

# 誘導炉耐火物寿命の改善

## 要点：

誘導炉で鑄鉄を溶解するときに、シリコンカーバイド (SiC) を添加することで、炉内耐火物の寿命を改善し、溶鉄への C、Si を供給する源泉となることを証明するテストをし、又同時に原価も低減した。これらの結果は溶鉄中の酸化鉄の減少によって得られた。その他の利点は、スラッグの濃度を改善し、接種の効果が消えるまでの時間を増し、接種剤の使用量が減少した。

1965年7月、当社は鑄鉄高圧パイプ生産を砂型法から現在の DeLavaud (金型遠心鑄造法) システムに改造した。熔解設備は2基の84インチ熱風キュボラから4基の23ドンのるつぽ型誘導炉と1基の予備炉体に変更した。

これらの炉のライニングは、普通のシリカ系で、1.7%のほう酸を添加したシリカで張った。炉耐火物は鉄板シェルの中へつき固め、震動でしめつけた。そのあとで、ガストーチで6インチの厚さに焼き締める。

シリカは費用がかからないし、熱的なショックに対する抵抗にすぐれている。正味の線膨張は、1600~2800°F (871~1538°C) の範囲では無視できる。この特性は、溶湯温度が400~500°F (204~260°C) も変動したとき、例えばこの会社で出湯時と冷材投入時の間のようなときには特に重要である。週末の作業終了の時の温度変化はそれ以上になる。

## シリカライニングの弱点

ある誘導炉のユーザー同志の会合で、1965年に発表された資料の中で Werner×Haessler はシリカライニングの主なる弱点の一つを論じた。彼はシリカの熔融温度は 3135°F (1724°C) で酸化鉄との共晶で Fayalite を形成すると、融点は 2150°F (1177°C) となり、鑄鉄浴よりも充分低い温度であり、Fig1 で示す D 点、B 点はこれを示す。

酸化鉄はあらゆる溶融鉄浴中にある程度存在し、薄肉の鋼屑を高い比率で造られたチャージの中には広く拡がっている。炉壁の表面に酸化鉄が接して最初に共晶 Fayalite を形成する。

Fayalite は炉の操業温度では液体であるからシリカライニングの粒子の隙間に拡散し、徐々に炉壁を劣化する原因となる。吾々の炉では炉壁のたて面の底部のライニング密度に何らかの変化が起っていることが断言できる。アルミナやマグネシアがシリカの中にあるとき、酸化鉄 (FeO) による侵食が同じように起る。

Haesaler 氏はシリカライニングには FeO のレベルは極力低いこと、或いはライニングの侵食を減少するための中和材料として溶湯に砂を添加することを推奨している。

## 溶融の調査

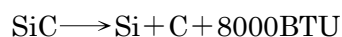
吾々は、R.D.Wood の工場で鋼屑 70~80% 配合材料での誘導炉ライニングの平均的な寿命を決める実験を行った。焼結した石油コークスと 50% フェローシリコンの塊を使って C3.3~3.4%、Si1.6% の鑄鉄を作った。

とりべへの接種で Si2.0%まで上げるために、85%Fe-Si を添加した。炉壁寿命（ライニングライフ）を改善する試験で、SiC を投入材料に添加するとスラッグや溶湯中の有害な FeO が減少し、シリカライニングの劣化が少なくなることを仮定した。広い範囲の材料を検討したが、最終的にAとBの2種類の場合に決めて、十分な生産テストを行った。

	SiC%	遊離黒鉛%	その他%	Si%	C%	その他%
A	50	45	5	35	60	5
B	90	5	5	63	32	5

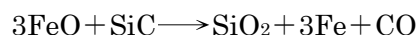
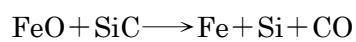
A材料は溶湯への普通の添加に匹敵するものであるから、塊状の 50%Fe-Si と石油コークスは、この材料に置き換えることを決定した。投入地金 1 トン当りに約 73lb が計算で得られた。C と Si の歩留りの比較を基礎として見るとA材料のコストの方が少なくなる。最終的に 90%SiC を含む材料Bも数値を求め、そして生産に利用したが、これについては後述する。

要約すれば、いくつかの事実が判り、興味を刺激された。SiC はユニークな Si の源泉である。それは熔融するのではなく、分解或いは熔解が次の形で起る。



Si と C の分解は発生期の状態で、高い反応力を持っている。

最終的な金属酸化物の還元は次の式に促って行われる。



SiC の多量の添加は質量作用の法則によって、右の方へ進む。

この事項は次のように測定される。

- (1) 炉のライニングライフを増加する
- (2) 接種と同様にチルを減少する
- (3) 接種効果が消滅するまで時間が伸びる
- (4) Si、C の源泉として経済的である。

最初に、1基の炉に材料Aを1シフト操業の間に投入する一方、残りの3基の炉には標準の Fe-Si をチャージした。然しライニングライフに注目した第一の試験からは結論は得られなかったが、結果は C と Si の歩留りは平均 85~90%で良好であり、チルの程度は満足であった。更に接種効果の消滅する時間は 50%以上も増加した。

1基の炉の操業を材料Aで連続して行い、残りの3基の炉は塊状の Fe-Si を用いて、実験炉は通常用いられるライニングライフデータを求めるために新しいライニングを行ってスタートした。

3直列で1週間5日操業システムで、8週間経過した後で SiC を使った炉で、炉修を必要とするまでの全溶解量は 4079 トンであった。

ライニングライフの測定と評価は、工場間でも変るであろう。吾々の工場では物理的にるつぼの深さの方向で1フィート間隔にその内径を毎週末の操業終了時に測定した。ライニングの損耗が少なくなることは現場作業者が測定し、任意に評価したが、その結果は次の通りであった。

- ① SiC を使って2週間操業したとき、それを使わないで操業したときの1週間と大体同じであった。
- ② SiC を使って5週間操業したあとは、それを使わない操業で4週間後よりも1インチ炉壁の消耗が少なかった。
- ③ SiC を使って6週間操業したあとは、それを使わないときの4週間後と大体同じであった。(Fig2 参照)

その他に、ライニングの消耗の科学的な表現法として、炉一杯に印加できる電力のコイル電圧を毎日プロットすることによって得られる。ライニングが薄くなってくると、電圧は低下する。ある最低の電圧になるとライニングをやり直さなければそれ以上熔解することは危険である。(部分的な剥離は電圧に影響しない。)

これらの電圧測定記録は、SiC を使った場合には消耗が少なくなることを実験的に示した。Fig3 にこれを示す。

C、Si が SiC から入ってくることは平均 85~90%の比率で継続した。これは塊状の Fe-Si やコークスで実験した歩留りに殆ど同じである。大量のスクラップは熔解するスクラップによって歩留りを悪くする。

溶湯の最高温度は 2800°F (1538°C) にさせる、5000lb (2270kg) づつ3回の材料を投入して溶けた時は 2700°F (1482°C) である。各々の炉は毎回約 70 分かかって出湯する。

ライニングはその半分まで削り落とし、そしてシリカとほう酸を用いて補修し、焼結させた。そして追加して4週間の操業で 2230 トンを熔解し、通算して 60 日、6309 トンの熔解をした。もう一度、強調しなければならないが1日3直制で 60 日間である。

比較のために、SiC を使用しない場合の従来のライニングの操業記録から平均値をまとめてみた。この過去の記録は 18 の炉の張り替えの記録であって、第一表にこれを示す。

第一表 ライニングライフの比較

	新しいライニング		パッチング		合計	
	週間	熔解トン数	週間	熔解トン数	合計週間	合計トン数
SiC を使用	8	4079	4	2230	12	6309
SiC なしの平均	6	2653	2.2	934	75	3275
増加率 %	33.3	91.6	91.5	139	60	93
過去の最高寿命	8	3781	2	1032	10	4813

新しく炉を張り替えて、8週間の最高寿命と部分的な補行で2週間炉が持ったことはたったの2回であった。大切なことは、夫々の実例では投入材料は銑鉄 50%、鋼屑 35%、リターン材 14%を熔解したことである。

銑鉄、リターンの銹の減少量は容積と表面積の比率が高いために、この操業のライニングライフが長くなったことと大きく関係のあることは疑いもないことである。吾々の通常の操業、即ち鋼屑を 70~85%使って、炉中の FeO 量が減少し、炉材の寿命が延びることと比較しよう。

材料Aのテスト期間中の材料は、鋼屑 70~85%であり、ライニングライフの改善が SiC の

還元力からもたらされることが高い鋼屑配合率でも正常な方法と同じになることが明らかになった。

## 転換と追加試験

初めの試験期間で成功したので、その後、残りの3基の炉は Fe-Si と石油コークスを使うことから材料Aに切替えた。SiC の最適な粒度を決めるために、一段と深い研究を行った。最初に使った材料は 12~16 メッシュであった。吾々の炉について最適条件は 2”以下であることが判った。この大きさは、容積で購入し、コンテナ車で運搬したり、車の容量と同じ大きさのビンに貯蔵したり、コンベアーベルトでチャージングバケットへ運搬をすることができる。

炉からの出湯は 7.5 トンのみで、15.5 トンを残り湯とする。材料投入は 1 回に 2.5 トンずつ 3 回に投入する。合金等の添加物、SiC、コークス等は 3 回行う投入の最初のチャージの時に入れて、炉内の低いレベルに入れることで攪拌の効果が最大になることを考える。炉一杯になれば、溶湯の上面での攪拌作用は大きく減少される。

次に追加して SiC に黒鉛の各種組合せの研究をした。吾々の特別な操業即ち、ダクタイルや普通鑄鉄を含めて鋼屑の高い比率の場合に対する最良と思われる組合せを考えたが、それは材料Bであった。これは前に記した通り SiC90%、遊離黒鉛 5%、不活性物 5% の高濃度のものである。

吾々はこの材料Bを吾々の炉ですでに 1 年以上も使っているが、これは塊状の Fe-Si と石油コークスを置き換えたものである。これは大きさが 2 インチ以下のもので、操業にはよく適合している。材料 1 トン当りの材料Bは 53 ポンドを使用しているが、これは材料Aの 73 ポンドに相当する。

## コスト

SiC の使用による原価試算は、添加物のコストを低減し、炉の耐火物コストさえも低減する。50 ポンド袋入り材料の価格を基礎として、最初の試験での SiC と Fe-Si の場合、次の節約が実際に求められる。袋入りの材料はそのまま持ち運びも簡単で正確な添加も可能である。

添加物費用		内張り費 (労務費を含む)	合計
50%Fe-Si	\$ 4.54/tm	0.96	5.50
材料B	\$ 4.38		
材料A	\$ 4.10	0.65	4.75

続いて材料Bを使ったテストでは、ライニングの寿命が大きく延び、材料Aの添加のコストを埋合せることが判った。材料Aに入っている価格の安い効果の高い黒鉛は、低コストの材料となり、材料Bに入っている高い SiC は炉材の寿命の改善に関係する。

## トリベ接種

吾々の工場で使用するトリベ接種材の量はチルテストで得られるチルの量によって決められる。チルは、パイプの生産において、鉄のチル化する特性の変化に非常に敏感であると云う理由から、各出湯毎にチル値を測定した。

トリベ添加に使用する接種材の節約量による経済性はどれだけかを定める研究が行われた。3ヶ月間のSiCの使用前と使用後の数値を比較した。吾々はSiCを使用する前は85%Fe-Siを3トンのトリベ毎に平均37.5ポンド使用していた。SiCを使用するようになってから、85%Fe-Siの使用量は同じトリベに対して平均25.8ポンドとなり、31%の節約ができた。

## 結 論

誘導炉熔解操業にSiCを使用することによって明らかに操業上の利益が得られた。現状の価格を基礎として支出を低くし、溶湯及びスラッグ中のFeO量を減少し、炉壁の寿命を長くすることから、コストを低減することができる。

## その他の利点

溶湯のチル化傾向に関係する消耗時間の延長ができる。スラッグの濃度が良くなり、スラッグの除去が容易にできる。

SiC中に、硫黄がないので、最終出湯中のS量は段々に低くなり、加炭材として使うコークスの高いS量も消えてゆく。C%の管理も改善できる。

これらの試験の結果、SiCを誘導炉熔解で灰鉄や、ダクタイル鉄を造るとき、炉の寿命を改善し、溶湯中へのSi、Cの源泉として供給するのによいことからSiCの使用について特許出願がされている。

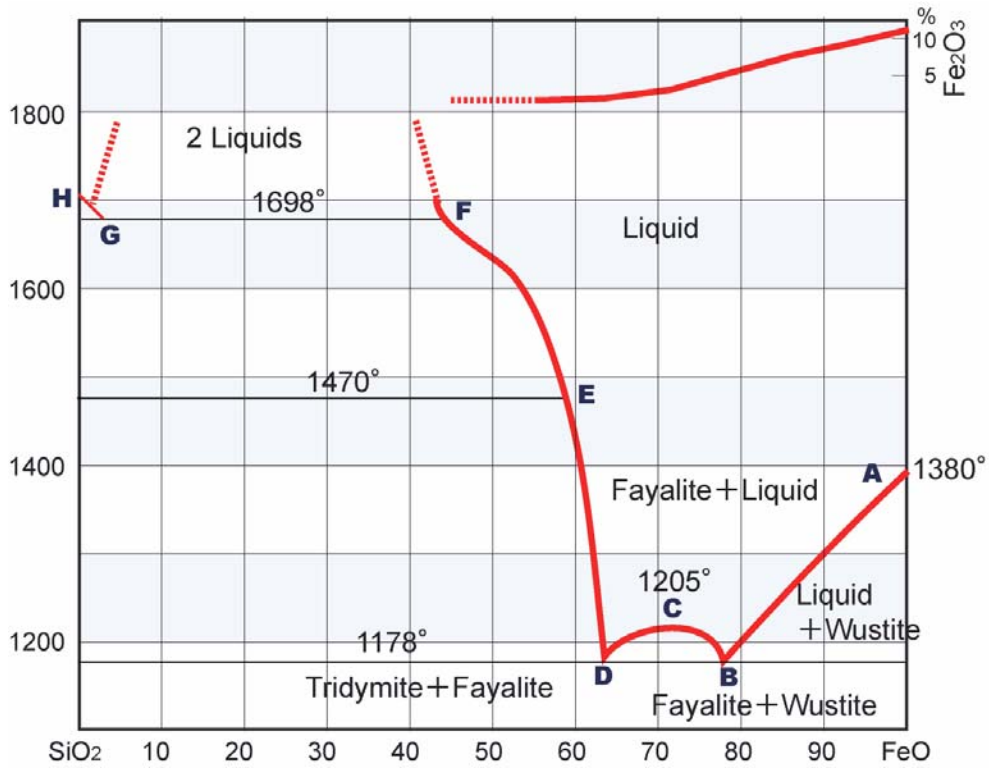


Fig.1 酸化鉄の存在で共晶Fayaliteは 1177°Cで熔解し、鑄鉄浴の温度よりも低い温度である。D点、B点がSiO<sub>2</sub>-FeOの関係を示す。

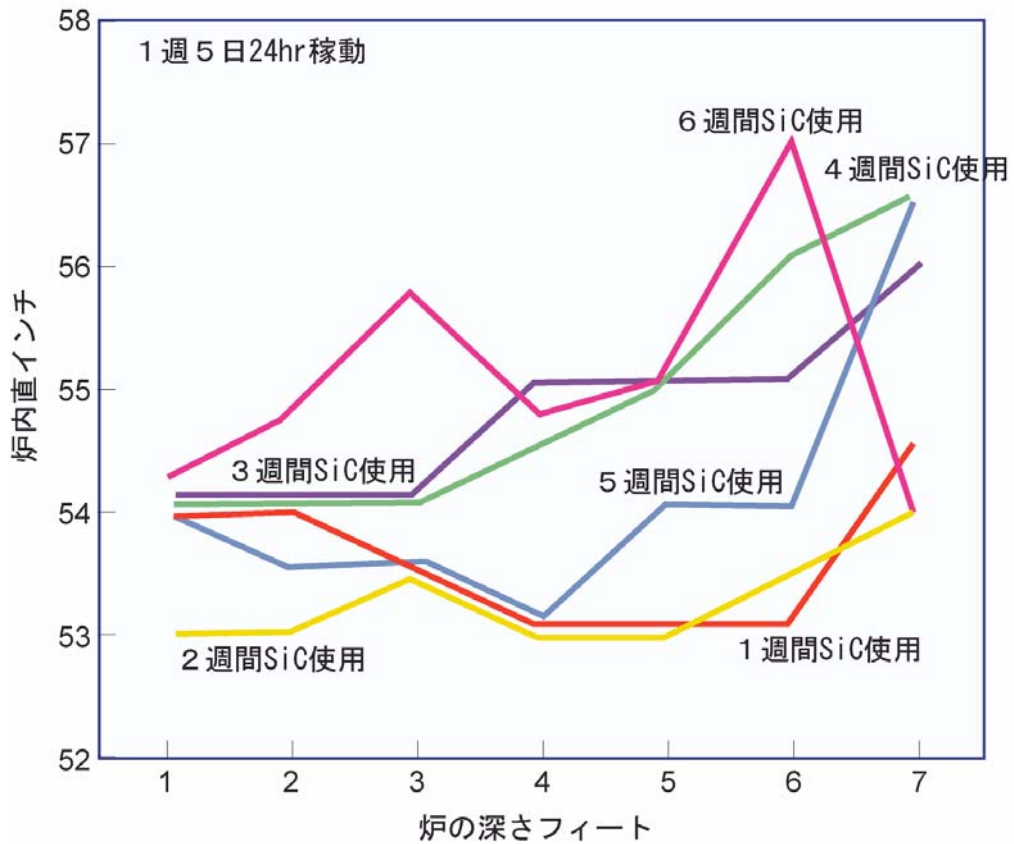


Fig2 溶湯中に SiC を添加したとき、しないときの炉壁内径変化。