

鑄鉄凝固時の膨張圧による焼付き欠陥と鑄型特性

2019年 7月11日(木)

鑄造カレッジ上級 砂型コース講師
黒川豊, 橋本邦弘, 前田安郭, 佐藤和則, 北澤幸廣, 福尾太志

1

1

1. はじめに

焼付き欠陥の溶湯側の要因として**動圧**、**静圧**、**共晶凝固時の膨張圧**などが知られている。また、鑄型側の要因としては、**鑄型と溶湯の濡れ性**、**鑄型背圧**、**焼付き浸透深さ**が知られている。

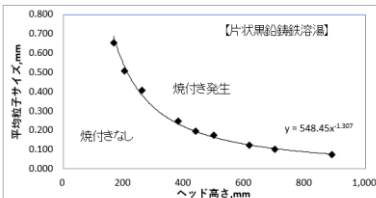
動圧や静圧は、方案や鑄型特性の立ち上げ時の設定で決まるので、操業中にこれらの要因で焼付き欠陥が発生することは少ない。共晶凝固時の膨張圧や鑄型による焼付き欠陥は、操業中に溶湯成分や鑄型特性が変動して、焼付き欠陥の原因となることがある。

今回、**共晶凝固時の膨張圧**による焼付き欠陥に着目し、これを再現するために、小型鑄込み試験片を考案した。フラン鑄型を用い、鑄物砂の種類、粒度、塗型有無などを変化して鑄鉄を鑄込んでこの試験片を評価した。

2

2

静圧の要因(ライン立ち上げ時対策済み)



ヘッド高さ, mm	平均粒子サイズ, mm	AFS指数, mesh
222	0.472	35
250	0.404	40
273	0.359	45
322	0.290	55
346	0.264	60
369	0.242	65

著者らは、現場で用いられる鑄物砂のAFS指数(粒子サイズ)¹⁾を明らかにしている。

J.P.Thorpeは粒子サイズと限界ヘッド高さの関係²⁾を明らかにしている。

これらを併せて右図を作成した。

鑄造現場では、静圧により焼付きが発生する粒子サイズは明らかになっており、ラインを立ち上げる際に、焼付き欠陥の発生しない粒子サイズを選定している。

参考文献

1) 黒川豊、水田豊昭、矢尾井潤、太田英明、三宅秀和: 鑄造工学、72(2000)346

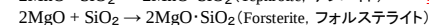
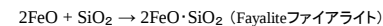
2) J.P.Thorpe: The British Foundryman、10(1950)380

3

3

溶湯と鑄型の濡れ性の研究¹⁾

焼付き欠陥の生成メカニズム(濡れ性変化)



1) 黒川豊、上林仁司、市岡雅義、太田英明、三宅秀和: 鑄造工学74(2002) 298

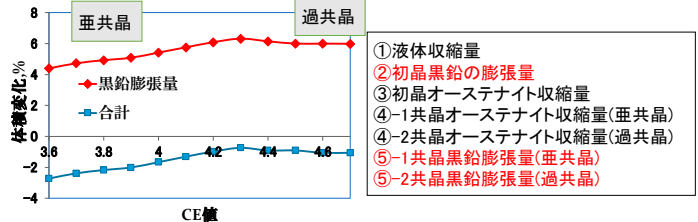
4

4

凝固時の体積変化(膨張, 収縮)について

CE値	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7
(C, Si)	3.015	3.115	3.215	3.218	3.221	3.321	3.421	3.521	3.621	3.524	3.624	3.627	3.727	3.827
C _T	1.78	1.78	1.78	1.72	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.62	1.62	1.56	1.56	1.56
C _E	3.77	3.77	3.77	3.67	3.57	3.57	3.57	3.57	3.47	3.47	3.47	3.37	3.37	3.37

①SL	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75	-3.75
②S _{YP}	-1.35	-1.18	-1.00	-0.84	-0.68	-0.50	-0.31	-0.13	---	---	---	---	---	---
③E _{OP}	---	---	---	---	---	---	---	---	(0.11)	(0.11)	(0.46)	(0.81)	(1.16)	(1.51)
④S _{YS}	-2.02	-2.19	-2.36	-2.51	-2.66	-2.83	-3.00	-3.18	-3.30	-3.30	-3.30	-3.30	-3.30	-3.29
⑤E _E	4.06	4.40	4.73	4.93	5.09	5.42	5.76	6.09	6.32	6.15	6.15	6.00	6.00	5.99
合計	-3.06	-2.72	-2.38	-2.17	-2.00	-1.66	-1.30	-0.97	-0.73	-0.90	-0.90	-1.05	-1.05	-1.05



5

2. 焼付き欠陥の代表的な鑄込み試験片 (ステップコーン試験片)

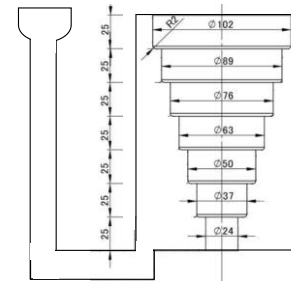


図 ステップコーン試験片の模式図

WL.Tordoff, RD.Tenaglia: AFS.Trans.88(1980),149

鑄込み重量: 13.60kg

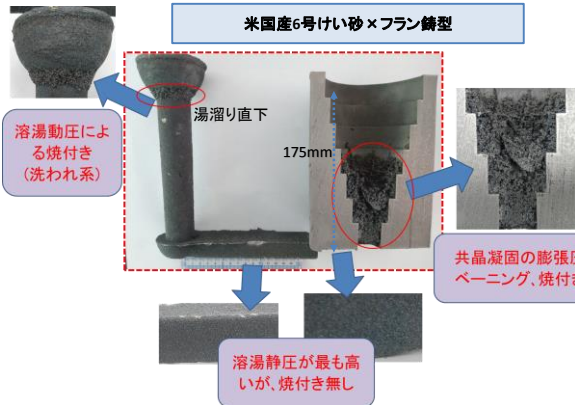
湯口系重量: 2.15kg

試験片重量: 11.45kg

問題点として、
焼付き欠陥とベーニング欠陥の両方が発生しやすく、焼付き欠陥単独の要因検討がしにくい。

6

ステップコーン鑄型の焼付き欠陥の一例

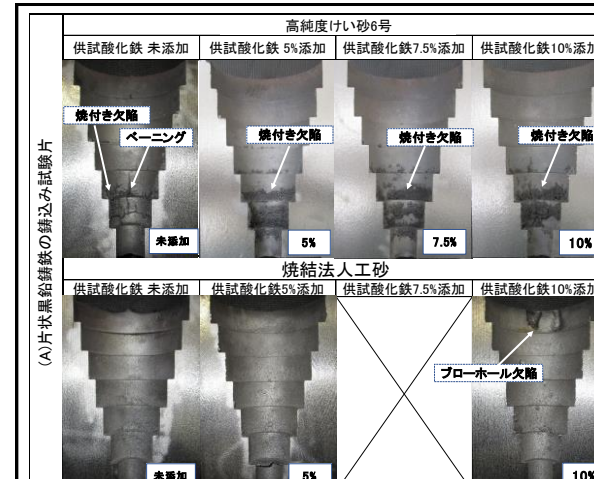


代表的な焼付き試験片である。階段状試験片であり、試験片下部に発生することから、溶湯静圧の影響を受けてと思われるが、試験片の肉厚部に発生し、共晶凝固の膨張圧の影響による焼付きと考えた方がよい。

左図では、溶湯動圧と共晶凝固膨張圧による焼付きが発生しており、溶湯静圧の焼付きは発生していないと考えられる。

ベーニングを併発した焼付きであることから、焼付きの判定がしにくい。

7



問題点

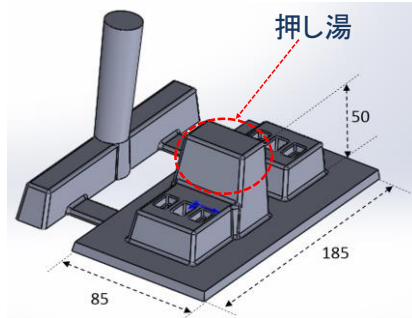
- 高純度けい砂6号では、焼付きとベーニング
- 人工砂では焼付き無し

焼付き欠陥の判定がしづらいと言える

参考文献)黒川豊, 黄子争: 鑄造工学91(2019)44

8

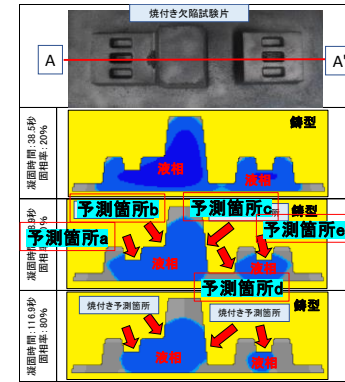
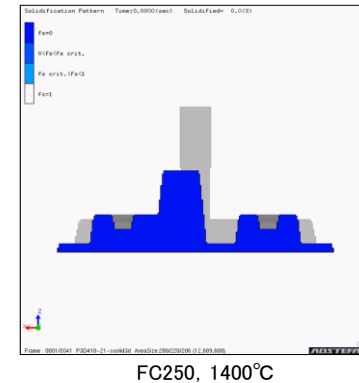
3. 考案した焼付き試験片 鑄造カレッジ上級砂型コース (橋本式焼付き試験片)



鑄込み重量: 2.65kg
湯口系重量: 0.95kg
試験片重量: 1.7kg

9

凝固と焼付き欠陥発生予測位置



10

4. 実験方法

4.1 鑄型特性

配合				樹脂			硬化剤			強熱減量, %	通気度	
フラン鑄型	フラン樹脂1. 2%, 硬化剤40%			GFA-160			GH80 50%	GH20 50%				
サンプル名	圧縮強度, MPa			試験片密度 g/cm ³	膨張量, %			ガス発生量, ml/g				
	1時間後	3時間後	24時間後		180秒	300秒	MAX	90秒	180秒	MAX		
高純度6号けい砂	1.83	2.36	2.95	1.459	1.61	1.66	1.69	5.7	6.5	7.4	1.37	168
中国溶融人工砂	2.15	2.91	4.15	1.952	0.21	0.27	0.31	5.2	6.1	7.0	1.13	93

mesh μm	粒度分布											
	18	26	36	50	70	100	140	200	281	PAN	AFS	JIS
試料名	850	600	425	300	212	150	106	75	53	PAN	F.N	F.N
高純度6号けい砂	0	0.1	4.6	15.9	25.1	37.0	15.7	1.4	0.3	0.0	64.4	113.1
高純度6.5号けい砂	0	0	0.0	1.2	8.6	39.6	35.7	11.5	2.9	0.4	91.4	163.1
中国溶融人工砂	0	0	2.5	15.1	21.3	24.8	29.4	6.0	0.9	0.1	74.6	131.5

11

4.2 鑄込み材質

- ① 球状黒鉛鑄鉄の表面張力は1300~1400dyn/cmで、片状黒鉛鑄鉄は800~900dyn/cmであり¹⁾、このため、球状黒鉛鑄鉄は焼付きが発生し難い。そこで、考案した橋本式焼付き試験片で、それぞれの材質で評価を行う。
- ② 溶湯が酸化することから焼付きが発生する²⁾ことが知られている。雰囲気については調整せず、フラン鑄型の自己雰囲気とする。

参考文献

- 1) 球状黒鉛鑄鉄の理論と実際: 日本金属学会(1966)268
- 2) 中江秀雄, 松田泰明 “鉄鑄物の鑄型の焼付きに対する雰囲気酸素の影響”: 鑄造工学71(1999)21

12

【球状黒鉛鋳鉄】 目標成分と鑄込み溶湯の成分

目標成分, %

C	Si	Mn	P	S	残Mg	Cu	CE
3.5~3.7	2.3~2.5	0.20~0.40	<0.01	<0.01	0.035~0.045	0.05~0.10	4.4~4.5

計画:1480℃球状化处理, サンドイッチ法, 接種剤(Fe-Si 0.2%)を同時, 1400℃注湯

鑄込み溶湯の成分, %

	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cu	Ti	Al	N
元湯	3.6	1.4	0.32	0.11	0.01	0.000	0.11	0.032	0.001	0.0008
球状化处理後	3.4	2.2	0.32	0.10	0.01	0.038	0.11	0.033	0.009	0.0020

実績:1460℃球状化处理, サンドイッチ法, 接種剤(Fe-Si 0.2%)を同時, 1380℃注湯

CE値:4.1, 共晶黒鉛膨張量(過共晶)5.76%

13

【片状黒鉛鋳鉄】 目標成分と鑄込み溶湯の成分

目標成分, %

溶湯目標成分, %	C	Si	Mn	P	S	CE	T, °C
元湯	3.45~3.55	1.75~1.85	0.50	<0.10	<0.05	4.1~4.2	-
製品	3.50	2.00	0.50	<0.10	<0.05	4.2	1400~1420

鑄込み溶湯の成分, %

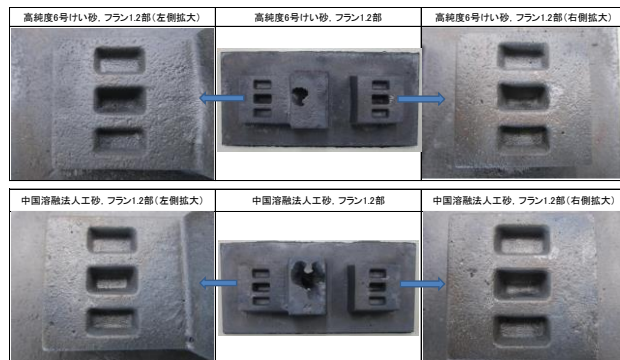
C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	N
3.08	1.84	0.50	0.08	0.016	0.023	0.002	0.0032

CE値:3.7, 共晶黒鉛膨張量(亜共晶)4.73%

14

5. 実験結果

5.1 鑄込み試験結果(球状黒鉛鋳鉄)



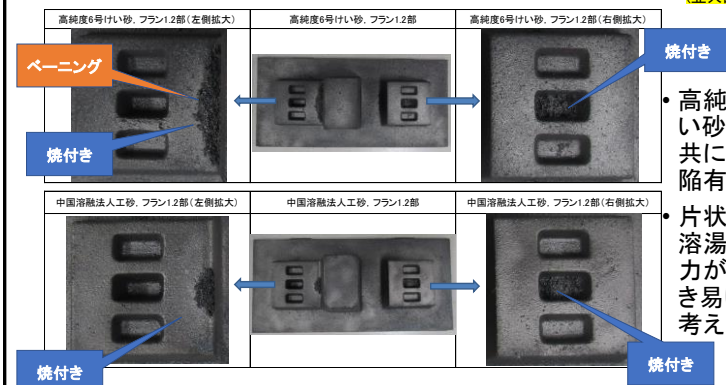
CE値:4.1, 共晶黒鉛膨張量(過共晶)5.76%

- 高純度6号けい砂, 人工砂共に差し込み欠陥無し。
- 球状黒鉛鋳鉄溶湯は表面張力が高く, 焼付き難いためと思われる。

15

5.2 鑄込み試験結果(片状黒鉛鋳鉄)

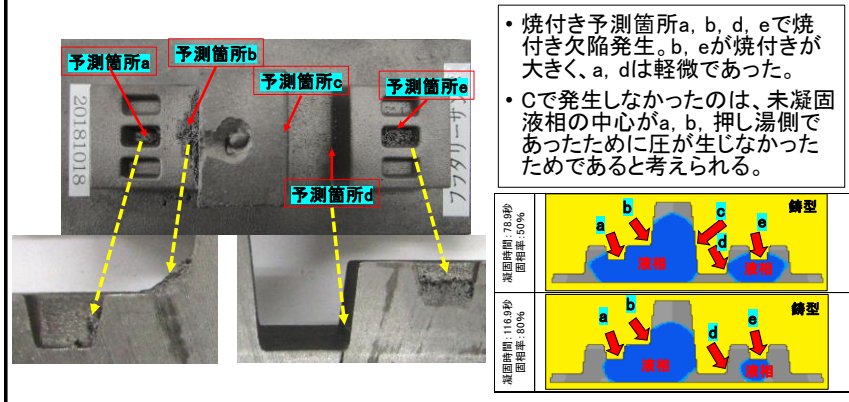
CE値:3.7, 共晶黒鉛膨張量(亜共晶)4.73%



- 高純度6号けい砂, 人工砂共に焼付き欠陥有り。
- 片状黒鉛鋳鉄溶湯は表面張力が低く, 焼付き易いためと考えられる。

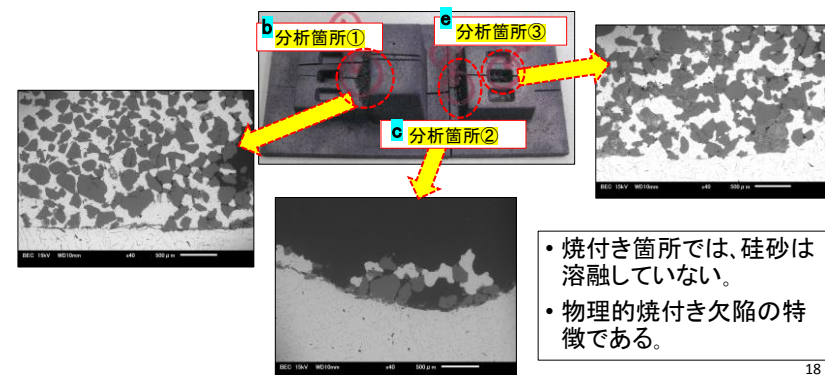
16

焼付き予測箇所(a～e)と焼付き欠陥発生結果



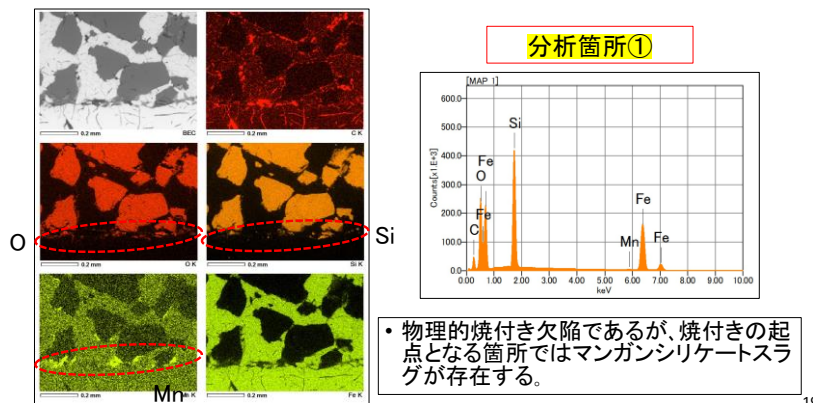
17

焼付き試験片(高純度6号けい砂)のSEM観察



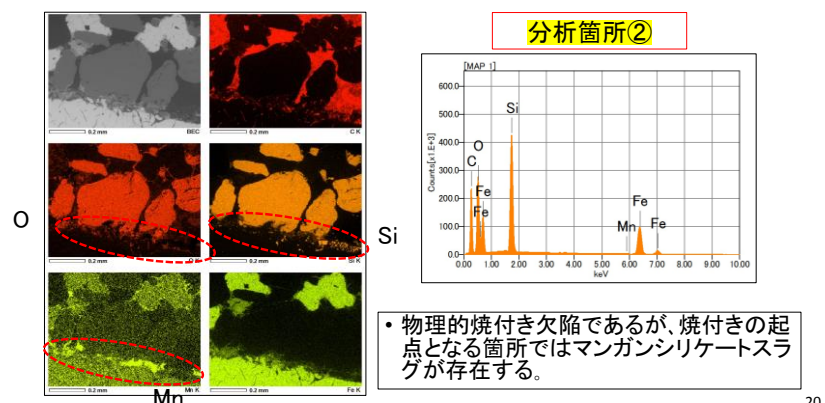
18

焼付き試験片(高純度6号けい砂)のEDS分析



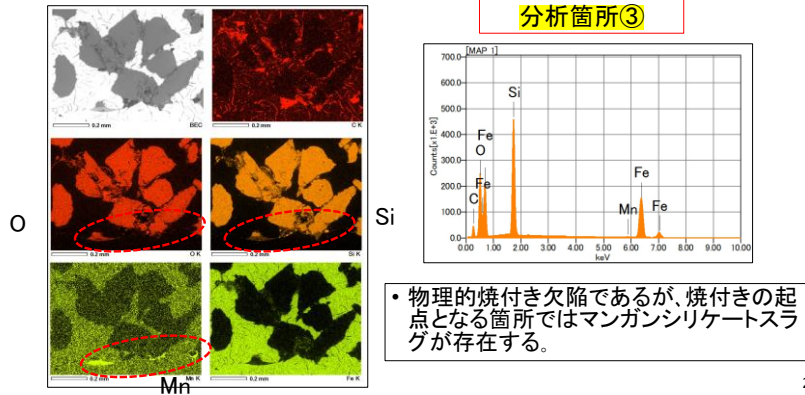
19

焼付き試験片(高純度6号けい砂)のEDS分析



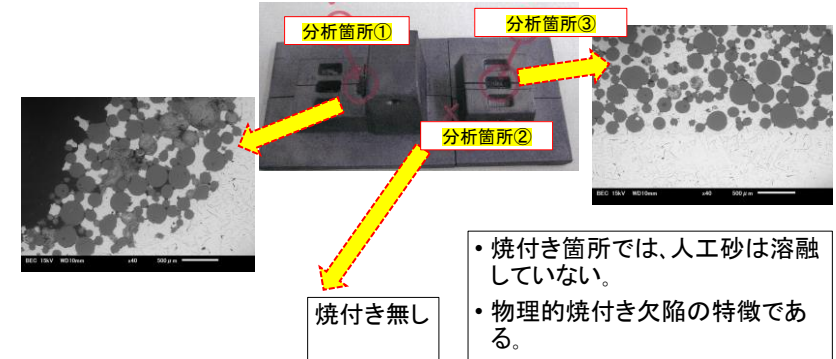
20

焼付き試験片(高純度6号けい砂)のEDS分析



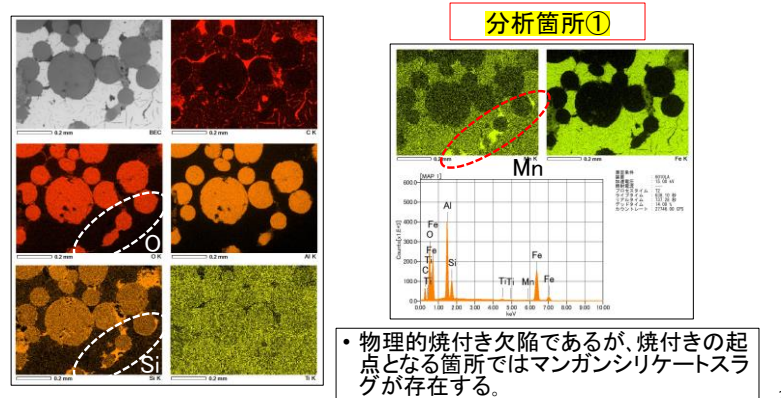
21

焼付き試験片(人工砂)のSEM観察



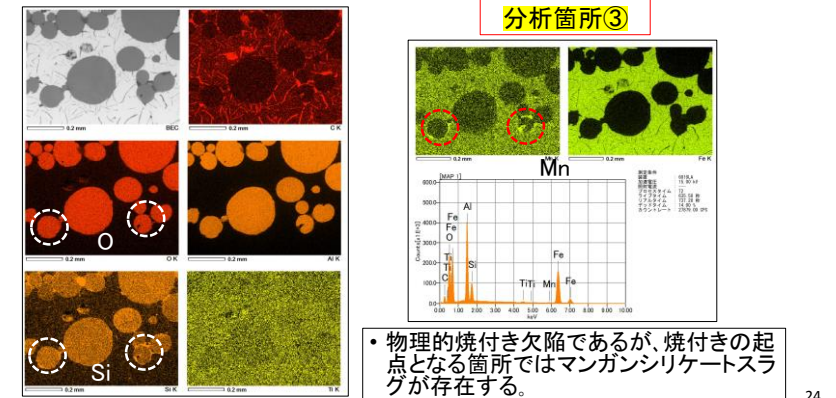
22

焼付き試験片(人工砂)のEDS分析



23

焼付き試験片(人工砂)のEDS分析



24

共晶凝固時の膨張圧による焼付き欠陥とマンガンシリケートスラグの関係の考察

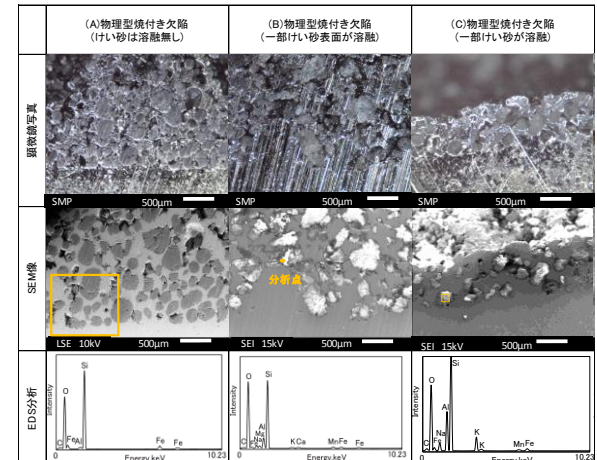
- ① 焼付き欠陥発生箇所において、焼付き部と製品の境目にはマンガンシリケートスラグが検出される。マンガンシリケートスラグが生成すると、溶湯と鋳型の濡れ性が変化して焼付き欠陥が発生しやすくなる。
- ② 共晶凝固時の膨張圧による焼付き欠陥は、溶湯の膨張圧による物理的な差込み欠陥であることから、最初にマンガンシリケートスラグが生成し、焼付き欠陥が発生したとは考えにくい。
- ③ 焼付き欠陥が発生して溶湯が焼付き内に侵入する際に、境目である砂粒間隙でろ過効果によりマンガンシリケートスラグを捕捉したのではないかと考えられる。この捕捉がきっかけとなって、焼付き欠陥が助長されると考えられる。

25

25

補足資料

- 砂粒間隙でのろ過効果で無い例として、過去の分析事例より
- 右図(B), (C)。焼付き内部の砂粒が溶融している。
- 右図(A)では、砂粒と鋳物境界を丁寧に分析していないが、スラグが存在するかも知れない。



26

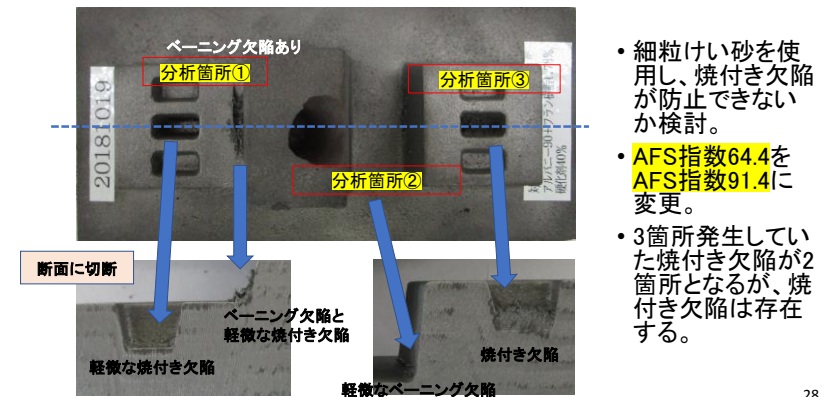
5.3 共晶凝固の膨張圧による焼付き欠陥の対策の試み

- ① 粒度調整による焼付き対策(高純度6.5号けい砂)
- ② 塗型による焼付き対策(高純度6号けい砂+塗型)

27

27

① 粒度調整による焼付き対策(高純度6.5号けい砂)

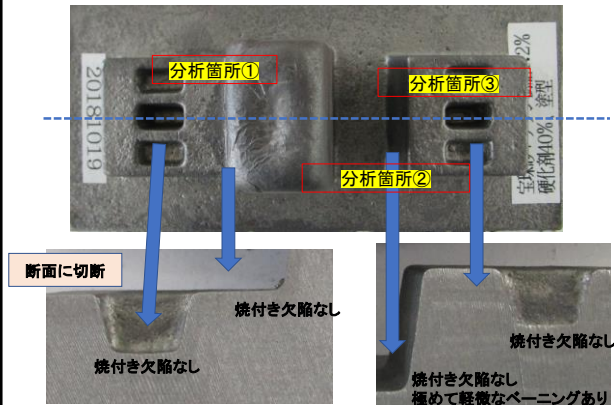


- 細粒けい砂を使用し、焼付き欠陥が防止できないか検討。
- AFS指数64.4をAFS指数91.4に変更。
- 3箇所発生していた焼付き欠陥が2箇所となるが、焼付き欠陥は存在する。

28

28

②塗型による焼付き対策(高純度6号けい砂+塗型)



- 塗型により焼付き欠陥が防止できないか検討。
- 塗型により焼付き欠陥は防止できる。

29

29

6. 結言

- ステップコーン試験片では、ベーニング欠陥と焼付き欠陥が発生することで、焼付き欠陥のみの判定が難しい。
- 考案した橋本式焼付き試験片では、溶湯が閉鎖ループとなって鑄型と接する箇所に片状黒鉛鑄鉄溶湯では、焼付き欠陥が発生した。従って、共晶凝固時の膨張圧による焼付き欠陥を再現したと言える。
- 考案した焼付き試験片では、鑄物砂に高純度けい砂を用いるとベーニング欠陥は発生するが軽微であり、焼付き欠陥の判定が比較的容易である。また、鑄物砂に人工砂を使用するとベーニング欠陥は発生せず、焼付き欠陥のみ発生したことから、正確に共晶凝固時の膨張圧による焼付き欠陥を判定できると言える。

30

30