

技術報告

UDC 669.14.018.25 : 669.15'292'24-196-138.8 : 539.538

高炭素高バナジウム溶着合金の耐摩耗性*

石 原 襄**・永 井 正 一**

Wear Resistance of Deposited Iron Alloy with High-Carbon and High-Vanadium

Joo ISHIHARA and Masaichi NAGAI

Synopsis:

The present study was undertaken to clarify the relationship between the wear resistance and structure of deposited iron alloy containing high-carbon and high-vanadium. In order to study the effect of size and distribution of vanadium-carbide and surface condition on the wear resistance of the alloy, vanadium-carbide and in the specimens were controlled from 8 to 55% in volume. Measurement of the wear properties was done using a specially designed apparatus. Specimens were tempered at various temperatures.

The results of observation are summarized as follows: (1) Under the condition which brings a large amount of wear, the alloy including big size vanadium-carbide particles showed better wear resistance than its fine size vanadium-carbide particles. On the other hand, the alloy including fine vanadium-carbide was better under the condition which brings a little amount of wear.

(2) In wear properties, the alloy including vanadium-carbide was superior to the alloy including chromium-carbide.

(3) Effect of heat treatment on the wear resistance was distinguished remarkably under the condition which brings a large amount of wear. Influence of the amount of vanadium-carbide on the wear resistance was more notable in annealed specimens than quenched-tempered specimens.

(4) Change of the wear resistance resulting from change of hardness was more remarkable in low hardness alloy than in high hardness alloy.

(5) In the alloy including large amount of vanadium-carbide, the wear resistance scarcely changed by heat treatment.

1. 緒 言

工具鋼中には多量の炭化物が含まれ、この炭化物が高硬度の MC 型炭化物であつて、しかも量が多い程耐摩耗性は良くなるといわれている。しかし、溶製合金ではこれら炭化物が約 20 vol% 以上になると溶解、鑄造とも困難になる。一方、焼結合金では炭化物量を多くできるが、寸法、形状などに多くの制限がある。このため溶製にてより多量の MC 型炭化物を含む合金を得ることは業界の夢であつた。今回試作に成功した合金は金属粉をタングステンインナートガスアーク法により溶解し、バナジウム炭化物の含有量を 55 vol% まで増加させたもので、これらの合金についてその組織および耐摩耗性を検討した。すなわち高炭素高バナジウム合金中に分布するバナジウム炭化物の粒度、量、あるいは熱処理条件を変えたものについて、これらの諸因子が摩耗に及ぼす

影響を調査した。ここで本溶着合金の工学的利用としてプレス金型が考えられるが、従来の金型の摩耗は稼動中にしばしば油膜が切れた状態となり、この場合被加工材と金型との間で焼付きを起こせばすみやかに摩耗損傷を起して金型および部品としての機能を失う。通常このような状況のもとでは材料あるいは加工油を選ぶことにより、焼付きを防止し正常摩耗を続けることが多い²⁾。この時の摩耗現象は引き摩耗に対する合金の摩耗性の解明を目的として行なつた。

2. 実 験 方 法

2.1 試 料

試料は Table 1 および Table 2 に示したような数種の成分とした。すなわち、Table 1 ではバナジウム量 13% および 5.4% のもので鑄造材と溶接肉盛材を溶製し、同一成分のもので炭化物の粒度に差のある料料を得

* 昭和 52 年 8 月 10 日受付 (Received Aug. 10, 1977)

** 日立製作所日立研究所 (Hitachi Research Laboratory, Hitachi Ltd., 2-13-21 Mizuki-cho Hitachi 316)

た. この溶接肉盛りに用いた溶接棒は金属粉を成形する方法により製造した. すなわち, Fe-V, Fe-Si, Fe-Mn, Fe-Mo, Fe-Ni, 黒鉛 (おのおの 100メッシュ以下) およびフェノール樹脂の粉末を石川式攪拌播漬機によつて約 1 h 混練した後, 溶接棒の形状 ($10h \times 5w \times 170l$) の溝を掘つた金型に約 10 g 入れ, アムスラ試験機により $6t/cm^2$ の圧力を加えて圧縮する. これをさらに電気炉中で $180^\circ C \times 5min$ 加熱して固化する. このようにして作つた溶接棒をアルゴンアーク溶接により軟鋼の台材上に肉盛りした. 溶接条件はタングステン電極径 2ϕ 電極移動速度 $60mm/min$, 電流 $100A$, アーク電圧 $25V$, アルゴン流量 $8 \sim 10l/min$ である. また台材の軟鋼は $500^\circ C$ に予熱し, 層間温度 $500^\circ C$ にて 8 層肉盛りした. なおこれと比較のために用いた鑄造材は高周波溶解炉で大気中溶解した後金型鑄造し各々 60 kg のイン

ゴットを得た.

また Table 2 はバナジウム量を 12.5% から 37.5% まで変え, 炭素を 3% から 8.3% まで変化させてバナジウム炭化物量を約 20vol% から 55vol% まで変えたものである. これらはすべて溶接肉盛材であり, 8 層肉盛りとした. こうして得られた試料を光学顕微鏡および電子顕微鏡により組織および炭化物分布を調査した後, 種々の温度より, 焼入焼もどしを行つて硬さ変化を確認した後摩耗実験に供した. なお分析試料の採取は 4~2 層より行なつた.

2.2 実験方法

引き摩耗試験にはロビンのライダー式試験機を用いた. この試験機は半径 90 mm の回転円板上にエメリーペーパーを取りつけ, 回転 (720 rpm) させ, その上に試験片を一定荷重 (800 g) にて押し付けながら半径方向に一定速度で円の中心から, 円周まで往復運動させた ($120mm/min$). 試片形状は Fig. 1 に示したごとくで肉盛部の 4 層目が摩耗面になるように製作した. 実験では粗さの影響も知る目的でエメリーペーパーの粗さを 80メッシュから 800メッシュまで 5 段階に変えた. また試験時間は, 3 min (2 回往復) とし, 耐摩耗性を比較する基準としては試験前後の重量を測定して得た摩耗減量を用いた.

Table 1. Chemical composition of specimens.

No.	C%	V%	Si%	Mn%	Notice
1	3.31	13.16	0.41	0.51	Cast alloy
2	1.69	5.46	0.33	0.41	Cast alloy
11	3.30	13.12	0.42	0.46	Deposited alloy 4-6 layer
13	1.65	5.42	0.38	0.46	Deposited alloy 4-6 layer

Table 2. Chemical composition of specimens in 4-6 layer.

NO	C%	V%	Ni%	Mn%	Si%	Fe%	V-carbide Vol%
3B	3.02	12.51	3.10	0.71	1.10	Bal	20.55
4B	4.05	17.60	3.12	0.70	1.20	"	28.50
5B	5.10	22.52	3.15	0.72	1.32	"	35.50
6B	6.02	27.70	3.10	0.73	1.15	"	42.30
7B	7.31	32.55	3.12	0.71	1.10	"	48.80
8B	8.35	37.60	3.11	0.76	1.01	"	55.10

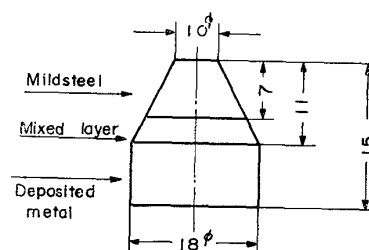
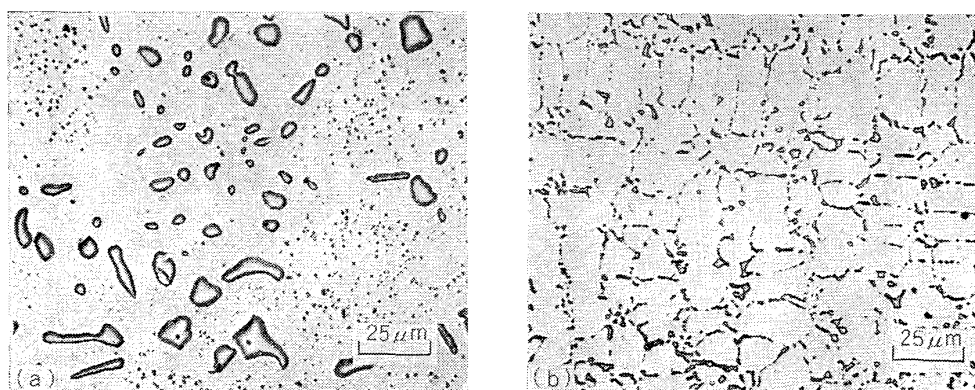


Fig. 1. Size of wear test piece.



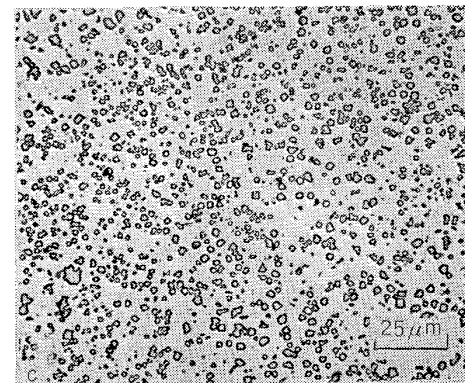
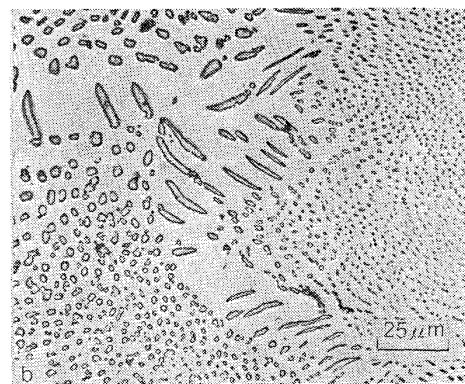
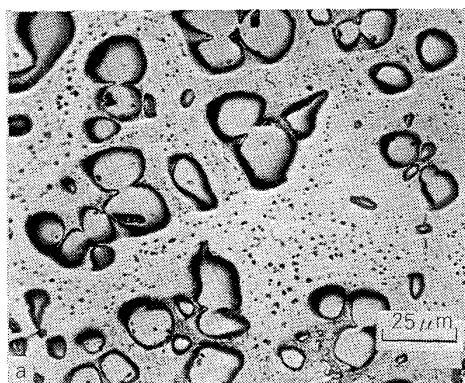
(a) Cast structure (No. 2) Fe-1.69%C-5.46%V
(b) Deposited structure in 5 layer (No. 13) Fe-1.65%C-5.42%V

Photo. 1. Structures of 5.4%V-alloys ($\times 400$).

3. 実験結果および考察

3.1 組織および硬さ

Photo. 1 はバナジウム量 5.4% の試料の鑄造組織と溶接肉盛組織との比較を示す。溶接肉盛組織では、鑄造組織に比較してバナジウム炭化物粒が非常に微粒であることがわかる。炭素量 2% 以下の試料はいずれも初晶オーステナイトおよび共晶のバナジウム炭化物を晶出したもので、溶着材は網状にバナジウム炭化物が分布しているが、鑄造材では冷却速度が遅いので網状の間隔が広く明瞭でない。



(a) Cast primary V_4C_3 (No. 1) Fe-3.31% C-13.16% V
(b) Cast eutectic V_4C_3 (No. 1) Fe-3.31% C-13.16% V
(c) Deposited structure in 5 layer (No. 11)
Fe-3.3% C-13.12% V

Photo. 2. Structures of 13%V-alloys ($\times 400$).

Photo. 2 はバナジウム炭化物量 13.1% の試料の組織を示したもので鑄造材の初晶 V_4C_3 は 10μ 以上あり、溶接肉盛材では 2μ 程度のバナジウム炭化物が一様に分布している。

鑄造組織の場合は巨大なバナジウム炭化物とバナジウム炭化物の間の基地空間が広く、溶接肉盛材ではこの空間基地がせまいが、両者ともこの基地空間には 0.2μ 以下のバナジウム炭化物が分布している。

Fig. 2 は各試料の焼入温度と硬さとの関係を示す。バナジウム炭化物は 1000°C 以下の加熱では基地にとけ込む量がわずかであるから、マルテンサイト地を硬化させる炭素は主にセメンタイトとし存在する炭素によるもので、これらの材料の焼入硬さがあまり異なることから鑄造材、溶接肉盛材とも基地に固溶する炭素量は類似しているものと考えられる。

3.2 合金中の炭化物の種類による耐摩耗性

Fig. 3 は鉄-炭素-バナジウム合金 No.13 および No.

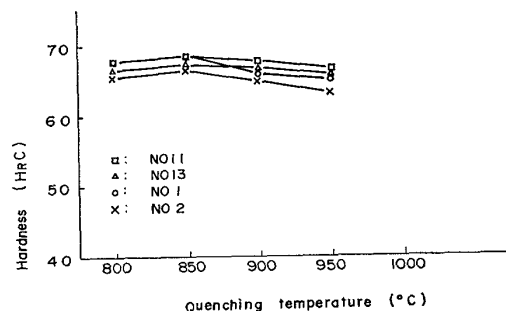


Fig. 2. Hardness of two-type of alloy versus quenched temperature.

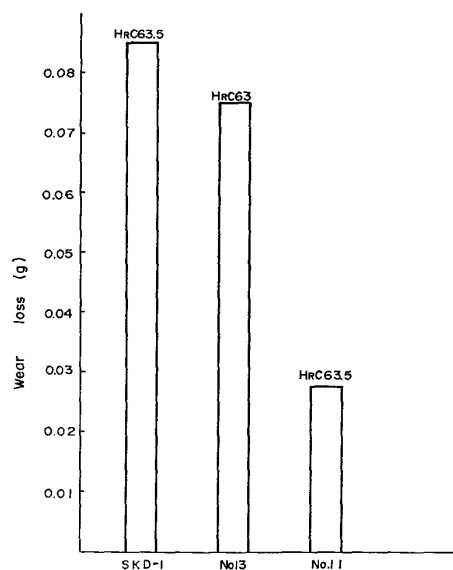


Fig. 3. Comparison of wear resistance by rider test.

11 と SKD-1 (鉄-12% クローム-2.2% 炭素) の耐摩耗性を比較したものである。この場合、試料の硬さはともに $H_{RC} 63 \sim 63.5$ であり、SKD-1 は未溶解炭化物として約 20%³⁾ の $(Cr, Fe)_7C_3$ を含み鋼中の $(Cr, Fe)_7C_3$ の硬さは $H_V 2300 \sim 2400$ である。一方、鉄-炭素-バナジウム合金では約 8% および 21%⁵⁾ のバナジウム炭化物を未溶解炭化物として含んでおり、その硬さは、約 $H_V 2800$ である⁴⁾。このように鉄-炭素-バナジウム合金の耐摩耗性が SKD-1 よりすぐれているのは炭化物量でなく、炭化物自身の硬さの差によるものであることが明らかである。一方、鉄-炭素-バナジウム合金である No. 13 と No. 11 の耐摩耗性の差は炭化物量の差によるものである。

3.3 バナジウム炭化物粒度と耐摩耗性との関係

Fig. 4 は焼入焼もどし材において VC 粒の大小が耐摩耗性におよぼす影響を調査したものである。試料の硬さはともに $H_{RC} 63 \sim 63.5$ を示し、ほぼ同一硬さにて比較した。この結果 100メッシュ以上の粗いエメリーによる試験結果では VC の粗大な鑄造材の摩耗量が少ないが、800メッシュのエメリーによる結果では逆にバナジウム炭化物粒の微細な溶接肉盛材の摩耗量が少なくなっている。この傾向はバナジウム炭化物の量が変わっても同様であった。

Photo. 3 に上述の試料の摩耗面を示す。これによると、800メッシュのエメリーにて試験した場合は鑄造材、溶接肉盛材ともバナジウム炭化物が表面に残留し、摩耗に対する抵抗源となつている。一方、80メッシュのエメリーにて試験したものは引かきみぞも粗くなつており、鑄造材のみに炭化物の表面残留が認められた。これを確

認すべく 1000 倍にて検鏡した結果、溶接肉盛材中のバナジウム炭化物は根こそぎ脱落している。実用の金型でも重荷重の場合に微細な炭化物が根こそぎ脱落することが認められている⁶⁾。一方鑄造材中のバナジウム炭化物は脱落せずに摩耗に対する抵抗源となつていることがわかる。したがって粗いエメリーで試験した場合には鑄造材の耐摩耗性がよいものと思われる。一方こまかいエメリーにて試験した地合に引かきみぞが浅く溶接肉盛材中に存在する 2μ 程度のバナジウム炭化物も脱落しにくくなり、これが耐摩耗性の向上に寄与すると思われる。鑄造材の組織 (Photo. 2) は巨大なバナジウム炭化物とバナジウム炭化物の間が広く離れており、溶接肉盛材ではバナジウム炭化物が接近して分布している。この空地には、いずれも 0.2μ 以下のバナジウム炭化物が存在するが、これは摩耗には寄与しない。ゆえに鑄造材では空地が摩耗するが、溶接肉盛材ではバナジウム炭化物にさえぎられて空地の摩耗が少ない。このためこまかいエメリーによる場合は、溶接肉盛材がすぐれていると考えられる。

以上のことから引かき摩耗により摩耗が行なわれる場合に摩耗面の粗い重荷重のもとではバナジウム炭化物粒の大きいものが、耐摩耗性は大きくなるが摩耗面の平坦な軽荷重ではバナジウム炭化物粒が微細なものの方が耐摩耗性は大きくなると思われる。

3.4 耐摩耗性に対するバナジウム炭化物量 および 熱処理の影響

Fig. 5 に用いた試料の硬さを示した。これにより同一熱処理材でもバナジウム炭化物量が多くなると硬さが増す傾向が見られるが、これは炭化物分散硬化による差である。また溶接肉盛材中のバナジウム炭化物粒の平均的大きさを Fig. 6 に示した。この値は試料表面のバナジ

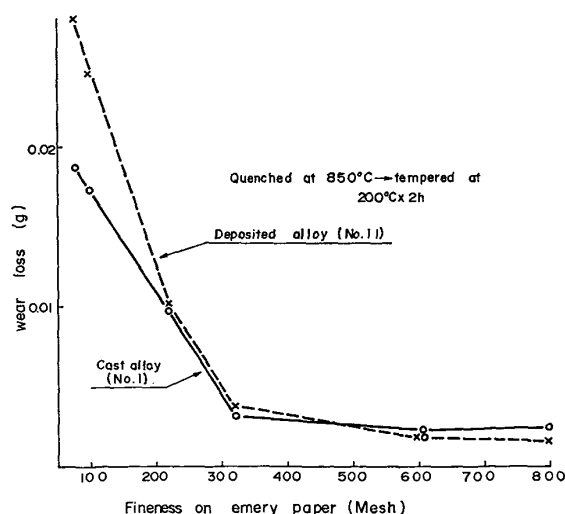


Fig. 4. Comparison of wear resistance between fine VC-Fe alloy and coarse VC-Fe-alloy.

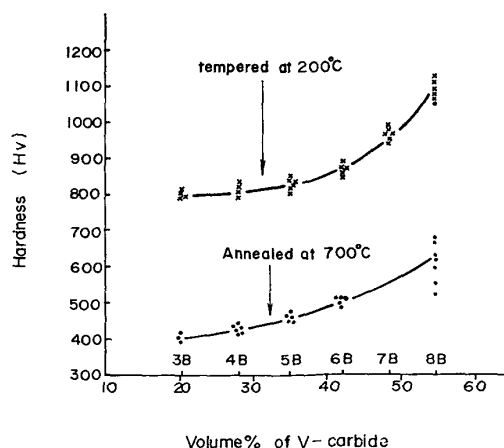
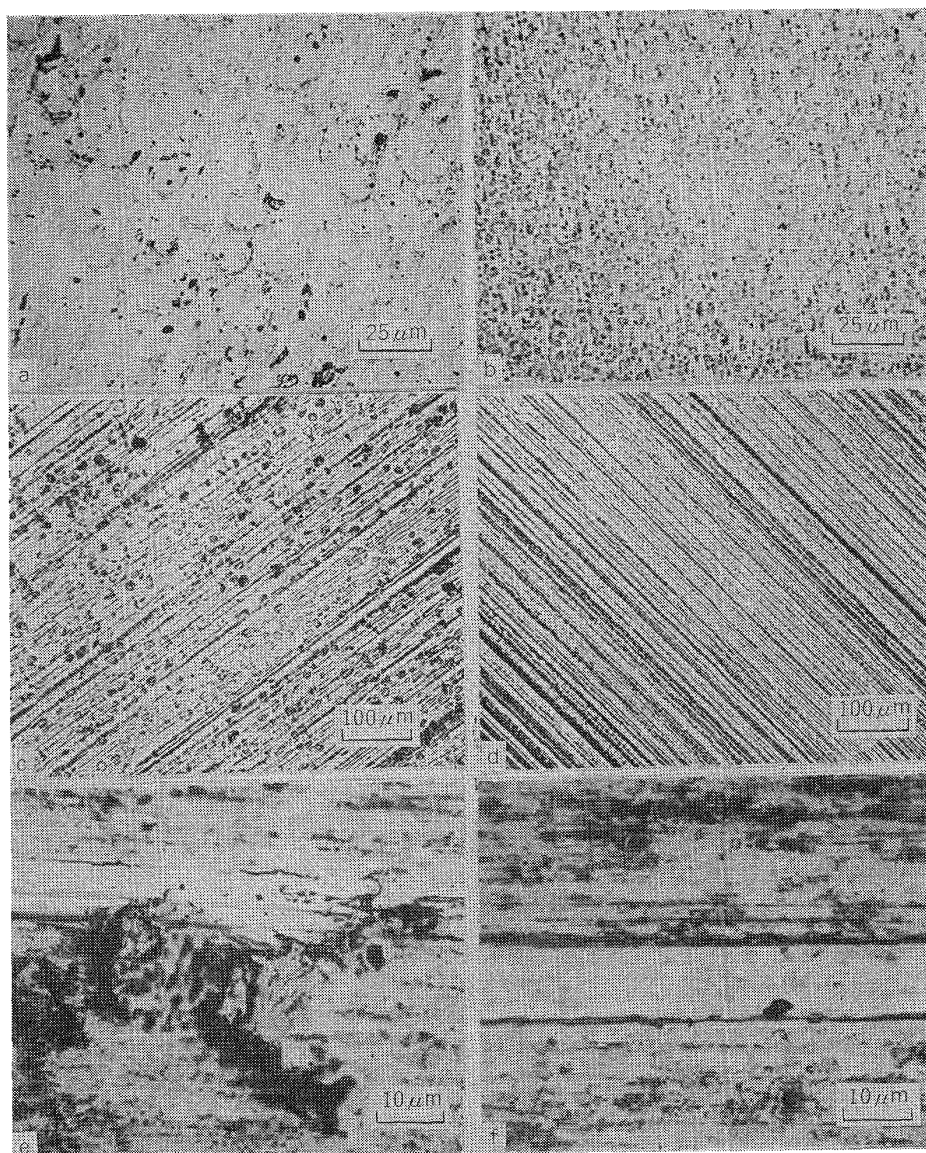


Fig. 5. Relationships between the amount of V-carbide and hardness of alloy.



- (a) Worn by 800 mesh emery paper at cast alloy No. 1 Fe-3.3% C-13.16% V alloy ($\times 400$)
 (b) Worn by 800 mesh emery paper at deposited alloy No. 11 Fe-3.30% C-13.12% V ($\times 400$)
 (c) Worn by 80 mesh paper at cast alloy No. 1 ($\times 100$)
 (d) Worn by 80 mesh emery paper at deposited alloy No. 11 ($\times 100$)
 (e) Worn by 80 mesh emery paper at cast alloy No. 1 ($\times 1000$)
 (f) Worn by 80 mesh emery paper at deposited alloy No. 11 ($\times 1000$)

Photo. 3. Worn surface of quenched and tempered alloy.

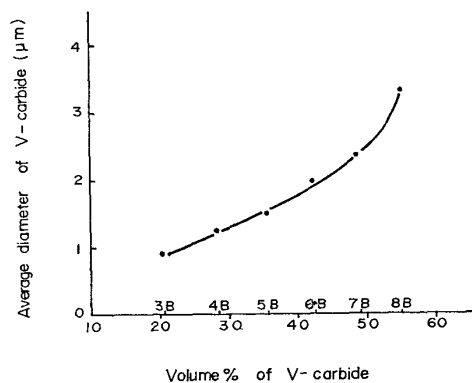


Fig. 6. Relationships between the amount of V-carbide and its grain size.

ウム炭化物の総面積をバナジウム炭化物の総個数で除して1ヶ当りの平均断面積を求め、さらにこれが球状であったとした場合の直径を求めたものであり、この結果から直感的に各試料のバナジウム炭化物粒の大きさが比較できる。これによると溶接肉盛材ではバナジウム炭化物量の多い材料ほど、粒度も大きくなっていることがわかる。これらの試料の耐摩耗性について調査した結果をFig. 7に示す。これによると焼入焼もどし材ではバナジウム炭化物量による摩耗量の差は少ないが、焼なまし材ではバナジウム炭化物量の差による摩耗量の差が大であることがわかる。すなわち、焼入焼もどし材では基地が

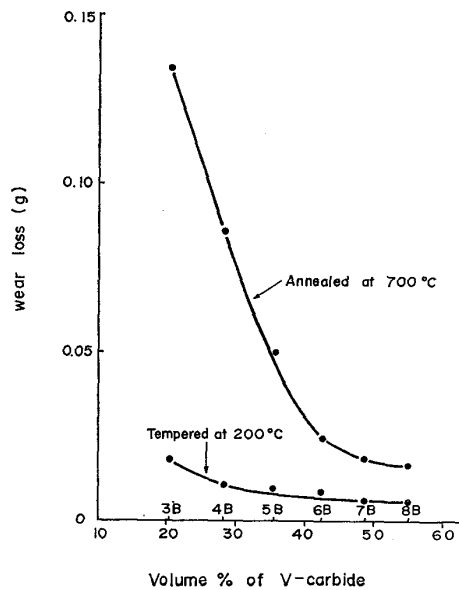


Fig. 7. Relationships between the wear resistance and the amount of V-carbide.

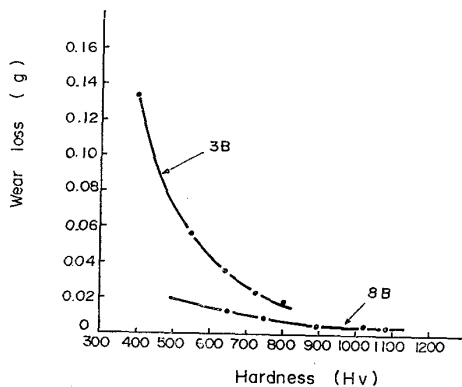


Fig. 8. Relationships between wear resistance and hardness of alloy.

硬くバナジウム炭化物が脱落しにくいいため、バナジウム炭化物量が少量でもある程度は耐摩耗性が良いが、基地が軟かい場合はバナジウム炭化物が脱落しやすいから摩耗量も大になるものと思われる。

Fig. 8 は B 材と 3B 材の硬さを焼もどしによつて連続的に変えて、その耐摩耗性の変化する状況を調査したもので、高硬度域では硬さの変化に対する摩耗量の変化は少なくなり、逆に低硬度域では変化が大きいことがわかる。また 3B 材は硬さの差による影響が大きく、8B 材は少ないことがわかる。

バナジウム量が 13% 以上では摩耗に対してバナジウム炭化物量の影響とともにバナジウム炭化物粒度の影響もでているが、バナジウム量が 5~13% の溶接肉盛鋼ではバナジウム炭化物の粒度は変らない。すなわち Fig. 9 には No.11 と No.13 の耐摩耗性の差を示した。バナジウム炭化物粒子はともに 2μ 程度であり (Photo. 2),

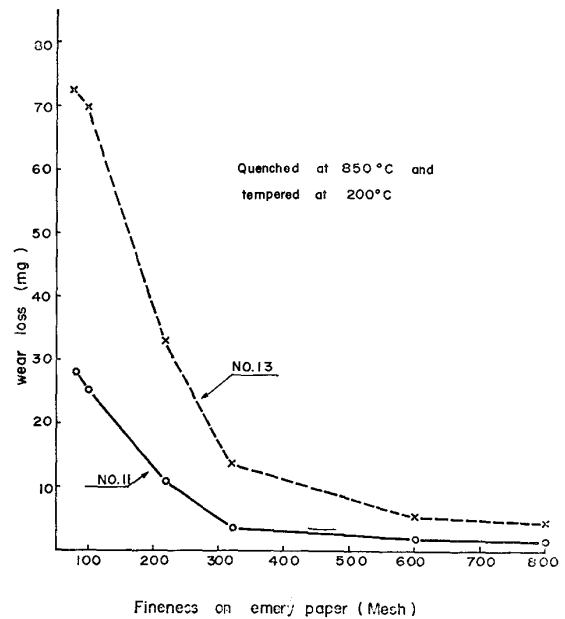


Fig. 9. Comparison of wear resistance between two-alloys including different amount of V-carbide.

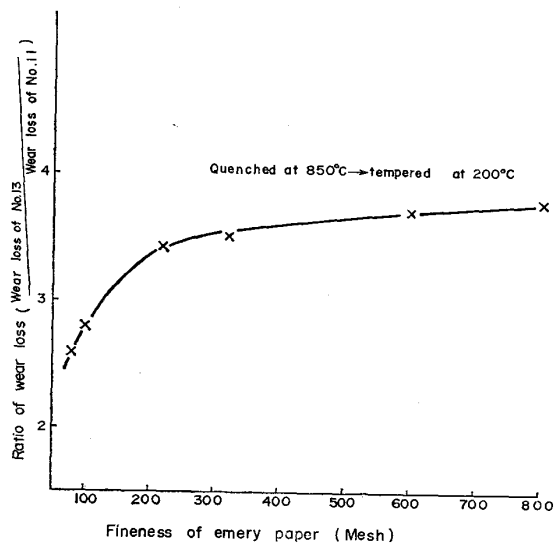


Fig. 10. Ratio of wear loss between two test pieces including different amount of V-carbide.

両者とも 850°C より焼入後 $200^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$ 焼もどしにて硬さは $\text{HRC}63 \sim 63.5$ である。このように基地およびバナジウム炭化物粒度が等しく、バナジウム炭化物量のみ異なっているから、バナジウム炭化物量の影響を純粹に取り出すことができる。

この結果エメリー粒度の粗い場合の摩耗量は絶対量も多く、差も大きいが、絶対量の因子を除いて比率のみに着眼するため摩耗比をグラフにて示す。すなわち、Fig. 10 は

$$\text{摩耗比} = \frac{5.42\% \text{ バナジウム合金の摩耗量}}{13.12\% \text{ バナジウム合金の摩耗量}}$$

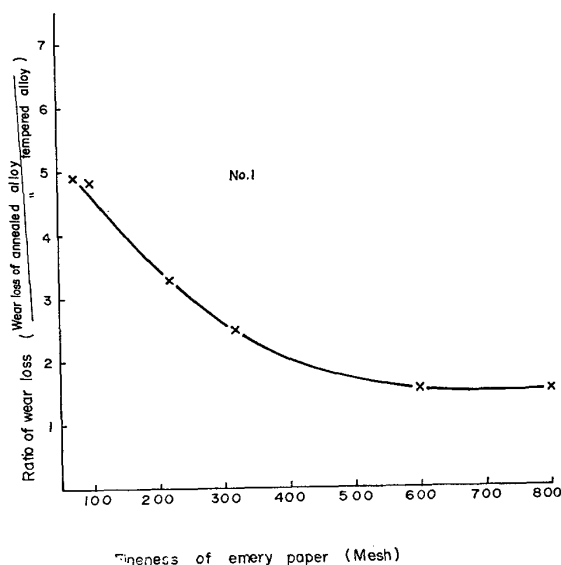


Fig. 11. Ratio of wear loss between two different heat treated test pieces of No. 1.

としてグラフに打点したものである。これによると絶対値の差とは逆に摩耗比はエメリー粒子の細かい場合に大となる傾向を示している。摩耗面が粗い場合にはバナジウム炭化物が脱落するからその効果が半減するため比率は小さくなるのかと思われる。バナジウム炭化物量の影響については焼なまし材についても全く同様の傾向が認められた。

次に熱処理によつて耐摩耗性がどの程度変化するか調査した結果の1例を Fig. 11 に示す。試料は No.1 の溶接肉盛材であり、焼入材としては 850°C 水冷後 $200^{\circ}\text{C} \times 2\text{h}$ 焼もどしたものを、硬さは $\text{HRC}63.5$ 、また焼なまし材は $950^{\circ}\text{C} \times 5\text{h}$ 加熱後炉冷したもので硬さ $\text{HRC}41$ を用いた。エメリー粒度の細かい場合に摩耗比は小さくなっている。このことは熱処理の影響が摩耗面の粗い場合に大きく影響するということを示している。焼入焼もどし材と焼なまし材の炭化物量を比較すると焼入温度で基地に固溶した量だけの差があるが、これの耐摩耗性に対する差は無視してもよい。(なぜなら焼入時に固溶する炭化物は焼なまし材中では 0.1μ 以下の炭化

物であり、本鋼の場合は耐摩耗性に影響しない。) したがって摩耗量の差は基地の硬さの差によるものである。すなわち焼なまし材は基地が変形しやすく、バナジウム炭化物が脱落する傾向が大であるが、エメリー粒度が微細な場合にはひつかきみぞが浅く脱落も少なくなるため摩耗比は小となるものと思われる。

4. 結 言

(1) 粗い摩耗面の状態を呈するはげしい摩耗条件下では、合金中に粗大なバナジウム炭化物粒子の分布する方が良好な耐摩耗性を示す。これに反し、摩耗のおだやかな条件、すなわち摩耗面に平坦な摩耗が発生する場合はバナジウム炭化物粒子が微細に分布する合金の方が耐摩耗性が良い。

(2) 焼入焼もどし材ではバナジウム炭化物量の差による摩耗量の差は少ないが、焼なまし材ではバナジウム炭化物量の差による摩耗量の差が大である。

(3) 高硬度域では合金の硬さの変化に対する耐摩耗性の変化は少ないが、低硬度域では硬さの変化に対する耐摩耗性の変化は大きい。

(4) バナジウム炭化物量の多いものは、硬さの変化に対する耐摩耗性の差が小さい。

(5) 熱処理の差異による摩耗比は摩耗面の凹凸の粗い加工の場合に著しく現われる。

(6) 炭化物量の差による摩耗比は摩耗面の微細な場合に大きく現われる。

終りに臨み本研究を終始御指導いただいた日立製作所日立研究所飯塚富雄氏、玉村健雄氏に深謝いたします。

文 献

- 1) 日本熱処理協会編：工具鋼の熱処理，日刊工業新聞社版 (19)，p. 163
- 2) 木村 伸：日立評論，46 (1964)，3，p. 521
- 3) 西沢泰二：鉄と鋼，42 (1956)，12，p. 1118
- 4) 西沢泰二：金属学会誌，23 (1959)，7，p. 403
- 5) 西沢泰二：鉄と鋼，45 (1959)，5，p. 512
- 6) 石原 襄：金属学会誌，40 (1976)，8，p. 781