



## 炭化タングステン鑄ぐるみ耐摩耗鑄鋼材料の開発

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学地域共同研究開発センター 公開日: 2016-06-28 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 伊藤, 淳, 清水, 一道, 楠本, 賢太 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008951">http://hdl.handle.net/10258/00008951</a>

## 炭化タングステン鑄ぐるみ耐摩耗鑄鋼材料の開発

著者	伊藤 淳, 清水 一道, 楠本 賢太
雑誌名	室蘭工業大学地域共同研究開発センター研究報告
巻	26
ページ	55-58
発行年	2016-02
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008951">http://hdl.handle.net/10258/00008951</a>

# 炭化タングステン鑄ぐるみ耐摩耗鑄鋼材料の開発

伊藤 淳<sup>\*1</sup>, 清水 一道<sup>\*2</sup>, 楠本 賢太<sup>\*2</sup>

耗鑄鉄の高温エロージョン摩耗特性を調査した。

## 1 はじめに

粉粒体の衝突により材料表面が損傷、除去される現象をエロージョンと呼ぶ。この現象は、粉体の固気二相流による輸送系でのパイプバンド部やバルブ、タービンブレード、ファン等において生じている。高炉の巡回シュートでは鉄鉱石やコークスが衝突することで600~700℃の高温環境下において激しいエロージョン摩耗が生じている。これにより、巡回シュートライナー内壁が著しく損傷するため優れた耐高温エロージョン摩耗特性を示す材料の開発が求められている。

これまでの研究において、各種鉄鋼材料は高温環境下では常温環境下よりもエロージョンによる摩耗量が著しく増加することが知られている。この原因として、高温環境下での基地組織の硬度が低下し、摩耗量が増加することが明らかになっている<sup>1)</sup>。また、高硬度な炭化物を有する高クロム鑄鉄、多合金鑄鉄の高温環境下におけるエロージョン摩耗特性についても報告されている<sup>2,3)</sup>。良好な耐エロージョン摩耗特性を示す要因として、高硬度な炭化物を有することで高温環境下において、硬度低下の抑制を挙げている<sup>1-3)</sup>。しかし、析出及び晶出炭化物を制御し、硬度を上昇させるには限界がある。この対応策として、材料表面に優れた機能性を付与することが可能な鑄ぐるみ鑄造法が着目されている。常温環境下において高硬度な炭化タングステン(WC)を鑄ぐるみ鑄造法により複合化させ、エロージョン摩耗特性の向上も報告されている<sup>4)</sup>。

本研究では、優れた耐高温エロージョン摩耗特性を示す材料の開発を目的とし、良好な耐高温エロージョン摩耗特性を示す高クロム鑄鉄、多合金鑄鉄を複合化の母材として、WCを複合化させたWC鑄ぐるみ耐摩

## 2 供試材および実験方法

### 2.1 供試材

#### 2.1.1 化学組成

供試材にはクロム含有量が25~27%と異なる高クロム鑄鉄の中から一般的に耐摩耗材料として使用されている3.0C-27Cr、耐熱性付与を目的としてニッケル(Ni)を添加した3.0C-0.5Ni-27Cr、3.0C-0.5Ni-25Cr、3.0C-0.5Ni-25Cr、多合金鑄鉄の中から5Nb-5Co、計5種類を選定した。供試材の化学組成を表1に示す。

表1 供試材の化学組成

	(mass%)										
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Co	Nb	V	W	Fe
3.0C-27Cr	3.09	0.45	0.77	-	26.50	-	-	-	-	-	Bal.
3.0C-0.5Ni-27Cr	2.92	0.50	0.60	0.43	27.45	0.055	-	-	0.056	0.013	Bal.
3.0C-0.7Ni-25Cr	2.98	0.45	0.55	0.65	24.90	-	-	-	-	-	Bal.
3.0C-0.5Ni-25Cr	3.01	0.51	0.56	0.58	25.32	-	-	-	-	-	Bal.
5Nb-5Co	1.90	0.47	0.61	-	5.23	5.35	5.58	3.14	-	4.86	Bal.
	P:0.020~0.098 S:0.010~0.063										

#### 2.1.2 WCの形状、寸法及び配置

WCの形状および寸法はφ5×50、φ8×50、□8×50mm、φ10mmとする。3.0C-0.5Ni-25Crにはφ5×50のWCを試験面に対し縦置きに、3.0C-0.4Ni-27Crにはφ5×50のWCを試験面に対し横置きに、2.7C-0.7Ni-23Crには直径10mmのWC球を、3.0C-27Cr、5Nb-5Coにはφ8×50

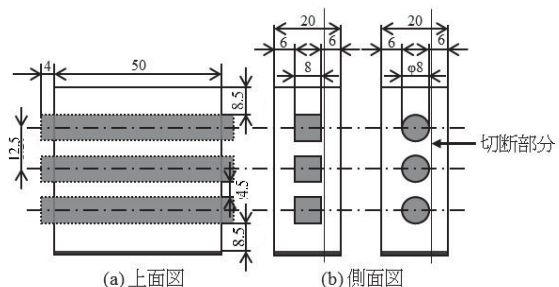


図1 WC鑄ぐるみ鑄鉄の模式図

\*1: 株式会社 北海道特殊鑄鋼

\*2: 室蘭工業大学 もの創造系領域 機械工学ユニット

および $\phi 8 \times 50$ のWCを面積率がそれぞれ最大で約50%となるよう横置きに配置し、鑄ぐるみ鑄造法により複合化した。WC横置き鑄ぐるみ材の側面図および上面図を図1に示す。WC鑄ぐるみ鑄鉄は図1に示す切断部分をワイヤー放電加工機により切断し、平面研削により表面にWCが現れた状態で試験を行った。

## 2.2 組織観察

光学顕微鏡、エネルギー分散型X線分析装置(EDS)、金属組織の観察を行った。金属組織を調査する試料の腐食液として3%硝酸アルコール溶液(ナイタル)と王水を用いた。EDS分析には、タングステンフィラメントを用い、加速電圧20kVにて実施した。

## 2.3 高温エロージョン摩耗試験機および試験方法

試験には高温エロージョン摩耗試験機を使用した。高温エロージョン摩耗試験機の概略図を図2に示す。この試験機は3種類の加熱炉により、粉体、供試材、圧縮空気を加熱することができる。実験条件は供試材温度を600℃、粉体温度を600℃、熱風温度を500℃として試験を行った。

粉体には平均粒径が1.16mmのアルミナボールを使用した。使用したアルミナボールを図3に示す。一度に噴射可能な粉体の量は800gであり、これを10回繰り返し、計8000gの粉体を噴射した。この際の粉体の速度は30m/sとなるようにした。

摩耗試験前後で試験片の質量を電子天秤(測定精度0.1mg)で測定し、その差(摩耗減量)から摩耗体積を算出し摩耗量とした。なお、摩耗量の評価には各供試材の密度が異なるため損傷速度(Erosion rate<sup>5)</sup>)を用いた。

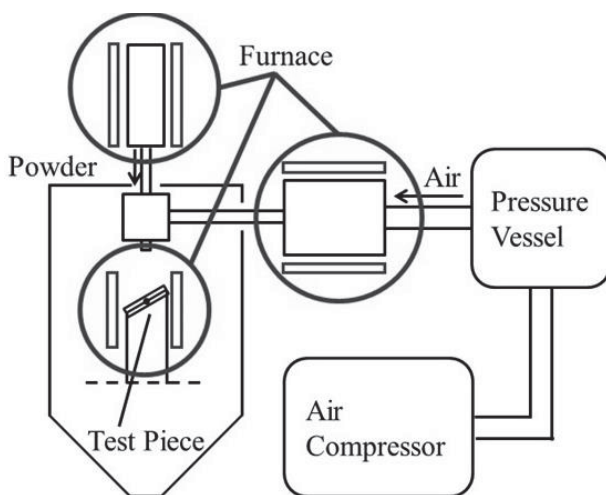


図2 高温エロージョン摩耗試験機概略図

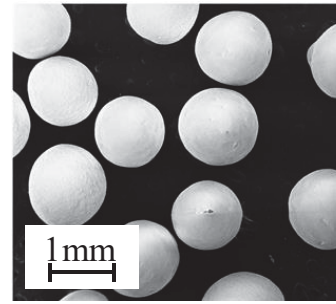


図3 アルミナボール

## 2.4 高温ビッカース硬さ試験

試験機には、高温ビッカース硬さ試験機(AVK-HF)を用いた。試験片の寸法は7.0×7.0×5.0(mm)とした。試験温度は室温、300℃、600℃および900℃とした。供試材の昇温速度は10℃/minとし、試験温度に達してから5分間保持してから試験を行った。試験面の酸化を極力抑えるため、アルゴン雰囲気中で試験を実施した。圧子にはダイヤモンド圧子を用い、試験荷重は98Nとし、荷重保持時間は10秒とした。圧痕の対角線の長さを0.5μm単位まで読み取り、直交する対角線の長さとの平均値を用いて、硬さを算出した。以上の条件で各温度において7点の硬さを測定し、最大値と最小値を省いた5点の平均値を各供試材の硬さとした。

## 3 試験結果

### 3.1 金属組織観察

各供試材の組織写真を図4に示す。各種高クロム鑄鉄

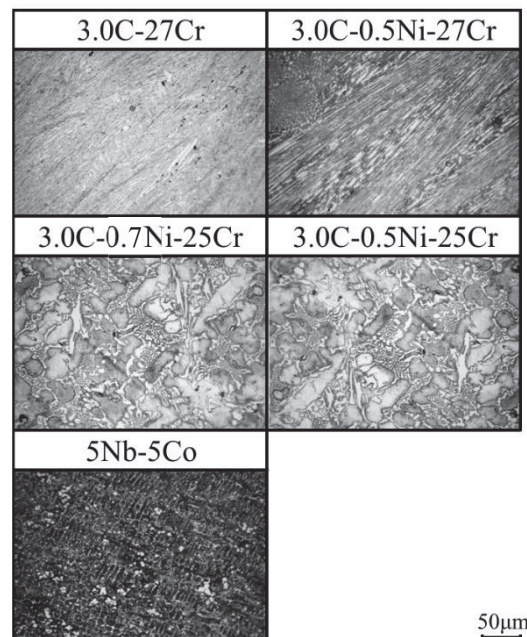


図4 供試材の組織写真

は Cr/C が 5 以上であること、3%硝酸アルコール溶液で腐食できないことからオーステナイト基地と判断できる。また、クロムを主体とした  $M_7C_3$  炭化物を有している。また、5Nb-5Co は MC,  $M_2C$  炭化物を含有しており、基地組織はマルテンサイト、ベイナイト、パーライトのいずれかであると判断できる。

### 3.2 摩耗試験結果

#### 3.2.1 母材における摩耗試験

高温エロージョン摩耗試験機を用いて高温エロージョン摩耗試験を行った。供試材温度  $600^{\circ}\text{C}$ 、衝突角度  $30\text{deg}$ .における各母材の高温エロージョン摩耗試験結果を図5に示す。各供試材の母材を比較すると5Nb-5Coが最も良好な耐高温エロージョン摩耗特性を示した。

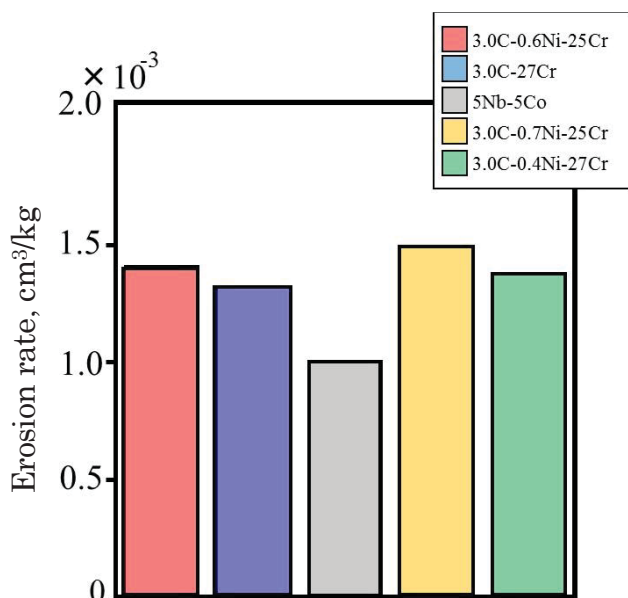


図5 母材の高温エロージョン摩耗試験結果

#### 3.2.2 WC 鑄ぐるみ材における摩耗試験

供試材温度  $600^{\circ}\text{C}$ 、衝突角度  $30, 60\text{deg}$ .における WC 鑄ぐるみ材の高温エロージョン摩耗試験の結果を図6に示す。これより、WC 縦置き鑄ぐるみ材、WC 球鑄ぐるみ材と比較すると WC 角棒横置き鑄ぐるみ材および丸棒横置き鑄ぐるみ材は WC 縦置き鑄ぐるみ材より約 1.9 倍、WC 球鑄ぐるみ材より約 2.6 倍優れた耐高温エロージョン摩耗特性を示した。これは、WC 横置き鑄ぐるみ材の摩耗面に現れる WC の面積率が WC 縦置き鑄ぐるみ材、WC 球鑄ぐるみ材に比べて大きかったためである。中でも、WC 角棒横置き鑄ぐるみ材が良好な耐高温エロージョン摩耗特性を示した。また、各種鑄ぐるみ材はそれぞれの母材と比較し損傷速度が低下した。これは、WC を複合化させることで相対的な硬度が上

昇し、材料表面の塑性変形が抑制されたためである。

#### 3.2.3 摩耗表面の三次元観察

WC 角棒および丸棒横置き鑄ぐるみ材の摩耗表面の三次元観察を行った。三次元観察結果を図7、摩耗表面の高さプロファイル測定結果を図8に示す。WC 角棒横置き鑄ぐるみ材に比べ、WC 丸棒横置き鑄ぐるみ材は摩耗深さが深くなっており、特に WC と母材の間に著しい損傷が生じていた。そのため、WC と母材との接合面の観察を行った。WC 角棒、丸棒ともに母材との界面に反応層が観察された。WC と母材との間に反応層を形成していたが、WC 丸棒横置き鑄ぐるみ材は、母材部分の損傷が著しいことから高硬度な WC の体積率が大きいほど耐高温エロージョン摩耗特性向上に寄与すると考えられる。

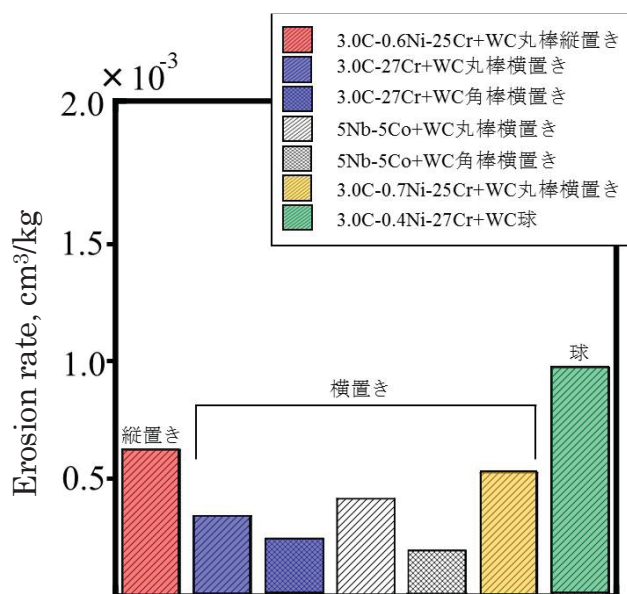


図6 鑄ぐるみ材の高温エロージョン摩耗試験結果

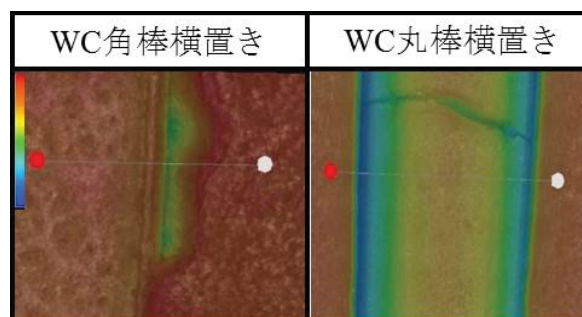
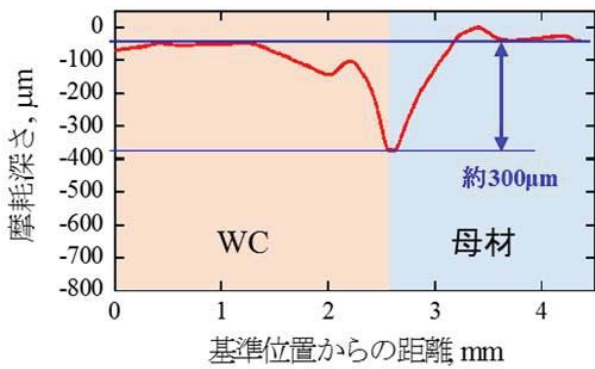
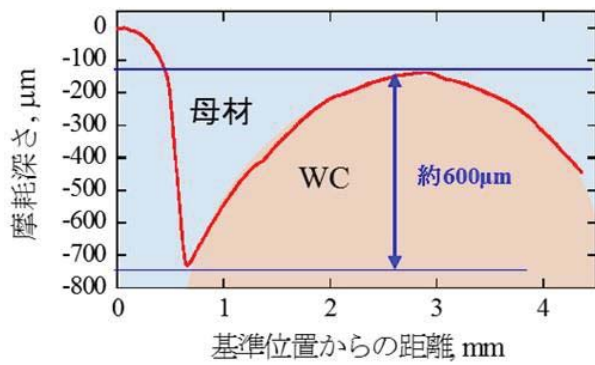


図7 摩耗表面の三次元観察結果(5Nb-5Co)



(a) 角棒横置き鑄ぐるみ鑄鉄



(b) 丸棒横置き鑄ぐるみ鑄鉄

図 8 摩耗表面の高さプロファイル(5Nb-5Co)

### 3.3 高温ビッカース硬さ試験

高温環境下における耐エロージョン摩耗特性には高温ビッカース硬さが重要な要素となる。そのため、各母材の高温ビッカース硬さを測定した。室温、600℃に

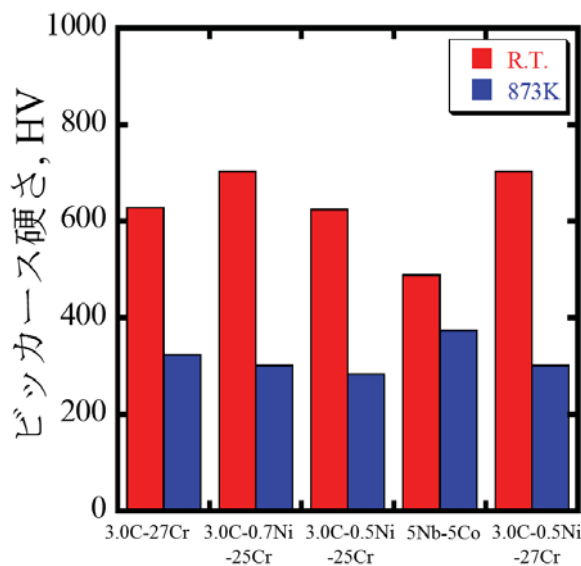


図 9 常温および 600℃におけるビッカース硬さ

における母材の硬さを図 9 に示す。高温環境下において多合金鑄鉄では約 374HV, 高クロム鑄鉄では 303HV と多合金鑄鉄は高クロム鑄鉄に比べ、高温環境下でも硬さを保持している。これは、多合金鑄鉄が基地組織中に高硬度な MC, M<sub>2</sub>C, M<sub>3</sub>C および M<sub>7</sub>C<sub>3</sub> 炭化物を有しており、材料表面の塑性変形を抑制したためである。この結果、多合金鑄鉄は高クロム鑄鉄よりも、優れた耐高温エロージョン摩耗特性を示したと考えられる。

## 4 おわりに

本研究では、優れた耐高温エロージョン摩耗特性を示す材料の開発を目的とし、母材の材質および超硬の配置を検討した。結果を以下に要約する。

- 1) WC 鑄ぐるみ材は、母材と比較し、良好な耐高温エロージョン摩耗特性を示した。特に、鑄ぐるみ材の中でも WC 角棒横置き鑄ぐるみ材が最も優れた。本研究の結果より高温環境下において WC を鑄ぐるみ鑄造法により複合化させることは、耐高温エロージョン摩耗特性向上に有効な手段である。また、摩耗面に現れる WC の面積率、体積率を高めることが重要な要素となる。
- 2) 多合金鑄鉄は高クロム鑄鉄に比べ、高温環境下でも硬さを保持できていた。この結果、多合金鑄鉄は高クロム鑄鉄よりも、優れた耐摩耗性を示したと考えられる。
- 3) WC 角棒横置き鑄ぐるみ材に比べ、WC 丸棒横置き鑄ぐるみ材は摩耗深さが深く、WC と母材の接合面およびその周辺部において著しい損傷が見られた。この結果、WC 角棒横置き鑄ぐるみ材が最も良好な耐高温エロージョン摩耗特性を示した。

## 文献

- 1) K. Shimizu, Y. Xinba, A. Araya, Wear, 271(2011), 1327.
- 2) K. Shimizu, Y. Xinba, M. Ishida, T. Kato, Wear, 271(2011), 1349.
- 3) Kenta Kusumoto, Kazumichi Shimizu, Xinba Yaer, Hiroya Hara, Kazuhiro, Tamura, Hideki Kawai, Materials and Design, Vol. 88(2015), 366.
- 4) 清水一道, 新巴雅尔, 松元秀人, 前田善之, 鑄造工学, 第 80 卷(2008), 457.
- 5) I. Finnie, Wear, 3, (1960), 87.