-1 Shinham Arai-Cho, Takasago 676. ^{☆2} Regional Industries Promotion Center of Central Niigata Pref., 1-17 Sugoro, Sanjo 955.

Received December 11, 1996

SYNOPSIS

The new P/M stainless steel called "PM21" for cutlery was produced by the Gas Atomization plusHIP process. The microstructure, mechanical properties, corrosion resistance and cutlery properties of the steel were investigated in comparison with conventionally cast and forged alloy steels and a P/M high speed steel. The studies indicated that PM21 has a lot of carbides and a fine homogeneous carbide structure that confers high toughness and high wear resistance. Additionally, PM21 has a much higher corrosion resistance than that of SUS440C stainless steel. The studies also showed that the cutlery properties of PM21 are far superior to those of conventional steel.

KEY WORDS

P/M stainless steel, cutlery, sharpness, corrosion resistance.

1 緒 言

現在刃物用材料として、炭素鋼、合金鋼、ステンレス鋼などが広く使用されている。ところで、これまでステンレス鋼刃物は耐食性に優れているものの、高い硬さが得られにくく(58HRC~60HRC程度)炭素鋼刃物および合金鋼刃物に比べ、切れ味が劣るとされていた^{1,2)}。

今回著者等は、切れ味性の優れたステンレス刃物鋼を開発するため、JIS-SUS440C鋼の高合金化と粉末冶金プロセスの活用により、①高硬度(62HRC以上)、②高靱性(抗折値:3000MPa以上)、③高耐食性(SUS440C同程度以上)を兼備した刃物鋼を開発し、次いで同鋼を用いた刃物の切れ味試験およびユーザテストにおいて良好な成績を得ることができたので、以下に報告する。

2 実験方法

2.1 供試材

ガスアトマイザーHIPプロセスにより、クロムを18%含む3種類のマルテンサイト系ステンレス鋼塊を試作した。次いで、鍛造-圧延を経て、13mm厚さの圧延材を得た。試作材(N01材~N03材)の化学組成をTable 1に示す。同表より、試作材はいずれも、SUS440CにC, Cr, Mo, Vを高合金化した材料であることがわかる。なお同表には、比較材として使用した従来溶製法によるSUS440Cと合金刃物鋼およびKHA32(粉末高速度鋼)の化学組成も併せて示した。

2.2 材料試験

上述の13mm圧延材より、Fig.1に示すように、圧延方向と平行な方向より試験片を採取した。また、比較材からの試験片採取もFig.1に準じて行った。次に

Table 1 Compositions of the tested materials.

Material	C	Cr	Mo	W	V
Steel No.1	1.55	18.1	0.48	—	2.95
Steel No.2	1.62	18.2	1.96	—	3.03
Steel No.3	1.31	18.2	4.02	—	1.05
SUS440C	0.98	16.6	0.42	—	—
KHA32	1.30	4.1	5.10	6.54	2.98
Alloy Steel	1.35	0.4	—	1.75	—

Fig.1 Sampling of specimens.

Table 2に示す熱処理パターンで、真空熱処理炉とサブゼロ装置を用いて焼入れ焼もどし処理を実施後、各種試験に供した。なお、試作材（No.1材～No.3材）の熱処理は、熱処理試験片と抗折試験片以外はすべて、150℃焼もどしとした。

2.2.1 熱処理硬さ

試作材（No.1材～No.3材）より、15×15×10 mmの熱処理試験片を作製し、Table 2に示すヒートパターンで熱処理後、HRC硬さ計にて5点繰返し測定を行い、平均値を算出した。

Table 2 Heat treatment of specimens.

Steel No.1 No.3	<p>1130°C×30min</p> <p>1050°C</p> <p>720°C/30min</p> <p>30min</p> <p>T=150, 200, 250 °C×90min</p> <p>-70°C×30min</p>
SUS440C	<p>1010°C×90min</p> <p>720°C</p> <p>30min</p> <p>160°C×8hr</p>
KHA32	<p>1190°C×30min</p> <p>1050°C</p> <p>720°C/30min</p> <p>30min</p> <p>550°C×4hr</p> <p>550°C×4hr</p>

2.2.2 ミクロ組織観察

Table 2に示す熱処理を施した後、光学顕微鏡によるミクロ組織観察を実施した。試作材とSUS440Cは1%Cr酸電解エッチ後、またKHA32は村上試薬でエッチ後、1000倍にて観察した。次いで、画像処理装置を用いて炭化物の定量測定を行うとともに、X線回折法により炭化物の種類を同定した。

2.2.3 抗折試験

5×10×30 mmの試験片を用い、支点間距離20 mmで3点曲げ試験を行い、抗折値を求めた。繰返し数はn=3とした。

2.2.4 水道水浸漬試験

2.3×21×24 mmの試験片を、乾式研磨にて#500まで仕上げ、脱脂洗浄後、静止した水道水中に、24時間浸漬し、錆の発生状況を観察した。繰返し数はn=3とした。

2.2.5 塩水噴霧試験

2.3×21×24 mmの試験片を、乾式研磨にて#500まで仕上げ、脱脂洗浄後試験に供した。塩水噴霧試験は、JIS-Z-2371に準じて、5%食塩水で行った。7時間噴霧後、試験片の表面に付着した食塩および腐食生成物をブラシ掛けで除去し、錆の発生状況の観察および質量測定を行った。ついで試験前後の質量変化より腐食減量を算出した。なお、繰返し数はn=2とした。

2.3 刃物の試作

上述の13 mm圧延材をさらに圧延、鍛造して刃物用素材とし、1130℃焼入れ150℃焼もどしの熱処理条件（Table 2）で、同材を用いて、包丁およびはさみを試作した。なお、No.2材は鍛造時に割れが発生したため、刃物の試作ができなかった。

2.3.1 切れ味試験³⁾

No.1材とNo.3材を用いて試作したさしみ包丁の切れ味性を従来品（C; 1.4% Si; 0.1% Mn; 0.2% Cr; 0.4% W; 1.8% 硬さ; 63HRC）と比較した。使用した切れ味試験機の機構図をFig.2に示す。切削荷重（W）を3 kgf一定とし、カセット内にセットされた上質紙（被削材）が1ストロークで何枚切れるかを繰返し計数し、切れ味性を評価した。

2.3.2 ユーザテスト

試作したはさみ、包丁を用い、ユーザテストを実施した。

Fig.2 Scheme of the sharpness test.

3 実験結果と考察

3.1 材料試験

3.1.1 熱処理硬さ

試作材の焼入焼もどし硬さを Fig.3 に示す. 同図より, 試作材は 150℃焼もどし後に, 62 HRC ~ 64 HRC の硬さを有していることがわかる. なかでも, No 3 材の硬さが最も高いことがわかる.

Fig.3 Tempered hardness.

Photo.1 Micrographs of specimens.

3.1.2 ミクロ組織観察

供試材の 150℃焼もどし後のミクロ組織を Photo.1 に示す. 試作粉末材はいずれも, 均一微細な炭化物組織を有していることがわかる. 炭化物の形状は No 1 材と No 3 材は球状であるが, No 2 材は異形状となっている. No 3 材の炭化物は粒径が 1 ~ 4 μm で, No 1 材に比べ若干大きく, 量も多いようである.

次に比較溶製材 SUS 440 C では, 1 μm 程度の微細な炭化物の間に, 数十 μm におよぶ巨大炭化物の散在している様子が観察される. また, 巨大炭化物には圧延時に生じたと思われる無数のクラックも観察される. これら巨大炭化物は製法上避けたいもので, これらが溶製材 SUS 440 C の靱性を大きく低下させ, 刃先の欠けや刃こぼれの原因になっているものと思われる.

最後は KHA 32 (粉末高速度鋼) の組織で 1 μm 前後の微細な炭化物が均一に分散している様子が観察される.

Table 3 に 150℃で焼もどした試作材に含まれる炭化物の種類, 体積率および平均粒径を示す. 同表より, No 1 材, No 2 材の炭化物は M_7C_3 型で, No 3 材のみ $M_{23}C_6$ 型になっていることがわかる. また, No

Table 3 Types, contents and sizes of carbide particles in tested materials.

Materials	Type	Content	Mean particle size
Steel No.1	M_7C_3	18%	$1.7\mu m$
Steel No.2	M_7C_3	18%	$2.0\mu m$
Steel No.3	$M_{23}C_6$	20%	$2.2\mu m$

3材の炭化物は含有量が20%, 平均粒径が $2.2\mu m$ で, No1材に比べ, 含有量で約10%, 平均粒径で約30%大きいこともわかる。

3.1.3 抗折試験

試作粉末材の抗折試験結果をFig.4に示す。同図よりNo1材～No3材ともに抗折値が3000MPaを超える高靱性材であることがわかる。なお, No2材の抗折値がNo1材, No3材に比べ低いのは, Photo.1で観察されたように, 炭化物の形状が異形状のためと思われる。

Fig.4 Bend strength.

3.1.4 水道水浸漬試験

24時間の水道水浸漬試験結果をPhoto.2に示す。試作材 (No1材～No3材) およびSUS440Cには錆の発生は認められない。一方, KHA32 (粉末高速度鋼) では, 試験片のほぼ全面が孔食による腐食生成物で覆われている様子が観察される。これより, 試作材はSUS440Cとほぼ同程度の耐食性を有していると思われる。

Photo.2 Specimens after 24hr immersion in water.

3.1.5 塩水噴霧試験

7時間の塩水噴霧試験結果をPhoto.3とFig.5に示す。写真では孔食痕が明瞭に観察される。孔食痕の数はNo2材, No3材で比較的少なく, 次いでNo1材, SUS440Cと徐々に増加し, KHA32では無数に観察される。No2材, No3材の孔食痕数がNo1材に比べて少ないのは, 両材のMo含有量が2～4%と高く, 一般に言われているMoの孔食発生抑制効果によるものと考えられる⁹⁾。

Fig.5は7時間塩水噴霧後の腐食減量を示すもので, No1材～No3材の耐食性がいずれも, 溶製ステン

Photo.3 Specimens after 7hr salt spray.

Fig.5 Salt spray test results (7hrs).

レス刃物材のSUS440Cに比べ優れていることがわかる。これは、試作材の基地中のCr, Mo含有量が、SUS440Cに比べ高くなっているためと考えられる。また、No.2材、No.3材の腐食減量はSUS440Cの1/4~1/5程度で、これよりNo.2材、No.3材はSUS440Cの4~5倍の耐食性を有していると言えよう。また、No.2材とNo.3材の腐食減量がほぼ等しいことより、耐食性におよぼす炭化物の種類($M_{23}C_6$, M_7C_3)の影響は少ないものと考えられる。なお、KHA32の腐食減量がSUS440Cの4.5倍ときわめて多いのは①非ステンレス鋼であること ②高温焼もどしされていること等が原因と考えられる。

3.2 刃物特性試験

3.2.1 切れ味試験

No.1材とNo.3材を用いて試作したさしみ包丁と従来品(C; 1.4% Si; 0.1% Mn; 0.2% Cr; 0.4% W; 1.8% 硬さ; 63HRC)との切れ味比較試験結果をFig.6に示す。同図より、No.1材は従来品と比較し、約1.5倍の切れ味を有していることがわかる。また、No.3材は従来品と比較し2倍以上の切れ味を有するばかりでなく、切れ味の持続性も大幅に向上していることがわかる。なお、No.3材の切れ味がNo.1材に比べ優れているのは、Fig.3とTable 3に示したように、硬さが高く、炭化物を多く含んでいるためと考えられる。

3.2.2 ユーザテスト

はさみ、包丁のユーザテストを実施し、良好な結果が得られた。とくに包丁では、①良く切れる ②錆びに

Fig.6 Sharpness test result (Sashimi knife).

くい ③研ぎやすい との評価を得ており、引き続きユーザテストを実施中である。

4 結 言

本研究の結果、従来にない耐食耐磨耗性を兼ね備えたステンレス刃物鋼が開発された。とくに試作No.3材は、耐食性で、耐食性ステンレス刃物として汎用されているSUS440Cに比べ、4~5倍の耐食性を有するばかりでなく、切れ味性においても、高級包丁として多用されている従来品の2倍以上の切れ味を長時間持続することが確認された。同材を「PM21」と命名し、現在新潟県下で商品化が進められている。

謝 辞

本研究は、新潟県の平成7年度地元大学との連携機能強化事業として、著者らおよび長岡技術科学大学教授；武藤睦治、新潟大学名誉教授；古川徹、株坂源社長；坂井源一、株タダフサ社長；曾根忠一郎、ナシモト工業社長；梨本正實等が協力して実施した研究工事の一部であり、発表の機会を与えてくださった関係各位に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 鴨下隆志, 矢野宏: ツールエンジニア, (1982) 108.
- 2) 新持喜一郎: 改定5版鋼の熱処理, (1969) 521.
- 3) 加藤俊男: ステンレス, 2 (1982) 13.
- 4) 榎阪肇, 今池幸仁, 小井川章: 神戸製鋼技報, 3 (1991) 131.
- 5) 松下幸雄, 藤田利夫, 谷野満: 鉄鋼の諸性質に及ぼす合金元素の影響上, (1966) 575.