

Photo. 1. Micro-cracks observed near the extreme point of internal cracks by oblique rolling test.

ているが (17回転) われわれの経験によると穿孔不可能とは考えられない。一方限界圧下率は H12 が異常に低かったことから、穿孔プラグより前方で、すでに割れが発生し、これが平滑に圧着されずに残つたものと考えられる。したがってこの穿孔成績は空抜き試験によつて敏感に検出されたものと思われる。

4. 考 察

著者らは前報で、捻回値の面から熱間加工性を判断し 13% Cr ステンレス鋼の加工性容易組成域を決定した。しかし、限界圧下率を考慮した穿孔性を決定せねばならぬことがわかつたので、両試験法の特長について考察した。

Photo. 1 に 1200°C で行なつた空抜き試験片の内部割れ先端部に見られるマイクロ割れを示す。これらの割れはいずれも熱間振り試験で見られる void 形の割れと異なつて<sup>3)</sup>、連続した鋭い割れが圧下方向と直角に発生している。割れは主として粒界を通るか、 $\delta$  相- $\gamma$  相境界を通つている。したがって空抜き試験の特性として、振り試験の場合より高応力形式の割れが発生していると考えられる。また  $\delta$  相が存在する場合には  $\gamma$  粒界に存在する少量の  $\delta$  相にそつて割れが発生しており、 $\delta$  相が大きい部分には割れが見られないことから、割れの発生する要因として、ある量の変形 (剪断歪みであろう) が伴うものと考えられる。

ピレット中心部に働く応力値を变形抵抗から推定することは難しいが、定性的には变形抵抗が低下すると中心部の応力値が低下することは考えられる。

Fig. 4 に捻回値と限界圧下率をともに  $\delta$  量を規準にプロットした。限界圧下率も捻回値と同様に、少量 (20%) の  $\delta$  相に極小値が存在する。これは先に述べた変形のためと考えられる。しかし 1250°C になるとこの極小値がもはや存在しない。また 1100°C では捻回値は  $\delta$  量が 40

%でも向上しないが、限界圧下率は同じ条件下で著しく向上している。さらに H12 は  $\delta$  量に対してプロットした場合も例外的に低い値を示している。すなわちこれらの試験の特性は温度が高くなるか、 $\delta$  相が増加することにより变形抵抗が低下することから、ピレット中心部の崩壊に寄与する応力値が低下することにより限界圧下率が向上するものと考えられる。また H12 は全  $\gamma$  相中に微量の相が存在するため、割れ発生時の応力値が高いうえに变形の集中度も大きいいため異常に低い限界圧下率を示したのであろう

5. 結 言

(1) 13% Cr ステンレス鋼の穿孔試験を行なつたところ、健全な  $\gamma$  相かあるいは  $\delta$  相が多い鋼の穿孔性は良好であつた。

(2)  $\gamma$  相中に微量の筋状  $\delta$  相が存在する鋼に内面ラップ傷が生じていたが、これは限界圧下率に敏感であり、回転鍛造の際にプラグ前方で発生した割れに起因するものと考えられる。したがつて 13% Cr ステンレス鋼では、空抜き試験法が穿孔性判定に有力であると思われる。

(3) 空抜き試験における内部割れは、高応力破壊形式であり、破壊の生成は剪断ひずみによると考えられる。

(4) 限界圧下率は、捻回値と同様に、少量の  $\delta$  相の存在に対応して極小値を示す。しかし捻回値と異なる点では变形抵抗に依存していることである。すなわち变形抵抗が小さくなる条件では限界圧下率は向上する。

文 献

- 1) 耳野, 木下, 服部, 松下: 鉄と鋼, 52 (1966) 11, S 76
- 2) 加藤: 未発表報告
- 3) 両角: 鉄と鋼, 52 (1966) 13, p. 39

669, 14, 018, 252, 5: 669, 14, 018, 8  
669, 15, 26-194; 621, 9, 011: 620, 178, 16  
刃物用ステンレス鋼の比摩耗量におよぼす炭素量および熱処理の影響\*

大阪大学工学部 工博 貴志 浩 三  
Effect of Carbon Content and Heat-Treatment on the Specific Wear of Stainless Steel for Cutleries

Dr. Kōzō KISHI

1. 緒 言

13 Cr および 17 Cr のマルテンサイト系 ステンレス鋼を中心とする 0.1~0.9% C 鋼についての比摩耗量を測定し、あわせてステンレス鋼の被削性、被研削性との

\* 第73回講演大会にて発表 講演番号 209 昭和42年5月10日受付

Table 1. Chemical composition (%) and heat treatment of specimen.

Specimen	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Heat treatment
1	0.06	0.40	0.46	0.023	0.002	0.21	0.34	13.18	780°C, 20 min → A. C. 850°C, 1hr → 650°C, 3hr → F. C. // // // // // // //
2	0.21	0.31	0.56	0.023	0.005	0.15	tr	13.15	
3	0.33	0.35	0.63	0.020	0.008	0.14	tr	13.00	
4	0.40	0.33	0.61	0.030	0.021	0.12	tr	13.22	
5	0.53	0.38	0.60	0.026	0.012	0.14	tr	13.14	
6	0.66	0.38	0.58	0.021	0.009	0.17	tr	13.20	
7	0.78	0.37	0.62	0.031	0.010	0.15	tr	13.11	
8	0.92	0.38	0.63	0.020	0.021	0.11	tr	13.31	
9	0.05	0.43	0.45	0.008	0.008	0.20	0.20	17.48	
10	0.10	0.23	0.32	0.024	0.012	0.21	0.19	17.80	
11	0.21	0.32	0.56	0.022	0.009	0.14	tr	17.24	
12	0.31	0.35	0.61	0.018	0.011	0.15	tr	17.26	
13	0.43	0.26	0.89	0.014	0.014	0.10	tr	17.47	
14	0.54	0.37	0.48	0.021	0.018	0.12	tr	16.93	
15	0.66	0.42	0.34	0.031	0.024	0.17	tr	17.18	
16	0.75	0.39	0.61	0.023	0.022	0.13	tr	17.39	
17	0.88	0.41	0.55	0.021	0.021	0.12	tr	17.46	
18	0.97	0.40	0.59	0.024	0.018	0.14	tr	17.32	

一連の関係を導くための資料として、炭素量および熱処理による影響について比較検討を行なう。特にステンレス鋼は摩耗の形態により、比摩耗量は大きく変化し<sup>2)</sup>、機械的摩耗に不安定で、比較的熱的摩耗、化学的摩耗には耐熱性、耐食性に富む鋼種であることから安定である。この機械的摩耗<sup>2)</sup>としては normal wear, abrasion pitting, plastic flow が考えられるが、ここでは normal wear をとりあげ実験を行なった。

## 2. 供試材および実験方法

### 2.1 供試材および熱処理

Table 1 は供試材料の化学組成を示す。マルテンサイト系ステンレス鋼を中心とする 13Cr および 17Cr 鋼で、炭素量の比摩耗量に与える影響を比較するために、フェライト系ステンレス鋼を加えた。その材料の炭素量の影響をみるために 13Cr 鋼では 0.06~0.92% C, 17Cr 鋼では 0.05~0.97% C の範囲の各鋼種で炭素量のことなる 18 種の材料について実験を行ない、Cr の影響についても検討を行なった。熱処理は 13Cr フェライト系は 780°C, 20 min 保持後空冷, 17Cr フェライト系は 820°C, 20 min 保持後空冷とし, 13Cr, 17Cr マルテンサイト系鋼は 850°C, 1hr → 650°C, 3hr 後炉冷を行なった。つぎに焼入れ温度の比摩耗量に与える影響をみるために 800°~1150°C の各温度より油焼入れを行ない比較した, またマルテンサイト組織の低温焼戻しによる比摩耗量の影響をみるために 1050°C 油焼入れ材を 100~600°C に焼戻しを行ない, 各組織による影響について検討を加えた。

相対材としての回転体は前報のごとく, 高速度鋼第 2 種をえらび, 1280°C 加熱焼入れ後 570°C 焼戻しを行ない, WA 120 M.m.V 砥石で研削後実験に供した。

### 2.2 実験装置および方法

前報に述べた方法と同じく科研製迅速摩耗試験機を使用して比摩耗量を測定した。

試料寸法は 30×30×10 mm で 03 エメリ紙仕上げ後パフ研磨を行なった。また回転体は WA.120.M.m.V 研削仕上げした幅 3 mm, 半径 15 mm の高速度鋼第 2 種の焼入れ焼戻し材で硬さは HRC 64 である。実験条

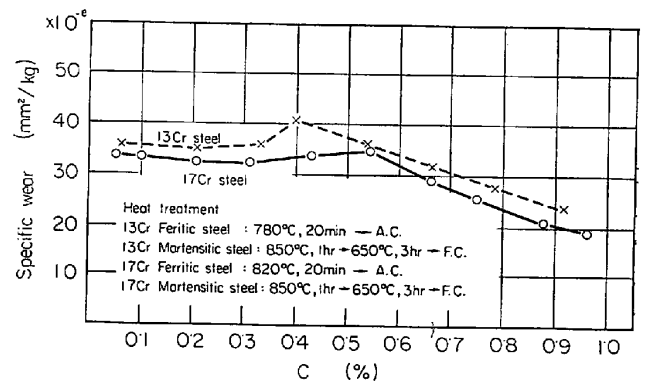


Fig. 1. Specific wear in relation to the C content of 13Cr and 17Cr stainless steels for cutlery.

件としては走行距離 300m, 摩擦したときの最終荷重 5.1 kg, 6.1 kg, 乾式摩耗を採用し, 回転体の速度は 1m/sec である。

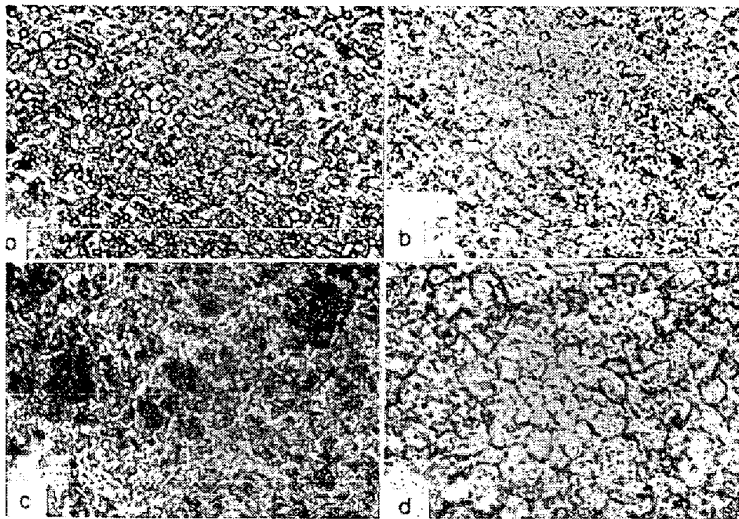
## 3. 実験結果および考察

### 3.1 刃物用ステンレス鋼の比摩耗量におよぼす C 量の影響

刃物用ステンレス鋼の優劣, とくに比摩耗量を吟味する場合, その鋼材の化学組成だけでなく, 顕微鏡組織に起因し, 炭化物の適当な粒度とその均一な分布が必要である。とくに過共析鋼ではパーライトを作る以上に過剰の遊離炭化物を含み, 焼入れに際しマルテンサイト組織中に遊離の炭化物粒子として介在し, 刃物としての適性を左右する。

Fig. 1 は 13Cr および 17Cr 系ステンレス鋼の C 量の比摩耗量に与える影響についての結果で, 各鋼種とも焼鈍材にて実験を行なった。

13Cr 鋼は 0.4% C, 17Cr 鋼は 0.5% C を境にして比摩耗量が低下し始め, 炭素量の増加とともに直線的に低下する。これはクロム炭化物によるもので炭化物の分布と大きさによりとくに影響される。C 量の増加とともにマトリックス中に介在する炭化物の量が増加するためである。13Cr 鋼で 0.4%, 17Cr 鋼では 0.5% C より



a) Annealed structure. Etching: 1/3 aqua regia  
 b) Quenched structure from 1050°C. Etching: 1/3 aqua regia  
 c) Quenched structure with insufficient pretreatment. Etching: 1/3 aqua regia  
 d) Structure quenched from 1150°C (over-heating). Etching: 1/3 aqua regia ×400 (8/9)

Photo. 1. Microstructures of typical specimen (0.66% C, 17.18% Cr steel).

低Cの組織材の比摩耗量はフェライトの影響を受ける割合が大で、0.05%より0.3%Cまではほぼ直線的でその値は変わらず、フェライトと炭化物がある一定量まで共存しても比摩耗量は変わらないことを示す。特に13Cr鋼は17Cr鋼に比較して各炭素量とも比摩耗量が大で、Crの影響が顕著に認められる。

3.2 刃物用ステンレス鋼の比摩耗量におよぼす焼入れ温度の影響

マルテンサイト系ステンレス鋼刃物としての焼入れ組織は炭化物の平均直径  $2 \pm 1 \mu$ 、平均フェライトパス  $10 \pm 5 \mu$  でマトリックスが微細なマルテンサイト組織のとき最良の切れ味とその耐久度を示す<sup>8)</sup>。このような鋼をうるには自硬性が大なるため  $1000^\circ\text{C} \sim 1200^\circ\text{C}$  において熱間加工し、焼ならしは  $900^\circ\text{C} \sim 950^\circ\text{C}$  に加熱空冷とし、軟化焼なまし(球状化处理)は  $780 \sim 800^\circ\text{C}$  加熱徐冷することが適当である。

上記の処理をほどこすと短時間加熱焼入れて炭化物の直径および間隔が均一でかつ良質なマルテンサイト素地が得られる。その1例をPhoto. 1に示す。この焼入れ温度は  $1050^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$  の範囲内で刃物の用途に応じて焼入れする。この場合の最高硬さはFig. 2に示すごとく、HRC 60が得られ、その組織はマルテンサイト地に炭化物の析粒が均一に分布したものとなる。焼入れ温度がこれより低くても、また高くても硬さは下り、前者は遊離炭化物の量が多く、後者の場合は炭化物が少なく粗大となり、素地の組織も粗くなつて残留オーステナイトを有し、過熱組織に近づく。過熱はとくにこの鋼種には刃物の性能上有害である。

Fig. 2に13Cr鋼および17Cr鋼の焼入れ温度と比摩耗量との関係を示す。なお図中の硬さ曲線において  $800^\circ\text{C}$  より  $850^\circ\text{C}$  にて13Cr、17Crとも硬さが急激に上昇するが、これはこの温度範囲に  $A_1$  変態点があり  $800^\circ\text{C}$  ではマトリックスはフェライトで微細な炭化物+

+共析炭化物で  $850^\circ\text{C}$  焼入れ組織で共析炭化物はマトリックスに溶解するが初析炭化物が未固溶で微細なマルテンサイト地に遊離炭化物として残留する  $1050^\circ\text{C}$  で最も硬さが大となり、 $1100^\circ\text{C}$  以上になると急に低下する。これは残留オーステナイトが多く、機械的性質は低下し、組織としては劣等である。

この  $800^\circ\text{C}$  より  $850^\circ\text{C}$  への焼入れ温度の移動により比摩耗量が急激に低下し、 $850^\circ\text{C}$  以上においては焼入れ温度の上昇にしたがい比摩耗量は逐次低下する。  $1050^\circ\text{C}$  で最低の値となり、  $1100^\circ\text{C}$  以上において再び上昇する。すなわちマルテンサイト系ステンレス鋼のマルテンサイト組織の比摩耗量は硬さ変化と比例し、硬さの大なる組織の耐摩耗性が良好である。また  $1100^\circ\text{C}$  以上の焼入れ組織において比摩耗量が増加する傾向にある。

3.3 刃物用ステンレス鋼の比摩耗量におよぼす焼入れ低温焼戻しの影響

Fig. 3は13Crおよび17Crマルテンサイト系ステンレス鋼を  $1050^\circ\text{C}$ 、20min保持後油焼入れを行なつた試料につき、低温焼戻しと比摩耗量との関係をしらべたもので、高い硬さと同時に強度、靱性、適度の脆さを必要とする刃物材としての焼戻し温度は比摩耗量を考慮に入れて、  $150 \sim 200^\circ\text{C}$  が適当である。焼

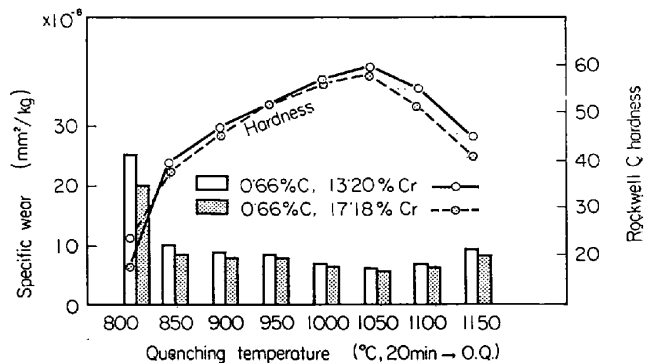


Fig. 2. Specific wear and hardness in relation to the quenching temperature of 13Cr and 17Cr stainless steels for cutlery.

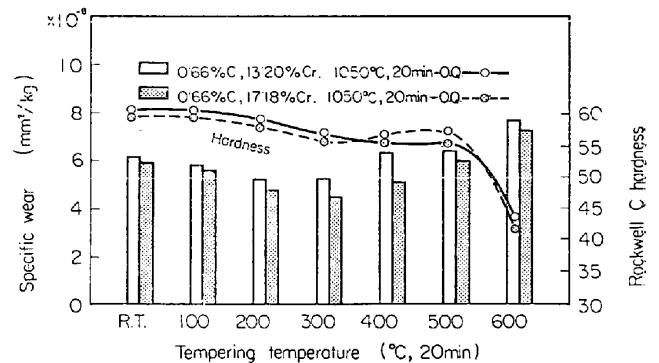


Fig. 3. Specific wear and hardness in relation to the tempering temperature of 13Cr and 17Cr stainless steels for cutlery quenched at  $1050^\circ\text{C}$ .

戻し温度が 200~300°C では焼入れのままの値に比較して  $1 \times 10^{-8} \text{ mm}^2/\text{kg}$  程度低下する。この鋼種は炭素鋼に比較して耐焼戻し性が大で、硬さ、機械的性質が低下しがたく、低温焼戻しにより比摩耗量の低下を助け、マルテンサイトの分解および残留応力の除去とも関係して機械的性質が向上し強靱性が增大する。比摩耗量はこの組織において低下する。焼戻し温度が 400~500°C になると 17 Cr 鋼では上昇し、とくに 500°C 近傍における 2 次硬化点においても増大するが、13 Cr 鋼では 400°C と 500°C において大差は認められない。なおこの焼戻し温度でなお焼入れマルテンサイト組織と同程度の比摩耗量を示す。600°C 以上になると急激に上昇する。すなわちマルテンサイトの分解および炭化物の析出が大きく比摩耗量を増加せしめる。

#### 4. 結 言

13 Cr と 17 Cr の 0.1~0.9% C のフェライト系およびマルテンサイト系ステンレス鋼の比摩耗量におよぼす炭素量および熱処理の影響について検討し次の結果を得た。

1) 13 Cr 鋼では 0.4% C 近傍で 17 Cr 鋼では 0.5% C で比摩耗量が大きくなり、それより C 量が低くても、また高くても比摩耗量が小である。前者はマトリックス中のフェライトの影響、後者は炭化物形式による影響が大である。

2) マルテンサイト組織の比摩耗量が小で、1050°C 焼入れ組織は焼なまし組織材に比較して 1/5 となる。この鋼の比摩耗量は焼入れ硬さ曲線と比例し、硬さの大なる組織ほど比摩耗量が小さく、フェライトを多く含む組織、残留オーステナイトを含む過熱組織は大となる。

3) マルテンサイト組織を 200°C 近傍にて焼戻しを行なうと比摩耗量が低下し、600°C 以上で急激に上昇する傾向にある。

#### 文 献

- 1) 多賀谷, 貴志: 日本金属学会シンポジウム予稿, (1958), p. 60
- 2) 曾田: 日本金属学会シンポジウム予稿, (1958), p. 1
- 3) M. TAGAYA and K. KISHI: Tech. Report. Osaka Univ., 10 (1959) 408, p. 481

### 高炭素高クロム盛金合金の研究\*

特殊製鋼

工博 日下 邦男・村井 弘佑

Study on the High-Cr Steels for Hard Facing of Exhaust Valve

Dr. Kunio KUSAKA and Kousuke MURAI

#### 1. 結 言

自動車用排気弁は軸端に耐磨耗性を付加するため普通 C 2.5, Cr 30, W 12, Co 残のステライトが溶着されており<sup>1)~3)</sup>かつ HRC 56 以上の硬度が要求されている。

しかしステライトは高価であるので最近では C 3.5, Cr 30 の高 C 高 Cr 合金が一部使用されるようになってきた。これら高 C 高 Cr 合金の耐磨耗性のすぐれていることは広く知られているが<sup>4)~7)</sup>, この合金を盛金材として使用した報告は発表されていないようである。高 Cr 合金を実際に盛金した場合は 30% の高 Cr では溶着部の硬度が盛金時の条件によつてバラツキを生じやすく、安定した硬度を得ることがむずかしいといわれている。著者らは盛金状態で安定した高硬度が得られ、かつ経済性のある合金を得る目的で実験を行なつた。

#### 2. 実験方法

3kW 高周波誘導炉により 500 g を溶解し、これを黒鉛鑄型に鑄込んで  $4 \phi \times 300 \text{ mm}$  棒を作り供試材とした。まず C 3.5%, Si 1%, Mn 1% の一定とし Cr 10~30% と変化させ、さらに Mo, Si を添加して鑄造ままおよび盛金硬度、残留オーステナイト量、溶融点におよぼす影響を調べた。これらの供試材の化学成分を Table 1 に示す。

溶着試験の母材合金にはオーステナイト系の 21-4N 耐熱鋼 (C 0.57, Si 0.35, Mn 9.22, Ni 4.05, Cr 20.88, N 0.35) を使用し、 $\phi 8 \text{ mm}$  の端部に 3 倍還元焰の酸素-アセチレンを用い盛金した。また残留オーステナイト量は棒状試片の場合は磁気継鉄法により、盛金状態については X 線回折法によりそれぞれ測定した。

#### 3. 実験結果と考察

##### 3.1 鑄造ままおよび盛金硬度

Cr を変化させた場合の鑄造まま素材の硬度および盛金硬度の測定結果を Fig. 1 に示す。Cr 20% 付近で盛金硬度が HRC 54~56 と最大を示しているが、20% 以下では Cr が低いほど盛金硬度が低く、鑄造まま硬度との差が大きくなる。また 20% 以上では鑄造まま硬度が Cr 増加にしたがい低下し、盛金硬度も低くなる。Fig. 2 は 14~17% Cr について Si, Mo を添加し鑄造ままおよび盛金硬度への影響をみたものである。Si の添加は鑄造まま硬度を高めるが、盛金硬度に与える影響は少ない。Mo は 14~17% の範囲で Cr 量に関係なく盛金後の硬度を高めるが、顕著でなく、1% 以上添加しても効果は少ないようである。

Table 1. Chemical composition of steels tested.

Steel No	C	Si	Mn	Cr	Mo
MG-1	3.49	1.17	0.89	9.10	
2	3.46	1.28	0.94	14.01	
3	3.63	0.98	0.90	19.61	
4	3.65	1.18	0.86	22.63	
5	3.53	1.20	0.85	29.92	
6	3.83	1.25	0.88	14.05	0.36
7	3.46	1.20	0.89	13.53	0.58
8	3.74	1.21	0.76	13.50	0.90
9	3.70	1.95	0.96	13.50	
10	3.63	2.62	0.92	13.68	
11	3.58	0.95	0.88	17.06	0.74
12	3.59	0.84	0.85	17.06	1.57

\* 第73回講演大会にて発表 講演番号 160 昭和42年5月10日受付