

特殊鑄鋼の摩耗特性について*

吉岡正三**・山本 久**・稲数直次***

The wear-Resistivity of Special Cast Steels

Shozo YOSHIOKA, Hisashi YAMAMOTO and Naotsugu INAKAZU

Synopsis:

The wear tests on several kinds of special cast steels, "Adamite" cast steels and a "Ductile" cast iron were carried out, using a Nishihara's wear testing machine, the load being 20 Kg, and the revolution slip 9.09% in the absence of lubricant.

The wear resistivities of the normalized cast steels containing 0.56—0.91% carbon increased with increases in both the hardness and the carbon content of the steel. In these cases, it was found that for the lower carbon steel, adhesive were firstly occurred and followed by oxidation wear, while only oxidation wear for the higher carbon steel.

"Adamite" cast steels containing 1.46—2.26% carbon were mainly worn by abrasive wear, which resulted in less superior wear resistivities than those of the lower carbon cast steels. There was a contrary tendency such that their total wear loss increased with increases in the hardness and carbon content.

A "Ductile" cast iron (3.38%C) was found to have a far superior property than the others, owing to the protective lubrication of free graphite contained within itself.

(Received 8 Sept. 1967)

1. 緒 言

金属の摩耗に関しては、従来おびただしい数の研究が報告されているが、なかでも鑄鉄と鋼については数多くの研究が行われてきた。しかし鑄鋼の摩耗に関する研究は数少ない。筆者らは各種圧延用ロール材としての特殊鑄鋼と高炭素鑄鋼（アダマイト）を主たる研究対象とし、強靱鑄鉄（ダクタイル鑄鉄）も含めて、それらの耐摩耗性を調べる目的でスベリを含んだ転がり乾燥摩耗試験を行なつてみた。相手の供試材として、機械構造用炭素鋼の焼鈍材（S55C）を用いた。

2. 実 験 方 法

2.1 試験機

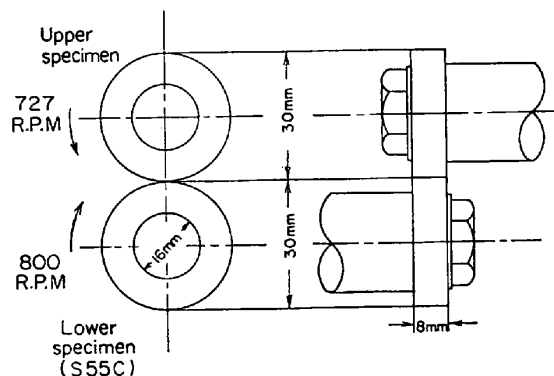


Fig. 1. Wear-testing method

西原式金属摩耗試験機を用いた。Fig. 1に試験方法、回転数を示す。試験片は上下同形のリングである。

回転数：上方試験片 727 R.P.M

下方試験片 800 R.P.M

スベリ率：9.09%

荷 重：20 kg

以上の条件のもとで試験を行なつた。

2.2 試験片の組合わせ

特殊鑄鋼とアダマイトとダクタイル鑄鉄を上方試験片とし、それに対して S55C 材を下方の相手材として摩耗試験を行なつた。

2.3 試験方法

試験前に各試験片を摩耗試験機に取り付け、回転しながらエメリー紙 05 で表面を十分に研磨して表面状況を一定になるようにした。試験片表面はベンジンおよび無水アルコールで数回洗つて脱脂に注意をはらつた。研磨洗滌後は秤量し、摩耗試験開始後は時間をおいて適宜試験片の重量減を秤量した。なお摩耗面の肉眼的観察（写真撮影）も行なつた。

2.4 供試材

2.4.1 化学成分

* 昭和42年9月8日受付泉大津工場

** 大阪府立大学工学部 工博

*** (株)淀川製鋼所泉大津工場

Table 1. Chemical composition of test material. (wt%)

Specimen No.	Material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Mg
1	Annealed cast steel	0.56	0.36	0.73	0.021	0.008	1.74	0.90	0.31	0.07	—
2		0.58	0.30	0.70	0.026	0.015	1.70	0.90	0.33	0.07	—
3	Normalized cast steel	0.56	0.36	0.73	0.021	0.008	1.74	0.90	0.31	0.07	—
4		0.82	0.40	0.76	0.017	0.013	—	0.97	0.26	0.07	—
5		0.91	0.40	0.78	0.020	0.012	—	1.01	0.37	0.06	—
6	Adamite	1.46	0.27	0.68	0.022	0.015	—	0.90	0.42	0.05	—
7		1.49	0.41	0.69	0.021	0.008	—	0.95	0.44	0.04	—
8		1.75	0.41	0.72	0.018	0.005	—	0.90	0.23	0.05	—
9		1.76	0.53	0.73	0.025	0.015	—	1.11	0.34	0.05	—
10		2.10	0.55	0.75	0.030	0.011	—	0.90	0.37	0.04	—
11		2.26	0.50	0.64	0.024	0.013	—	1.18	0.16	0.06	—
12	Ductile	3.38 (2.49)	1.88	0.85	0.087	0.030	1.54	0.20	0.28	—	0.043

() Graphite.

Table 2. Heat treatment and Hardness.

Specimen No.	Material	Heat treatment	Hardness (shore)
1 2	Annealed cast steel	R. T $\longrightarrow$ 950°C $\times$ 2hr $\longrightarrow$ R. T F. C	32 32
3 4 5	Normalized cast steel	R. T $\longrightarrow$ 950°C $\times$ 2hr $\longrightarrow$ R. T A. C	43 44 45
6 7 8 9 10 11	Adamite	R. T $\longrightarrow$ 980°C $\times$ 2hr $\longrightarrow$ R. T F. C	38 39 41 42
		R. T $\longrightarrow$ 1000°C $\times$ 2hr $\longrightarrow$ R. T F. C	44 45
12	Ductile	R. T $\longrightarrow$ 600°C $\times$ 2hr $\longrightarrow$ R. T F. C	40

各供試材の化学成分は Table 1 に示す。

2.4.2 熱処理法および硬度

各供試材の熱処理法と硬度は、Table 2 に示す。それぞれの供試材の中から、代表的なものをえらび、顕微鏡組織写真を Photo. 1 (a ~ f) に示す。

3. 実験結果

3.1 摩耗減量

組合わせについては、前述したごとく各種試料に対して、相手材として S55C をあて摩耗実験を行なったがその結果を Fig. 2 に示す。図の横軸は試験片の回転数、縦軸は全摩耗量を表わす。

特殊鋼焼鈍材（試料 1, 2）が最も摩耗が激しく、実験開始後初期の段階で、すでに顕著な摩耗を起こしている。摩耗面は初期にむしれたような肌を呈し、さらに摩耗減量が増すにつれて黒かつ色の酸化膜が生成され、そ

れが落下している。相手材（S55C）もほぼ同じ様子を呈している。この様子は最終段階での表面状況として Photo. 2 a に見られる。

特殊鋼焼準材（試料 3~5）はほかの試料とは熱処理法が異なり、焼準組織を呈し硬度がやや高い。摩耗状況も従来のものとは異なり、5,000 から 6,000 回転付近を原点とするほぼ直線状の摩耗のしかたを示している。したがって 20,000 回転付近までは従来のものと大差はないが 100,000 回転の最終段階では摩耗量が著しく少なく大きな開きを生じている。摩耗面の状況は、なめらかな面に薄い茶かつ色の酸化膜が張りそれが落下している。相手材もほかの試料の場合よりは色が薄い。この様子を Photo. 2 b に示す。

アダマイト（試料 6~11）は炭素量が少ないほど耐摩耗性が良くなっている。10,000 回転付近まではそれぞれの試料について摩耗減量は大差がなく、20,000 回転付近

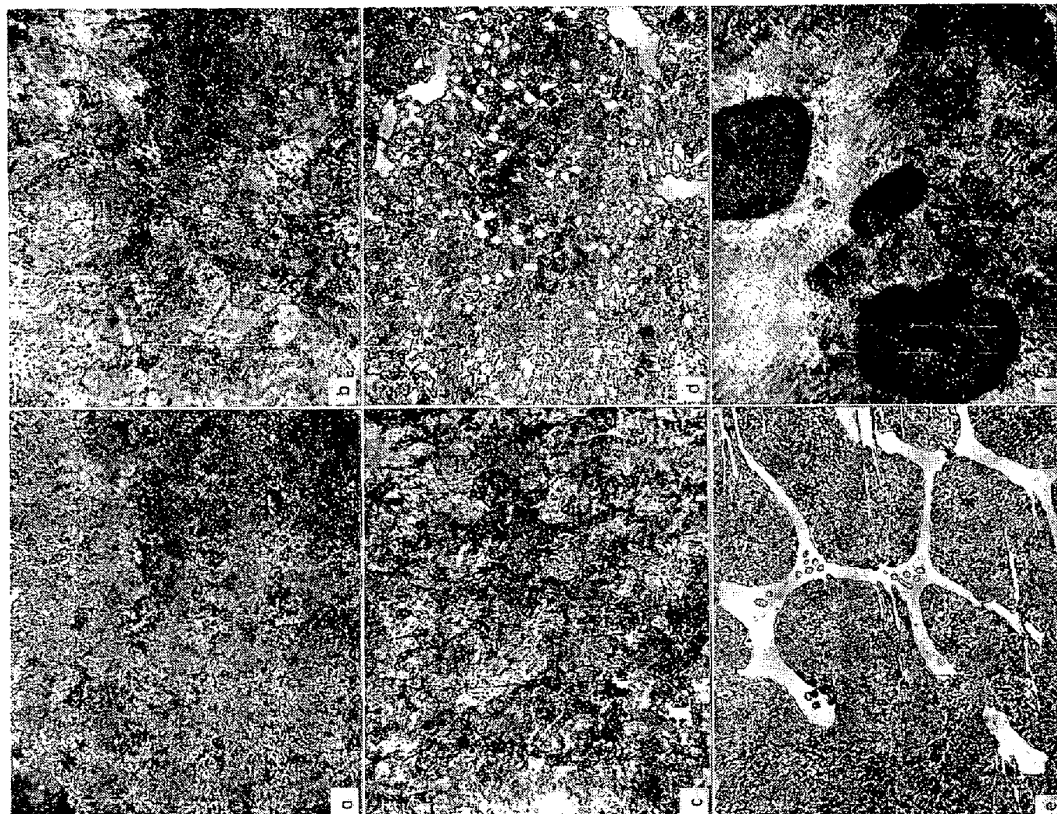


Photo. 1. Microstructures of typical specimen.
(a) annealed cast steel (No. 1), (b) normalized cast steel (No. 9, 11), (c) adamite cast steel (No. 3, 5), and (d) ductile cast iron (No. 12)

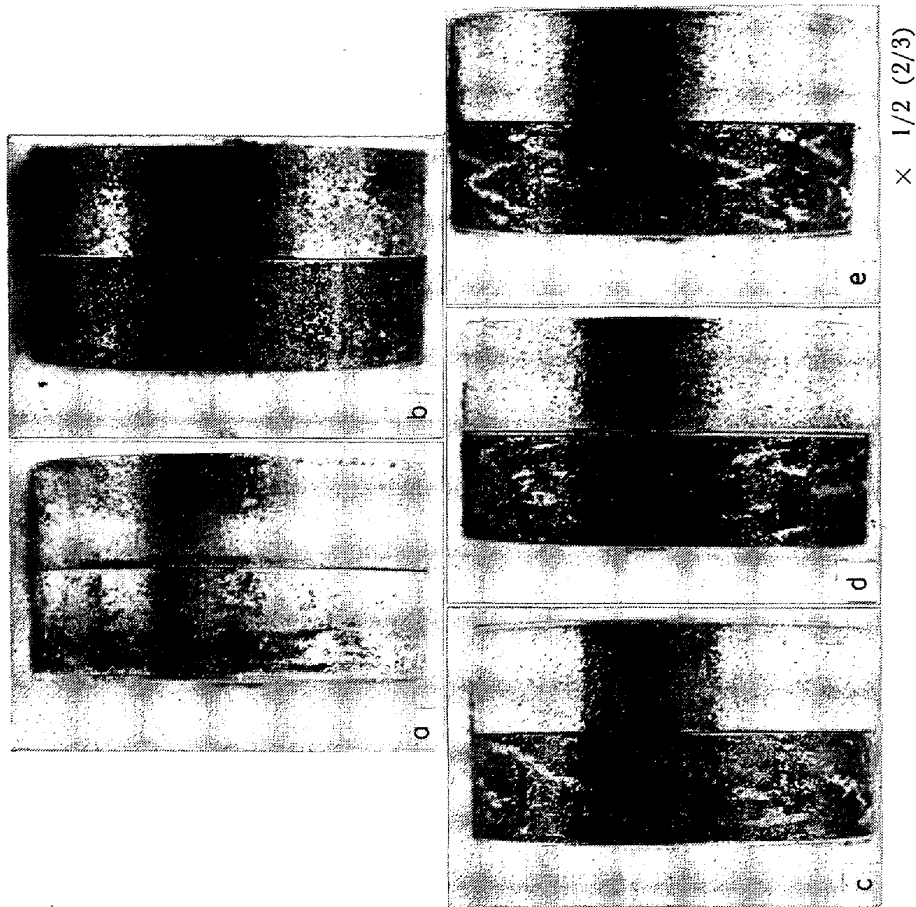


Photo. 2. Typical examples of surface condition after 100,000 revolutions; right ring is test specimen and left ring is S 55 C steel.

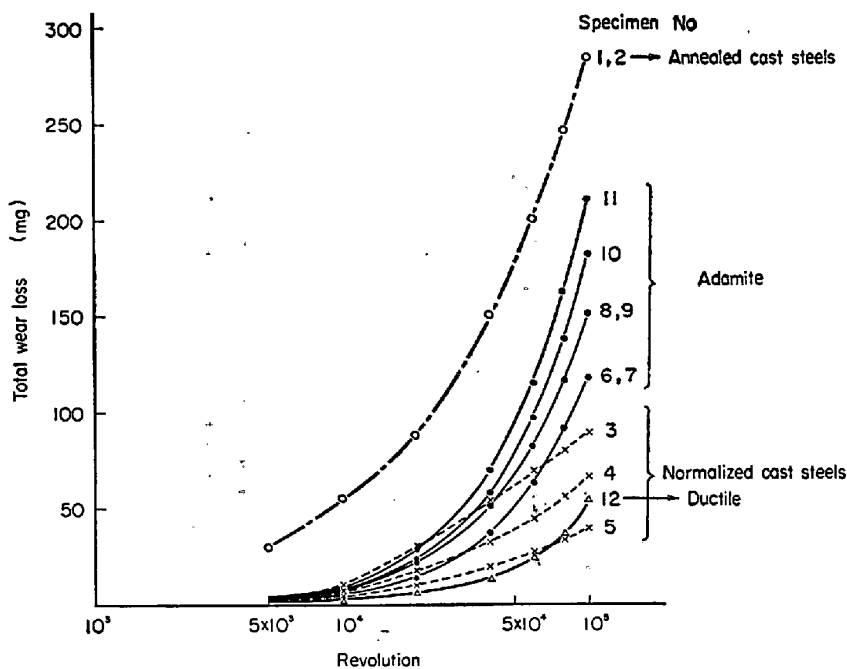


Fig. 2. Relation between Revolution and Wear loss.

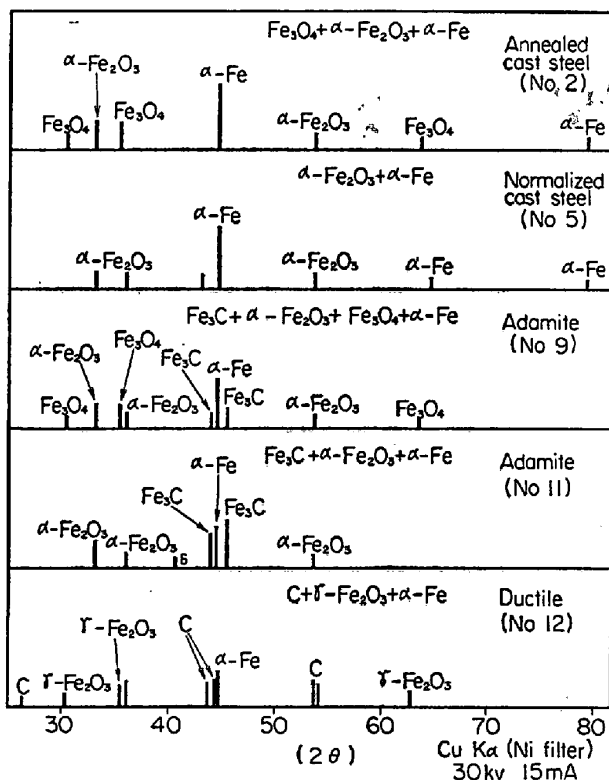


Fig. 3. X-ray diffraction data.

から摩耗減量の差が目立つてくる。摩耗面の状況は20,000回転までは梨地状を呈しその上に酸化膜がかぶつた様子を示しているが、その後は次第に梨地にわずかに赤味をおびた灰輝色を呈してくる。この様子をPhoto. 2 c~e に示す。

ダクタイル (試料12) は焼鈍供試材中では最も摩耗減

量が少ない。その摩耗傾向は50,000回転付近まではほとんど摩耗を起こさず80,000回転以上になると、急激に摩耗量がふえる。

3.2 脱落粉末のX線回折結果

摩耗試験によつて生じた脱落粉末のX線回折図形をとつて見た。X-ray diffractometer を使い、使用したX線は $\text{CuK}\alpha$ 線 (Niフィルター), 30kV, 15mA である。回折結果を Fig. 3 に示す。

特殊鋳鋼焼鈍材は炭素量 0.58% を含有し、回折の結果は $\alpha\text{-Fe}$ の回折線が最も顕著で、そのほか酸化物として Fe_3O_4 と $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の線が現われている。

特殊鋳鋼焼鈍材 (試料5) は炭素量 0.91% を含有する。回折図形は $\alpha\text{-Fe}$ と $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ のみを示し、ほかのものの存在を示さない。

アダマイト (試料9) は、炭素量 1.76% を含有し、落下粉の回折図形は前者同様 $\alpha\text{-Fe}$, Fe_3O_4 , $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の線を示しているがそれに加えて、 Fe_3C の回折線がかなり強く出ているのがこの場合の特色である。アダマイト (試料11) は、炭素量 (2.26%) をより多く含んでいるので、 Fe_3C の炭化物の線がさらに強く現われている。一方酸化物系は、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ のみで Fe_3O_4 は認められない。

ダクタイル (試料12) は、上述の鋳鋼類の炭素が全部セメントナイト状態であるのに対して、全炭素量3.38%中2.49%がグラファイト状態である。このためと思われるが、落下粉の回折線に遊離炭素の回折線が強く出ている。また $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 線が認められる。

3.3 炭素量ならびに硬度変化と摩耗量との関係

Table 3. Total wear loss of normalized and Adamite cast steels.

M C S R	Normalized cast steel			Adamite cast steel			
	0.56	0.82	0.91	1.45	1.76	2.10	2.26
	43	44	45	38.5	41.5	44	45
	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
5,000	2	4	1	2	1	3	2
10,000	10	8	5	4	7	12	11
20,000	30	18	10	14	22	27	28
40,000	54	32	19	36	52	64	70
60,000	69	44	27	62	82	107	116
80,000	80	56	33	93	113	144	164
100,000	90	67	40	119	144	177	209

M: Material, C: content(%), S: SHN, R: Revolution.

次に特殊鋳鋼焼鈍材とアダマイトの両者について、炭素含有量ならびに硬度の変化と摩耗減量との関係を Table 3 に示した。

特殊鋳鋼焼鈍材は、炭素量の増大と平行して硬度値が上り、それに応じて摩耗量が急速に減少している。これに対してアダマイトのほうは、炭素量ならびに硬度値の増大に伴って摩耗量が急激に増大しており、前者と全く対称的であることが知られる。

4. 考 察

特殊鋳鋼の焼鈍材は、硬度が低く、ほかのロール用供試材と比べて最も摩耗量が多い。初期段階から激しい摩耗を示し、融着現象が見られる。この場合試験片と摩耗相手材の S55C 材とが炭素含有量や組織の点で類似していることから融着現象をひき起こしているのであろう。Photo. 2a に見られるように、両者の摩耗面の肌荒れ状況の類似していることがこれを証明する。次に上記の焼付けに続いてのむしれ、さらにむしれ部分の破砕や酸化が引続いて起こっていくものと思われる。X線回折図形の上で α -Fe 線が最も強く現われるのは、このむしれ作用のはげしいことを示し、また一方、 Fe_3O_4 回折線の存在は、 Fe_3O_4 の生成条件から考えて摩耗表面がかなりの高温に達していることを示す。

特殊鋳鋼の焼鈍材については、それらの顕微鏡組織はソルバイト組織を主体とし、これに含有炭素量に応じてわずかな量の α -Fe あるいはパーライトが細かく分散したものである。それぞれ組織に応じて硬度が変化し、硬度が増すにつれて摩耗量は少なくなる (Table 3)。摩耗傾向はほかの供試材と比較して見ると、長期にわたって一定の摩耗量増加を示している。これは、くり返し荷重に対する疲労限の低下度合がほかの供試材より少ないため摩耗を長く続けても表層部の脆化の進行がおさえられ、基地の靱性を、いつまでも維持しているためと考えられる。これはソルバイト組織が硬度値もかなり高いが同時に靱性を持っていることからうなずけると思う。この材料の摩耗においては、焼鈍材のような融着現象を起こさず、またひつかき現象も起こさず、軽度の酸化摩耗を起こすだけである。その結果、ロール材鋳鋼として最も摩耗の少ない良成績を示している。

アダマイト材質に関しては、炭素量が増すにしたがつて摩耗が激しくなっている。硬さは炭素量が増すにつれて必然的に高くなるので、硬さが増すほど耐摩耗性が低下する結果になる (Table 3)。この原因や摩耗機構について次のように考えた。この材質は、炭素量の増大にともなつて遊離セメンタイトの量が増し、材質平均の硬

度値を増すが反面脆性も増す。Photo. 1e の顕微鏡組織に見られるように、炭素量の多いアダマイトでは遊離セメンタイトが太い線状をなしてつながって分布している。また炭素量の少ないアダマイトでは、Photo. 1d のように、個々の遊離セメンタイトは切れた線状形を呈しているが、それでも全体として各小区域を囲んだ形に分布している。遊離セメンタイトのこのような形、分布またセメンタイト自身の硬くてろい性質から考えて、外から応力がかかった時に、これらの遊離セメンタイトあるいは遊離セメンタイトと地との境界に応力集中が起こりこれらの部分から破壊が起こると想像される。したがって摩耗はこの場所の破壊から始まり、次に破壊後の硬い表面突起部のひつかき作用、さらにセメンタイトを含む摩耗粉の介在によるひつかき作用が重なつて摩耗を促進するであろう。

アダマイトの摩耗は、このようにひつかき摩耗が主であるが、同じアダマイトであつても炭素量の少ないものでは遊離セメンタイト量が少ないのでひつかき破壊の程度が弱く、酸化摩耗が同時に起こっている。この際 α - Fe_2O_3 や Fe_3O_4 の酸化粉が一種の減摩作用をすることも考えられ得るのであつて、この作用とひつかき作用の少ないことの両作用が、低炭素アダマイトが高炭素アダマイトより摩耗量の少ない原因であると思われる。高炭素アダマイトの場合の落下粉中に α - Fe_2O_3 のみがあつて Fe_3O_4 がないのは、ひつかき作用のはげしく、したがって表面温度の低かつた証左であろう。また高炭素アダマイトの摩耗量が回転総数の増大とともに加速的に急増するのは、炭素量の増大に伴って遊離セメンタイトの形が大きく、量も増し、そのために材質的にもろさを増すこと、これに加えて介在粉のひつかき作用が増すこと、これらの因子が加速的に増大するためと思われる。

ダクタイル鋳鉄に関しては、硬さは中炭素アダマイトとほぼ同じであるが、耐摩耗性は数段良い。この理由としては、従来より鋳鉄系のヤング率の小さいことをあげた報告が多いが²⁾、筆者らは遊離グラファイトの潤滑作用の効果³⁾のほうが大きいように思う。X線回折図形にもグラファイトの存在がはつきり見られるのである。また γ - Fe_2O_3 の回折線が見られることは、この生成温度が低い⁴⁾ことから、この場合の摩耗では、グラファイトの潤滑作用が主動的であつて摩擦熱も少なく、摩耗量も少ないのであると思つている。

5. 総 括

スベリを含んだ転がり乾燥摩耗試験の結果次のことがわかつた。

(1) 特殊鋳鋼に関しては、基地の硬度があがるにつれて耐摩耗性を有し、この摩耗機構は低硬度鋳鋼の場合、融着摩耗が優先し、あとに酸化摩耗へ進行する。高硬度鋳鋼の場合は融着作用より酸化作用が優先して、硬度に比例して耐摩耗性が良好である。

(2) アダマイト材質に関しては、炭素量が増大し、硬度があがるにつれて、ひつかき摩耗が激しくなり耐摩耗性が劣ることを知った。

(3) ダクタイルに関しては、遊離グラファイトの潤滑作用によつてひつかき作用や焼付作用がおさえられて

耐摩耗性が良好である。摩耗機構は低温酸化摩耗と思われる。

文 献

- 1) M. B. PETERSON, J. J. FLOREK and R. E. LEE: Sliding Characteristics of Metals at High Temperatures. ASLE. Trans., 3-1 (1960), p. 101
- 2) T. L. OBERLE: Hardness, Elastic Modulus, Wear of Metals. SAE. Trans., 6-3 (1952~7), p. 511
- 3) 飯高, 海江田: 日本機械学会論文集. 7. 29号 I-55 (1941)
- 4) 飯盛: Nature, 140, 278 (1937)