

## 技術教育における金属材料の有効利用 —放電被覆加工球状黒鉛鑄鉄の耐摩耗性—

相馬 詢<sup>1</sup>・三谷 將之<sup>2</sup>・スリアニ ジュライヒ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>北海道教育大学釧路校技術教育研究室 <sup>2</sup>北海道教育大学札幌校機械工学研究室

### Effective utilization of metallurgical materials in technology education :

#### Wear resistance of spark-hardened S.G.Cast Iron

Makoto SOHMA<sup>1</sup>, Masayuki MITANI<sup>2</sup> and Suriani JULAIHI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Engineering, Hokkaido University of Education, Kushiro 085-8580, Japan

<sup>2</sup>Laboratory of Mechanical Engineering, Hokkaido University of Education, Sapporo 002-8502, Japan

#### Summary

In order to add value and utilize metallurgical materials effectively, the surface of the S. G. Cast Iron was spark-hardened.

The wear resistance of the surface of the S.G.Cast Iron could be raised easily and greatly using spark-hardened treatment. This treatment of metallurgical materials will be a useful method for the effective utilization of resources in the earth.

#### 1. 緒言

科学技術の進歩は我々の生活を豊にするのみならず社会構造、産業構造、生活習慣等を大きく変化させ便利で限りなく快適な生活環境をもたらした。そしてこの目ざましい進歩は材料の発見、発明に大きく関わっているが、材料の大量消費の継続は資源の枯渇のみならず製造過程において多量に消費される化石燃料によって地球の環境、資源、エネルギー等に、現在のみならず後世のあらゆる生命に深刻な問題を投げ掛けている。

従って地球環境を守る種々の努力の中で、近年材料が有限であることを強く認識し、材料の特性を生かした有効利用や、リサイクルなどの再利用によって、材料の生産・消費を抑制して環境保全が計られなければならないとの研究が精力的に行われている。なかでも金属材料の表面を改質して耐熱性、耐摩耗性、耐蝕性、耐疲労性、装飾性等を増大、すなわち材料の高機能化、高付加価値化が行われている。これには相変態の利用、元素の浸透による合金化、高機能物質の被覆さらに気相合成法など<sup>1)</sup>がある。具体的にはショットピーニングなど機械的処理法、表面化学変化法、レーザー表面熱処理さらに溶射

法、めっき法、PVD法、CVD法などが上げられ、それぞれにおいて有益な研究が報告されている<sup>2-5)</sup>。

本研究では需要が落ち込んでいる鑄鉄の付加価値を経済的で容易に高める新たな方法を検討する過程で、切削工具、金型、歯車、さく岩用ドリル等の耐摩耗、耐久性向上のために古くから行われている放電被覆加工<sup>6)</sup>を球状黒鉛鑄鉄に試みて、耐摩耗的付加価値が容易に高められるかについて検討した。そして、目的に応じて資源に付加価値を高める方法を考えることは有限の地球資源を有効に利用して、地球環境を守る上で極めて重要であることを理解させる技術科の環境教育教材の一助となることを目指した。

#### 2. 放電被覆加工法について

放電被覆加工法は、1943年にソ連のラザレンコによって初めて提案されたと言われている<sup>7)</sup>。わが国では1948年頃からこの方法が導入されて、研究と実用化が進み、近年では電解加工法、電解研削法などの特殊加工法の領域にも達している。

放電被覆加工法は、図1に示したように電極物質に超

硬度の金属を (+) 極に、被加工物を (-) 極にして両極間を直流に接続する。そして充電 (短絡された時) と放電 (両者が離れた時) を繰返し行うことによって、被加工物の表面層に電極物質が置換され、拡散されて著しい硬化層が生成されると言われている。すなわち放電現象によって、被加工物表面の局部をイオン化し、大気中の酸素、炭酸ガスその他の酸化性ガスの反応しない雰囲気をつくり、同時に著しい高温度によって電極の超高硬度物質が、被加工物表面層に移行、拡散して、著しい硬化層を形成させる方法である<sup>7)</sup>。その用途は、耐久性が2~3倍から10倍にも達するので非常に広く、その一例を図2<sup>8)</sup>に示した。

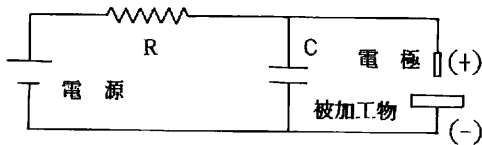


図1 放電被覆加工法の回路図

### 3. 実験方法

実験に使用した試料は、FCD500級の球状黒鉛鋳鉄である。光学顕微鏡組織は、図3に示したようにブルスアイ組

織とパーライト基地からなっている。化学組成と諸性質を表1に示した。

放電被覆加工は、図4に示した装置「ペネトロン」を用いて、陽極の電極を電磁氣的に振動(100c/s)させ陰極の試料との接触を繰返して断続的に火花放電を生じさせて行った。電極物質は、タングステンカーバイド(WC)で化学組成は、W 86.93%, Co 5.54%, C 5.87%, Fe 0.15%であった。放電時間は三種類で単位面積 (cm<sup>2</sup>) 当たり 0 min(N0: 铸造のまま)、1 min(N1)そして 2 min(N2)とした。図3の左端の白色縦帯状組織が放電被覆加工膜 (以下、皮膜と呼称) で、放電時間 2 min/cm<sup>2</sup> (N2) の場合である。放電被覆後の皮膜厚さは、N1 はおよそ 10 μm、N2 は 20 μm であった。

図5は、他の実験における片状黒鉛鋳鉄の皮膜の端から内部に渡る元素の線分析結果<sup>9)</sup>を参考までに示したが、本実験の球状黒鉛鋳鉄の場合も同様な結果が得られると考えられる。分析結果から、皮膜はFe, W, Co, Cからなる硬い複炭化物と理解される。

摩耗試験は、大越式迅速摩耗試験機で摩擦距離: 200 m, 摩擦速度: 0.1, 0.9, 1.9, 3.6 m/s, 最終荷重: 21 N, 31 N, 62 Nの条件で行った。また、相手材として直径が 30 mm の合金工具鋼: SKD-11(HRC60)を使用した。なお本研究では、

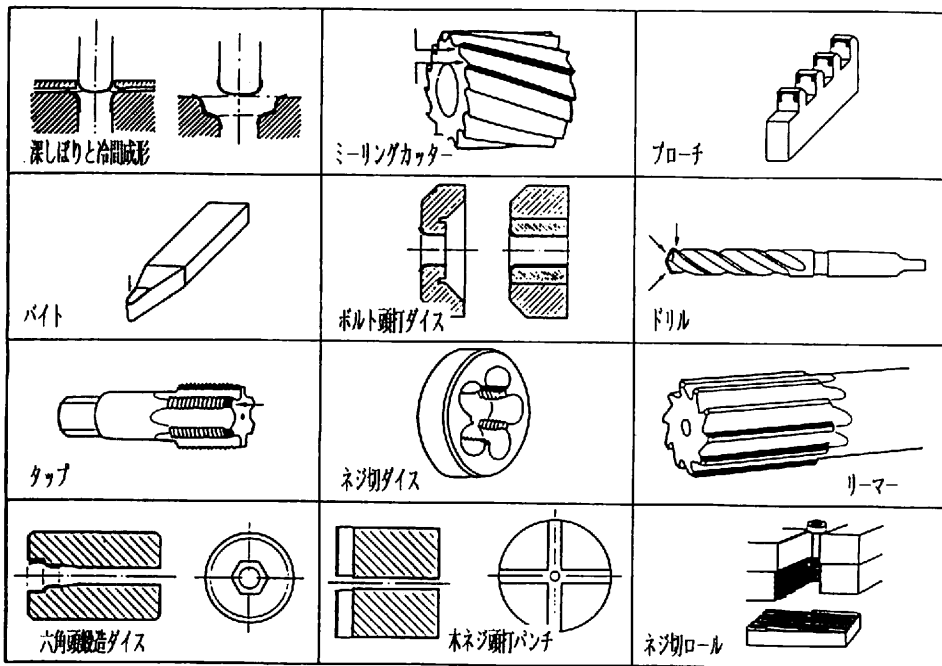


図2 放電被覆加工の応用例

体積摩耗量<sup>10)</sup>  $\{(\text{相手リング厚さ} \times \text{摩耗痕幅}^3) / (12 \times \text{相手材半径})\}$ 、本実験でのリング材厚さ=3 mm, 半径=15 mm) で摩耗傾向を評価した。

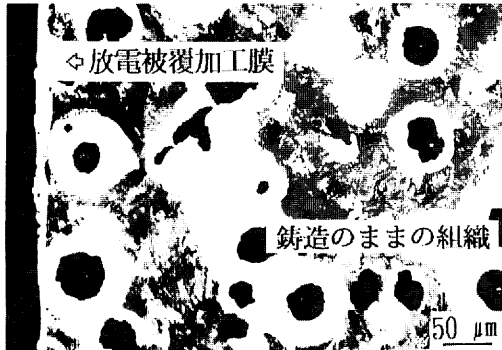


図3 球状黒鉛鉄の铸造のままの組織と放電被覆加工膜 (左端縦白色部) (放電時間 2 min/cm<sup>2</sup>)

表1 球状黒鉛鉄の化学組成 (mass %)

T. C	Si	Mn	P	S	Mg
3.30	2.38	0.41	0.081	0.013	0.044

諸 性 質

引張強さ (MPa)	伸び (%)	ブリネル硬さ (10/3000)	密度 (Mg/m <sup>3</sup> )
566	15.8	190	7.07



図4 放電被覆加工装置「ベネトロン」(Eugen Gehrler 社製)

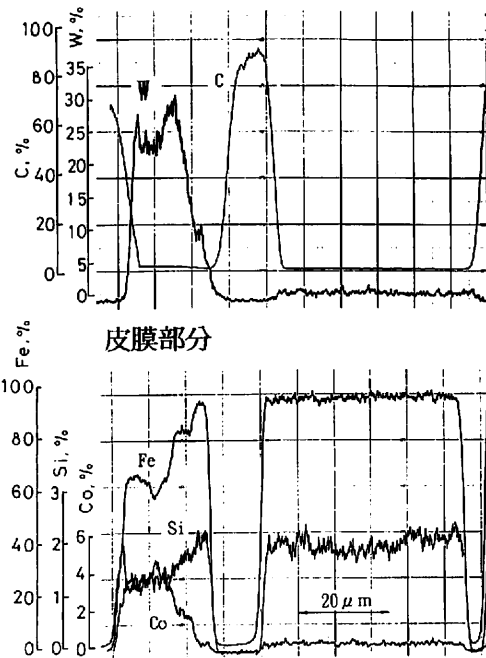


図5 放電被覆加工膜 (皮膜) の EPMA 線分析 (片状黒鉛鉄の場合)

4. 実験結果及び考察

図6は、N2 試料の端部から内部に渡って測定したマイクロビッカース硬さ (HV) 分布曲線である。端部付近の硬さは HV 1000 から 1100 に達した。その後は、20 μm 付近まで連続的に低下し、HV 400~500 になった。さらに内部に向かって硬さが低下して 40 μm 付近から素材の硬さ HV 300 に達した。

放電被覆加工した球状黒鉛鉄の硬さ分布曲線から、確実に硬質の皮膜が表面に形成されると共に内部に渡る硬さが連続的に低下したことから、硬化層は図7に示したように皮膜と拡散層からなる<sup>7)</sup>ことが確かめられた。すなわち火花放電によって熔融した電極物質が表面に付着するのみならず主に試料結晶の粒界を拡散して試料表面の皮膜と連続性のある構造を形成して皮膜が剥離し難くなる<sup>7)</sup>ことが理解できた。

図8は、摩耗試験結果である。加工しない鉄 N0 (○印) は、摩擦速度と共に、また最終荷重と共に摩耗量が增大した。しかし、放電被覆加工により著しく減少した。すなわち、最終荷重 21 N の場合、N0 の摩耗量は、摩擦速度と共に連続的に増大して、3.6 m/s では、0.9 m/s のおおよそ3倍に達した。これに対して放電被覆加工により連続的に増大はするが、いずれの摩擦速度の場合も加工しない場

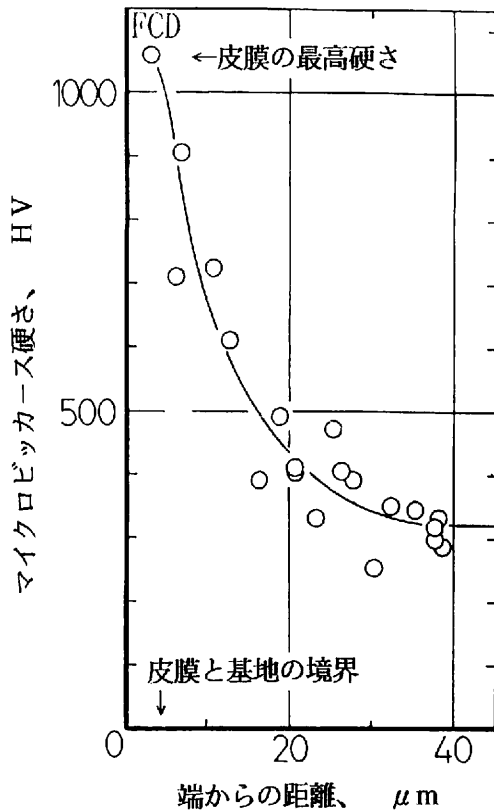


図6 放電被覆加工した球状黒鉛鋳鉄の硬さ分布曲線

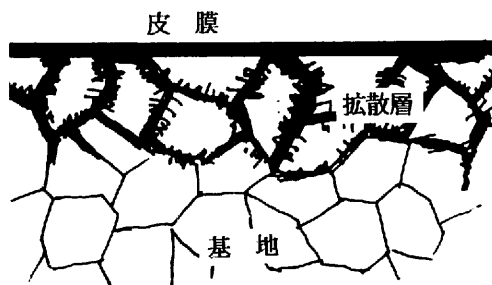


図7 放電被覆加工による硬化層の模式図

合に比較して著しく減少し、3.6 m/sでのN1はN0のおおそよそ1/5であった。この原因は、主に硬く剥離にくい構造を有する放電皮膜が、金属面の凹凸部が接触するとかみ合い破壊・切削及び冷間加工に起因する硬化・脆化が生じる機械的摩擦を抑制した結果であろう。そしてこの効果は皮膜が厚いほど顕著であることがN2の摩耗量がN1の半分以下であることから考えられた。

最終荷重31 Nの場合、N0の摩耗量は摩擦速度と共に連続的に増大したが、特に1.9 m/s以上で顕著であった。こ

れに対して放電被覆加工による摩耗量はやはりN0より著しく減少すると共に摩擦速度が増大してもごくわずかであった。この傾向も硬い皮膜が機械的摩擦を抑制した結果と考えられる。

最終荷重が62 Nの場合、1.9 m/sまで、N0の摩耗増加はわずかであるが、それ以上では著しい。一方、N1とN2は他の最終荷重の場合と同じく僅かである。この結果は、放電被覆加工により高荷重、高摩擦速度でも耐摩耗性が著しく大きいことを示すもので、工業的応用に有益な知見と考えられる。

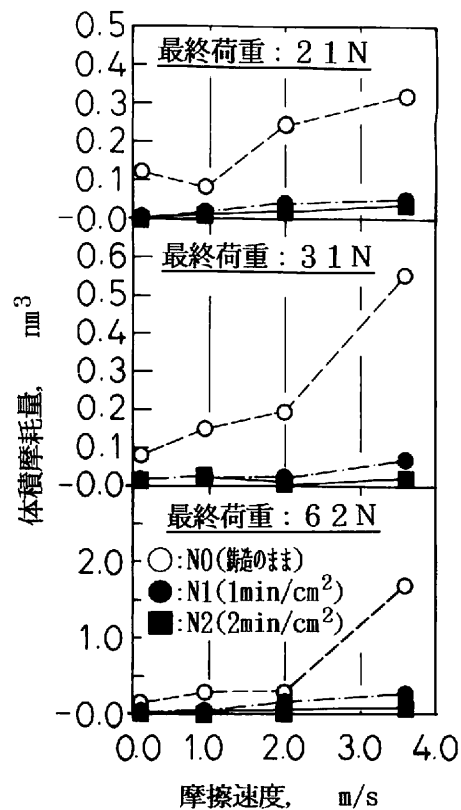


図8 放電被覆加工した球状黒鉛鋳鉄の磨耗試験結果

図9は、種々の摩擦条件において放電被覆加工しない鋳鉄(N0)の摩耗量に対して被覆加工した鋳鉄摩耗量の割合を示した結果で、黒色部がそれを示す。

最終荷重21 Nの場合、最低摩擦速度0.1 m/sにおける摩耗割合が著しく少なくN1はN0のおおよそ5%、N2では僅か1%であった。これは、一般的に低荷重、低速では摩耗量が少ないが、本実験の場合にはこれに加えて硬い皮膜により機械的摩擦が極端に抑制されたためと考えられる。一方、摩擦速度0.9 m/s以上では摩擦速度とともに摩

耗割合が減少した。すなわち 0.9 m/s の  $N1/N0=24\%$  が最大速度 3.6 m/s では 20%、 $N2/N0$  は 17% から 7% に減少した。31 N と 62 N の場合にも類似した傾向が生じた。

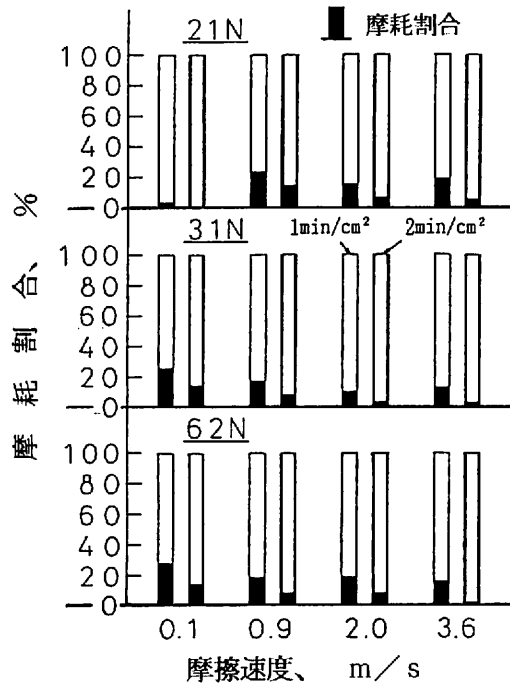


図9 放電被覆加工しない鋳鉄に対する加工鋳鉄の磨耗割合

一般的に磨耗は複雑な現象で、その原因を特定することは困難である。本実験の高速高圧における著しい耐磨耗性は上記の原因によると考えられるが、また別の見解も推察できる。すなわち、摩擦によって温度が上昇するために表面

突起の塑性変形が容易になり両面がより密着した状態になる。そして部分的に溶着状態になり凝着磨耗<sup>11)</sup>に進展する。しかし本実験では硬く酸化しにくいと考えられる複炭化物の皮膜により接触面での磨耗粉の酸化が抑制され酸化磨耗や凝着磨耗が減少して、耐磨耗性が増大したと考えられる。

大越式迅速磨耗試験では、試験中接触圧力が一定でなければならない。従って磨耗の進行に伴い回転円板と試験片との接触面積が増加するので磨耗の進行に伴って荷重を増大させる必要がある。

図10において横軸は、摩擦に伴う接触圧力を示している。一方、磨耗量は単位接触圧力、単位面積、単位摩擦距離当りによるが、その場合の比例定数<sup>10)</sup>が比磨耗量で、縦軸に示した。いずれの最終荷重の場合も接触圧力の増大とともに比磨耗量が減少し、その傾向は皮膜厚さに対応した。又、最終荷重 21 N において  $N2$  が著しく小さく、31 N と 62 N では、殆ど類似した傾向を示したが、これらは図9の結果に対応している。

### 5. まとめ

比較的強度の高い球状黒鉛鋳鉄の耐磨耗的付加価値を経済的にかつ容易に高めるために金型、工具鋼などの耐久性増大に利用されている放電被覆加工を電極物質に WC を用いて試み、大越式迅速磨耗試験機で磨耗傾向を調べた。そしてその結果は地球資源を有効に利用する意識を高める技術科の環境教材として意義があることが分かった。得られた結果をまとめると次のようになる。

- 1) 鋳鉄表面に放電被覆加工装置「ペネトロン」で WC

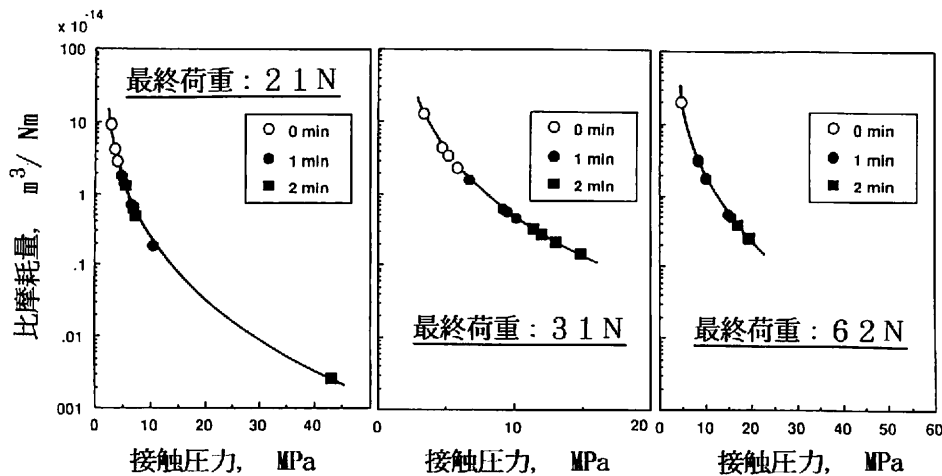


図10 接触圧力に対する比磨耗量の変化

を電極物質として被覆を行うと、放電時間  $1 \text{ min/cm}^2$  (N1) で膜厚はおおよそ  $10 \mu\text{m}$ 、 $2 \text{ min}$  (N2) では  $20 \mu\text{m}$  の高硬度皮膜が容易に形成された。

2) 皮膜の最高硬さは、HV 1100 に達した。又、皮膜と鑄鉄基地の境界付近から内部に渡る硬さ変化は連続的で、N2 の場合  $40 \mu\text{m}$  付近から元の基地硬さになった。

3) 最終荷重  $21 \text{ N}$  の場合、N0 (鑄造のまま) の摩耗量は、摩擦速度と共に連続的に増大して、 $3.6 \text{ m/s}$  では、最低速度  $0.1 \text{ m/s}$  のおおよそ 3 倍に達した。

4) 放電被覆加工によって摩耗量が著しく減少し、例えば  $0.1 \text{ m/s}$  の場合、摩耗割合  $N1/N0$  は約 5%、 $N2/N0$  ではわずかに 1% であった。それ以上の速度では平均して N1 は N0 の 20%、N2 は 10% であった。又、この傾向は最終荷重  $31 \text{ N}$  と  $62 \text{ N}$  の場合にも見られた。

5) 放電被覆加工による耐摩耗性の増大は、硬く酸化されにくい放電皮膜により機械的摩耗、酸化摩耗、凝着摩耗等が複合的に抑制された結果と考えられる。

6) 放電被覆加工した球状黒鉛鑄鉄は、著しく耐摩耗的付加価値が容易に高まった。この知見は鑄鉄に対する新たな表面改質法として工業的に有用と考えられる。

7) 材料の付加価値を高める方法を考えることは有限である地球資源を有効に利用して地球環境を守る一助となることを示した。これは技術科の環境教育教材として意義が高い。

## 文 献

- 1) 沖：熱処理, 27(1987)5,258
- 2) 喜多：鑄鍛造と熱処理, (1990)1,23
- 3) 中田ら：熱処理, 35(1995)5,288
- 4) 池永ら：鑄物, 63(1991)5,437
- 5) 例えば、堀江：鑄鍛造と熱処理, (1991)3,3
- 6) L.A.Mirkin : VestnikMaskinnstroeniya,35(1972)48
- 7) 小川：関東学院大学工学部研究報告, 16(1972)1,25
- 8) やさか通商 (株)：放電硬化装置“ペネトロン”説明カタログ (1995)
- 9) 相馬：北海道教育大学紀要(第2部A),48(1997)1,37
- 10) 大越式迅速摩耗試験機取扱説明書,Model SI-05 (理化学研究所)
- 11) 長岡：機械材料学 (工学図書) (1986)118