

## 複合オーステンパ球状黒鉛鑄鉄の耐摩耗性

勝負澤 善行\*、池 浩之\*、高川 貫仁\*、茨島 明\*\*

土木・産業機械の性能向上のため、高い耐摩耗性と強靱な機械的性質の鑄鉄材が必要とされている。これに対応して、鑄ぐるみにより超硬合金を複合させたオーステンパ球状黒鉛鑄鉄を製作し、その耐摩耗性について検討を行った。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) 超硬合金粉及び焼結体を球状黒鉛鑄鉄により鑄ぐるみ複合化することは容易であり、さらに超硬合金の割れを伴わずにオーステンパ熱処理が可能である。
- (2) 超硬合金の複合化により、オーステンパ球状黒鉛鑄鉄及び球状黒鉛鑄鉄の耐摩耗性能を大きく向上できる。
- (3) 超硬合金と球状黒鉛鑄鉄の鑄ぐるみ界面には、黒鉛層が晶出する。

キーワード: 複合オーステンパ球状黒鉛鑄鉄、超硬合金、耐摩耗性

## Wear Properties of Composite Austempered Ductile Cast Iron with Partial Reinforcement

SHOUBUZAWA Yoshiyuki, IKE Hiroyuki, TAKAGAWA Takahito  
and BARAJIMA Akira

The wear properties of composite austempered ductile cast iron with WC(wc) particles are examined by using pin-on-disk method in this study. It is summarized as follows:

- (1) Composite austempered ductile cast iron can be made easily. Ductile cast iron combined with wc particles by cast-in insertions, and this composite ductile cast iron can be heat-treated without crack of wc particles.
- (2) Wear properties of composite austempered ductile cast iron are superior wear-resistance.
- (3) Flake graphite are seen in the interface of ductile cast iron and wc particles.

**key words : composite austempered ductile cast iron, WC, wear**

### 1 緒 言

ねずみ鑄鉄や球状黒鉛鑄鉄は、形状に対する自由度が高く、従来より種々の産業機械用部材として広く用いられている。しかし、引張強さは 100 ~ 800MPa、硬さは 8 ~ 20HRC の範囲であり、より高い強度や耐摩耗を必要とする部材として用いるためには機械的性質が低い。これに対して、球状黒鉛鑄鉄にオーステンパ熱処理を施したオーステンパ球状黒鉛鑄鉄(ADI)が開発<sup>1)</sup>された。その機械的性質は引張強さ 900 ~ 1500MPa、伸び 1 ~ 10%、硬さ 30 ~ 48HRC と強靱で硬い。

現在、ADI鑄物は機械的性質の制御が容易であること及びリサイクル性が優れていることなどにより、特殊鋼や鍛造鋼に代わり今後の用途拡大が期待されている。

実用化されている製品例は、歯車、カムシャフト、土木機械部品等の耐摩耗部材であるが、機器の高性能化に従い、更に高い耐摩耗性や強靱性が求められている。

著者らは、オーステンパ熱処理に冷却能が高く無公害な金属錫浴<sup>2)</sup>を用いた熱処理方法を工夫して ADI の性能向上を試みてきた。例えば、図 1 に示すように ADI 熱処理工程を従来の処理 B から処理 A に代えることに

\* 金属材料部(現在 材料技術部)

\*\* 企画情報部

より最高硬さを45～48HRCから53～58HRCに向上させ、ベルカッター、鉋盤用刃物及びブリータビット等の木工用刃物に用いる検討<sup>3)</sup>を行い実用化に成功した。

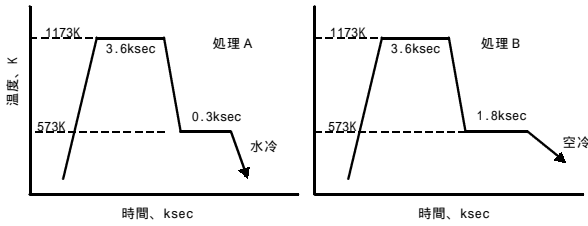


図1 熱処理方法の変更

本年度は、高い耐摩耗性が必要な土木関連機械部品への応用化を図るため、超硬合金を鑄ぐるみ複合化したADIの耐摩耗性向上について検討した。

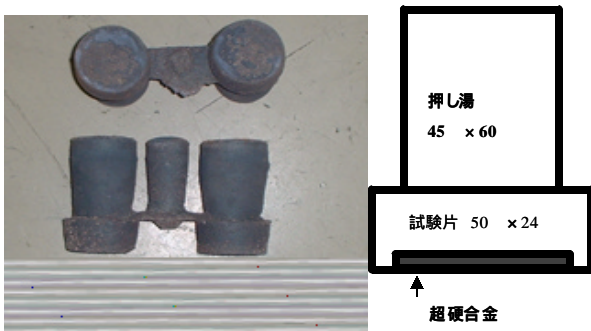
## 2 実験方法

### 2-1 試験片の溶製と鑄ぐるみ

銑鉄と電解鉄及び Fe-Si(75%)等を配合し、7kg/回を3KHz-50KWの高周波誘導炉を用いて最高溶解温度1723Kで溶解した。そしてサンドイッチ法により1700Kで Fe-Si-Mg(6.6%)合金を添加して球状化処理を行い球状黒鉛鑄鉄試験片(FCD500相当)を溶製した。

試験片は図2に示す様に、寸法が50×24mm、押し湯は45×60mmであり、人工ムライト砂のCO<sub>2</sub>鑄型を用いて2個/型を鑄造した。

超硬合金(WC-15%Co:6.1%C)を鑄ぐるむ場合は、60mesh粉-10g及び焼結体(30×3-30g)をそれぞれ試験片鑄型底面にセット(図2)し、球状黒鉛鑄鉄溶湯を注湯して鑄ぐるんだ。溶製した球状黒鉛鑄鉄の化学組成は表1に示すとおりであるが、黒鉛球状化率を90%以上とするため残留Mg量は0.03%以上とした。



(1) 試験片形状

(2) 試験片寸法

図2 試験片形状と寸法

表1 球状黒鉛鑄鉄の化学組成(mass%)

元素名	C	Si	Mn	P	S	Mg
含有量	3.96	2.57	0.26	0.072	0.016	0.033

### 2-2 各試験片と熱処理

溶製した球状黒鉛鑄鉄を40×16mmに加工後、各種処理を施し摩耗試験片を作成した。各試験片の内容を表2に示すが、基本的に図1-Bのオーステンパ熱処理により基地をベイナイト化した試験片、そして超硬合金を鑄ぐるみ複合化した試験片、更に両処理を併用した試験片の3種である。また、A-4とA-6では、オーステンパ熱処理時に超硬合金の劣化が懸念されたので、アルミナ系塗型材(鑄型表面の耐火度を増すために塗るもの)を熱処理前に試片に塗布して被覆した。

表2 各試験片と内容

試料名	内容
A-0	無処理材
A-1	図1-A処理
A-2	図1-B処理
A-3	超硬合金粉を鑄ぐるみ、表面硬化
A-4	A-3を図1-B処理
A-5	超硬合金焼結体を鑄ぐるみ硬化
A-6	A5を図1-B処理

### 2-3 摩耗試験

各試験片の耐摩耗特性は、ピンオンディスク摩耗試験装置(神鋼造機(株)製SWT-405-03)を用いて行い、摩耗深さを測定して評価した。すなわち、相手材を5.55の玉軸受け鋼球(硬さ62HRC-3個)とし、デスク位置に各摩耗試験片を設置後、20kgの負荷で回転数800rpmとして60minの一定時間摩耗試験を行った。

## 3 結果及び考察

### 3-1 硬さ

各試験片の硬さを表3に示すが、A-0材は一般的なフェライト系球状黒鉛鑄鉄の硬さで軟らかく、オーステンパ熱処理途中水冷処理したA-1はADI(A-2)より若干高い値となっている。これは下部ベイナイト組織にマルテンサイトが混在<sup>4)</sup>するためである。しかし、超硬合金粉を鑄ぐるんだA-3ではベースのA-0より低い値となった。これは、超硬合金粉が粗の状態では表面に鑄く

るまれ、ベースも軟らかいためと思われる。同様の理由で A-4 も基地が ADI の A-2 に比べ低い値となっているものと思われる。しかし、超硬合金焼結体を鑄ぐるんだ A-5 と A-6 では、超硬合金自体と同様な硬さとなり、複合化効果が顕著である。

表 3 各試験片の硬さ

試験片	硬さ HRC
A-0	9.3
A-1	50.4
A-2	44.7
A-3	7.3
A-4	38.4
A-5	68.3
A-6	68.1

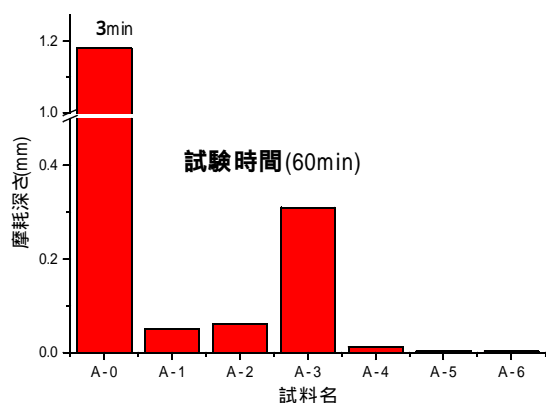


図 3 ピンオンディスク摩耗試験の結果

### 3 - 2 摩耗試験結果

ピンオンディスク摩耗試験の結果を図 3 に示す。A-0 は硬さが低いため、この摩耗試験では 3min の短時間内に急激に摩耗してしまい他の試験片と比較ができるレベルではない。オーステンパ熱処理した A-1 と A-2 での摩耗は同じレベルであるが、硬さが高い方が少し摩耗は少ない。

超硬合金粉を鑄ぐるんだ A-3 では、各種処理した試験片に比べて摩耗深さが大きいですが、硬さが同レベルの A-0 に比較して耐摩耗性は大きく向上した。しかし、耐摩耗性が低いのは、表面に超硬合金粉を複合化しただけでは耐摩耗性の効果が小さいことを示している。これに対して、超硬合金粉の複合化と共にベースの球状黒鉛鋳鉄を ADI として硬さを向上させた A-4 では、非常に摩耗が少なくなる。この結果、超硬合金粉を鑄ぐるむことにより耐摩耗性を向上する場合は、ベースも硬化することが有効

であることが分かる。

また、超硬合金焼結体を複合化した試験片では、鑄放してもベースを ADI とした場合でも摩耗深さは非常に小さく、複合化の効果が大きく母材の基地組織の影響は少ない。これは、超硬合金粉に比べ焼結体は厚さがあるため、複合化母材の影響が少なくそれ自体の硬さが発揮されるためと考えられる。

### 3 - 3 超硬合金粉複合化の顕微鏡組織

耐摩耗向上に効果があった超硬合金粉複合化の界面付近の顕微鏡組織を図 4 に示す。球状黒鉛鋳鉄と複合化された超硬合金粉層(図 4-1)は厚さが 400 ~ 800 μm あり各粉粒には鑄ぐるみ時の熱影響のため 30 ~ 80 μm 程の拡散相が形成されている。この相の機械的性質は若干低いと思われる。また、図 4-2 に示すように超硬合金粉粒の近接では、黒鉛の球状化が崩れ片状黒鉛となっており、強度は低下するが熱伝導性が向上し耐摩耗性には良好に作用するものと思われる。更に、ADI として基地をベイナイトとした試験片では、超硬合金粉粒近傍でのベイナイト組織が荒くなっている様に観察される。これは、融合化時、超硬合金が分解して母材の球状黒鉛鋳鉄側に W と C が拡散するため、W<sub>2</sub>C の生成<sup>5)</sup>やベイナイト析出に影響を及ぼしているものと思われる。これらの状況は更に詳しく調べる必要がある。

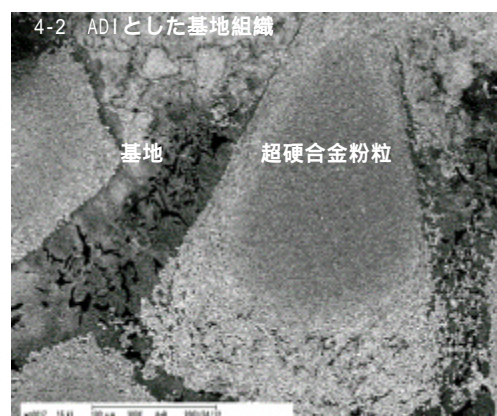
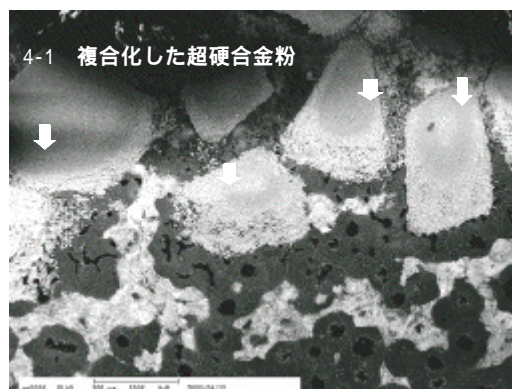


図 4 超硬合金粉複合化の顕微鏡組織

### 3-4 超合金焼結体複合化の顕微鏡組織

本検討で最も摩耗深さが小さい、超合金焼結体を複合化した試験片の顕微鏡組織を図5に示す。図5-1の鑄放し材で確認されるように、超合金焼結体界面には矢印で示すような拡散相が70~90 $\mu$ m形成され、融合は良好に行われて複合化している。耐摩耗性は、鑄ぐるみ接合面とは逆側の超合金の硬さの維持によって十分発揮される。また、界面には球状黒鉛鑄鉄側に薄い黒鉛層が超合金粉の場合より明確に形成されているのが観察される。この黒鉛層は、図5-2の様にオーステンパ熱処理で更に成長して明確な層となっており、強度的に

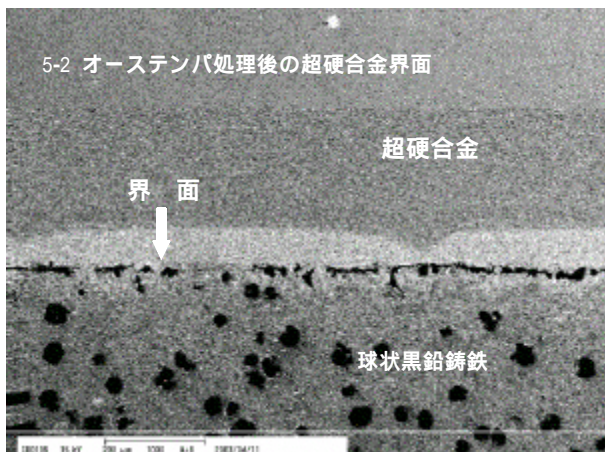
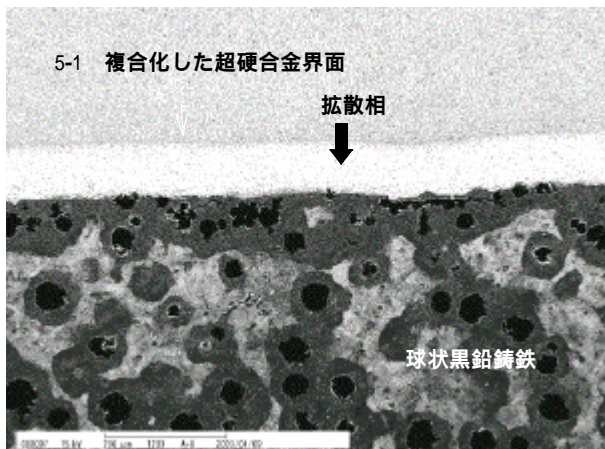


図5 超合金焼結体を複合化した顕微鏡組織

はマイナスに作用するものと思われる。黒鉛層は、超合金中のWとCが鑄ぐるみ時に鑄鉄側に拡散し、その拡散したCが界面で黒鉛化したものと思われる。そしてオーステンパ熱処理後では、更に分解と拡散が進み黒鉛が晶出成長したものと思われる。対策としては、球状黒鉛鑄鉄のCE値(C+Si/3)を低下して炭素を吸収する事などが考えられる。

### 4 結 言

超合金を鑄ぐるみ複合化した ADI の耐摩耗性向上について検討し、次の結果を得た。

- (1) 超合金粉及び焼結体は、球状黒鉛鑄鉄により鑄ぐるみ複合化が容易である。
- (2) 超合金粉を複合化した球状黒鉛鑄鉄鑄放し材は、球状黒鉛鑄鉄の耐摩耗性を向上する。
- (3) 超合金焼結体を鑄ぐるんだ球状黒鉛鑄鉄は、超合金の割れを伴わずにオーステンパ熱処理が可能である。
- (4) 超合金粉を複合化したオーステンパ球状黒鉛鑄鉄は、基地の効果と共に耐摩耗性能を大きく向上する。
- (5) 超合金焼結体を複合化した材料は、鑄放しても耐摩耗性が飛躍的に向上する。
- (6) 超合金と球状黒鉛鑄鉄の鑄ぐるみ界面には、黒鉛層が晶出する。
- (7) 超合金粉を鑄ぐるんだ球状黒鉛鑄鉄状及び ADI は耐摩耗性が向上し、土木関係器機の耐摩耗部材として用途が期待できることが分かった。

### 文 献

- 1) 第3回ADI国際会議報告 他
- 2) 勝負澤ほか：鑄造工学 Vol.71 (1999) 7-484
- 3) 茨島 ほか：岩手工技セ研究報告 Vol.8(2001)25
- 4) 勝負澤ほか：岩手工技セ研究報告 Vol.7(2000)45
- 5) 麻生 ほか：鑄造工学 Vol.73 (2001) 3-155