

接 種

出湯後、鑄込み前に少量の合金を添加する事によって、黒鉛形状分布大きさがより好ましいものになるという接種の利点は既に 1940 年から広く一般に知られている。

接種の効果は準安定系の炭化物析出を阻止する事も伴っている。

FeSi、黒鉛、更には屋根の埃を熔湯に入れて改善する事は遠く 1900 年から行われている。

1940 年代になって SMZ とか Graphidox と呼ばれる特製接種材が非晶質の黒鉛と共に現われ、75%及至 85%の整位 Fe-Si より有効であると言われた。

又、当時他の加珪材の代りに 1%の SiC を投入地金として使用すれば鑄鉄組織が明らかに改善される事も示された。

又、接種効果の他に基地や組織をも改善するものとして、Ni、Cr、Mo、Zr、Ti 等を含んだ接種材も出現した。

だが、後期合金添加で熔湯成分を大巾に調整し客先仕様に成分を合わせるという作業は通常ではなされない。

接種の概念は実際の鑄物がどうなるかよりも、試験棒の成績の方に関心を持つ冶金技師、熔解技師によって乱用され無暗に接種を多くする事で鑄型壁の拡大に伴う重大な支障を起こし、接種材の大量添加の為に従来なかった共晶セルが多数になった結果、鑄物に引け巣が発生している。その為不良率が増加し、新たに押湯を付けるとか、或いは押湯を大きくする事で熔湯歩留率の低下を招いている。

又、接種材中の A1 の熔湯への混入は熔湯の水素吸収を促進し、冷却早い薄肉部にピンホールを作る原因になるからである。

冷却の早い部分では過飽和になった水素が凝固中の熔湯を拡散して逃げる時間的余裕が無いのである。

上型面近くのピンホールの大部分は接種材中の A1 によると考えて差支えない。Fe-Si をベースにした接種材の場合、Ca が低い時 Sr が強力なる接種効果を持つ事が見出された。

Ca-Si は亜共晶鑄鉄では Fe-Si ベースの接種材よりも強力な効果のある事が判明したが過共晶鑄鉄では無効であった。

接種効果に S が強く影響する事が述べられている。その点 0.09%~0.14%位の S を含むキューポラは大変都合が良い。

誘導炉熔解での熔湯に代表される 0.05%程度の低硫の溶湯では、接種に対する感応性が遥かに低く、0.025%S に下がると極めて小さな感応性しかない。Moore のデータによると低 S 熔湯をうまく接種するのに大量の Ca を必要としている。又、結晶化の非常に進んだ黒鉛を 0.1%接種材として添加する時、熔湯の S%が高いと有効であるが低いと効果が無いとされている。

低 S の場合、黒鉛の熔湯への熔解が極めて早く従って同質核心として微晶子の黒鉛が熔湯に残留しないからである。

従来よりネズミ鑄鉄でもダクタイルでも熔解時他の含 Si 投入地金の代りに SiC のブリケットを入れたキューポラ熔湯と、粒の SiC を投入した電気炉熔湯は鑄造された時、取鍋接種された熔湯といくつかの点で似た挙動をする。6.5%以上の肉厚でチル化傾向は少なく、そして A 型黒鉛が多く、且つ短かくて厚い黒鉛片となる上、被削性や機械的性質も向上する。

非常に大規模な実験の結果は、接種後直ちに鑄込む電気炉熔湯で含 Ca Fe-Si 炉に投入するより SiC を投入した方が大巾にチル深さを減少することが示されている。強さはフェライト%が増す為低くなっている。SiC を入れて熔解した場合、取鍋接種量を減らす事が非常に多い。

実験方法

熔解は鋼屑で行った。50%はきれいな低合金鋼板屑で 50%はきれいでない裁断自動車鋼屑とした。後者の鋼屑を使用したのはきれいな鋼板屑を使用する通常の作業と比較しつつ、Cr、Cu などの混入元素の量の次第に増加していく事がどんな影響を示すのかを評価する為である。熔湯の S% は低・中・高の 8 種類とし、中と高は黄鉄鉱を添加して S を目標の量に増加した。

以上の熔解は、5.5 トン公かく容量の 60 サイクル無芯誘導炉で行った。出湯温度は 1525、 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ とした。出湯は 500 ポンドづつで、市販の接種材を 0.20% 添加し試験棒は接種後 5 分・10 分・15 分に鑄造した。使用した市販接種材の成分は第 1 表の

Table 1. Analyses of Inoculants 接種材分析表

接種材 Inoculant/Sizing	粒の大きさ	Si	Al	Ca	Ba	Sr	Mn	Ti
No. 1. (3/8 × 65 m)		48.20 %	0.28 %	0.06 %	—	0.72 %	—	—
No. 2. (1/4 × 32 m)		62.98 %	1.01 %	1.59 %	5.96 %	—	9.92 %	—
No. 3. (3/8 × 12 m)		76.20 %	—	0.97 %	—	—	—	—
No. 4. (3/8 × 65 m)		52.12 %	—	5.00 %	—	—	—	9.09 %

熔け落ち時の、C、E、値、C%、Si%を、デジタル表示の分析品で分析し、最終成分調整は、第 1 回出場前に完了した。目標値は T、C、 $3.15 \pm 0.10\%$ 、 $\text{Si} 2.20 \pm 0.10\%$ とした。各試験熔湯毎に 2 本の引張り試験棒と、W-2、W-3 型のチル深さ測定試験片を鑄造した。試験棒毎に引張り強さと半径中央の硬さを測定した。チル深さの測定は完全白銑部と班／鼠域の境界における mm で測定し、それぞれ clear chill、total chill として記録した。

又、著者等のうち 2 人が以前の実験で使用した多種肉厚の試験片も同時に鑄込んだ。この試片の個々の肉厚は 3/16", 1/4", 5/16", 3/8", 7/16", 1/2", 9/16", 5/8", (4.8~15.9mm) である。それぞれの試験片を破断し炭化物の有無を調べた。

1.2" 径の引張り試験棒の半径中央部でミクロ組織を 100 倍の腐蝕無しとナイトル腐蝕 (ASTM NO.74) で調べた。又、Marble の試薬 (ASTM No.25) を使って共晶セル数を 10 倍の写真で数えた。化学成分、機械的、物理的性質は、信頼性を承認されている一般の試験方法によって測定した。

■実験結果

今回の実験で得られた、成分、機械的性質、組織についてのデータをまとめて第 2 表から第 7 表に示した。

どの試験場の場合も、元湯の化学成分は $3.15(+0.13, -0.06)\% \text{ T.C.}$ 、 $2.20(+0.09, -0.05)\% \text{ Si}$ 及び $0.05(+0.01, -0.06)\% \text{ Mn}$ と目標値内であった。3 段階にした S% は、Fe-Si 加珪熔湯で 0.023%、0.082%、0.089% であり SiC 加珪熔湯では、0.038%、0.044% 及び 0.096% であった。著者等は、中・高の S% をもう少し高い所にしたかったのであるが、黄鉄鉱からの S の歩留率が期待より小さかったので、低い S% になっていた。しかしながら、この S% で十分誘導炉熔解の通常の S% 範囲をカバーしている。

■ 鑄造時の観察

試験結果に、各種混入元素の変動が影響する事を避ける為に、溶解量を相当に大きくし、そしてそれぞれに8種のS%へと、Sを逐時投入した。Fe-Siを使った溶解、SiCを使った熔解共、仕方は同じであった。各出湯毎に接種をし時間保持をしたので、全体の実験に約5時間を要した。

著者等は、この極端に長い熔湯保持時間によって、接種に対する比較感応性が影響を受ける可能性のある事を認めた。この影響は、文献によるならば、元湯の化学成分、機械的、物理的性質及びミクロ組織の変化として捕えられる。加珪材として50%Fe-Siを使用した最初の熔解では、T、C、とSiの損失量はそれぞれ0.21%と0.06%であった。そして元湯のチル値は、事実、僅かずつ大きくなっていった。80%SiCを使った熔解でも、最初のS%水準から中間S%水準にかけて状況が見られ、T、Cの低下が0.13%であった。そこで高水準S%熔湯には、成分を回復する為、少量のSiCを添加した。あとで報告する性質の変化は、もし実験が単時間の経過であるならば、より大きくなったであろうと判断された。

鑄込み温度を一定にする事は、両熔解共、高S熔湯シリーズの最後の2出湯を除き達成された。炉のなかの熔湯量が減少し、その為温度と維持する事が難しくなったからである。

出湯を受け、接種し時間を経過させる間の熔湯温度の低下を出来る限り小とする為に、500ポンドずつ出湯させる事とした。出湯量は、クレーン秤で計重し、接種添加%を確実に一定とした。温度は出湯時と、順次試験片を鑄込む毎に測定された。

Caを含む75%のFe-Si接種材(No.3)は発熱性である。No.3接種材で6回処理した平均温度低下は98℃、保持中の低下は7℃/分であった。これとは対照的に、明らかに発熱性でないNo.1の接種材の場合の温度低下は125℃であり、No.2接種材では108℃、No.4では105℃平均となっている。この温度低下の値は(添加量はすべて同じ)明らかに接種材のSi%と関係があり、大体65%Si含有の合金が熔湯に接種時、発熱性でも吸熱性でも無いと考えられる。

この様なFe-Si合金中Si%のよって熔湯温度の低下が異なる事は、これ迄工場での生産では気のつかなかった点である。だが、その差は歴然としており、そして接種材を選ぶ時、考慮に入れる方がよい位、その差が大きくなっている。

P、Cr、Mo、Ni、Cuの量は実際の鼠鑄鉄の通常見られる含有量になっていた。接種後の成分・分析値は、接種材によりSi%が変化している外、No.4接種材では接種材に含まれるTi%も変化している。

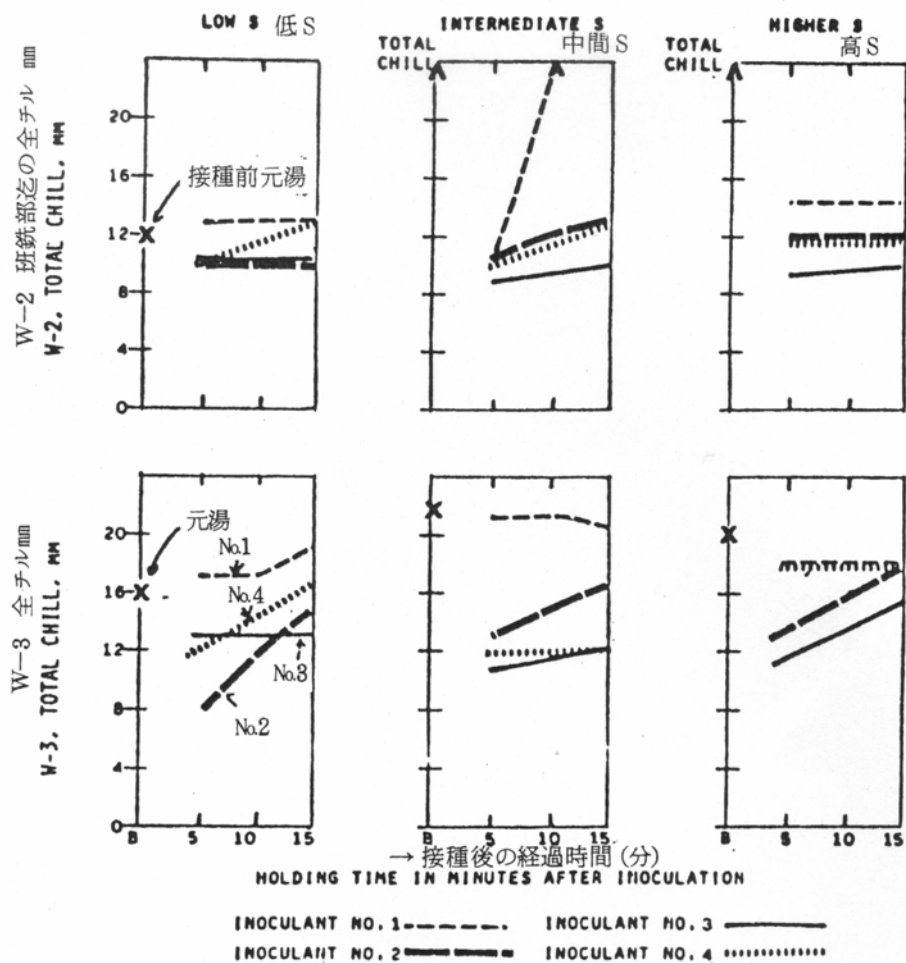
■ 熔け落ち時のCとSiの歩留り

従来の研究では、SiCを投入した時、Cの歩留率が非常に高い事が示されている。

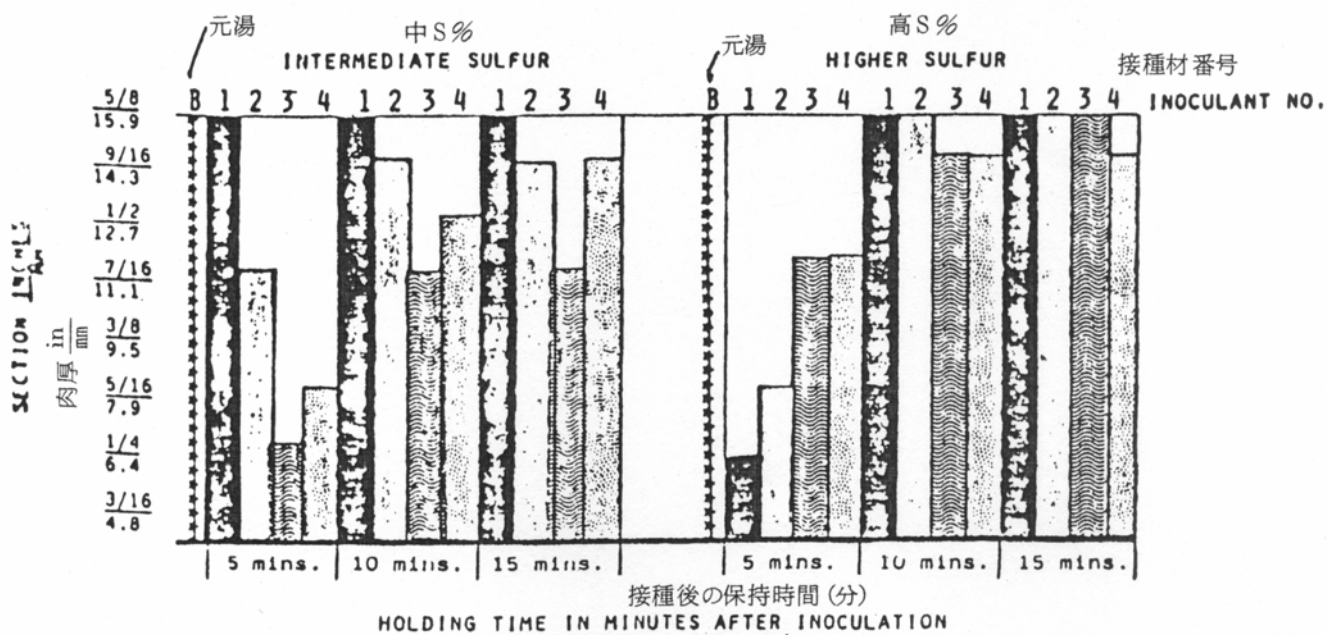
■ 50%Fe-Si 熔解時の3種S%における接種材によるチルの抑制

4種の市販接種材と0.02%添加した時、熔湯中のS%が0.023%の低い値であるとW-2、W-3試片におけるチルの大きさは殆ど低下していない。表のデータを図にプロットしたのが第1図である。0.032%にSが上昇すると、No.2とNo.4接種材で接種した時、多少の接種効果が顕れ、Caを少量含むNo.3段階では更に明瞭に効果が示されている。

種々の肉厚の試験片破断面の白銹化傾向を見ると、No.2接種材の方がNo.3より幾分チル抑制に効果があるが3/8"試片で効果の減衰が早く、S%が低くなる程減衰が激しくなる。No.1、No.4接種材は接種効果が無い。これ等の結果はグラフ第2図にまとめた。



50% Fe-Si 加珪熔湯と接種した時のW-2、W-3チル測定値
 Fig. 1. W-2, W-3 chill measurements for inoculated irons made with 50% ferrosilicon heat.



50% Fe-Si 加珪熔湯接種時の多重肉厚試片に於ける白鉄化の程度
 Fig. 2. Extent of chill occurring in the multisection test pieces of inoculated irons for the heat made with 50% ferrosilicon.

S%が0.032%の時、No.1 接種材は無効である。No.2 接種材は5分保持で接種効果があるが、10分すると甚だしく効果が減っている。No.3 接種材は5分で、5/16”肉厚迄チルでないが、やはりその後効果減衰としている。No.4 最初効果的であるが、10分・15分保持で甚しく効果減衰している。

高S系(Fe-Si 溶解)溶湯では、W-2 チル試験片のチル抑制試験で、No.1・No.2・No.4 接種材が効果を示しているが、W-3 チル試験片では、効果が減っている。そしてNo.3 が最強のチル抑制力と示している。各種肉厚試片での試験を見ると、5分保持でNo.1 接種材が強力な接種効果を発揮していて5/16”肉厚でチルが無い。だがこのNo.1 接種材(Sr 入り)のチル防止の効果は長続きせず、極めて短い時間で減衰し、10分経つと5/8”肉厚での全試片が白銹化している。

■SiC と加珪材とした溶湯における接種のチル抑制効果

この溶湯系でもSが低い時(0.038%)、4種の接種材がすべてW-8 チル試片による実験で、効果的でなかった。W-2 試験片では、元湯のチル値に対して接種した溶湯は多少低いチル値を示した。これ等のデータは、Fe-Si を加珪材とした中間S%(0.023%)の溶湯のデータと比較するとよくその差が明瞭となる。No.2・No.3・No.4 接種材では、どちらも似ているが、No.1 のチル抑制力に甚しい違いが現れている。SiC 溶湯では、No.1 が効果的であるのに、Fe-Si 溶湯では前述の如くNo.1 は効果が無い。

溶湯中のSが若干上昇しただけで、Srの入ったNo.1 接種材は、チル抑制材として強力な効果を発揮し、W-2 試験片で見ると4種の接種材中最も低いチル深さであり、効果減衰も少なくなる。W-8 試片の全チル試験では、No.3・No.4 の接種材は大きな効果減衰を示している。これ等のデータと高Sの時のデータは、第3図にまとめてプロットされた。

多種肉試験は、チル試験よりも一層意味のあるデータと提供する。第4図に示される如く（訳者注、前注の如く、第2図を見ること）No.2 接種材（Ba、Mn 入り）で接種された溶湯は5分保持で5/16”肉厚にチルが無く、効果減衰も少なく10分・15分後でも3/8”肉厚迄チルしない。No.1 接種材の場合は5分保持で7/16”肉厚試片でチルが無く、10分・15分保持しても減衰せず、同じ結果となっている。

No.3 接種材は、この試験の場合効果が少ない。No.4 接種材もNo.1 とNo.2 に比べ著しく無効で且つ減衰も早くなっている。

SiC を加珪材とした溶湯でSを0.096%に増加した時、全接種材共その接種効果が非常に上昇している。No.1 接種材の如きは5分保持でW-3 チル試験片のチル値を元湯の14mmから0mmに減少させている。W-2 チル試験片でも効果減衰が殆どなく、又、1/4”肉厚試片にも5分保持でチルが見られない。No.2 接種材も強いチル抑制力を示しているが15分経過しての効果減衰がやや大きい。Ca 入り No.3 接種材も最初は強いチル防止力となっているが減衰が大きい。

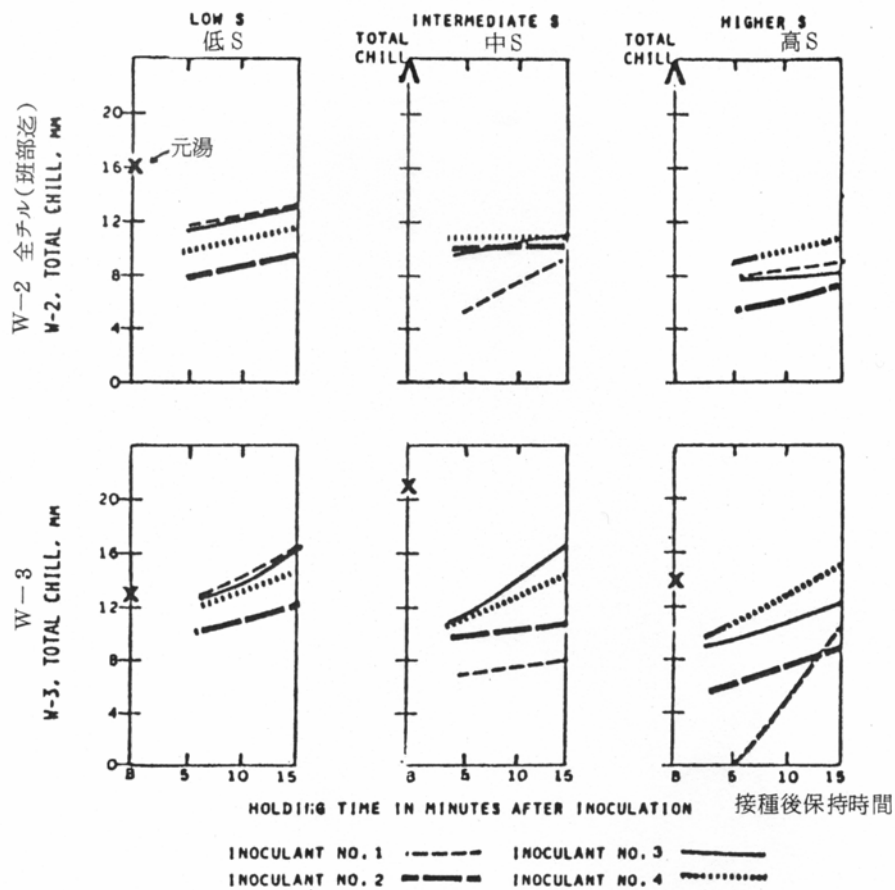
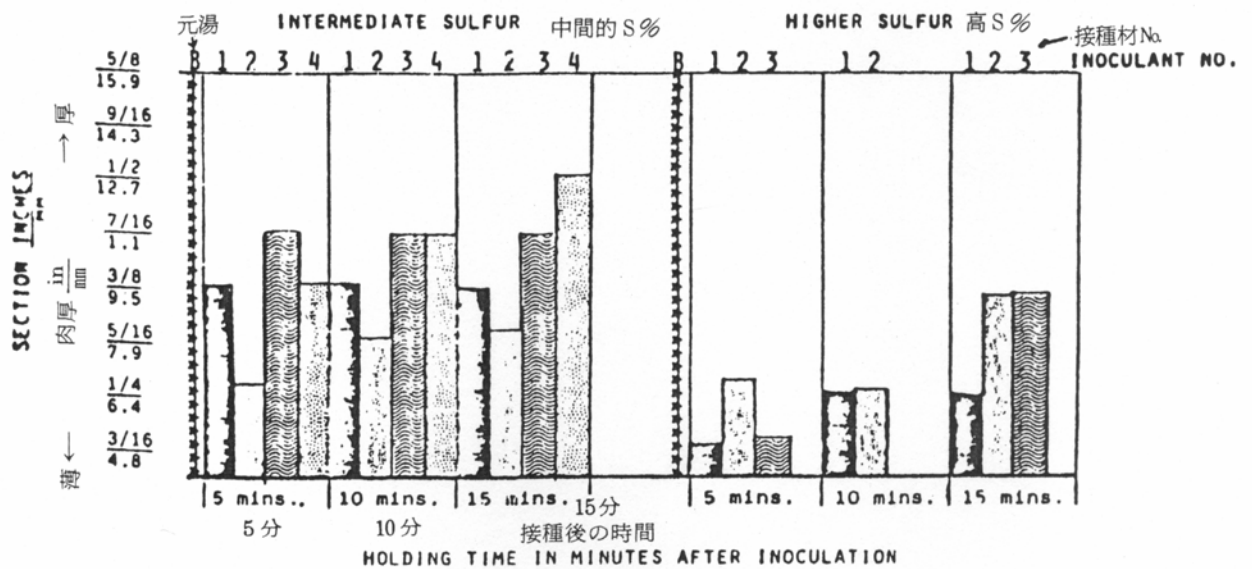


Fig. 3. W-2, W-3 chill measurements for inoculated irons made with 80% grade silicon carbide.
80% SiC 熔解の接種熔湯のW-2、W-3チル試験値



80% SiC 熔解の接種熔湯に於ける各種肉厚試験片の白銹化程度
Fig. 4 Extent of chill occurring in the multisection test pieces of inoculated irons for the heat made with 80% grade silicon carbide.

■接種—チル抑制力とその減衰

この実験で使用している4種の接種材はいずれも著者等の Murray, Machinery Inc. 鋳物部でキューポラ用に使用し良い成績を収めて来たものである。今回の実験を基にし、電気炉熔湯の接種材として、最適である選択の基準を作る必要がある。

今回の実験で、Boyles, Moore, Muzumdar と Wallace が既に明らかにした如く、接種材の効果の発揮に熔湯中の S% が極めて大きな影響を及ぼす事が確認出来た。接種材の 100% 有効活用には、0.09% の S が必要であると考えられる。

Sr 入りの No.1 接種材は、ある条件の下で最強のチル抑制力を示すが、他の条件の場合は殆ど無効になっている。その条件とは、熔湯中の S が高く、そして地金配合の加珪材として、Fe-Si でなく SiC を使用した場合である。しかしながら Fe-Si を加珪材にした熔解では、元湯の S% の如何に拘らず、No.1 は貧弱な効力しか有しない。その理由は、かつて Dawson が仮定した如く、Sr の効果を打消してしまう Ca の存在にあると著者は考えている。50%Si の現状 Fe-Si には 0.06% の Ca があり、これを加珪材として溶かした熔湯中には、接種材として添加される Sr とほぼ同量の Ca が含まれている事になる。SiC プリケットには Ca が痕跡しないから、Sr を含む接種材を使う場合には、SiC を加珪材に使う方が有利である。Sr 入り接種材は高 Si のものにした方が鋳込み終わる迄の温度低下を少なく出来る。(実験したものは 48.2%Si のもの) Ba, Mn 入りの No.2 接種材も 50%Fe-Si 熔湯より 80%SiC 熔湯の場合により強いチル抑速力を有する。そして、その差は減衰がより早く進む各肉厚試験片の場合に一層大きくなる。

Ca を 0.97% 含む 75%Fe-Si の No.8 接種材は、SiC 熔湯の場合、初期は効果的であるが、Sr 入り No.1 に比し効果減衰速度が早い。

今回の実験を行うに当って、著者等は従来の工場内での経験から、熔け落ち迄に加珪する材料として SiC を使った時の方が Fe-Si を使った時よりも、接種材の効果が大きく、減衰も少ないと予想していたが、実験の結果は、その差が予想よりもかなり大きい事が見出された。この点を更に確かめるべく、次の実験を計画中である。

■引張り強さに及ぼす接種の効果

Fe-Si を加珪材とした電気炉熔湯の引張り強さは、S% を増すにつれて、次第に減少する。(以下のデータは2本の試験棒の平均値) その減少率は 0.01% S 増毎に約 725psi(5.0Mpa) の引張り強さ減となっている。Fe-Si 熔湯、SiC 熔湯の各 S% の引張り強さのデータを第5図にまとめて図示した。

Fe-Si 熔湯で No.1 接種材を添加した場合 10 分経過した時の引張り強さは、低 S、中 S の時に元湯の引張り強さより低く、高 S では 15 分後に元湯より低くなっている。引張り強さに対する効果の減衰は非常に大きい。

No.4 接種材の場合も似た傾向である。そして高 S の場合、効果の減衰が大変大きくて、5 分後と 15 分後では引張り強さが 22.5% も低下し、元湯の非接種熔湯の強さより、15 分後はかなり大きく落ち込んでいる。

Ca を少量含む No.8 接種材は引張り強さを大きく向上させている。但し、S% が 0.09% になると、その効果の減衰率が大きい、これは初期の接種効果が余りにも大きかった事を反映している。

Fe-Si 熔解と同じく、SiC 熔解でも S% の低い熔解では、接種による引張り強さの向上は少なく、そして 10 分経過後は No.1 と No.4 接種で、元湯の強さ以下の引張り強さとなっている。SiC 熔解、中 S% 熔湯では時間と共に引張り強さが大きく減少している。だが、この効果減衰

は高 S%では非常に小さくなっているし、Fe-Si 熔解、高 S%熔湯の場合と比較しても非常に僅かである。Fe-Si 系の高 S 熔湯では No.1 と No.4 接種のものが非常に大きく減衰をしている。

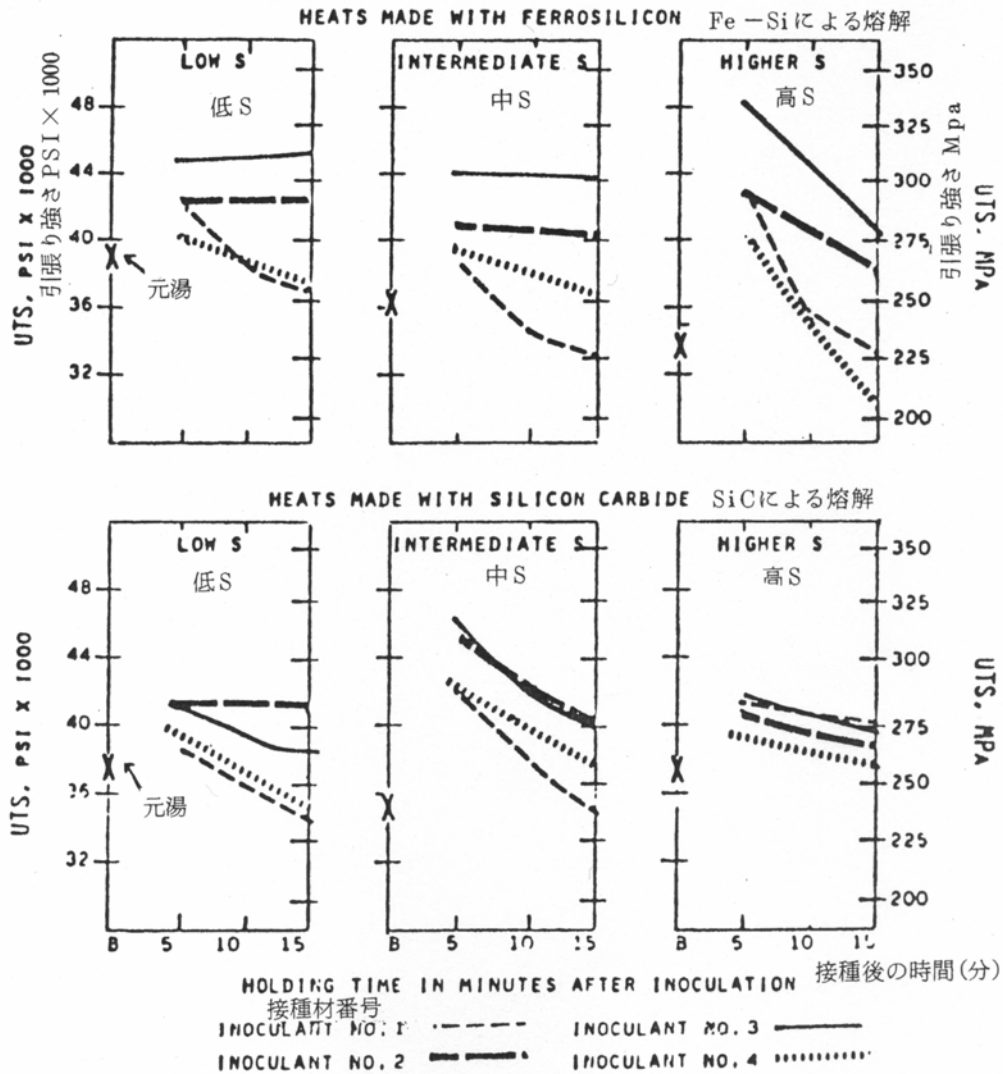


Fig. 5. Effect of inoculation and holding time on ultimate tensile strength.
引張り強さに対する接種と経過時間の影響

■ブルネル硬さ

第2表から第7表に示されたブリネル硬さは、2本引張試験棒を切断し、半径の中央部で測った値の平均値であるが、表から見る限り、接種効果を評価する物差しにブリネル硬さがならない事が明らかとなった。

接種後の経過時間と共にどの試験片も皆一様に硬さが減少していたのは著者等の驚きであった。

■ミクロ組織と共晶セル数

加珪源として 50%Fe-Si を用いた熔湯では、S%が増すにつれて、そして炉内保持時間が増すにつれて、黒鉛形が A 型主体から D 又は E 型主体へと悪化して行った。又、接種した熔湯の黒鉛の寸法も S%が高くなる程、炉中保持時間の長くなる程小さくなった。基地中のフェライト%は、No.3 接種材と No.4 接種材の場合に常に多かった。

Fe-Si を配合した最初の熔湯を Sr 入りの接種材で接種した時の黒鉛の形態は、濁得のものがあつた。第 6 図に元湯のそれと併示した。

共晶セル数は、接種効果の大きい時程増加した。Ca が存在すると効果を失う Sr 入りの接種材 No.1 では逆にセル数の減少も見られた。S% が少ない時、No.3 接種材 (Ca の微量を含む 75% の高 Si、Fe-Si) の接種で共晶セル数が最大となった。だが、その効果も S% が増し、炉中保持時間が増すにつれて減少していった。

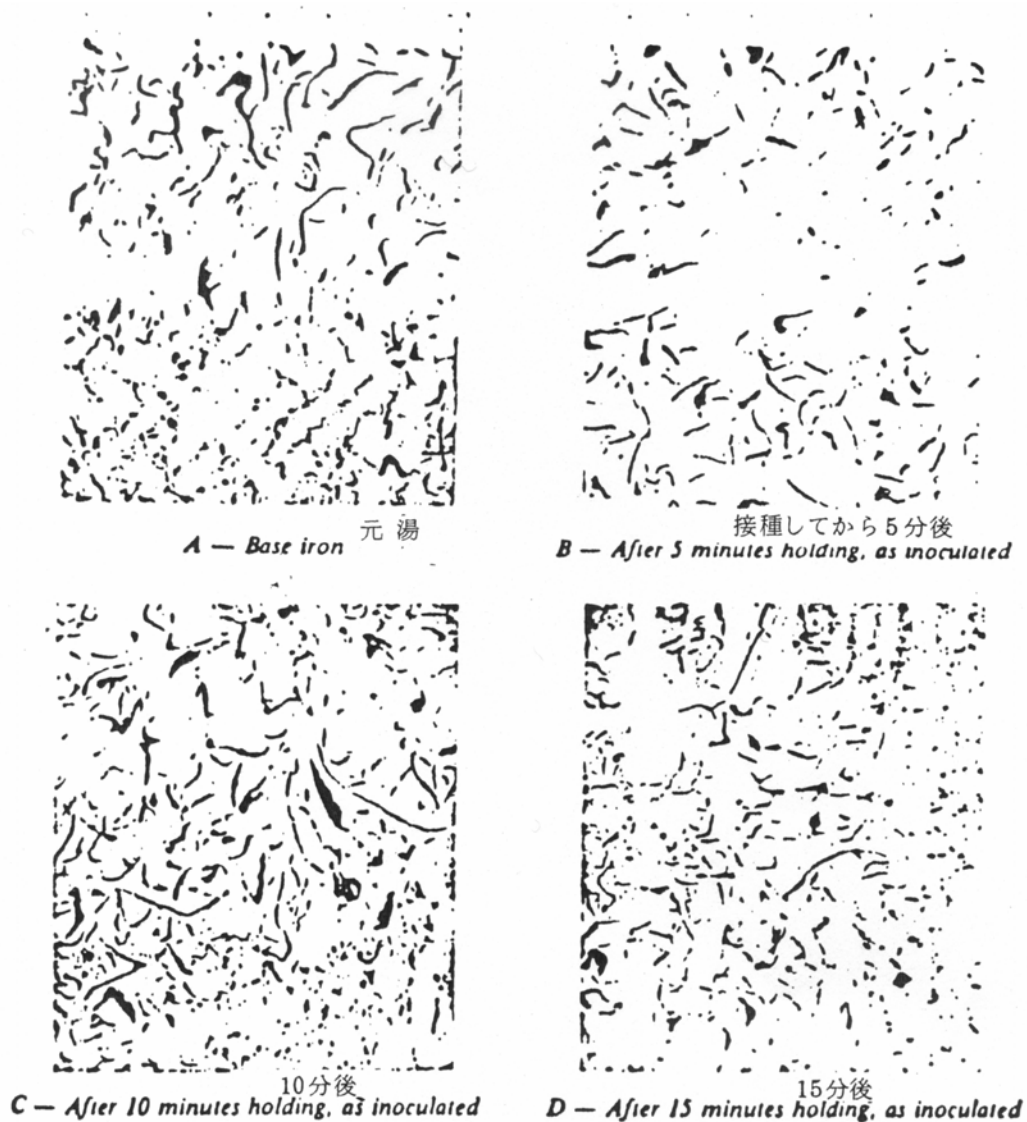


Fig. 6. Graphite types seen in a low sulfur heat made with 50% ferrosilicon containing some calcium and a strontium-bearing inoculant.

Ca が少しある 50% Fe-Si 加珪の低 S 熔湯を Sr 入り接種材で接種した時の黒鉛形状

一般的に見て、Si 源を SiC とした熔湯でも似た傾向が見られた。元湯での基地中の炭化物は、S が 0.095% に上昇するにしたがって減少した。それぞれの接種材で処理した熔湯の共晶セル数は S% が増すに伴って減少した。

9% の Ti と 5% の Ca を含む No.4 接種材は、低 S 熔湯でフェライト化効果が非常に大きかったが、高 S 熔湯では、微量の Ca を含む 75% Fe-Si の No.3 接種材の方がもっと強力なフェライト化効果を示した。

今回の研究では、黒鉛形態が望ましい A 型から C、D、E の種々の型迄現われていた。炉内保持時間が長くなった場合、元湯がそうであるように黒鉛形が A 型から D 型、E 型に劣化して行くのがたびたび見られた。SiC 配合高 S% の熔湯と Sr 入り No.1 で接種した時、C 型黒鉛（中央 D 型周辺の A 型の重なった型）が顕著であった。

■全体的な観察と考察

接種後 15 分して鑄込む時の熔湯温度に発熱性と吸熱性の接種材の使用による差が約 27℃あった。この差は工場では気が付かなかった事であるが、場合によっては重大な問題になり得る程の大きな差である。

W-3 チル試験片の測定値の方が W-2 試験片での値よりも、接種材の効力やその減衰に対し敏感に反応していた。生産鑄造品の主要な肉厚でのチル化傾向と評価する場合、多種肉厚試片の方がチル試験片よりも遥かに意味のある測定値を与えてくれる。

ブリネル硬さは一定して、接種して増加し、その後保持と共に減少した。保持と共にチル化傾向が増し、引張り強さが減少するのに拘らず、この硬さの低下が起っていた。

■結 論

チル発生の抑制と言う点から見た接種材の効果が発揮されるかどうか、に、熔湯の S% が重大な関連性を有している。0.08% 程度の低 S では接種材の効果が僅かしか現われない。SiC を Si 源として熔湯で、S が 0.096% の時に接種で著しくチル化傾向が抑制される。

S% を上昇すると接種前の元湯の引張り強さは減少して行く。接種後の効果減衰による引張り強さの減少は 50%Fe-Si で加珪した熔湯で大きく、そして SiC を Si 源とし 0.096% S の高硫熔湯で最も少ない。

熔湯中の Ca% が極微の量である時、初期のチル化防止用として、Sr 入り接種材が最も重要な接種材である。だが、その極力なチル防止力の減衰は非常に早い。Sr の添加量に見合った Ca が熔湯に含まれる時は、Sr 入り接種材の効力は僅少か又は零である。接種後のマイクロ組織は、経過時間と共に黒鉛形が変化する。以上のデータから見て Sr 入り接種材を使用した熔湯は迅速に鑄込む事が絶対に必要である。

微量の Ca を含む 75%Fe-Si 接種材は、どの場合でもよい性能を発揮し、特に中高 S% 熔湯でよい成績となっている。

9%Ti、5%Ca を含む Fe-Si は、高 S% 域では大したことないが、低 S% の熔湯の場合、最も強いチル防止力を有している。

5%Ba 10%Mn を含む Fe-Si 接種材は、バランスのとれた接合材であって、50%Fe-Si 熔湯でも 80%SiC 熔湯でも、低 S 域で最強のチル抑圧力を持っているし、接種後の時間経過による引張り強さの減少も少ない。この接種材は中 S、高 S% 域で、効力が特に大きい。

普通の接種をし、接種後かなりの時間がたって鑄込み終る工場の場合、推奨される接種材は、効果の減衰が中庸以下で且つ一定の減衰をし、そして発熱性を有する接種材である。熔解の配合として、SiC を使用した熔湯の方が Fe-Si を加えている熔湯よりも遥かに接種後の時間が長くなっても引張り強さの減少が小さい。

以 上

【参 考 文 献】

1. J. A. Boyer, "Silicon Carbide Additions to Cast Iron," *Metal and Alloys*, vol 10 (Jan.-Feb. 1939).
2. J. T. Eash, "Effect of Ladle Inoculation on the Solidification of Gray Cast Iron," *AFS Transactions*, vol 49 (1941).
3. C. O. Burgess and R. W. Bishop, "Alterations in Cast Iron Properties Accompanying Use of a Strong Inoculant of the Silicon-Manganese-Zirconium Type," *AFS Transactions*, vol 52 (1944).
4. V. Paschkis, "Studies on Solidification of Castings," *AFS Transactions*, vol 53 (1945).
5. W. E. Mahin and H. W. Lownie, Jr., "Microstructure Related to Properties of Cast Iron," *AFS Transactions*, vol 54 (1946).
6. H. W. Lownie, Jr., "Theories of Gray Cast Iron Inoculation," *AFS Transactions*, vol 54 (1946).
7. A. Boyles, "The Structure of Cast Iron," American Society for Metals (1947).
8. E. A. Loria, H. D. Shephard, and A. P. Thompson, "Reduction in Chilling Tendency Through Silicon Carbide Inoculation of Gray Cast Iron," *AFS Transactions*, vol 55 (1947).
9. A. P. Thompson, E. A. Loria, and F. S. Kleeman, "The Silicon Carbide Addition in Gray Iron Automotive Castings," *Metal Progress*, vol 51 (Apr 1947).
10. W. W. Austin, Jr., "Improvement of Machinability in High Phosphorus Gray Cast Iron," *AFS Transactions*, vol 56 (1948).
11. J. E. Fifield and J. H. Schaum, "Solidification Characteristics of Gray Cast Iron," *AFS Transactions*, vol 56 (1948).
12. R. W. Ruddle, "The Solidification of Castings," The Institute of Metals, Publication No. 7 (1950).
13. J. C. Hamaker, Jr., W. Wood, and F. B. Rote, "Internal Porosity in Gray Iron Castings," *AFS Transactions*, vol 60 (1952).
14. R. P. Dunphy and W. S. Pellini, "A Solidification Dilatometer and its Application to Gray Iron," *AFS Transactions*, vol 60 (1952).
15. E. J. Sullivan, Jr., C. M. Adams, and H. F. Taylor, "Rising of Gray Iron Castings — Progress Report No. 6," *AFS Transactions*, vol 63 (1955).
16. I. C. H. Hughes, K. E. L. Nicholas, A. G. Fuller, and T. J. Szajda, "Factors Influencing Soundness of Gray Iron Castings," *AFS Transactions*, vol 67 (1959).
17. A. de Sy, "Solidification Mechanisms of Eutectic and Gray Iron," *AFS Transactions*, vol 67 (1959).
18. H. D. Marchant and J. F. Wallace, "Inoculation Effect on Rising of Gray Iron," *AFS Transactions*, vol 68 (1960).
19. H. D. Marchant, L. I. Toriello, and J. F. Wallace, "Inoculation Influence on Gray Iron Structure at Various Carbon Equivalences," *AFS Transactions*, vol 69 (1961).
20. H. D. Marchant and J. F. Wallace, "Solidification of Gray Iron," *AFS Transactions*, vol 69 (1961).
21. A. B. Everest, "International Proposals for Cast Iron Graphite Classification," *AFS Transactions*, vol 70 (1962).
22. H. Morrogh, "Progress and Problems in the Understanding of Cast Irons," *AFS Transactions*, vol 70 (1962).
23. W. C. Filkins, W. F. Stuhke, D. Matter, and J. F. Wallace, "Gray Iron Inoculation and Inoculants Evaluation," *AFS Transactions*, vol 70 (1962).
24. H. D. Marchant, "Eutectic Cells in Cast Iron Structure and Delineation," *AFS Transactions*, vol 70 (1962).
25. R. L. Doelman, "The Ductile Iron Process — Compendium III," April 1963.
26. B. Lux, "Nucleation of Eutectic Graphite in Inoculated Gray Iron by Saltlike Carbides," *AFS Transactions*, vol 72 (1964).
27. W. J. Dell and R. J. Christ, "Chill Elimination in Ductile Iron by Mold Inoculation," *AFS Transactions*, vol 72 (1964).
28. L. I. Toriello and J. F. Wallace, "Green Sand Additives Effect on Mold Cavity Enlargement in Gray Iron Castings," *AFS Transactions*, vol 72 (1964).
29. J. V. Dawson, J. A. Kilshaw, and A. D. Morgan (BCIRA), "The Nature and Origin of Gas Holes in Iron Castings," *AFS Transactions*, vol 73 (1965).
30. J. V. Dawson (BCIRA), "The Stimulating Effect of Strontium on Ferrosilicon and Other Silicon-Containing Inoculants," *AFS Transactions*, vol 74 (1966).
31. A. de Sy, "Oxygen Oxides, Superheating and Graphite Nucleation in Cast Iron," *AFS Transactions*, vol 75 (1967).
32. K. R. Olen and R. W. Heine, "A Revision of the Fe-C-Si System," *AFS Transactions*, vol 76 (1968).
33. C. C. Sigerfoos and H. L. Womochel, "Influence of the Mold on Shrinkage in Ferrous Castings," *AFS Transactions*, vol 76 (1968).
34. I. C. H. Hughes (BCIRA), "The Role of Gases in the Structure of Cast Iron," *AFS Transactions*, vol 77 (1969).
35. S. I. Karsay and A. J. Ridley, "Instantaneous Ladle Inoculation of Gray and Ductile Irons," *AFS Transactions*, vol 77 (1969).
36. N. L. Church and R. D. Schelleng, "Detrimental Effect of Calcium on Graphite Structure in Heavy Section Ductile Iron," *AFS Transactions*, vol 78 (1970).
37. J. C. Margerie (Centre Technique des Industries de la Fonderie), "Some Advances in the Science of Cast Iron Solidification," *AFS Transactions*, vol 78 (1970).
38. L. E. Menawati, R. W. Heine, and C. R. Loper, "Relationship of Gray Iron Macro and Microstructure to Cooling Curves," *AFS Transactions*, vol 78 (1970).
39. R. L. Doelman and C. A. Sanders, "Heat Abstraction From Metal Castings into Molding Media and its Influence on Bond and Binder Thermal Alteration in Recycled System Molding Sands," *AFS Transactions*, vol 79 (1971).
40. E. F. Ryntz, J. F. Janowak, A. W. Hochstein, and C. A. Wargel, "Prediction of Nodular Iron Microstructure Using Thermal Analysis," *AFS Transactions*, vol 79 (1971).
41. P. K. Basutkar and C. R. Loper, "Part I — Correlation of Microstructures with Thermal Analysis in Heavy Section Ductile Iron Castings," *AFS Transactions*, vol 79 (1971).
42. R. L. Doelman, C. A. Sanders and A. C. DenBreejen, "Influence of Shape and Molding Media on Heat Abstraction from Metal Castings," *AFS Transactions*, vol 80 (1972).
43. P. J. Bilek, J. M. Dong and T. K. McCluhn, "The Roles of Ca and Al in Inoculation of Gray Iron," *AFS Transactions*, vol 80 (1972).
44. K. M. Muzumdar and J. F. Wallace, "Inoculation Sulfur Relationship in Cast Iron," *AFS Transactions*, vol 80 (1972).