

# ポットミルを用いた高クロム鋳鉄及び 高炭素高速度鋼系合金の耐摩耗性評価と靱性

澤本 章<sup>\*</sup>、桑野正司<sup>\*\*</sup>、藤田武男<sup>\*\*\*</sup>、永井恭一<sup>\*\*\*\*</sup>、大城桂作<sup>\*\*\*\*\*</sup>、西村紀昭<sup>\*</sup>、  
藤田祐輔<sup>\*</sup>、浦川孝広<sup>\*</sup>、宮川 昇<sup>\*</sup>、西野武俊<sup>\*\*\*\*\*</sup>、野村幹夫<sup>\*\*\*\*\*</sup>、内田純一<sup>\*\*\*\*\*</sup>

Wear Resistance of High Chromium Cast Iron and High Speed Steel Type Alloy  
Containing High Carbon by use of a Pot Mill and Static Fracture Toughness

Akira SAWAMOTO, Masashi KUWANO, Takeo FUJITA, Kyoichi NAGAI,  
Keisaku Ogi, Noriaki NISHIMURA, Yusuke FUJITA, Takahiro URAKAWA,  
Noboru MIYAKAWA, Taketoshi NISHINO, Mikio NOMURA, Junichi UCHIDA

(Received October 1, 2004)

## Abstract

Dry and wet wear test of high chromium cast irons and high speed steel type alloys containing high carbon was carried out by using the pot mill type wear testing apparatus. Specimens were cast into sand mould, machined and heat treated. A specimen and forty three ceramic balls in a pot were rotated at the speed of 1.67 rev. per sec. for  $3.6 \times 10^2$  ks in dry wear test. In wet wear test, a specimen, 43 ceramic balls and sea water in a pot were done in same rotating condition as that of dry wear condition. Weight loss of specimens was measured and evaluated as wear loss.

In dry wear condition, wear loss of high speed steel type alloys containing high carbon was smaller than that of high chromium cast irons. Wear loss of high speed steel type alloys with high carbon was larger than that of high chromium cast iron in wet wear condition. It was because high chromium cast iron had more excellent corrosion resistance than that of high speed steel type alloys containing high carbon. Wet wear was accelerated by corrosion of specimens.

Static toughness ( $K_Q$ ) obtained by bending test was in the range from 22 to 37MPa  $\sqrt{m}$  and it decreased with an increase in amount of crystallized carbides.

## 1. 緒 言

材料の高性能化が、近年、とくに求められるようになってきており、耐摩耗材料においても使用環境が、高圧力摩耗状態、高温摩耗状態、腐食環境摩耗状態等のように過酷な条件下で使用されるようになり、これらの環境の中で従来材よりもより摩耗に強い性能が要求されるよう

※ 山口大学教育学部技術金属加工、※※ 宇部工業高等専門学校、※※※ 山口大学工学部機械工学科、  
※※※※ 東亜大学工学部、※※※※※ 九州大学大学院工学研究院、※※※※※※ (株)磯部鉄工

になってきた<sup>1)~3)</sup>。従前から、耐摩耗鑄鉄系鑄物の中では、高クロム鑄鉄が多く利用されており、その優れた耐摩耗性から、岩石粉碎用のクラッシャー、ボールミル、炉内金具などの工業部材に多用されてきた<sup>4)、5)</sup>。この鑄鉄には、棒状の硬いクロム炭化物 ( $M_7C_3$ ) が多量に分布しており、これが、摩耗抵抗として作用し、鑄放し状態でも高性能の耐摩耗性を発揮してきた。この鑄鉄は、オーステナイトの不安定化熱処理後、焼入れすれば、マルテンサイト変態して基地部が硬化して<sup>6)、7)</sup>、アブレシブ摩耗にさらに強い材料となる<sup>8)~10)</sup>。

しかしながら、生産性の向上などの理由から、摩耗条件がより過酷となり、高クロム鑄鉄よりもさらに高性能の材料が要望されるようになり、近年では、MC系や $M_2C$ 系の炭化物を含む高炭素高速度鋼系合金が開発されている<sup>11)、12)</sup>。しかし、この合金の摩耗特性や高クロム鑄鉄との摩耗特性を比較した研究はあまり行われていないようである。そこで、本研究では、15% Cr 及び25% Cr 組成の高クロム鑄鉄と高炭素高速度鋼系合金とを、摩耗試験しその性能を調査した。

摩耗試験は、乾式摩耗試験及び湿式摩耗試験を行った。乾式摩耗試験には、セラミック製の容器の中に多数のセラミックボール小球と試験片を入れて、容器を回転させ、セラミック球の衝突により試験片を摩耗させるポットミル法を用いた<sup>13)</sup>。湿式摩耗試験は、乾式摩耗試験の場合に海水を添加して腐食環境下で摩耗試験を行った。また、高クロム鑄鉄については、三点曲げ試験により静的な靱性値を測定した<sup>14)</sup>。

## 2. 試料及び実験方法

### 2.1 供試料

Cr 量：15mass% (以後、%と記す) 及び25%の組成の鑄放し、焼入れ焼もどしの高クロム鑄鉄〔試料 No. 2 (15% Cr 共晶組成、焼入れ焼もどし)、No. 3 (15% Cr 亜共晶組成、焼入れ焼もどし)、No. 5 (25% Cr 亜共晶組成、焼入れ焼もどし)、No. 7 (25% Cr 亜共晶組成、焼入れ焼もどし)、No. 9 (25% Cr 亜共晶組成、鑄放し)] の5種類を溶製した。試料の主な化学組成 (C 量と Cr 量) を図1の Fe-C-Cr 状態図上の位置で示した。また、C 量：2.0~3.1%、Cr 量：5%、Mo 量：5%、W 量：0、5%、V 量：3~10%、Co 量：0、5、10%、Ni 量：0、5%、Si 量：0.09~0.62%、Mn 量：0.03~0.53%の組成範囲内の高炭素高速度鋼系合金 (Fe-C-Cr-Mo-W-V-Co-Ni-Si-Mn 合金) を11種類、鑄造により溶製した。高炭素高速度鋼系合金の化学組成を表1に示した。

なお、比較のために微量のセメンタイトが3.5 vol.% 晶出している黒鉛系鑄鉄 (Fe-3.51% C-0.75% Cr-1.85% Si-0.61% Mn) も鑄放し状態で実験に供した。鑄造後、高クロム鑄鉄と黒鉛系鑄鉄では、直径 $\phi$ 35mm x 長さ100mmの丸棒状ロッドから水冷式研削加工により試験片を切り出し、高速度鋼系合金は図2に示すような Y ブロックから、水冷式研削加工により試料を採取し、いずれの場合も5x5x10mm直方体の大きさの試験片とした。

15% Cr 鑄鉄試料 No. 2 及び試料 No. 3 の熱処理は、1228Kx3.6ks 加熱後、空冷して473Kx3.6ks 焼もどした。25% Cr 鑄鉄試料 No. 5、試料 No. 7 では、1303Kx3.6ks 加熱後、空冷し473Kx3.6ks 焼もどした。25% Cr 鑄鉄試料 No. 9 は鑄放した。熱処理後の高クロム鑄鉄試料 No. 2、No. 3、No. 5、No. 7、No. 9 の硬さはそれぞれ HV30=698、707、701、614、425である。また、鑄放し黒鉛系鑄鉄の硬さは HV30=207である。

高速度鋼系合金の熱処理は、1423Kx7.2ks 加熱後油焼入れの後、773、823、873Kx3.6ks で3回焼もどした。これらの試料の熱処理条件を図3に示した。なお、摩耗試験片の熱処理は、

試験片が酸化しないように、試験片を石英管に真空封入した。その後、電気炉に挿入して所定の時間、熱処理後、油浴中に投入し、石英管を破碎して焼入れた。さらに、試験片を真空封入して焼もどした。熱処理後の高炭素高速度鋼系合金の硬さを表1に併記した。

## 2.2 実験方法

### 2.2.1 乾式摩耗試験

乾式摩耗試験は、ポットミルを摩耗試験機として使用した。ポットミルとは、円筒容器内に粉碎しようとする対象物を硬球とともに挿入して、円筒を回転させ、対象物と硬球（本研究では、セラミック球）との衝突によって、対象物を粉碎させる機器である。ポットミルの概観を図4に示した。本試験機では、同時に4個のポットミルを搭載できる。乾式摩耗試験の場合は、図5に示すような円筒形のセラミック容器（外形φ130mm x 長さ140mm、内容積10<sup>6</sup>mm<sup>3</sup>）の中に直径約φ17~12mmのセラミック球43個と試験片1個を入れて、セラミック容器の中心を回転軸として、毎秒1.67回転の速度で、3.6x10<sup>2</sup>ksまで回転させた。所定の時間毎に、試験片の重量減少率（%）を測定した。

### 2.2.2 湿式摩耗試験

湿式摩耗試験では、図6に示すように、乾式摩耗試験で使用した容器に（海水5x10<sup>4</sup>mm<sup>3</sup>+水道水5x10<sup>4</sup>mm<sup>3</sup>）を追加挿入して、（試験片+セラミック球+海水+水道水）の腐食環境下で摩耗試験を3.6x10<sup>2</sup>ks行った。図7には、湿式の摩耗試験実験中において、ポット内のセラミック球、試験片、海水、水道水の運動状況を模式的に示したものである。ポットが回転するにつれて、セラミック球は、ポットの内面に沿って、やや上昇した後、振動しながら移動し、海水と水に浸漬した試料及び他のセラミック球に接触、衝突して、腐食をともなった摩耗が進行していく。

試験片の重量減少率（摩耗率）（W\*）は以下の式（1）により求めた。

$$W * (\%) = (\Delta W/W_0) \times 100 (\%) = ((W_0 - W)/W_0) \times 100 (\%) \quad (1)$$

（ここで、W<sub>0</sub>：試験開始前の試験片の重量、W：所定の時間後の試験片の重量、 $\Delta W (= (W_0 - W))$ ：試験時における重量減少量）

### 2.2.3 硬さ試験

硬さは、摩耗特性に関係が深いので、試験片の硬さをビッカース硬度計（測定荷重、30kg）を用いて、ビッカース硬度（HV30）を測定し、摩耗試験結果との関係を調査した。

### 2.2.4 三点曲げ試験

三点曲げ試験では、直径φ35mm x 長さ100mmの丸棒状ロッドから水冷式研削切断機及び水冷式平面研削盤を用いて、高クロム鋳鉄を10x20x90mmの大きさに成形した。さらに、図3のように試料を熱処理した後、その中央部に、直径φ0.25mmのワイヤーにより放電加工し、深さ10mmまで、切り欠きを導入した。計装化した三点曲げ試験機を用いて、曲げ荷重とたわみを測定し、また、米国のASTM-E399に沿って、式（2）により静的な靱性値（K<sub>Q</sub>）を算出した。K<sub>Q</sub>の中で、式（3）を満たすものは、K<sub>Q</sub>を静的破壊靱性値（K<sub>IC</sub>）とした。

図8には、作製した切り欠き付試験片を示した。図9、図10には、それぞれ、計装化した三点曲げ試験機の概要（構成図）と概観を示した。

$$K = [(PS) / (BS^{3/2})] \cdot f(\alpha) \quad (2)$$

$$\text{ここで、} f(\alpha) = 3\alpha^{1/2} [1.99 - \alpha(1 - \alpha) \cdot (2.15 - 3.93\alpha + 2.7\alpha^2)] \\ / [2(1 + 2\alpha) \cdot (1 - \alpha)^{3/2}]$$

$$\alpha = a/W$$

P = 荷重、kgf (kN)、W = 試験片幅、mm (cm)

S = スパン長さ、mm (cm)、a = き裂長さ、mm (cm)

B = 試験片厚さ、mm (cm)

$$a, B \geq 2.5 (K_Q / \sigma_{YS})^2 \quad (3)$$

ここで、a：き裂長さ、B：試験片の厚さ、 $\sigma_{YS}$ ：試験片の降伏強度

### 3. 実験結果

#### 3.1 乾式摩耗試験結果

乾式摩耗試験における摩耗進行曲線の例を高クロム鋳鉄と高炭素高速度鋼系合金についてそれぞれ図11、図12に示した。摩耗進行曲線は、摩耗の時間が早い段階での曲線の傾きが大きい初期摩耗と時間が経過した後での傾きが緩やかになる定常摩耗から構成されていることがわかる。なお、図11の鋳放しの黒鉛系鋳鉄では、硬さがHV30=207と低いので、試験時間 $3.6 \times 10^2$ ks後の重量減少率は1.52%と乾式摩耗試料中最も高い。 $3.6 \times 10^2$ ks後の高クロム鋳鉄の重量減少率は、図11に示すように0.15~0.41%の範囲にあるが、図12に示した高速度鋼系合金では、0.04~0.08%と小さい。

#### 3.2 湿式摩耗試験結果

図13から、鋳放し黒鉛系鋳鉄の重量減少率は、9.61%と高い。15% Cr 鋳鉄の重量減少率は、4.86~5.15%の範囲にあり、25% Cr 鋳鉄の重量減少率は0.64~1.15%であり、Cr量が高いほど、重量減少率は小さい。Crは耐食性を向上させる元素であるので、この効果が重量減少率にも反映されている。図14には、高炭素高速度鋼系合金の場合を示したが、高速度鋼系合金の中でもV量が高い10% V系試料No.4とCo量が高い10% Co試料No.6が重量減少率は小さい。図14から高速度鋼系合金の重量減少率は、2.47~5.08%の範囲にあり、図13の25% Cr 鋳鉄の重量減少率0.64~1.15%よりも大きい。

#### 3.3 乾式摩耗試験結果と硬さ及び湿式摩耗試験結果と硬さとの関係

図15には、本研究で用いた試験片の乾式摩耗試験結果を示した。黒鉛系鋳鉄の重量減少率は1.52%であり、高クロム鋳鉄、高速度鋼系合金に比べて重量減少率は大きい。また、高速度鋼系合金の重量減少率は、0.03~0.16%の範囲にあるが、15% Cr 鋳鉄、25% Cr 鋳鉄の重量減少率は、0.15~0.41%の範囲にあり、高炭素高速度鋼系合金の方が重量減少率は小さい。また、図中の実線で囲んだ領域に示すように、高炭素高速度鋼系合金は硬さが増加すると、重量減少率は低下する傾向にある。

図16には、湿式摩耗試験結果を示した。同図から、黒鉛系鋳鉄の重量減少率は、9.5%で高い。高炭素高速度鋼系合金の重量減少率は、15% Cr 鋳鉄の重量減少率と比べて、ほぼ同等またはそれ以下の重量減少率を示し、優れた湿式摩耗特性を示した。しかし、Cr量が増した25% Cr

鋳鉄では、重量減少率が0.64～1.15%と著しく小さくなり、良好な湿式の耐摩耗性を示した。

湿式摩耗試験後の試験片の概観を、黒鉛系鋳鉄 (No.10)、高速度鋼系合金 (No.2、No.3) について図17に示した。乾式摩耗後の試験片は、ほとんど、形状が変化していなかったが、湿式摩耗試験後の試験片は、重量減少率が多く、摩耗により角がとれて丸みをおびていた。とくに、黒鉛系鋳鉄試料 (No.10) の場合は、高速度鋼系合金に比べて、摩耗量が大きく、その程度が大きい。

### 3.4 三点曲げ試験結果

三点曲げ試験の結果、得られた高クロム鋳鉄の静的靱性値 ( $K_Q$ ) と晶出炭化物量との関係を図18に示す。 $K_Q$  は、 $K_Q = 22 \sim 37 \text{MPa} \sqrt{\text{m}}$  の範囲内にあり、晶出炭化物量の増加にともない、低下した。また、これらの試料の中で、No.5 と No.7 は、2.2.4節の条件、式 (3) を満たしたので、 $K_Q$  を静的破壊靱性値 ( $K_{IC}$ ) とみなせた。

なお、K.Heinz<sup>15)</sup>や佟ら<sup>16)</sup>の7～20% Cr組成の高クロム鋳鉄についての $K_{IC}$ の測定結果では、 $K_{IC} = 22 \sim 34 \text{MPa} \sqrt{\text{m}}$  の範囲内にあり、本研究結果の $K_Q$  や $K_{IC}$  とほぼ近似した値を示した。

### 3.5 ポットミルを用いた摩耗試験評価の実用的意義

本研究で用いたポットミル法は、多数のセラミック球と、1個の試験片を衝突させる方法である。工業的には、鉍石を粉砕して細かな鉍石とするために、図18のような方法が採用されている。図18①に示すような円錐形のライナーを低速で回転させ、鉍石をライナーのリフトバー (矢印A) の上に載せ、ライナーの上部まで運ぶ。鉍石は上部まで運ばれると、自重のために、転がり落下して、下方の鉍石に衝突する。この繰り返しで、鉍石がしだいに細くなる。このような場合にライナーの材質に耐摩耗材料 (例えば、高クロム鋳鉄) が使用されている。ポットミルを使用した本実験のセラミック球と金属試験片が、それぞれ、間接的に、図19①の鉍石とライナー本体部に対応する。図19②は鉍石粉砕用ミル、ボールであるが、ミルの回転とともに、ボールが鉍石に衝突し、鉍石は細くなる。この場合は、本実験のセラミック球と金属試験片がそれぞれ図19②の鉍石と高クロム鋳鉄製ボールや高クロム鋳鉄製ミルに相当する。したがって、ポットミルを用いて金属試験片の摩耗挙動を研究する場合は、金属試験片の摩耗挙動が図19①のライナー本体部材料や図19②の高クロム鋳鉄製ボール、ミルの摩耗挙動を反映するものと考えられるので、これら実機部材の耐摩耗性評価に有効であるものと考えられる。

## 4. 結 言

15% Cr 鋳鉄、25% Cr 鋳鉄及び高炭素高速度鋼系合金の乾式摩耗、湿式摩耗試験をポットミルを用いて行った。また、高クロム鋳鉄については三点曲げ試験を行ない、静的じん性値 ( $K_Q$ ) を測定した。得られた結果を要約すれば以下のとおりである。

1) 乾式摩耗では、高クロム鋳鉄と高炭素高速度鋼系合金の重量減少率は、0.03～0.41%の範囲内にある。高炭素高速度鋼系合金の方が、高クロム鋳鉄よりも重量減少率は小さくなる傾向にある。これは、主に、高速度鋼系合金の硬さが高クロム鋳鉄の硬さに比べて高い傾向にあることに起因している。

2) 湿式摩耗試験では、腐食の影響により、高クロム鋳鉄と高炭素高速度鋼系合金の重量減少率は、0.64～6.37%と多くなり、高速度鋼系合金の重量減少率も大きくなるが、これに比べて、耐食性に優れる25% Cr 鋳鉄の重量減少率は少ない。

3) 三点曲げ試験の結果、15% Cr 鋳鉄及び25% Cr 鋳鉄の $K_Q$  は、 $K_Q = 22 \sim 37 \text{MPa} \sqrt{\text{m}}$  の範囲内にあり、晶出炭化物量の増加にともない、低下した。得られた $K_Q$  はこれまで測定された

他の高クロム鑄鉄の  $K_Q$  とほぼ同程度の靱性値を示した。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、試料の加工に、当時の山口大学学生、金田裕介氏、初村寅太氏のご協力を得ました。また、試料の一部を提供していただいた(株)東亜工機（佐賀県鹿島市）山本裕文氏はじめ関係の方々に謝意を表します。さらに、本研究の一部は、平成15年度山口大学教育学部研究支援経費の補助を受け、実施されました。ご高配に深く感謝いたします。

## 文 献

- 1) 野呂瀬 進：摩耗機構の解析と対策（テクノシステム）（1992）
- 2) I.M.Hutchings: Tribology, Friction and Wear of Engineering Materials, Edward arnold (1992)
- 3) 「Abrasion」, UK Forum on Friction and Wear Testing, In association with The Institute of Physics, Tribology Groupe, 20<sup>th</sup> September 2001.
- 4) 松田公扶 他：日本鑄物協会50年史（日本鑄物協会）（1982）149
- 5) 日本鉄鋼協会編：鋼鑄物・鑄鉄鑄物、地人書館（1979）315
- 6) 桑野正司、大城桂作、松田公扶：鑄物、54（1982）9, 596
- 7) 桑野正司、大城桂作、松田公扶：鑄物、55（1983）9, 558
- 8) 金 遠智、澤本 章、大城桂作、松田公扶：鑄物、57（1985）1, 35.
- 9) 宇佐美 正、芹田 陽：鑄物、49（1977）12, 731
- 10) 宇佐美 正、芹田 陽：鑄物、50（1978）5, 281
- 11) 宮川 昇、山本 郁、桑野正司、藤田武男、澤本章、大城桂作：鑄造工学71（1999）2、85.
- 12) 橋本光生、久保 修、笹栗信也、松原安宏：鑄造工学75（2002）5、317.
- 13) 浦川孝広、宮川 昇、桑野正司、藤田武男、浅田隆志、草場 剛、澤本 章：山口大学教育学部研究論叢、第50巻、第2部、（2000）63.
- 14) JSME 日本機械学会編：日本機械学会基準、弾塑性破壊靱性 JIC 試験方法（1881）19.
- 15) K.Heinz,Z.Gahr, K.Rohrig: GIESSEREI FORSCHUNG 32（1980）2、35.
- 16) 佟慶平、鈴木俊夫、梅田高照、加藤 治：鑄造工学62（1990）8、54.

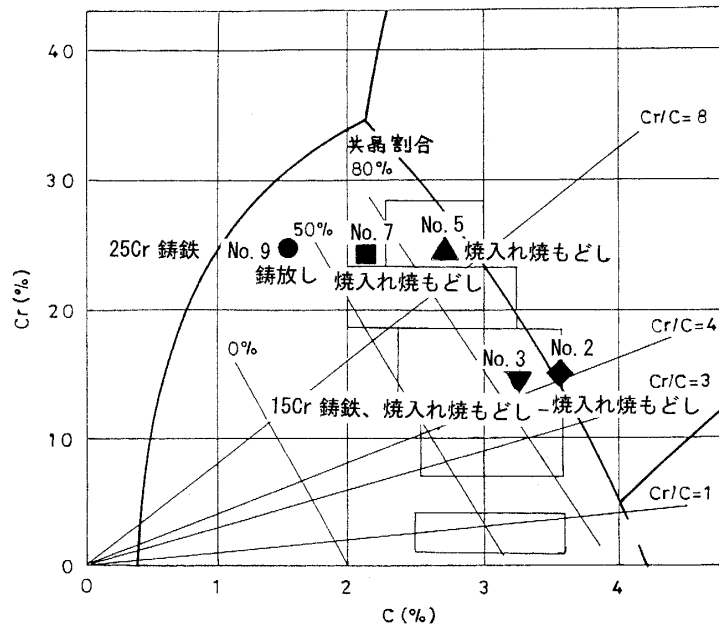


図1 試料（高クロム鑄鉄）の化学組成  
(JacksonのFe-C-Cr状態図上での試料の化学組成)

表1 試料の化学組成、熱処理方法及び硬さ

摩耗実験試料の化学組成、熱処理方法、及び硬さ											
No.	化学組成、mass%								鑄放し	焼入れ焼もどし	
	C	Cr	Mo	W	V	Co	Si	Mn	硬さ HV30	熱処理	硬さ HV30
H-1	2.20	4.32	4.62	5.25	3.45	—	0.61	0.43	578	1423K×7.2ks, OQ、 773K×3.6ks, 3times焼戻し	540
H-2	2.23	4.39	4.55	3.00	3.36	5.16	0.61	0.45	623	1423K×7.2ks, OQ、 773K×3.6ks, 3times焼戻し	628
H-3	2.29	4.70	4.72	4.68	3.32	10.3	0.50	0.53	555	1423K×7.2ks, OQ、 773K×3.6ks, 3times焼戻し	741
H-4	2.0	4.54	4.97	4.70	10.3	—	0.18	0.05	260	1423K×7.2ks, OQ、 823K×3.6ks, 3times焼戻し	628
H-5	2.12	4.62	4.95	4.97	6.06	4.72	0.09	0.03	709	1423K×7.2ks, OQ、 823K×3.6ks, 3times焼戻し	894
H-6	2.05	4.54	4.70	4.84	5.91	10.1	0.09	0.03	672	1423K×7.2ks, OQ、 823K×3.6ks, 3times焼戻し	1003
H-7	2.18	4.60	4.99	5.14	5.99	0.07	0.62	0.35	659	1423K×7.2ks, OQ、 823K×3.6ks, 3times焼戻し	843
H-8	2.26	5.51	4.90	5.21	5.57	Ni 5.15	—	—	398	1423K×7.2ks, OQ、 873K×3.6ks, 3times焼戻し	434
H-9	2.21	5.51	4.97	—	5.56	—	—	—	671	1423K×7.2ks, OQ、 873K×3.6ks, 3times焼戻し	831
H-10	2.26	5.54	5.10	5.17	7.95	5.15	—	—	695	1423K×7.2ks, OQ、 873K×3.6ks, 3times焼戻し	848
H-11	3.06	5.60	5.34	5.12	7.61	5.28	—	—	660	1423K×7.2ks, OQ、 873K×3.6ks, 3times焼戻し	999

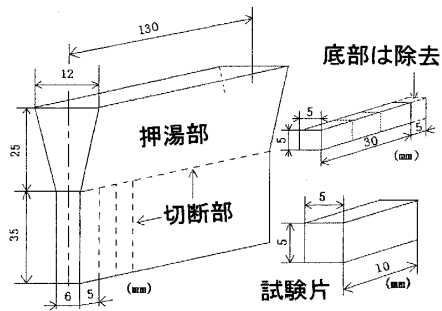


図2 摩耗試験片の形状

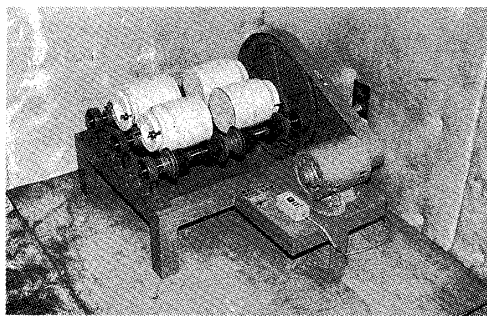


図4 摩耗試験機(ポットミル)の概観

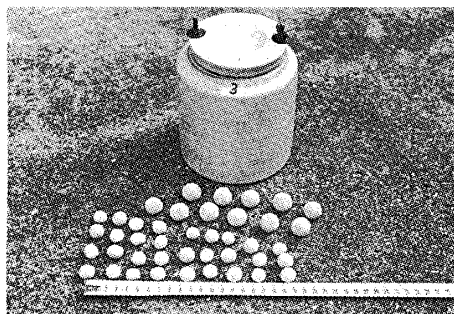
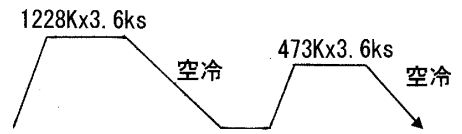


図5 乾式摩耗試験におけるセラミック球とポット

1) 15%Cr 鑄鉄、焼入れ焼もどし、 試料 No. 2、No. 3



2) 25%Cr 鑄鉄、焼入れ焼もどし、 試料 No. 5、No. 7



3) 25%Cr 鑄鉄、鑄放し、試料 No. 9

4) 黒鉛系鑄鉄、鑄放し、試料 No. 10

5) 高速度鋼系合金、焼入れ焼もどし

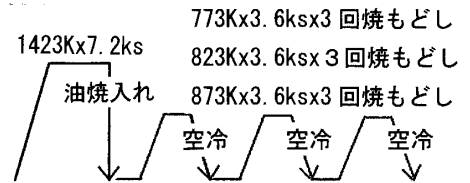


図3 熱処理サイクル

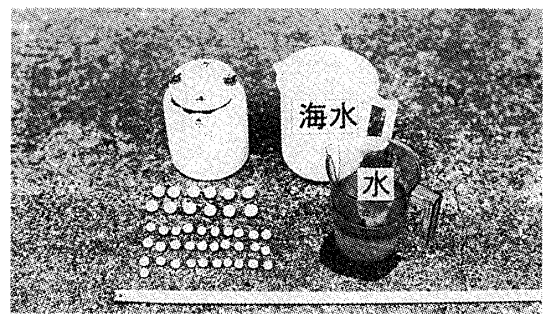


図6 湿式摩耗試験におけるセラミック球、海水及びポット



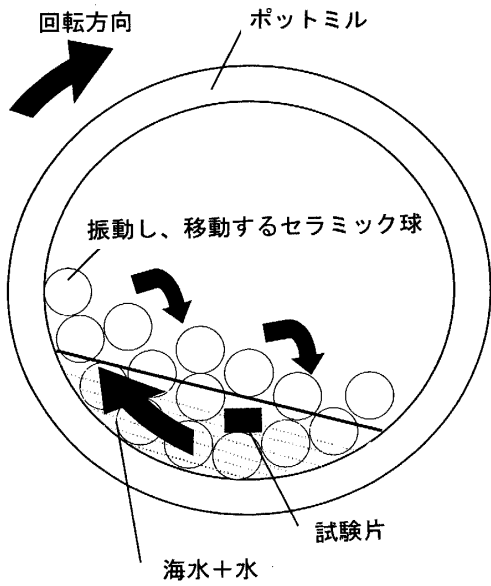


図7 ポット内の試験片、セラミック球及び海水の運動状況（湿式摩耗試験）

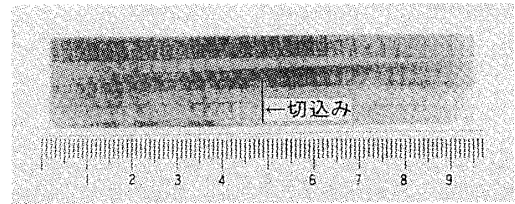


図8 3点曲げ試験片

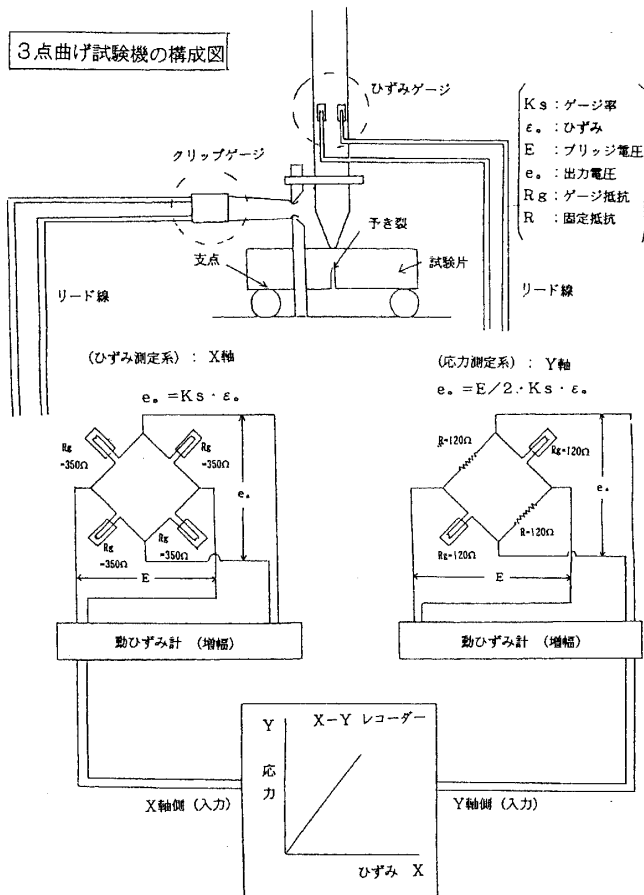


図9 計袋化三点曲げ試験機の概要図

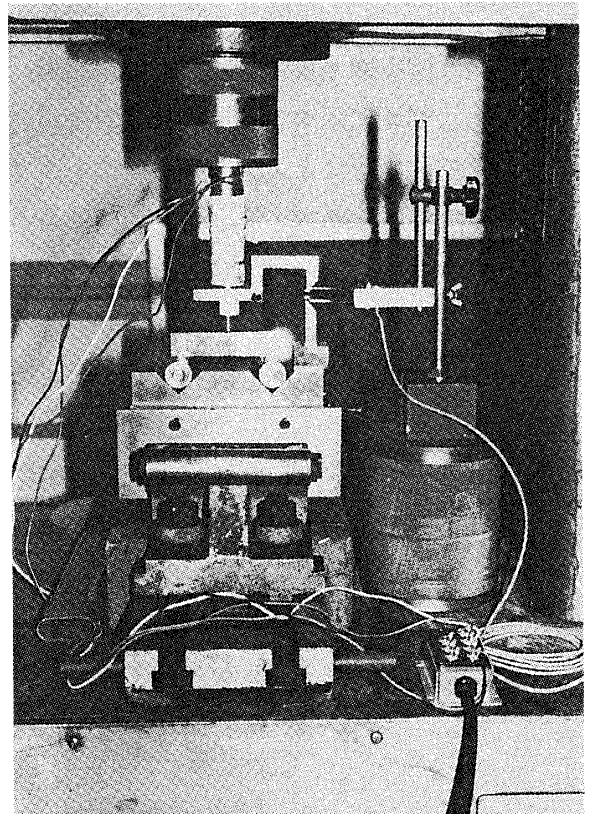


図10 計袋化三点曲げ試験機

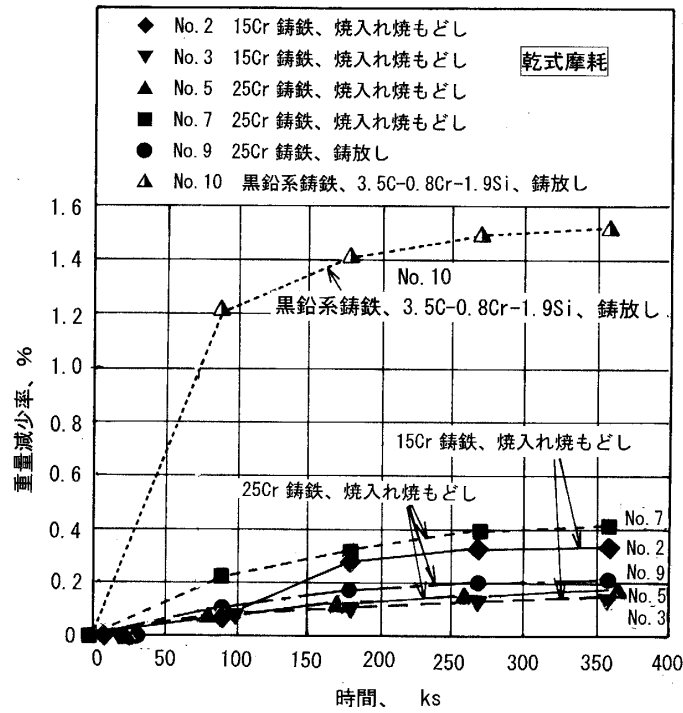


図11 摩耗進行曲線 (乾式摩耗)、高クロム鑄鉄

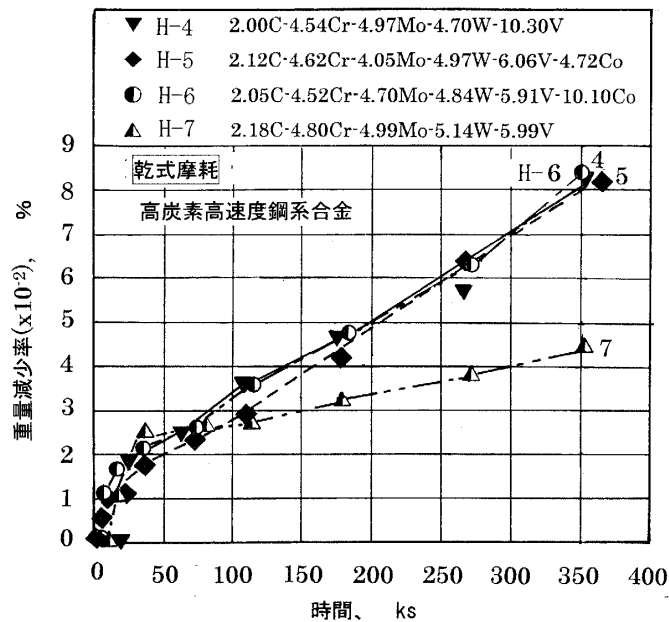


図12 摩耗進行曲線 (乾式摩耗)、高速度鋼系合金

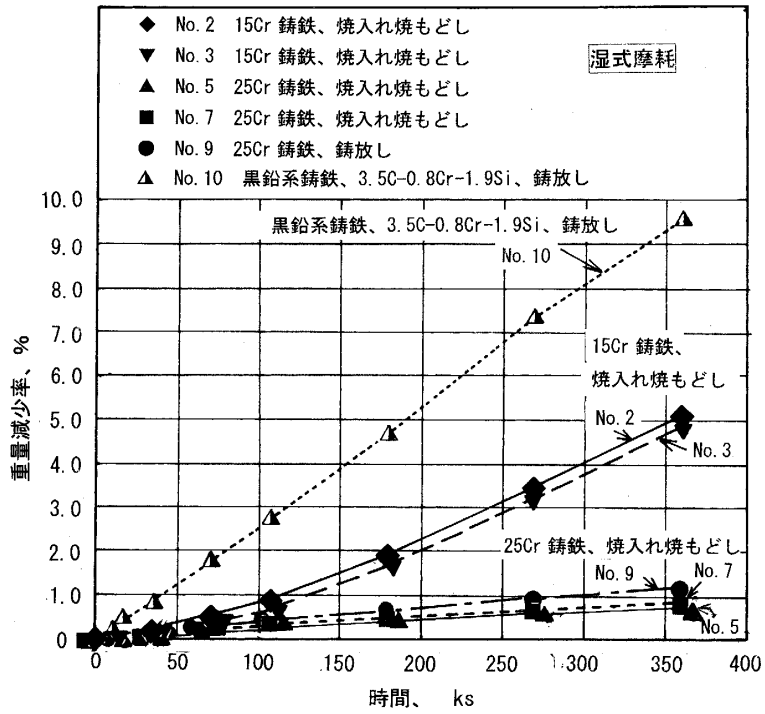


図13 摩耗進行曲線 (湿式摩耗)、高クロム鑄鉄

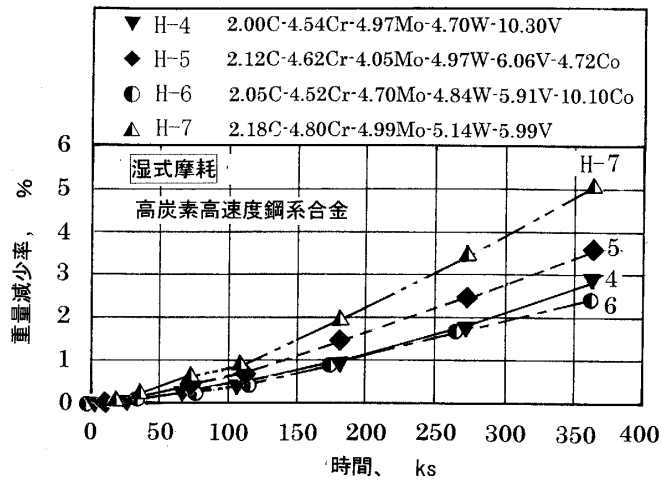


図14 摩耗進行曲線 (湿式摩耗)、高速度鋼系合金

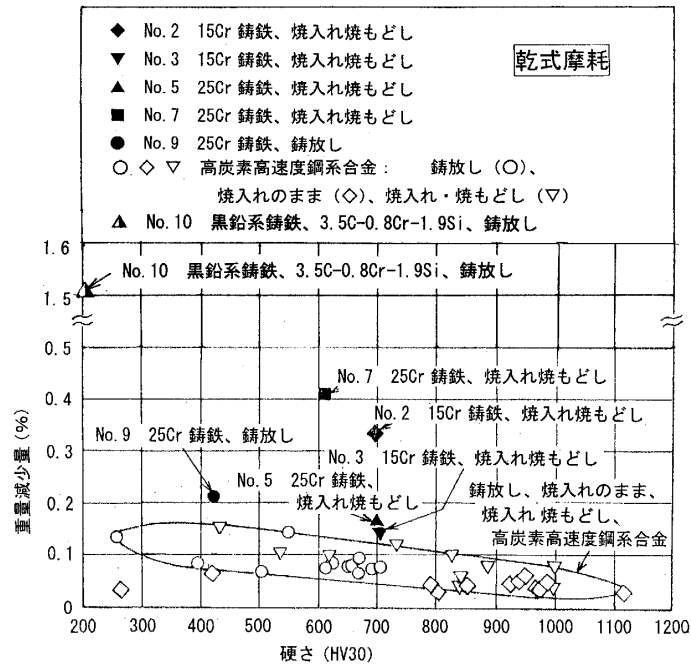


図15 乾式摩耗試験結果

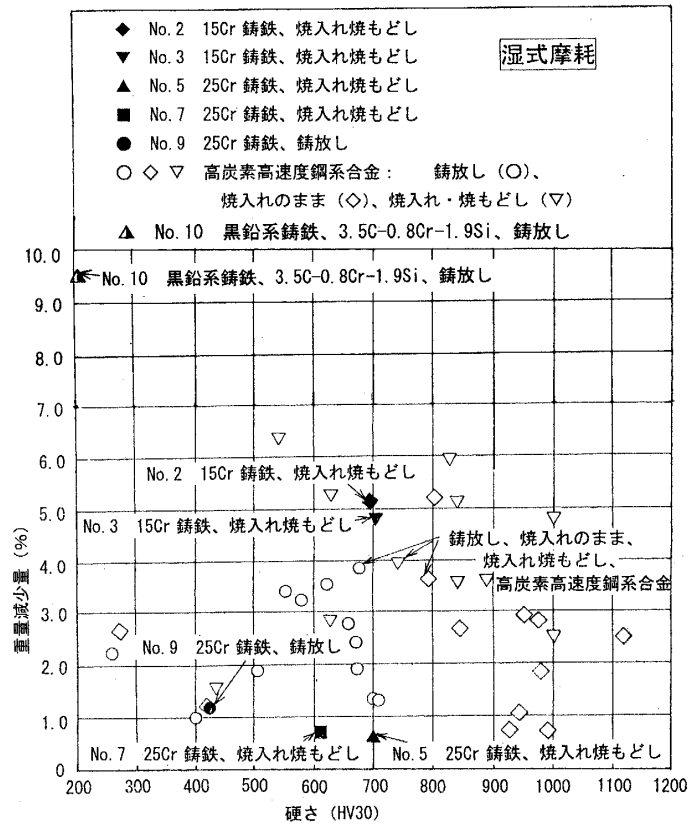


図16 湿式摩耗試験結果

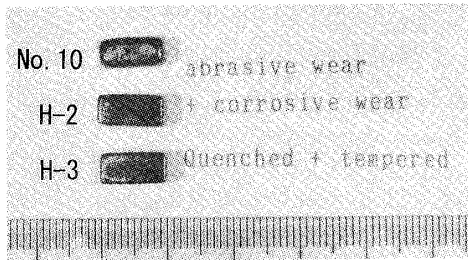


図17 摩耗試験後の試験片の概観  
(湿式摩耗試験)、黒鉛系鑄鉄 (No.10)、  
高速度鋼系合金 (H-2、H-3)

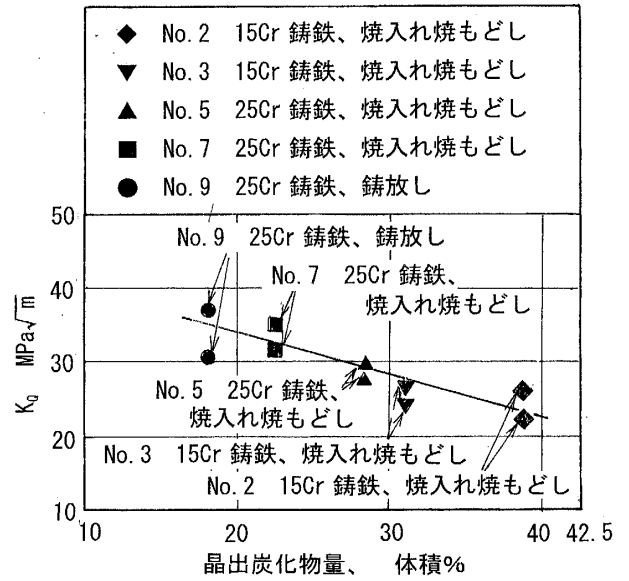


図18 晶出炭化物量と靱性値 ( $K_Q$ ) との関係 (高クロム鑄鉄)

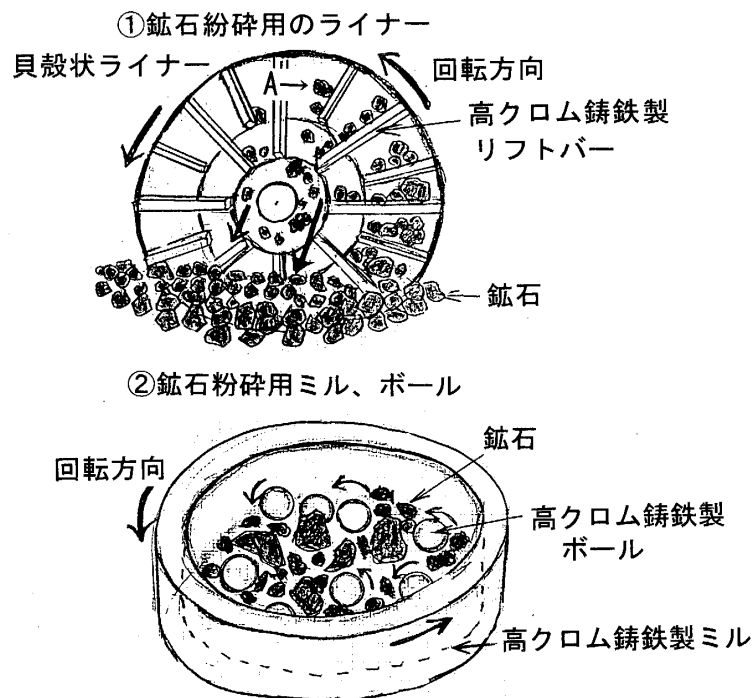


図19 高クロム鑄鉄の適用例