

(6) Wüstite の共析反応によつて、完全な Magnetite と α -Fe の共析組織が得られた。

文 献

- 1) 高木: 鉄と鋼, 50 (1964) 4, p. 637
- 2) 高木: 鉄と鋼, 50 (1964) 4, p. 639
- 3) M. H. DAVIES, M. T. SIMNAD, C. E. BIRCHENALL: J. Metals, (1951), 12, p. 889
- 4) O. A. TESCHE: Trans. Amer. Soc. Metals. 42 (1950), p. 641
- 5) P. PAIDASSI: J. Metals, (1952) 5, p. 536
- 6) E. A. GULBRANSEN, R. RUKA: J. Metals, (1950) 12, p. 1500
- 7) 日本金属学会: 金属便覧 (1960), p. 18, 265
- 8) 久保, 加藤: X線回折による化学分析 (1955) p. 168, 238
- 9) H. J. GOLDSCHMIDT: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 146 (1942), p. 157

(152) 鉄鋼材料の水中の土砂による摩耗について

住友金属工業, 中央技術研究所
 工博 三好栄次・阿澄一寛・○加藤 直
 大森靖也・中川 勝

Wet Sand Erosive Wear Resistance of Steels.

Dr. Eiji MIYOSHI, Kazuhiro AZUMI
 Tadashi KATOU, Yasuya ŌMORI
 and Masaru NAKAGAWA.

1. 緒 言

近年粉体や粒体の運搬方法として鋼管を用いる水力輸送が実用化されている。またサンドポンプの部品、コンクリートミキサーなど、固体を含む水による摩耗が問題となる鉄鋼材料の用途は多い。このような条件下での摩耗については古くからいろいろの実験¹⁾²⁾が行なわれているが試験条件によつて結果が著しく異なり硬さ以外に耐摩耗性を支配する因子を明確にし得る実験がほとんどなかった。

そこで著者らは上記のような固体を含む水による鉄鋼材料の摩耗 (low stress scratching abrasion) を調査するためすでに宮野³⁾に報告されたのと同種の試験機を使用し摩耗剤としては珪砂を用いて試験方法、各種鉄鋼材料の耐摩耗性を検討した。その結果を報告する。

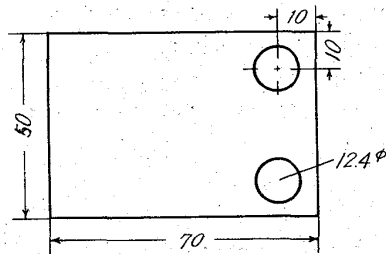
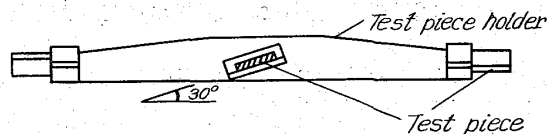
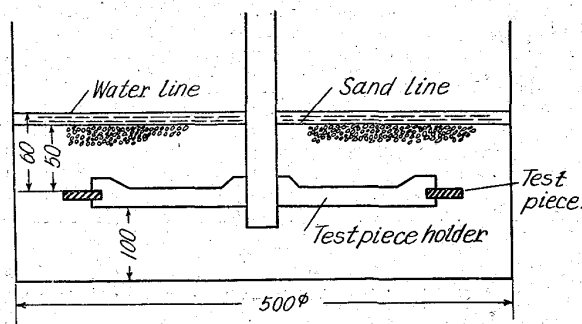
2. 実験方法

2.1 試験機

本実験に使用した摩耗試験機、試験片の概略をFig. 1に示す。本試験機の特徴は

- (i) 固定槽内の摩耗剤と水の中で水平に回転する。
- (ii) 試験片は回転面と伏角をなしており摩耗剤をすくい上げながら回転する。
- (iii) 摩耗量は試験片の重量減によつて測定することである。

摩耗剤として何を用いるかは試験結果を左右する重要



Test piece

Fig. 1. Schematic diagram of abrasion testing machine.

な因子であるので鋼材の耐摩耗性の差が顕著に現われること、均質で入手しやすいことなどから人工珪砂平均(35 mesh)を用いた。試験条件は予備実験から最も誤差が少なくなると考えられた結果、すなわち回転速度 202 r. p. m (平均周速度 3.5m/sec) 運転時間 68hr に一定とした。

2.2 試験機の特徴とその対策

この試験機では同一材質の試験片を用いても実験チャンス、試験片取付位置によつてかなり摩耗量がばらつき標準試験片による補正を行なつても鋼種間の比較はほとんど不可能であつた。そこでこれらの詳細を明らかにするために試験片の材質(W), 試験機(M), 周速度(S), 取付位置(A(M)), 試験時間について3段階型5元配置完備型実験を行なつた。その解析の結果、本試験機における上記因子と摩耗量(y)の関係は

$$y = A(M) \cdot S(M, W) w(M, W, T) \dots \dots \dots (1)$$

ただし S(M, W): 速度によるかたよりで M, W の関数
 w(M, W, T): 以上のかたより以外のもので M, W, T の関数

の形で表現でき実際問題として鋼種間の耐摩耗性を比較するには2種類の標準試験片を用いて尺度の調整を行ないつつ比較することが必要であると判断された。

2.3 鋼種間の摩耗量の差を調べるための実験法としてのユージン方格の応用

以上の検討によつて試験チャンス、試験機、取付位置の効果を消去し、さらに一組の試験と他の組の試験とを

Table 1. Design of factorial experiment.

P \ T	1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	3	4	5	6	7
2	7	1	2	3	4	5	6
3	6	7	1	2	3	4	5
4	4	5	6	7	1	2	3

T: Test No. P: Position.

つなぐのに 2 種類の標準試験片によつてその尺度の調整を行なわねばならない。この条件下ではユーデン方格(釣合型不完備型ラテン方格)による実験が最適と考えられた。この試験機では試験片取付位置が 4 箇所しかないため 7×4 ユーデン方格を用いた。わりつけは Table 1 に示す。

すなわち 7 鋼種を比較するために各鋼種 4 枚の試験片を用いて 7 回の実験が行なわれる。実際にはこの 7 鋼種中に 2 種の標準鋼種があるので 7 回の実験で 5 鋼種の比較が可能となる。この種の実験では取付位置、実験条件の効果は積の型で測定値に寄与していると予想されるので生のデータとその対数をとつたものの両者について解析を行なつた。この結果対数値で解析した方が残差平方和がはるかに小さく取付位置、実験条件の効果が積の型で寄与していることが明らかとなつた。

以上の結果に基づき本実験においては全て 2 種の標準鋼種を用い、ユーデン方格を採用しデータの対数値をとつて解析した。構造模型は

$$Y_{ijk} = \mu \cdot \alpha_i \cdot \beta_j \cdot \gamma_k \cdot \epsilon_{ijk} \dots\dots\dots (2)$$

ここに

Y_{ijk} : 摩耗量(g)

μ : 一組の実験における平均の効果

α_i : 鋼種の効果 ($i=1, 2, \dots, 7$)

β_j : 取付位置の効果 ($j=1, 2, 3, 4$)

γ_k : 実験チャンスの効果 ($k=1, 2, \dots, 7$)

ϵ_{ijk} : 実験誤差

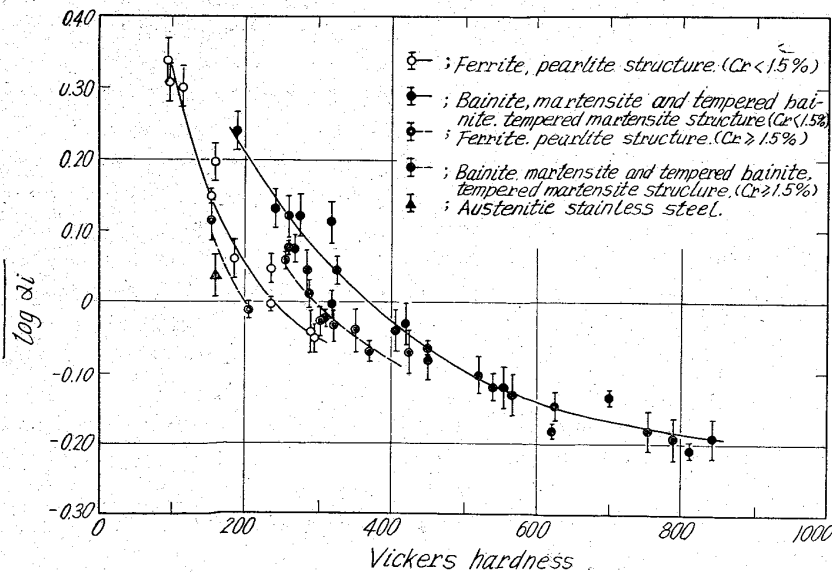


Fig. 2. Relative wear rate of carbon and low alloy constructional steels and austenitic stainless steel.

であり前述したごとくこの対数値をとつて和の形になおして解析する。

著者らが問題としたいのは鋼種間でどれが耐摩耗性が優れているかという点であるので (2) 式における $\log \alpha_i$ の平均値とその信頼限界を求めることにより十分に目的は達成される。そこで $\log \alpha_i$ ($\log \alpha_i$ の平均値) を摩耗係数と定義しこの値の大小で耐摩耗性を比較した。すなわち $\log \alpha_i$ が大であると摩耗量が大きく耐摩耗性が悪いことを示している。

3. 供 試 材

供試材は炭素鋼(0.1~0.7%C) 低合金構造用鋼 (Mn, Mn-Mo, Ni-Cr-Mo, Cr-Mo, など) 溶接性高張力鋼 (Mn, Cu-Ni-Cr-Mo-V-B, Cr-Mo-Zr など). 工具鋼 (SKD 6) フェライト系不銹鋼, オーステナイト系不銹鋼など合計 25 鋼種に焼鈍, 焼準, 焼準焼戻, 焼入焼戻などいろいろの処理を施しフェライト・パーライト組織, ベイナイト, マルテンサイトならびにそれらの焼戻組織とともに同一組織でも硬度の異なつたものが得られるようにした。

4. 実 験 結 果

いろいろの熱処理を施した炭素鋼, 低合金鋼, オーステナイト系不銹鋼の摩耗係数と硬度との関係を Fig. 2 にまた調質高張力鋼, Mn-Mo 鋼, 5%Cr 鋼, フェライト系不銹鋼の同様な関係を Fig. 3 に示す。各摩耗係数の上下の線は 95% 信頼限界を示すものである。これらの結果多少のばらつきはあるが次のような事実が明らかとなつた。

(i) 同一組織では硬度が上昇すると摩耗係数は減少し, その度合は硬度の上昇とともにゆるくなる。

(ii) 摩耗係数と硬度の関係は鋼種とは無関係にフェライト・パーライト組織とベイナイト, マルテンサイトおよびその焼戻組織によつて異なり同一硬度水準ではベイナイト, マルテンサイトならびにその焼戻組織よりフェライト・パーライト組織の方が摩耗係数が小さい。

(iii) Cr を 1.5% 以上含む鋼は組織とは無関係に同一組織の炭素鋼, 低合金鋼などより同一硬度水準で摩耗係数が小さく摩耗係数は Cr 量の増加とともに減少する。

(iv) オーステナイト系不銹鋼 (18Cr-8Ni) は同一硬度で考えると他のいずれの鋼よりも耐摩耗性が良い。(i)の結果は鋼の耐摩耗性に組織が大きく影響することを示すものであり著者等はこの現象の原因はセメントタイトの分布, 形状の差異によるものであろうと推定している。また (iii) の現象は Cr によるフェライトの地の強化, 炭化物の変化 (iv) はオーステナイトであることによる靱性の増加などが考えられるがその詳細は明らかでない。

5. 結 言

試験片を砂を含む水中で回転せしめる型の摩耗試験機を用い炭素鋼, 低合金構

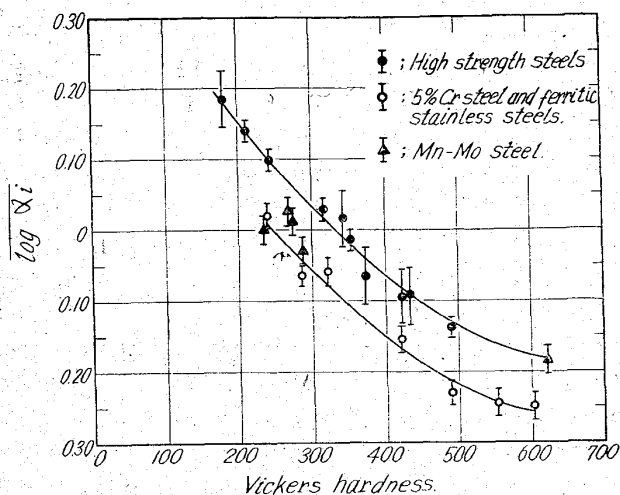


Fig. 3. Relative wear rate of high strength steels, 5% Cr steel and ferritic stainless steels.

造用鋼，溶接性高張力鋼，5%Cr 工具鋼，フェライト系およびオーステナイト系不銹鋼の摩耗試験を行なった。実験はユードン方格を採用し摩耗に因する因子の摩耗量におよぼす効果が積の型となるとして解析することにより

(i) 摩耗量と硬度の関係は鋼種とは無関係にフェライト・パーライト組織とベイナイト，マルテンサイトおよびその焼戻組織で異なり，前者の方が同一硬度での耐摩耗性が大である。

(ii) 同一組織では硬度の上昇につれて耐摩耗性が向上する。

(iii) 1.5% 以上の Cr を含む鋼は同一硬度，同一組織で考えると耐摩耗性がすぐれている。

(iv) オーステナイト系不銹鋼は同一硬度のフェライト・パーライト鋼よりも耐摩耗性が良い。

などのことが明らかとなった。

文 献

- 1) H. S. AVERY: Wear, 4 (1961), p. 427
- 2) R. D. HAWORTH; Metal Progress, June (1949), p. 842
- 3) 宮野, 他: 鉄と鋼, 47 (1961), p. 431

(153) 軸受鋼中の非金属介在物とベアリングボールの寿命について

(軸受鋼中の非金属介在物に関する研究—II)

神戸製鋼所，中央研究所

工博 成田 貴一・○那須 進

日本高周波鋼業，富山工場 佐々木 威

Relation between Nonmetallic Inclusion in Ball Bearing Steel and Fatigue Life of Bearing Ball.

(Study on nonmetallic inclusion in ball bearing steel—II)

Dr. Kiichi NARITA, Susumu NASU and Takeshi SASAKI.

1. 緒 言

著者らは前報¹⁾で各種の溶製法による軸受鋼中の非金属介在物とその特性について調査した結果を報告したが，本報告においては，ひきつづいて軸受鋼中の非金属介在物と軸受鋼の寿命との関係を明らかにする目的で塩基性電弧炉溶製材（以下大気溶解材と記す）および消耗電極式アーク再溶解材より製造したベアリングボールを供試材とし，曾田式動荷重試験機によつて寿命試験をおこなつたのち，破面状況の観察，非金属介在物の化学分析および組織などについて比較検討をおこなつた。以下その検討結果について報告する。

2. 供 試 材

試験に使用した供試材は軸受鋼 2 種 (SUJ-2, JIS) の大気溶解材 9 種類，消耗電極式アーク再溶解材 3 種類の合計 12 種類であり，材料切断—冷間プレス—粗研磨—830°C 水焼入—140°C 油中 1 hr 低温焼戻—研磨仕上の加工工程によつて製造されたものであり，その化学成分組成は Table 1 に示したとおりである。

3. 試験項目および試験方法

3.1 曾田式動荷重試験機による供試材の寿命試験
寿命試験に使用した曾田式動荷重試験機の原理図は，Fig. 1 に示したとおりであり，試験方法の概略はつぎのとおりである。

まず被試験ボールは組立前に双眼顕微鏡でキズ検査をおこない，ベアリングの外輪および内輪に被試験ボール 9 コを組合せて，主軸 a および中軸 b に取付ける。運転時の固定荷重はスプリング c によつて 1,200 kg あたえられ，変動荷重は偏心錘 d で 2000 r.p.m の回転によつて ±800 kg の荷重があたえられる。主軸 a は 2000 r.p.m で回転し，潤滑油は 60# Spindol oil を使用。試験時に試験ボールにあたえられる最大応力は $P_{max} = 500 \text{ kg}$ となる。もし運転中に試験ボールにフレーキングが発生した場合は，固定荷重伝達レバーにより Vibration meter に異常振動が起り，メーターの指示で G10 以上になると自動的にマグネットスイッチが働いて運転が止まり，この実運転時間が時間計に表示される。

3.2 光学顕微鏡による破壊供試材のクラック発生状態の観察

3.3 ガス分析および非金属介在物

i) 真空溶融法による O 分析および蒸留法による N