

7.1 ロータリーファーネスによる低品位材料を使用した鑄鉄の溶解

樋尾勝也、河合 真、金森陽一

表2 加炭剤およびフェロアロイの化学成分

	C (%)	Si (%)	Mn (%)
加炭剤	99.7	—	—
Fe-Si	0.09	75.2	—
Fe-Mn	6.8	0.1	74.4

1. はじめに

現在、鑄造業界において、ドライ粉や亜鉛めっき鋼板などの低品位材料の鑄鉄溶解への利用はコストダウンや資源リサイクルの観点から注目されている。しかしながら、従来のキューボラおよび電気炉を用いた溶解では、ドライ粉を使用する場合、表面積が大きく酸化しやすい、かさ比重が小さく扱いが困難であるなどの問題がある。また、亜鉛めっき鋼板を使用した溶解では、表面に付着している亜鉛が鑄鉄に残留すると機械的性質を劣化させる。電気炉の場合では、溶解時に発生する亜鉛フェームがコイルに付着しショートさせるなど問題を抱えている。

そこで、本研究ではロータリーファーネスによる鑄鉄の溶解に、ドライ粉および亜鉛めっき鋼板を原材料として利用した、FC 300 相当の鑄鉄溶解について検討した。さらに、経済性の評価として、これらの低品位材料を使用した時の溶解時の原材料コストについても検討を加えた。

2 実験方法

2.1 原材料

主原材料にはJIS G 2202 1種1号C銑鉄を用いた。これに低品位材料としてドライ粉または亜鉛めっき鋼板を最大で25 mass% (以下、%と示す)配合させて鑄鉄を溶解した。ドライ粉の溶解については、銑鉄とドライ粉のみの溶解と成分を調整してFC 300 相当の溶湯を得る溶解の2種類の溶解を行った。亜鉛めっき鋼板の溶解については、FC 300 相当の溶湯を得る溶解のみを行った。表1に使用した原材料の化学成分値を示す。また、FC 300 相当の鑄鉄溶解の際のC, Si, Mnの成分調整には、表2に示す加炭剤、Fe-SiおよびFe-Mnを使用した。

表1 使用した材料の化学成分

	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Zn付着量 (g/m ²)
銑鉄	3.97	2.35	0.46	—
ドライ粉	3.51	2.37	0.40	—
亜鉛めっき鋼板	0.04	tr	0.02	90

2.2 溶解実験および鑄鉄の材質評価

鑄鉄の溶解条件をそろえるため、熱電対を取り付けた炉内の耐火物の温度が約1173 Kになった時点で原材料を投入した。1回分の溶解量は、すべての実験において200 kgとした。材料投入開始から10分後に炉の酸素バーナーを着火し、溶解を開始した。酸素およびLPGガスの流量については、それぞれ71.5 Nm³/h、13 Nm³/hで溶解した。出湯は溶解開始から45分、溶湯の温度が約1723 Kになった時点とし、フェノールウレタン系有機自硬性鑄型に1673 Kで注湯し、φ 30mmの丸棒を溶製した。溶製した丸棒より、JIS Z 2201 8号C引張試験片を機械加工して作製した。

溶解した鑄鉄については、重量歩留の測定、引張試験、ブリネル硬さ試験、化学成分分析、顕微鏡組織観察を行った。重量歩留は、全溶解量(200 kg)に対する出湯量とした。化学成分分析は、引張試験後の残材から分析試料を採取し、Cを赤外線吸収法、Si, MnはICP発光分光法、酸素は赤外線吸収法、窒素は熱伝導度法により行った。顕微鏡組織は引張試験後の試験片のつかみ部の中央部を観察した。

3 経済性の評価

鑄鉄溶解の経済性の評価として、低品位材料を用いたものと用いないものとの、原材料費の比較を行った。すなわち、FC 300 程度の材質を溶解するとして原材料費にかかるコストを計算した。

計算は、200 kgの原材料をロータリーファーネスで溶解する場合に、配合する低品位材料(ドライ粉および亜鉛めっき鋼板)を25%使用して溶解したとき、低品位材料なしで溶解したときの原材料のコスト計算を行った。なお、原材料の単価は一般に流通している値を用いた。

3 実験結果

3.1 ダライ粉

(1) 銑鉄とダライ粉のみの溶解

図1に原材料中のダライ粉の配合割合と材料として配合した分の総重量に対して出湯した銑鉄の総重量歩留(以下、溶解歩留とする)の関係

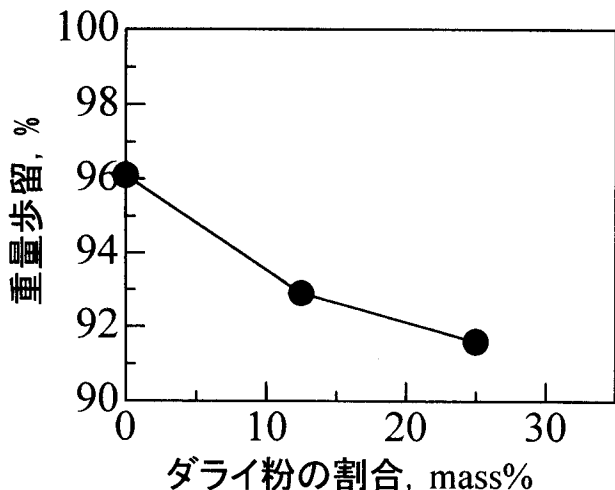


図1 原材料中のダライ粉の割合と溶解した銑鉄の重量歩留の関係

を示す。図1から明らかなように、ダライ粉の量が多くなるとともに、溶解した銑鉄の重量歩留は低下し、ダライ粉25%では、溶解歩留は約92%となった。

表3に溶解した銑鉄の化学成分を、図2に溶解した銑鉄のC, Si, Mnの歩留を示す。ダライ粉の量が多くなるとともに、各成分の歩留は低くなった。この結果から、ダライ粉を配合した銑鉄の溶解では、通常の鋼くずを配合した溶解に比べてC, Si, Mnの成分減耗が大きいため、これを補うための、元素の成分調整が必要となる。

銑鉄中の酸素はダライ粉の割合が増えるとともに増加し、ダライ粉25%では70ppmとなった。

表3 溶解した銑鉄の化学成分

	C (%)	Si (%)	Mn (%)	O (ppm)	N (ppm)
銑鉄 100%	3.61	2.00	0.21	28	20
銑鉄 87.5% + ダライ粉 12.5%	3.27	1.08	0.15	30	23
銑鉄 75% + ダライ粉 25%	2.74	0.73	0.093	70	30

表4 成分調整して溶解した銑鉄の化学成分

	C (%)	Si (%)	Mn (%)
銑鉄 + ダライ粉 + 加炭剤等	3.05	1.75	0.35
FC 300 の標準的 化学組成 ¹⁾	3.1 ~ 3.3	1.6 ~ 2.1	0.6 ~ 0.9

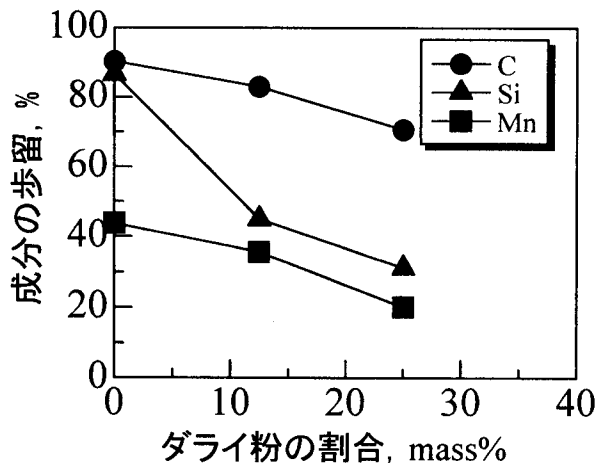


図2 原材料中のダライ粉の割合と化学成分の歩留との関係

ダライ粉は通常の鋼くずに比べて表面積が大きく、酸化しやすいため、溶湯中の酸素が増加したと考えられる。これに対し、窒素量はダライ粉の量に関わらず、20~30ppmであった。

(2) FC 300 相当の銑鉄の溶解

表4に銑鉄とダライ粉25%に、加炭剤、Fe-SiおよびFe-Mnを添加して、実用レベルの銑鉄を溶解したときの化学成分を示す。また、表5に溶解した銑鉄の機械的性質を示す。機械的性質については、成熟度が92と若干低いものの、比較硬さでは0.88と良好な結果が得られた。図3に溶解した銑鉄の顕微鏡組織を示す。黒鉛の形状はA型で、基地組織はパーライトの組織が得られ、FC 300の組織として良好な組織である。

3.2 亜鉛めっき鋼板

亜鉛付着量が90 g/m²の亜鉛めっき鋼板を溶解した総重量の約25%使用して、銑鉄の溶解実験を行った。全原材料中の亜鉛の総量は約400 gで、溶解した総重量に対する割合に換算すると約0.2%となる。表6に亜鉛めっき鋼板を使用して溶解し

た鑄鉄の化学成分を示す。残留亜鉛は0.0002%であった。一般的に、残留亜鉛が0.02%以上になるとピンホールが発生するといわれている。今回の溶解では残留亜鉛は0.0002%と十分低かったことから、材質に与える影響は問題ないと考えられる。なお、溶解中は排ガス口から亜鉛フュームが発生するのが観察され、亜鉛は蒸発しているものと考えられる。

表7に亜鉛めっき鋼板を原材料の25%使用して溶解した鑄鉄の引張強さと硬さを示す。成熟度および比較硬さともに良好な結果が得られた。

図4に亜鉛めっき鋼板を使用して溶解した鑄鉄の顕微鏡組織の例を示す。組織はピンホールのない良好な組織であった。

3 経済性の評価

3.1 ダライ粉

表8に原材料のコスト比較を示す。ダライ粉を

使用して溶解する際の原材料の価格は6,886円となった。これに対しダライ粉なしでは、6,863円となった。

ダライ粉を配合した場合は、C, Si, Mnの歩留が低下するため、加炭剤、フェロシリコン、フェロマンガンの添加量が増加する。しかし、ダライ粉の価格が低いため、鋼くずを配合した場合に比べて、原材料費はほぼ同額となる。ただし、自社で製造した鑄物の機械加工を行っている場合は、自社で発生するダライ粉を使用すれば、さらに原材料費を下げることが可能である。しかし、25%以上のダライ粉を配合をした場合には、さらにC, Si, Mnの歩留が低下することが予測され、注意を要する。

以上の結果については、実用炉（溶解量：3,000～20,000 kg）の場合においても、ほぼ同じ傾向を示すと考えられる。ただし、実用炉においては、発表されている他の実験結果³⁾から、C, Si, Mnの歩留は上がると考えられ、ダライ粉を配合した場合は、さらに原材料費が下がると考えられる。



図3 ダライ粉を使用して溶解した鑄鉄の顕微鏡組織 100 μm

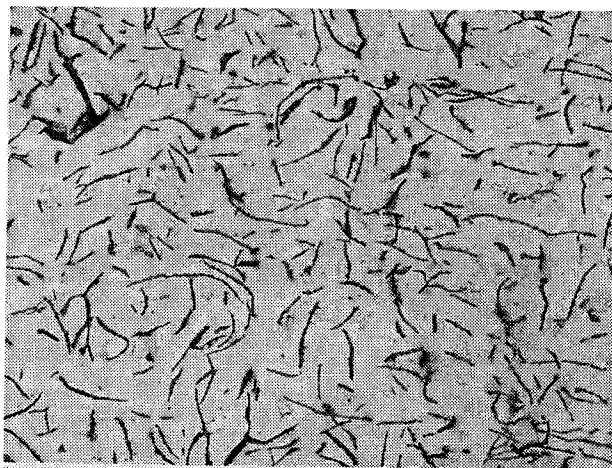


図4 亜鉛めっき鋼板を使用して溶解した鑄鉄の顕微鏡組織 100 μm

表5 成分調整して溶解した鑄鉄の機械的性質

	引張強さ (MPa)	硬さ (HB)	成熟度	比較硬さ
銑鉄+ダライ粉+加炭剤等	303	205	92	0.88
FC 300 のJIS規格 ²⁾	300 以上	262 以下	—	—

表6 亜鉛めっき鋼板を使用して溶解した鑄鉄の化学成分

	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Zn (%)
銑鉄+亜鉛めっき鋼板+加炭剤等	3.20	1.59	0.71	0.0002
FC 300 の標準的組成 ¹⁾	3.1 ~ 3.3	1.6 ~ 2.1	0.6 ~ 0.9	—

表7 成分調整して溶解した鑄鉄の機械的性質

	引張強さ (MPa)	硬さ (HB)	成熟度	比較硬さ
銑鉄+亜鉛めっき鋼板+加炭剤等	343	227	112	0.91
FC 300 のJIS規格 ²⁾	300 以上	262 以下	—	—

3.2 亜鉛めっき鋼板

表9に原材料のコスト比較を示す。亜鉛めっき鋼くずを使用して溶解する際の原材料の価格は6,381円となった。これに対し亜鉛めっき鋼くずなしでは6,863円となった。亜鉛めっき鋼板くずについては、亜鉛の残留の問題がないため、通常の鋼くずと代替品として使用が可能である一方で、亜鉛めっき鋼くずの価格が低いために、原材料費の低減には効果が大きい。ただし、実験で配合したより多くの亜鉛めっき鋼を配合した場合については、今後の検討を要する。

この結果については、実用炉においてもほぼ同じと考えられる。

4. まとめ

低品位材料であるドライ粉および亜鉛めっき鋼板を鑄鉄溶解へ利用するため、ロータリーファーンネスによる鑄鉄の溶解を行った。ドライ粉では、引張強さ、硬さおよび顕微鏡組織から材質的に問題

なく製造できることがわかった。しかし、溶解後の鑄鉄中のC, Si, Mnの減耗が著しいので、成分を調整するためには、加炭剤およびフェロアロイを多めに添加する必要がある。また、亜鉛めっき鋼板を利用した溶解では、亜鉛は飛散してほとんど残留しなかった。しかし、この亜鉛フェームの発生は抑制できないので、その集塵対策は必要である。

参考文献

- 1) 日本鑄物協会編 鑄鉄溶解ハンドブック 50 (1983)
- 2) 日本規格協会：日本工業規格 ねずみ鑄鉄品 (JIS G 5501-1995)
- 3) 中小企業事業団：「廃熱利用天然ガス回転炉」の開発 (1995)

表8 原材料のコストの比較 (1)

(A) ドライ粉 25%							
	銑鉄	鋼くず	ドライ粉	加炭剤	Fe-Si	Fe-Mn	合計
配合量 (kg)	143.6	0	47.9	5.6	0.9	2.0	200
単位 (円/kg)	35	25	20	80	82	90	
価格 (円)	5,026	0	958	448	73.8	180	6,686
(B) ドライ粉なし、鋼くず 25%							
	銑鉄	鋼くず	ドライ粉	加炭剤	Fe-Si	Fe-Mn	合計
配合量 (kg)	144.6	48.2	0	4.5	0.7	2.0	200
単位 (円/kg)	35	25	20	80	82	90	
価格 (円)	5,061	1,205	0	360	57	180	6,863

表9 原材料のコストの比較 (2)

(A) 亜鉛めっき鋼くず 25%							
	銑鉄	鋼くず	亜鉛めっき鋼くず	加炭剤	Fe-Si	Fe-Mn	合計
配合量 (kg)	144.6	0	48.2	4.5	0.7	2.0	200
単位 (円/kg)	35	25	15	80	82	90	
価格 (円)	5,061	0	723	360	57	180	6,381
(B) 鋼くず 25%							
	銑鉄	鋼くず	亜鉛めっき鋼くず	加炭剤	Fe-Si	Fe-Mn	合計
配合量 (kg)	144.6	48.2	0	4.5	0.7	2.0	200
単位 (円/kg)	35	25	15	80	82	90	
価格 (円)	5,061	1,205	0	360	57	180	6,863