

## 溶射複合材料の鋳物製品への応用に関する研究（第1報）

○比嘉眞嗣、棚原 靖  
松田慶丈\* 屋良秀夫\*

### 1. はじめに

溶射は、表面改質技術の一つで腐食防食は言うに及ばず、種々の分野に活用、応用されている。本研究は、そのような溶射技術の多様性に着目した応用研究である。溶射材の中でボロン元素を添加することで金属の融点を下げ、溶射後のヒュージング工程を経て母材と完全密着し接合力を強化させる目的で活用されている自溶性合金溶射がある。そこで、その性質を利用した複合材料の鋳物製品への応用を検討したものである。

金属材料として鋳物は成型が容易で複雑な形状の製品に用途が広い製品であるが、反面強度的に脆い性質を持っている。ところで、一般圧延鋼材は、広く利用されており強度的にも強く、且つ、粘り強い展性のある金属である。従って、両者の持つ性質を、うまく引き出し複合化することで、強度の高い、且つ、靱性の高い性質を有する鋳物製品を製作するのが本研究のねらいである。方法としては、金属表面に自溶性合金をインサート材の機能として活用し、ヒュージングを鋳造時の注湯温度で代替させ、軟鋼材と鋳鉄材の接合による複合材を開発しようと試みたものである。

平成11年度は、鋼材に一般圧延鋼材であるSS400を、形状寸法は丸棒材を使用し、鋳物材質は、ねずみ鋳鉄FC200を対象にし、棒径の寸法や溶射膜厚が接合性にどのように影響を及ぼすか検討したので以下に報告する。

### 2. 実験方法および実験条件

#### 2.1 供試材

本実験で用いた材料は以下の通りである。芯材として用いた鋼材は市販の軟鋼丸棒SS400を使用した。溶射材はNi, Cr, Mo, Bを主成分とする溶射粉末を用いた。これらの化学成分を表1に示す。

表1 供試材の化学分析値 (mas %)

材料	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Fe	Mo	Ni	B
SS400	0.130	0.107	0.392	0.011	0.009	0.253	0.056	Bal	0.00	0.059	-
FC200	3.471	2.178	0.714	0.031	0.022	0.113	0.050	Bal	0.00	0.065	-
S.F.A	0.8	4.5	-	-	-	15.0	2.0	4.5	4.0	Bal	3.3

#### 2.2 実験方法

まず軟鋼丸棒材をブラストで表面を粗面化し、回転治具に棒材をセットしガス粉末溶射装置を用いて手動で自溶性合金を溶射した。溶射状況を図1に示す。なお溶射条件は表2の通り標準条件の溶射条件を用いた。次に、溶射した試験片を図2に示すように中子形式で鋳型にセットし鋳込み試験を行った。

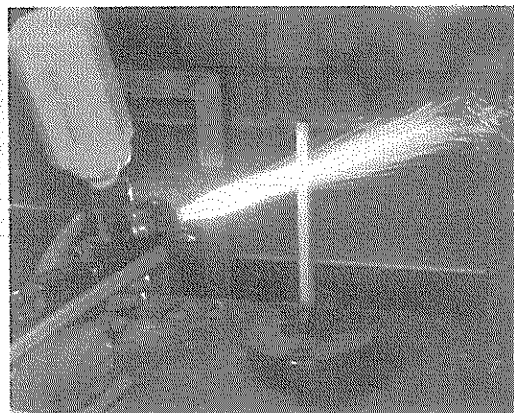


図1 溶射状況

表2 溶射条件

溶射材質		自溶性合金
酸素 O <sub>2</sub>	圧力 (MPa)	0.343
	流量 (m <sup>3</sup> /hr)	2.5
アセチレン C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	圧力 (MPa)	0.098
	流量 (m <sup>3</sup> /hr)	1.5
エアー圧力 (MPa)		0.274
粉末供給量 (Kg/hr)		1.0
溶射距離 (mm)		200
溶射膜厚 (μm)		100~150



図2 鑄型形状

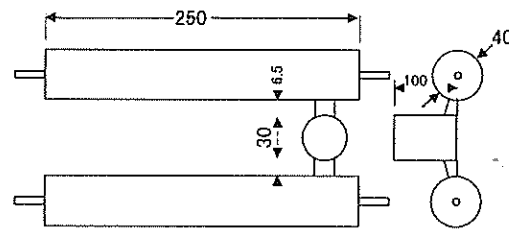


図3 模型寸法

模型の寸法は図3の通りであり、同時に試験片を2本作成できるようにし生型で作成した。鑄込み試験は、実験目的に応じて、芯材の寸法変化や溶射膜厚を種々変化させて行った。溶射のヒュージング工程である、鑄込み温度すなわち鑄込み注湯温度は約1673Kで行った。鑄込み終了後、試験片の自然冷却をまって型をばらし、表面の黒皮を旋盤で旋削除去し35mm径に仕上げた後、一定間隔で断面を10mm厚さで切断し、その接合状態を顕微鏡で観察し、且つ、断面硬度を測定した。また接合強度を調べるために試験片を厚さ2mm厚に切断加工し打ち抜きプレス剪断試験を行った。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 芯材の径の影響1 (棒径6~12mmφ)

芯材の棒径6~12mmφまでの2mm間隔での径の違いの影響について調べた。図4に鑄込み終了後、各試験片のおよそ中央部の断面組織の接合状態のマクロ写真を示す。

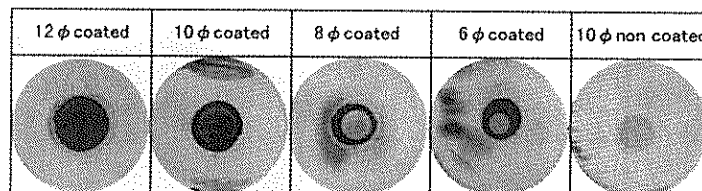


図4 断面写真(棒径変化)

今回の軟鋼棒鋼と鑄鉄の断面積での比率は、2.3、4.2、6.7、および9.8%であり具体的寸法は外径40mmφに対して6、8、10、12mmφである。また、比較のため溶射を実施しない試験片も実験に供した。図より、全試験片とも軟鋼材と鑄物材とは十分に接合していることが観

察される。また、溶射なしの 10 mm φ の試験片の場合においても接合状態はよい形態を示した。

これより、面積比が 10 % 以下であるなら、わりあい良好に铸ぐるみによる接合が可能であることがわかる。次に更に細かく断面のマイクロ観察を行った。棒径 10 mm φ の場合の断面組織を図 5 に示すが、溶射を行った試験片の場合は、軟鋼材と溶射材の境界面に薄い白い境界面が生じており、且つ铸物材との境界面には更にそれよりは幅広な白層が生じているのが観察される。全体的に溶射した時点での膜面が铸込み後もハッキリわかる形態を示す。一方、溶射を施していない試験片の場合は、軟鋼の接触面が浸炭したような形態を示し、且つ铸物の接触面周辺は白色組織が見られる。そこで断面組織の硬度はどうなっているかマイクロビッカース硬度計を用いて約 0.1 mm 間隔で硬さを測定した。測定結果を図 6 に示す。溶射片は自溶性合金の組織が 500 ~ 800HV (0.1) と硬くなっており铸鉄の組織の場所も 1.5mm 近傍まで 400 ~ 500 の硬さに増加している。しかし、軟鋼自体の硬度には変化は見られず、溶射材で遮られているようになっている。一方、溶射なしの場合は、溶射材がないため直接铸物成分と熱が影響し軟鋼表面は铸物からの浸炭作用と思われる硬度増加が見られる。

### 3. 2 芯材の径の影響 2 (16 ~ 24 mm φ)

芯材の寸法を更に大きくし、先程より径を大きくし 16mm 以上の試験片を作成し、同様な铸込み実験を行った。実験に供した試験片の寸法と溶射膜厚の条件を表 3 に示す。

表 3 供試材寸法と溶射膜厚

No	面積比 %	寸法 mm	膜厚 μ m
1	20	16.10	300
2	30	19.10	250
3	40	21.20	350
4	50	24.00	300

図 7 に前回同様に各試験片中央部の断面組織のマクロ写真を示す。

芯材の径が 12 mm 以下の場合、接合が良好であったが今回の面積比が 20 % 以上の場合は図から観察されるように、接合面にところどころ隙間が生じており、未接合部分が観察され完全には接合していないことがわかる。従って、面積比の影響はかなり大きく 20 % 以上では接合が難しいと言える。すなわち、断面積比は溶射材をヒュージングする上での供給熱容量の関係からも、且つ、芯材が大きくなるとそれだけ、冷却が速くなるため、十分なヒュージングが行われなためと考えられる。打ち抜きプレス試験結果を図 8 に示すが、この結果からも接合が充分に行われ

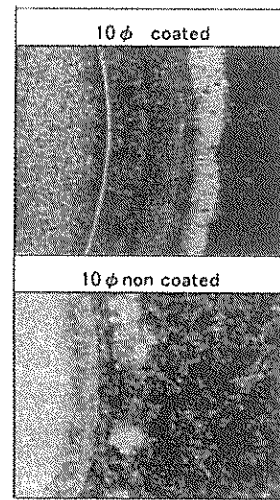


図 5 断面顕微鏡写真(10 φ)

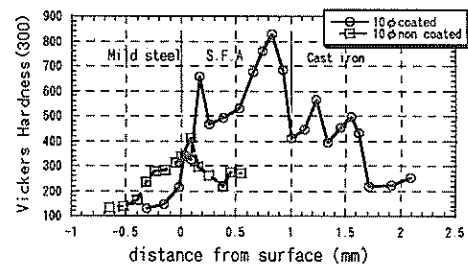


図 6 断面硬さ分布(Vickers)

てないことがわかる。

### 3. 3 溶射膜厚の影響

先程の実験結果より、棒径の寸法は、面積比で20%以上だと、接合はかなり難しいと判断し、棒径を12mmφ一定にし、溶射膜厚の接合に及ぼす影響について調べた。表4に溶射膜厚条件を示す。

表4 溶射膜厚実験条件

No.	面積比%	寸法 mm	溶射膜厚 $\mu$ m
0	10	12.0	0
1	10	12.0	50
2	10	12.0	250
3	10	12.0	400
4	10	12.0	500
5	10	12.0	900

図9に実験結果の断面マクロ写真を示す。

観察の結果、溶射を行わなかった試験片は明瞭に鑄鉄との未接合面が生じており溶射なしでは接合されないことがわかる。また、膜厚に関しても250 $\mu$ mまでは、所々、未接合面が観察される。しかし、それ以上の膜厚の場合、接合状態は良好と判断される。したがって、溶射膜厚の影響はかなり大きく影響すると思われる。断面ミクロ観察結果からも、接合状態は良く、剥離等の隙間の存在は観察されなかった。プレス試験結果を図10に示すが、先程の棒径変化と比べて、いずれも母材である鑄鉄の剪断荷重よりも数値的に高い数値を示しており、接合状態は良好であると判断できる。

### 4. おわりに

自溶性合金溶射材を軟鋼に被覆しインサート金属の役目を持たすことで、鑄造における鑄ぐるみの手法で容易にねずみ鑄鉄と軟鋼の接合が可能であることがわかった。

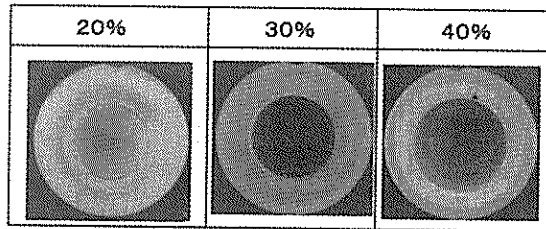


図7 棒径変化による断面マクロ

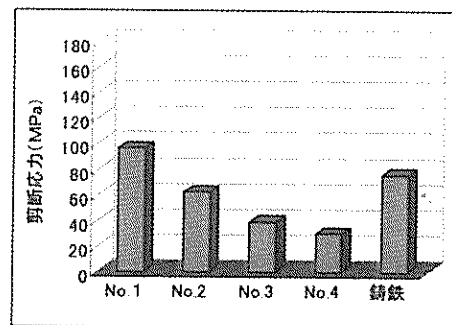


図8 剪断応力(棒径変化)

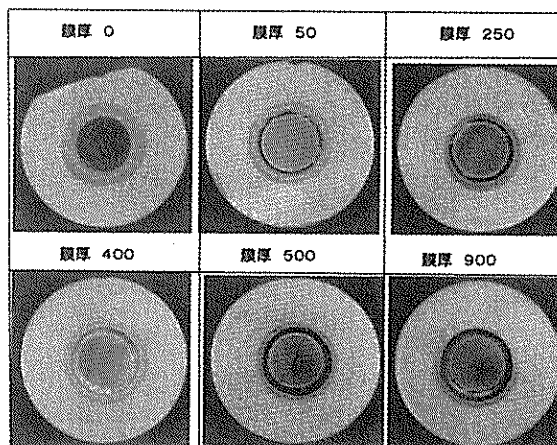


図9 膜厚変化の断面マクロ

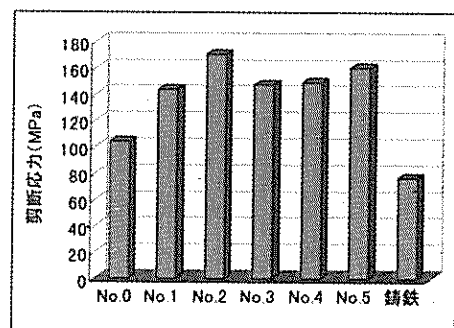


図10 剪断応力(膜厚変化)

今回、鑄ぐるみ条件である断面積比や、溶射膜厚の影響について種々実験しその接合面の機械的性質や冶金学的性質について検討した結果、以下の結論を得た。

①芯材に軟鋼材を用いる鑄ぐるみによる鑄鉄との複合材の製造では、棒径の影響では断面積比10%以下であれば、鑄鉄と軟鋼材の複合材の製作が可能である。

②膜厚の影響では、250 $\mu$ m以上溶射した方が、スムーズに接合が可能である。

今後の課題として、自溶性合金を利用する場合、自溶性合金の本来の目的が、表面硬化を目的に考えられているため、接合部の硬度がかなり高硬度になる。

したがって、複合材製造後の後加工が切削加工ではかなり困難である。従って、切削加工工程を経ない形状の鑄物製品の設計を検討する必要があると考える。

### 参考文献

著者、文献名、出版社名、年度、頁

- 1) 臼井太一、山本好夫、「鋼心鑄鉄の製造の研究(第4報)」鋼心表面の鍍金の効果について  
鑄物 昭和30年 第28巻、p148
- 2) 村木庸益「鑄包みの研究(第8報)」鑄鉄～鋼系の接着現象について  
鑄物 昭和30年 第28巻 p565
- 3) 鴨田秀一他3人「溶射を利用した片状黒鉛鑄鉄と軟鋼管の鑄ぐるみ接合」  
鑄物 第64巻(1992)第1号、p26
- 4) 鴨田秀一他3人「溶射を利用した球状黒鉛鑄鉄と軟鋼棒の鑄ぐるみ接合」  
鑄物 第64巻(1992)第4号、p260
- 5) 屋良秀夫他2人「溶射皮膜をインサート材とした鑄鉄の固相接合」  
溶接学会論文集 第11巻(1993)第4号 p474

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。