技術論文

塗型剤の基礎と応用

岡崎鑛産物株式会社
須田英夫 九里隆司 石崎省吾

1　はじめに

当社は1953年に鋳鋼用塗型剤「オカモールド」の販売以来、鋳鉄・鋳鋼および非鉄合金向けに、オカスーパー・オカファースト・オカペイント等各種塗型剤の開発を進め、欧州最大の鋳造副資材メーカHüttenes-Albertus 社との技術提携によるアルコパルも含めて、各種造型法に適した200種類以上の塗型剤を供給している。

ここでは、塗型剤の基礎的な事項から適用方法まで、その概要について述べる。

2　塗型剤の目的

塗型剤の基本的な目的は、溶湯と鋳型表面との直接接触をさけ、その間に障壁を設けることにより、「焼着」を防止して鋳造品の後処理を軽減し、鋳肌を平滑にすることにある。

ただ、鋳型表面の安定性向上、型崩れ防止、鋳型からの熱分解生成物の遮蔽等、付随的な作用が求められる場合も多い。

塗型剤の必要性について、その概要を表1に示す。

表1．塗型剤の必要性

低↑ 溶湯圧力 ↓高	少↑ 溶湯通過 ↓多	薄↑ 鋳物肉厚 ↓厚	低↑ 鋳込温度 ↓高	低↑ 塗型必要性 ↓高	生型の高圧造型法で、比較的小さい鋳物の場合や、シェル中子等で、溶湯圧が低く・高温に晒される時間の短い場合等は、焼着が発生し難く、塗型なしでも充分な鋳肌を得られる場合が多い。
					中物(50～1000kg)には、種々の塗型が適用されている。安定系のものから、溶湯の熱で軟化・部分溶融し、ガス遮蔽や鋳型割れ(ﾍﾞｰﾆﾝｸﾞ)を緩和したり、更に反応性物質を添加して、球状化不良を防止するタイプもある。
					溶湯圧の高い大物や、鋳型が高温で長時間さらされる肉厚部や堰前は、熱的にも化学的にも安定な塗型を厚く(二度塗り等)設ける必要がある。

3　塗型剤の特徴

塗型剤は、溶湯の材質や鋳物の大きさ、適用する鋳型や塗布方法によって、求められる性質が異なってくる。造型法によって異なる塗型剤の主な特徴を図1に示す。

4　塗型剤の希釈

塗型剤の多くは、ペースト状(練り状)であり、製造後の保管・輸送等により、容器内で基材、粘結剤、溶剤等が不均一になっている。

使用前には充分撹拌を行い、均一な状態で取り出し、溶剤で稀釈し塗布濃度に調整する必要がある(図2)。

当社では、ドラム缶内部に邪魔板を設置した、特殊ドラム缶で納入し、専用ドラム攪拌機(タイマー設定：20

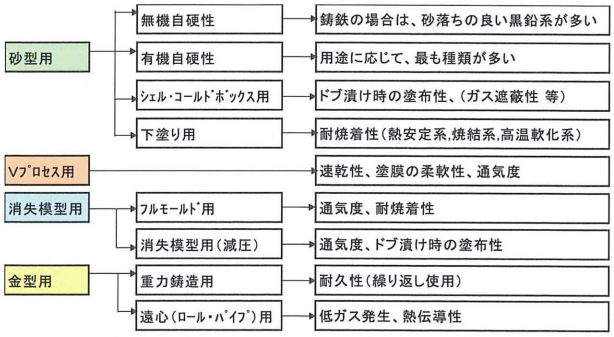


図1　造型法に対する塗型剤の特徴

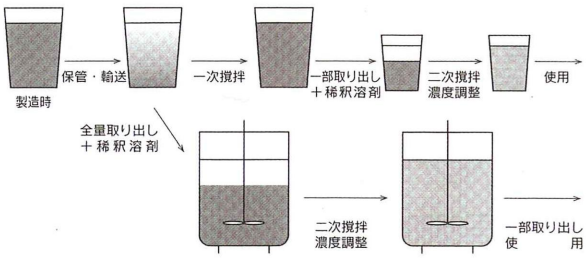


図2　塗型剤の希釈方法

～30分)による混合・希釈を推奨してきた。

ただ、近年では、コンテナ納入により更なる作業時間短縮や、固練りタイプ納入による輸送コスト低減を推奨する場合もある(写真1)。

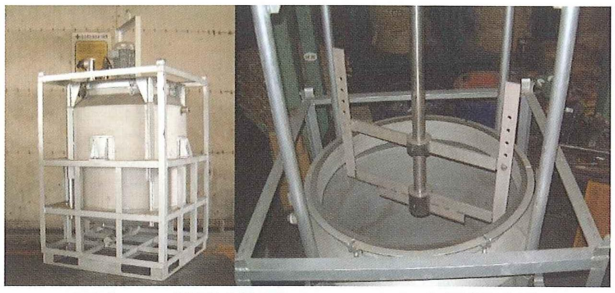


写真1　塗型剤納入コンテナと専用攪拌機

小物量産物には主に水性塗型剤が使用されているが、他品種少量の大物鋳物では、アルコール性塗型剤の使用事例が多い。

アルコール性塗型剤の希釈溶剤としては、比較的安価なメタノールの使用事例が多いが、作業環境上の配慮でエタノール希釈の適用事業所もある。

なお、イソプロピルアルコール(I.P.A.)はメタノールやエタノールと比較して粘度が高く、鋳型への溶剤浸透が低減する傾向にあるが、一般的にブッカケ用塗型剤は、

表２　塗型剤の希釈溶剤

項　目	メタノール	エタノール	I.P.A.	水
化学式	CH_3OH	C_2H_5OH	$(CH_3)_2CHOH$	H_2O
比重	0.79	0.79	0.79	1
沸点（℃）	64.6	78.3	82.3	100
引火点（℃）密閉	12.2	11.7	12.2	―
開放	15.6	15.8	21.1	―
発火点（℃）	470	518	460	―
燃焼熱（kcal／cc）	4.27	5.63	6.31	―
蒸発速度				
蒸気圧　10℃	54	24	17	9
（mmHg）　20℃	96	44	32	18
粘度（cps、20℃）	0.59	1.22	2.41	1
許容濃度（ppm）	200	1000	400	―
労働安全衛生法	第２種有機溶剤	―	第２種有機溶剤	―
消防法	第４類アルコール類	第４類アルコール類	第４類アルコール類	―

増粘剤等の添加により同様の効果が期待できる。一方、IPA添加により着火乾燥時の燃焼性が高くなり、特に冬期における燃え残り対策等に効果がある（表2）。

５　塗型剤の濃度管理

(1) ボーメ度

塗型剤の濃度管理は、通常「ボーメ計」と呼ばれる浮き秤が用いられる。

ボーメ度とは、浮き秤に等間隔の目盛りをつけるために設けられた比重の単位である。

重い液体用を重ボーメ度と呼び、純水での値を0°Bé、15%食塩水での値を15°Béとして、この間を15等分し、これを100°Bé等に外挿している。

測定は、充分に塗型液を攪拌して、均一状態にした後、ボーメ計を塗型液面に対して垂直に立てた状態で、緩やかに沈み込むよう手を放し、沈み込みが止まった時点（約1分後）での目盛りを読みとる（写真2）。

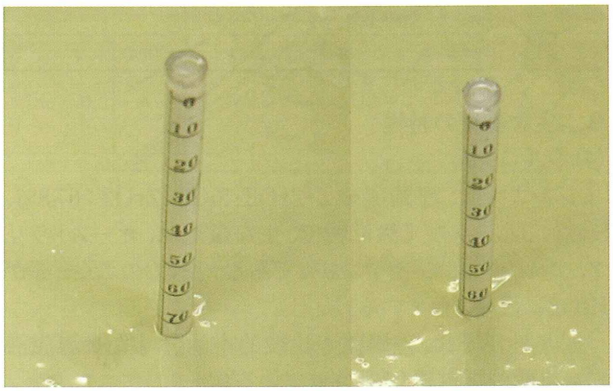


写真２　ボーメ計を挿入直後　と　約１分経過後

ボーメ度は単なる比重値ではなく、塗型剤の粘性により影響を受けた指標で、鋳造現場での塗型濃度管理に用いられる。

ボーメ度は使用するボーメ計の種類によって、異なる数値になるため、ボーメ度による塗型管理は1種類のボーメ計で行う必要がある。

(2) 他の管理方法

ボーメ計は便利な方法であるが、塗型液に泡が多く混入した場合、充分な泡抜きをしないと比重の影響で低目の値になるため、注意が必要である。

このような場合も含め、粘度カップでの管理を併用するよう推奨する場合がある。

粘度カップは、DIN、ISOおよびASTM規格に準拠したフォードカップや、日本製の比較的安価な物まで各種あるが、基本的にカップへすくい取った塗型剤が流れ落ちるまでの時間をストップウオッチで計測する。概ね10秒程度で管理する場合が多い。粘度カップの外観例を写真3に示す。

なお、塗型剤の品質管理ではボーメ計と共に、B型粘度計でも計測して、管理を行っている。

写真３　COTEC 社製 DIN カップの外観 [1)]

６　塗布方法

一般的に大きな主型は刷毛塗りやスプレーで、小さな中子はドブ漬け（ディッピング）、その間の大きさで比較的複雑な鋳型にブッカケ塗布（フローコーティング）が主に用いられている。塗布方法の特徴を表3に示す。

表３．塗布方法の比較

塗布方法	特　徴	塗型装置
ハケ塗り	ｵｰｿﾄﾞｯｸｽで確実な塗布方法 作業効率が低く熟練が必要 塗型使用量が比較的少ない 鋳型形状を選ばない（主型・中子）	ハケ
ブッカケ	作業効率が高くハケ跡も少ない ハケ塗りに比べ塗型使用量が多い（浸透が多い） 適用できる鋳型がある程度限定される	ブッカケ機
ディッピング	作業効率が非常に高く自動化が可能 導入初期の段階で塗型剤が多量に必要 ハケ塗りに比べ塗型使用量が多い（浸透が多い） 適用が中子に限定される	ディッピング槽
スプレー	大きな鋳型等に対して作業効率が比較的高い ｽﾌﾟﾚｰのﾒﾝﾃﾅﾝｽが必要 塗型の飛散が多い（特にｴｱｰｽﾌﾟﾚｰ）。	エアースプレー エアレススプレー

またブッカケ塗布状況を写真4に、塗布方法による塗膜への影響を表4に示す。

塗布時の流動性を確保するため、ドブ漬け・ブッカケ塗布の際は、刷毛塗りより10 ～ 20°Bé程度希釈して適用する必要がある。また、塗型膜厚は同じでも、浸透深さ

表４　塗布方法による塗膜への影響

塗型剤	塗布方法	濃度［Be］	膜厚［mm］	浸透深さ［mm］	塗布量［g／㎡］	塗型乾燥後［g／㎡］	溶剤量［g／㎡］
アルコール性オカスーパー408	ハケ塗り	35	0.2	1.0	672	324	348
	ドブ漬け	18	0.2	3.0	1156	452	704
	ブッカケ	18	0.2	2.5	1268	480	788
水性オカスーパー785	ハケ塗り	60	0.2	0.6	498	198	300
	ドブ漬け	45	0.2	1.4	994	380	614
	ブッカケ	45	0.2	1.0	860	320	540

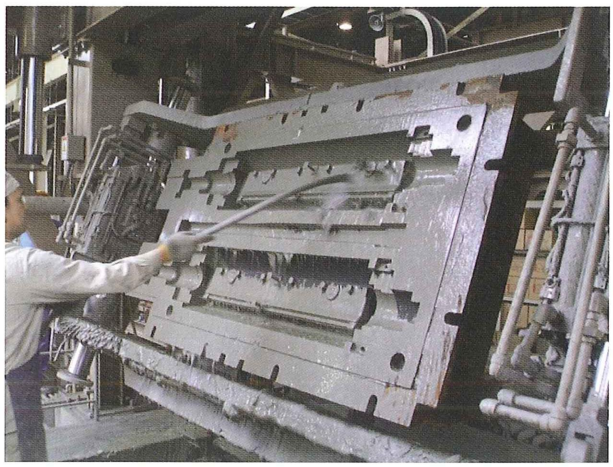


写真４　ブッカケ塗布状況

は深くなり、塗布量・使用溶剤量が多くなる。必要以上に薄め過ぎないように、ボーメ管理が重要である。

７　乾燥方法について

塗型の乾燥不良は、ガス欠陥・焼着等の鋳造欠陥につながるため、充分に考慮する必要がある。

アルコール性塗型剤は、塗布直後に着火乾燥するのが一般的であるが、着火消炎直後は鋳型強度が低下し、鋳型内に残留溶剤がある。

着火乾燥時における、残留溶剤と鋳型強度の関係を図３に示す。

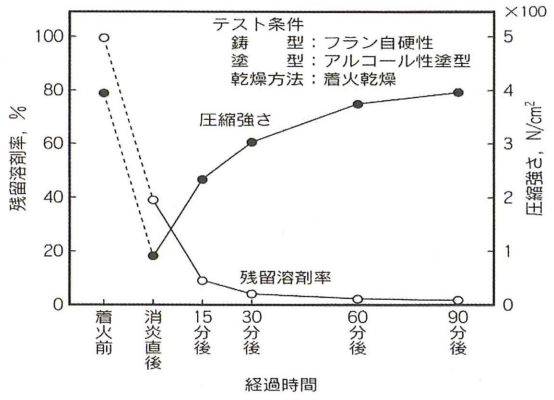


図３　着火乾燥時の残留溶剤と鋳型強度

型合わせ・注湯までに、適当な時間放置する等の配慮が必要である。充分な時間が取れない時は、バーナーによる補助乾燥等も併用した方が良い。

また、アルコール性塗型剤の２層塗りを行う場合は、下塗りを着火乾燥後、常温まで冷めてから上塗りする方が望ましい。熱い時点で塗布すると塗型にクラックが発生しやすい（表5）。

水性塗型剤は、基本的には加熱方式による強制乾燥を推奨している。

乾燥器を使用する場合、150 ～ 200℃で30分～1時間程度が一般的である。

バーナー乾燥の場合、鋳型や塗型の劣化を避けるため、1ヶ所を急熱せず平均的に熱が加わるようにする。

自然乾燥の場合、長時間放置しても残留溶剤が残りやすいため（特に梅雨時や冬期）、注湯前にバーナー等による補助乾燥が必要である。

表５　２度塗り方法による塗膜への影響

上塗り塗型	Be	上塗り時期	上塗り乾燥方法	塗膜状態
黒鉛系水性塗型剤 オカスーパー ６３０	５０	下塗り乾燥直後	塗布直後，ﾊﾞｰﾅｰ	火ブクレ，クラック
			５分後，〃	クラック
			15分後，〃	良好
		下塗り乾燥後 30分放置	塗布直後，ﾊﾞｰﾅｰ	クラック
			５分後，〃	良好
			15分後，〃	良好
白色系水性塗型剤 オカスーパー ７８５	５８	下塗り乾燥直後	塗布直後，ﾊﾞｰﾅｰ	火ブクレ，クラック
			５分後，〃	クラック（少）
			15分後，〃	良好
		下塗り乾燥後 30分放置	塗布直後，ﾊﾞｰﾅｰ	火ブクレ，クラック
			５分後，〃	良好
			15分後，〃	良好
黒鉛系 ｱﾙｺｰﾙ性塗型剤 オカスーパー ５６１	２４	下塗り乾燥直後	塗布直後，着火乾燥	クラック
		３０分放置		クラック（少）
	１８	下塗り乾燥直後		良好
		３０分放置		良好

※ 下塗り塗型条件：オカスーパー820（45Be）ハケ塗り，着火乾燥

８　塗型剤の構成

塗型剤は溶湯材質やその他の目的に応じた基材を選択した後、適用する鋳型や砂に適した粒度に調整する。

粘結剤は熱間・常温強度の確保だけでなく、基材の沈降防止や塗布時の作業性等も考慮して適用される。構成材料の概要を表６に示す。

表６　塗型剤の材料構成

基材	主成分の耐火粉末 ジルコン、マグネシア、アルミナ、シリカ、黒鉛、クロマイト、他
無機粘結剤	粘土類、珪酸塩、リン酸塩、シリカゾル 等 多いと高温強度を増すが、酸化した溶湯と反応し易くなる
有機粘結剤	天然・合成樹脂（可溶、エマルジョン）、糖類 等 多いと常温強度を増すが、ガス欠陥等の原因にもなる
添加剤	分散・懸濁・増粘・湿潤・浸透・消泡・防腐・着色剤 酸化鉄、各種金属粉 等
溶剤	メタノール、エタノール、イソプロピルアルコール（IPA）、水 等

９　主な基材の特性

(1) ジルコン系

ジルコンは、理論組成がZrO2・SiO2（ZrO2：67.8%、SiO2：32.2%）の天然鉱物で、主な産地は、オーストラリア、アメリカおよび南アフリカである。ZrO2のごく一部がHfO2に置換されている。

耐熱性に優れ、熱膨張が比較的小さく、また金属融液にも比較的濡れにくいとされている。

化学分析で不純物が多くなければ、安定した性能を示し、ステンレス鋼、普通鋳鋼および低合金鋼のほとんどに、安心して適用できる。

また、鋳鉄の焼着対策用に、下塗り塗型剤等へ多用されている。

図４にZrO2-SiO2系平衡状態図を示す。純度が高ければ、約1,680℃までは安定と考えられる。

ジルコニア（ZrO2）は、融点が約2,700℃と高いが、約1,000℃付近で単斜晶から正方晶へ相転移し、約4%の体積収縮が見られる。そこで、CaOやMgOあるいはY2O3を固溶させて、相転移しない安定化ジルコニアが耐火物に使用されている。ただ、完全安定化させると熱膨張係数が大きくなり熱衝撃抵抗が悪くなるため、部分

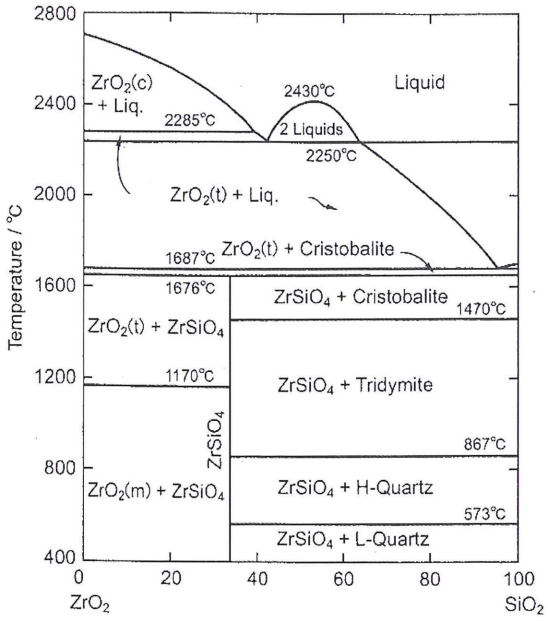


図４　ZrO2-SiO2 系平衡状態図 [2)]

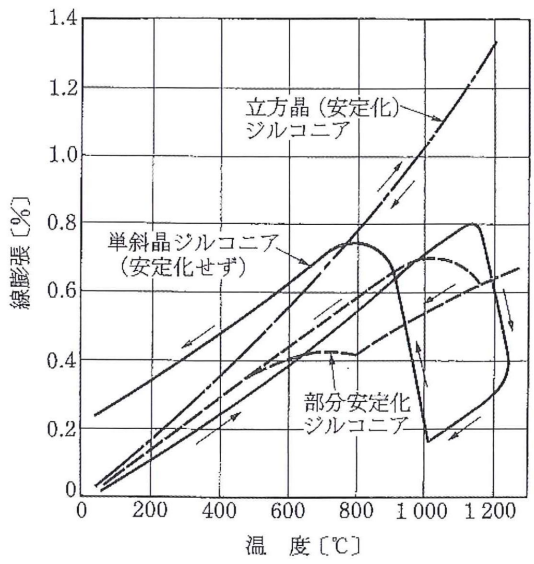


図５　ジルコニアセラミックの熱膨張曲線 [3)]

安定化ジルコニアも用いられる（図5）。

ジルコニアは2,400℃まで空気中で使用できるが、塩基性鉱滓とは反応する。

ジルコン系塗型剤の耐熱性向上のため、安定化ジルコニア系塗型剤を適用したところ、若干の焼着低減が認められたが、価格が数倍のため、ごく一部の特殊鋼中子にのみ適用している事例がある。

また、セラミック屑からの回収ジルコニアを塗型剤として適用した事例では、概ねジルコンと同程度の性能が認められたが、入手先によって安定化剤等の化学組成が異なること、安定供給に疑問があることから、客先への積極的な推奨は行っていない。

(2) マグネシア系

海水から得られた水酸化マグネシウムMg（OH）2あるいは天然鉱物のマグネサイト（MgCO3）を1,550～1,800℃で焼成したマグネシア・クリンカーが、主に用いられている。融点は2,800℃、焼成温度が高いほど化学的安定性が高い。

塩基性耐火物のため、MnO等の塩基性スラグと反応しにくく、主に高マンガン鋼等に適している。

ジルコン塗型剤とマグネシア塗型剤の表面に酸化マンガン（MnO）を塗布し、爆熱試験（1,420℃，2分）を行った結果を写真５・６に示す。

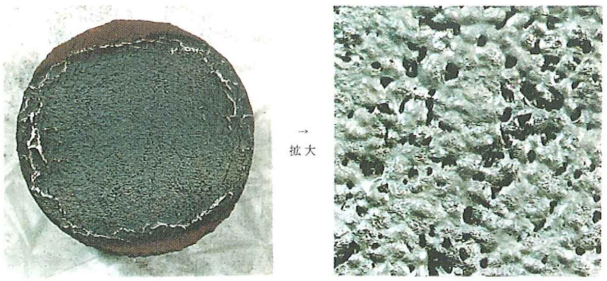


写真５　爆熱試験後の表面（ジルコン塗型剤＋ MnO）

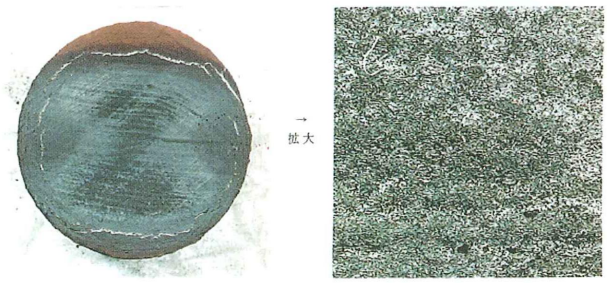


写真６　爆熱試験後の表面（MgO 塗型剤＋ MnO）

ジルコン塗型剤はMnOと反応して一部が鋳型内に吸い込まれ、消失している部分が認められるが、マグネシア塗型剤では、この様な現象は認められなかった。

水溶液ではH+を出す物が酸性とされているが、溶融塩中ではO2-を出しやすい物が、塩基性が強いとされている。柳沢らが、酸化物の解離熱より求めた相対的な強さを表7に示す。

表７　酸化物の酸・塩基性の相対強さ [4)]

酸化物	U／m	P	U／mP	
K2O	277	9	31	
Na2O	307	6	51	↑
CaO	833	6	139	塩基性大
MnO	924	6	154	
MgO	928	6	155	
FeO	940	6	157	
H2O	511	2	256	
Fe2O3	1824	4	456	
Al2O3	1824	4	456	
Cr2O3	1825	4	456	
B2O3	2261	3	754	酸性大
SiO2	3107	4	777	↓
P2O5	4855	4	1214	

U：解離エネルギー（kcal）、m：陽イオンの数、P：Oに対する配位数

フラン鋳型における熱間亀裂低減のためにリン酸系硬化剤が使用される場合があるが、再生砂中にリンが蓄積されると、リンの気化によるガス欠陥が多発する。したがって、再生砂の管理が重要であるが、マグネシア系塗型剤は高温でリンを補足するため、これらのガス欠陥の低減が、ある程度期待できる。

オリビン（橄欖石：カンランセキ）はMg2SiO4の一部がFeに置換された、(Mg,Fe)2 SiO4なる化学式で表され、MgOを45～50%、Fe2O3を5～10%程度含有する、比較的安価な塩基性基材である。

マグネシアが単独で高マンガン鋼用塗型剤に用いられているが、鋳鉄用塗型剤にもマグネシアやオリビンが塩基性基材として部分配合されている。

なお、マグネシアは水と共存させると、徐々に表面から反応して水酸化マグネシウムを生成するため、水性塗型剤の基材として用いるには問題がある。

(3) アルミナ系

高純度アルミナ（Al2O3：99%以上）は主にボーキサイト（アルミナ水和物）を化成処理して不純物を除き、1850～2000℃焼成又は電融して得られる。充分に焼成するとα-Al2O3（コランダム）となり、融点2,050℃、化学的にも安定な耐火物となる。図6にAl2O3-SiO2系平衡状態図を示す。

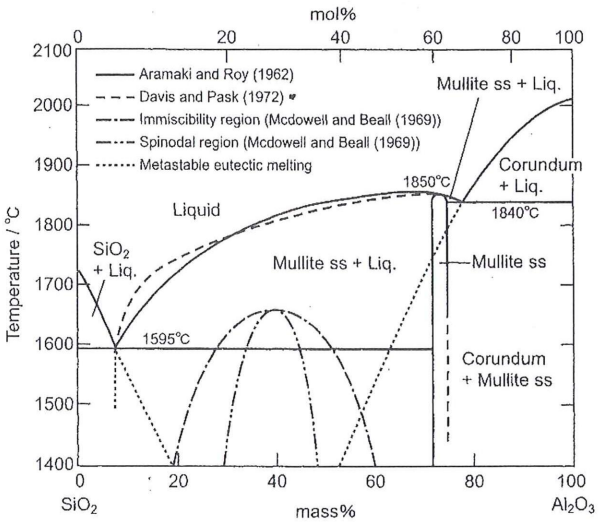


図6　Al2O3-SiO2 系平衡状態図 [5]

また、ムライトは理論組成が、3Al2O3・2SiO2（Al2O3：71.8%、SiO2：28.2%）で、融点1850℃の安定な耐火物である。

一方、アンダルサイト、シリマナイト、カイヤナイトは理論組成が、Al2O3・SiO2（Al2O3：72.9 %、SiO2：37.1%）で、加熱によりムライトとSiO2（クリストバライト又はガラス）となる。

3（Al2O3・SiO2）→3Al2O3・2SiO2（Mulite）+SiO2

分解・転移温度は範囲が広く、アンダルサイトは1,350～1500℃、シリマナイトは1,530～1,625℃、カイヤナイトは1,325～1,500℃程度とされている。

Al2O3-SiO2系平衡状態図から、ムライト組成よりAl2O3が多い場合は、焼成するとムライト+α-Al2O3になると考えられるが、SiO2が過剰の場合は1,595℃以上で少量の液相を生じる可能性が高い。また、Na2OやK2O等のアルカリ成分が多いと、更に液相の生じる温度は低下する。

したがって、鋳鋼用塗型剤の基材としては、ムライト組成以上のAl2O3を含有し、アルカリ成分の少ない物を選定する必要があるが、実際に入手する耐火材は、焼成温度・時間共に不充分な場合が多い。結晶化が進んでいないと性能のバラツキが大きいため、注意を要する。

当社では、高純度アルミナ（Al2O3：99%以上）を使用した塗型剤を鋳鋼用に、85%アルミナを使用した塗型剤を主に鋳鉄の下塗り用に推奨している。

なお、ムライトやアンダルサイト等が高耐火性基材として鋳鉄用塗型剤に部分配合されている場合がある。

(4) シリカ

珪砂・珪石は主にα-石英を主成分とし、573℃でβ-石英になる際、急激な変態膨張を生じる。

なお、1,100℃までは可逆的であるが、1,200℃以上に加熱されると高温型に移行し、永久膨張を示すとされている[6]。

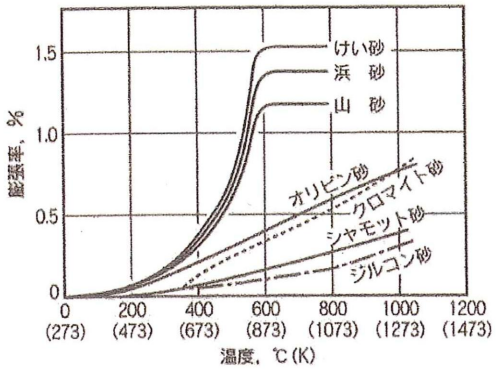


図7　各種砂の熱膨張曲線 [7]

珪砂・珪石粉は、主に鋳鉄の消失模型用塗型剤に多用されている。

加熱膨張により熱間通気度が増加する塗型剤もあるが、塗型飛ばされも生じやすくなるため、当社では他の基材を併用して飛ばされを防止している。

(5) 黒鉛

黒鉛（graphite）は、炭素からなり、外観は石炭のように黒く、特有の金属光沢と潤滑性に富み、若干の不純物（揮発分、灰分）を含む天然鉱物である（写真7）。

溶湯と濡れにくい性質があり、鋳物の砂落ち・砂離れを改善する効果がある。また、注湯時に還元性雰囲気を作るため、化学的焼着の防止が期待できる。

鋳鋼では浸炭するため、主に鋳鉄用塗型剤に部分配合されている。ただ、近年は鋳造工場の作業環境改善のため、黒鉛含有量を少なくした「色彩良好」な塗型剤の使用事例が増えてきた。

写真７　スリランカ産鱗状黒鉛

概ね、黒鉛５～20%程度配合の鋳鉄用塗型剤が多いが、希に0%配合の塗型剤もある。主にショットブラストの当たりやすい鋳物に適用されている。

また、水ガラス系鋳型で、有機系鋳型の場合より型内に炭素の少ない場合は、黒鉛量の多い塗型剤を推奨している。

(6) クロマイト系

クロマイトはスピネル族に属し、理論組成はFeO・Cr2O3（FeO：32.1%、Cr2O3：67.9%）であるが、天然物は一部が置換されており、(Fe,Mg) O・(Cr,Al,Fe) 2O3で表される。

焼結性に優れ、焼着防止効果が高いが、クロマイト単独の塗型剤では鋳肌荒れを起こす場合が多い。

クロマイト-アルミナ系等、他の基材と併用した塗型剤が、高マンガン鋼や特殊鋼に使用されている。また、高い焼結性を期待した耐焼着性塗型剤として、部分下塗り用としても使用されている。

(7) 酸化鉄

鋳鉄用塗型剤には、赤色の酸化第二鉄（Fe2O3）や黄色酸化鉄（FeOOH、Fe2O3·H2O）が、顔料またはガス欠陥対策用の添加剤として使用されている。酸化鉄は、高温で酸素と着脱する触媒作用があるとされており、実際に一部のガス欠陥には効果のある場合がある。

ただ、鋳鋼では、そのような適用は少なく、黒色酸化鉄（マグネタイト：FeO·Fe2O3）が浸硫浸炭防止用下塗り塗型剤等に使用されてきた[8]。

また近年では、比較的安価な球状酸化鉄（マグネタイト：FeO·Fe2O3 が主成分）を鋳型等に添加して、焼着等の低減が可能との報告がされている[9]。

弊社のユーザーでも確認したところ、下塗り用塗型剤への添加で、焼着や熱間亀裂の低減が認められた事例があるが、まだ本格採用には至っていない。

(8) その他

珪酸アルミニウム（アルミナシリケート：SiO2-Al2O3系）や、珪酸マグネシウム（SiO2-MgO 系）、雲母等の白色系基材は、単純に作業環境改善（鋳鉄用塗型剤の白色化）を目的に用いられたりもするが、溶湯熱により焼結層を形成し、物理的な溶湯－鋳型間の遮蔽能を期待して配合される場合もある。

また、特殊な効果を期待して、ウォラストナイト（Wollastonite：CaSiO3）等の繊維状物質を塗型剤に配合する場合もある[10]。

10　焼着防止について

浸透型焼着（metal penetration）において、溶湯の浸透経路は、主に塗型層に生じた微細孔または亀裂である。

(1) 塗型層の微細孔

微細孔は1～多数。塗型がほぼ健全に塗布されていても、鋳型砂間隙の大きな場所で、塗型の被覆が比較的薄い場所を突き破って侵入すると考えられる。

写真８　焼着部で観察された多数の微細孔[11]

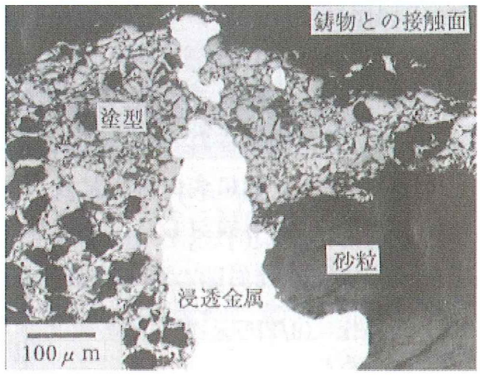


写真９　溶湯金属の浸透経路[12]

物理的要因「高い溶湯圧、高温・長時間」が主体と思われるが、化学的要因「酸化した溶湯FeOやスラグと、塗型剤成分との反応」により浸透が促進される場合も考えられる

鋳物が小さく塗型剤が一度塗りの場合は、まず塗型濃度および鋳型表面および塗型後の被覆状態を確認する。

Be'が低いと、塗膜は薄くなり又鋳型の被覆性も低下するため、微細孔が生じやすい。また、鋳型表面が粗いと被覆が不充分になるため、これも微細孔が生じやすい。

造型上の対策が困難な場合は、塗型濃度を上げるか、より被覆性の高い（粗い基材等）塗型剤への変更、部分的な2度塗り等が推奨される。

一般的には耐熱性に優れ、緻密な塗型槽を形成するジルコン系塗型剤の下塗りが行われる（表8）。

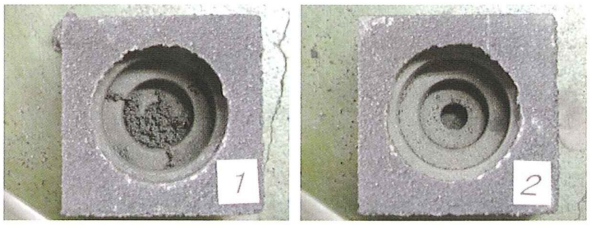
表８　下塗り塗型剤の特徴

塗型剤	オカスーパー820	オカスーパー825	オカスーパー133	オカスーパー140、F140
主成分	ジルコン	ジルコン	クロマイト ジルコン	SiO2−Al2O3系
特　徴	熱安定系 焼着対策の下塗り用として、最も実績があり、安心して使用できる。	熱安定系 高濃度でも鋳型へ浸透する為、より緻密な塗型層を形成する。 （但し、塗りすぎると上塗りが塗型飛ばされし易くなる為、適度に塗布する必要がある）	焼結系 ジルコン系で焼着が止まらない場合 焼結層を形成することにより、焼着を防止できる場合がある。	高温軟化系 鋳型の新砂が多い場合や、SiO2純度が高い場合、 α−β変態による膨張（573℃）で鋳型割れが発生 これが原因のﾍﾞｰﾆﾝｸﾞを防止・低減する
色　彩	黄緑色	黄色	こげ茶色	黄色、褐色
塗布濃度	50〜60Be	70〜80Be	45〜55Be	20〜30Be

(2) 塗型層の亀裂

実績のある塗型剤の塗型層に亀裂が生じるのは、基本的に鋳型壁の移動が原因と考えられる。

鋳型が珪砂の場合は、573 ℃付近でα石英からβ石英に転移することにより膨張し、鋳型と共に塗型層にも亀裂が生じて、いわゆるベーニングから浸透型焼着になることが知られている。



下塗り：無し　　下塗り：オカスーパーF140
上塗り：オカスーパー7000　　上塗り：オカスーパー7000
中子：弊社ミニスティップコーン中子（珪砂・新砂－フラン型）

写真 10　塗型によるベーニング防止効果

珪砂の新砂を100％使用したフラン鋳型で行った、鋳鉄の鋳込試験結果を写真10に示す。中子にベーニングが原因と考えられる焼着が発生したが、注湯温度で一部軟化する塗型剤の下塗りで、このベーニングを防止可能な場合も多い。

ただ、肉厚で溶湯圧も高い鋳物では、ジルコン鋳型でも塗型層に亀裂が生じるとされている。高温に長時間さらされて鋳型強度が低下し、高い溶湯圧で鋳型壁が移動して（型張り等）、塗型剤に亀裂が生じると考えられる（写真11）。

このような場合は、上記ベーニング防止用塗型剤でも、また熱安定系の塗型剤を厚塗りしても、亀裂は防止できないと考えられる。ただ、塗型を厚塗りすることにより仕上げが容易になる（塗型面で剥離しやすい）効果は期待できる。

なお、クロマイト系塗型剤を下塗りすることにより、クロマイトの焼結による鋳型補強効果により、焼着低減が、ある程度期待できる。

これらの方法でも仕上げが困難な場合は、スポット砂として、クロマイトサンドの適用を推奨している。

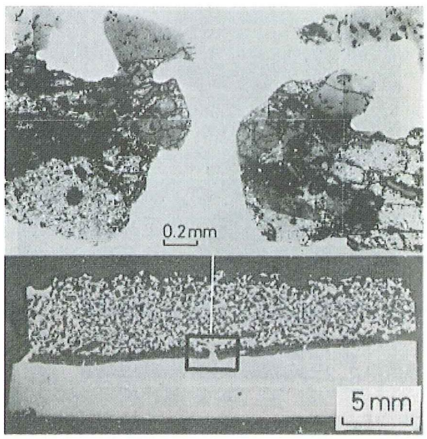


写真 11　塗型層の亀裂からの浸透 [13)]

11　ガス欠陥について

ガス欠陥の原因は多々あり、対策も原因に応じて適切に対処する必要がある。

(1) ガス遮蔽系塗型剤

鋳型内ガス圧に及ぼす塗型の影響について、所定温度の鋳鉄溶湯に鋳型試験片を浸漬した時に発生するガス圧を測定し比較を行った。

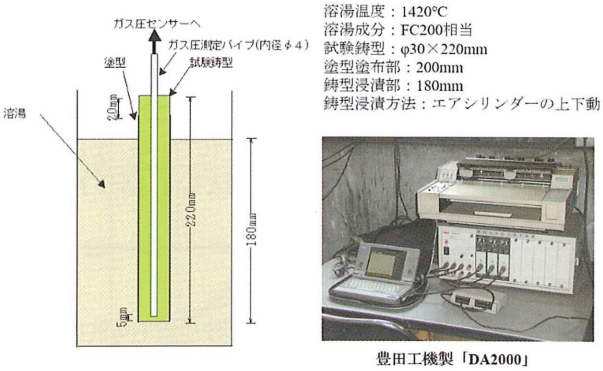


図８　塗型ガス圧試験鋳型の浸漬条件

試験に用いた浸漬条件を図８に示す。ガス圧測定装置は、豊田工機製DA2000を用いた。

シェルモールドの試験結果を、図９に示す。無塗型の場合、鋳型より溶湯中へのガス放出が起こり、いわゆるバブリング現象による激しいガス圧値の振幅が認められた。

塗型により、浸漬後しばらくの間はバブリングが抑えられる。黒鉛系で約５秒。断熱・ガス遮蔽系塗型剤の場合は約20秒、ガス圧が19cmFeまで、ガスの遮蔽効果が認められた。

浸漬後の鋳型外観を写真12に示す。断熱・ガス遮蔽系塗型剤の場合、ところどころに塗膜の隆起があり、その中心にガスが通過したと思われる塗膜の破れが認められた。

黒鉛系塗型剤の場合、塗膜は保持され、塗膜を通してガスが放出されたと思われる。

当社の代表的なシェル・コールドボックス用塗型剤を

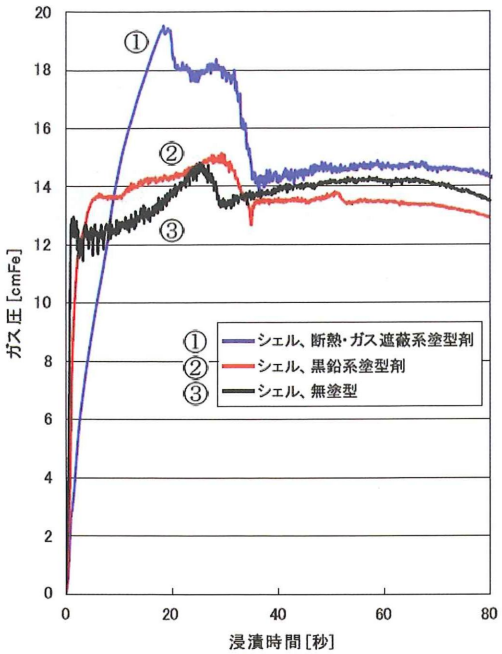


図９　鋳型ガス圧に及ぼす塗型剤の影響[14)]

写真 12　溶湯に浸漬後の塗膜状態

表９に示す。ガス遮蔽効果の異なる塗型剤で、焼着防止や砂離れ等も考慮して、中子により塗り分けている場合もある。

ディーゼルエンジンのシリンダーブロックに発生したガス欠陥対策で、コールドボックス中子に採用された事例や、シリンダーヘッドの圧漏れ欠陥対策でシェルモールドに適用され、ジャケット部からのリークがほぼ皆無になった事例がある。

なお、当社ガス遮蔽系塗型剤の塗膜は、熱によって軟化する相とフレーク状の基材により、鋳型内からのガスを遮蔽すると共に、鋳型クラックを被覆し、ベーニング発生の防止・低減効果も期待できる。

表９　シェル・ＣＢ用塗型剤の特徴

塗型剤	ガス遮蔽系			黒鉛系一般品
	ｱﾙｺﾊﾞﾙ 4966系	ｱﾙｺﾊﾞﾙ 143系	ｱﾙｺﾊﾞﾙ 5533系	ｵｶｽｰﾊﾞｰ 640系
ガス遮蔽	◎	◎～○	○	弱い
主成分	ｱﾙﾐﾅｼﾘｹｰﾄ	ｱﾙﾐﾅｼﾘｹｰﾄ 黒鉛（5～15%）	ｱﾙﾐﾅｼﾘｹｰﾄ、酸化鉄 黒鉛（15～25%）	ｼﾘｶ 黒鉛（30%）
色　彩	白色	灰緑色	赤褐色	黒色
適用中子	ｸﾗﾝｸｹｰｽ（ｺｰﾙﾄﾞ、ｼｪﾙ） ｳｫｰﾀｰｼﾞｬｹｯﾄ（ｺｰﾙﾄﾞ）	ｳｫｰﾀｰｼﾞｬｹｯﾄ各種 （ｼｪﾙ、ｺｰﾙﾄﾞ）	ｴﾝｼﾞﾝﾌﾞﾛｯｸ用各種 （ｺｰﾙﾄﾞ、ｼｪﾙ） 油圧ﾊﾞﾙﾌﾞ（ｼｪﾙ）	各種ｺｰﾙﾄﾞ、ｼｪﾙ中子
塗布濃度	３５～４０Be'	３５～４０Be'	３０～４０Be'	３０～４０Be'

(2) 溶湯からのガス

溶湯に溶け込んだガスが、鋳物の最終凝固部近傍で放出されて、ガス欠陥となる場合がある。

ガス遮蔽系塗型剤を用いると欠陥が増加するため、非遮蔽系塗型剤を適用して、放出されたガスが鋳型に抜けやすいようにする必要がある。

なお、酸化鉄（Fe2O3）を多く含む塗型剤は、Fe2O3の触媒作用（酸素の着脱）により、この様なガス欠陥の低減効果が、ある程度期待できるが、基本的には溶湯中のガス量低減が重要と言える。

(3) 塗型剤の乾燥不足

冬季になってガス欠陥が多発する場合がある。写真13は、冬季に中子周辺部のアバタ状欠陥が増加した事例である。

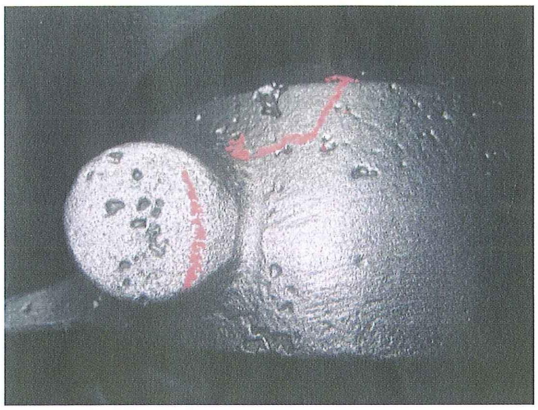


写真 13　中子周辺のアバタ状欠陥

温風乾燥時、一部の温風を外気に放出することにより、温風がスムーズに流れて、乾燥不足は解消し、ガス欠陥は低減した。

この様に、温風乾燥では、必ず空気の流れを考慮する必要がある。

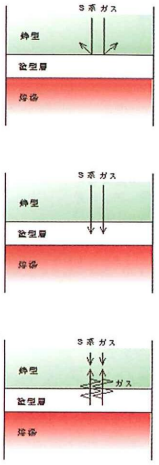
深いコップ状凹形鋳型の場合、底まで温風は届き難い。そのような場合、パイプを設置して温風を底にまで誘導するか、鋳型の底部に開口部を設けて（設計変更）、風を通り易くする等の対策が必要となる。

塗型の乾燥が不充分であれば、ガス欠陥だけでなく、塗型飛ばされ・焼着等の原因になるため、充分な配慮を要する。

12　黒鉛球状化不良対策について

フラン鋳型では、注湯時に鋳型からS系ガスが発生し、球状黒鉛鋳鉄の球状化が阻害され、表層部に異常組織が生じる場合がある。この様な場合「Mg等の球状化剤の増量や、以下のような塗型剤による対策」が津田らによって報告されている。[15)]

当社において、黒鉛球状化不良の比較を行った。鋳込



1）遮蔽効果
注湯時に塗型層及び鋳型表層において緻密な焼結層を形成し、鋳型から発生するS系ガスを遮断する。

2）吸収効果
注湯時に塗型層及び鋳型表層においてS系ガスと塗型剤の成分（S親和性の高い成分）が反応し吸収する。

3）ガスカーテン効果
塗型中の配合成分が注湯時に熱分解し、その発生ガスにより溶湯とS系ガスが接触するのを避ける。

図10　塗型剤による黒鉛球状化不良対策[15)]

試験条件を図11に、結果を図12に示す。

10cm角の鋳物中央部を切断してマクロ観察したところ、エッジ部と底部中央に黒鉛球状化阻害組織（FC層およびCV層）が認められた。

その底部中央の顕微鏡組織から判る通り、黒鉛系から白色系、そして黒鉛球状化阻害防止塗型剤を用いることにより、阻害層は低減する。

これらは、塗型焼結層による遮蔽効果や、S系ガス捕捉剤の添加、およびガスカーテン効果を組合せた対策で防止効果を確保している。

なお、フラン鋳型の場合、平面鋳物の上面に鋳型からのS系ガスによる、介在物（入りガス）欠陥を発生する場

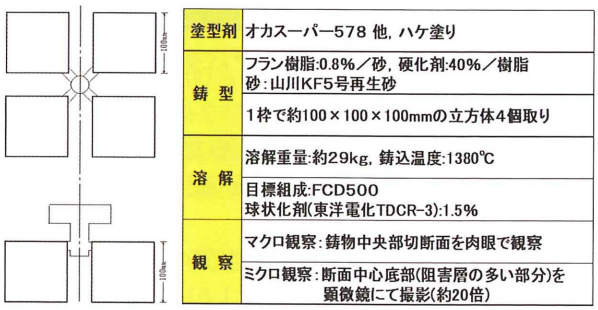


図11　当社の黒鉛球状化不良比較鋳込試験条件

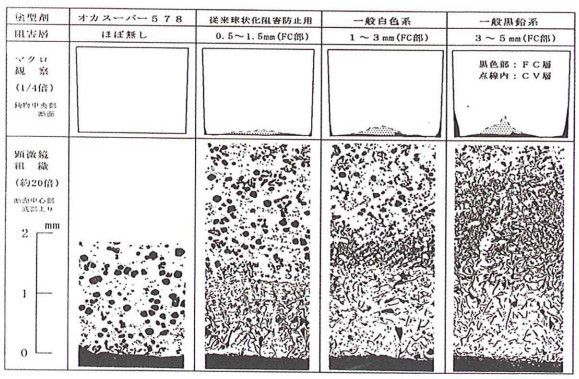


図12　塗型剤による黒鉛球状化阻害防止効果

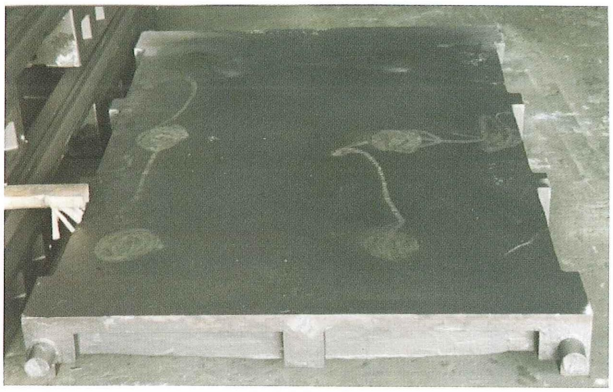


写真14　S系ガスによる上面介在物の低減

合がある。

この様な場合も、上記S系ガス遮蔽塗型剤により、欠陥の防止低減が可能である（写真14）。

13　おわりに

鋳造欠陥は、基本的には溶湯材質・方案・鋳型・砂はもちろん、接種やガス抜き等も含めて、総合的に検討する必要があるが、塗型剤が大きな影響を及ぼす場合も多い。

研究・改善テーマ等への取り組みの際には、ぜひ当社へも声を掛けて頂ければ幸いである。

JFS inc

参考文献

1) COTEC：ディップ用DINカップ カタログ
2) W.C.Butterman and W.R.Foster：Am.Mineralogist.,52 (1967) 880
3) 河嶋千尋：耐火物および特殊耐熱材料（誠文堂新光社）(1964) 304
4) 柳沢三郎,渡辺吉郎,関 道治：「鉱滓構成成分の酸・塩基の強さの尺度」,日本金属学会誌,15 (1951) 10,478
5) R.F.Davis and J.A.Pask：J.Am.Ceram.Soc.,55 (1972)， 10,525
6) 吉木文平：耐火物工学 (1962) 232
7) 素形材センター：鋳型の生産技術 (2002) 186
8) 九里,裏川,安永：JACT NEWS,(1996) ,2,18
9) 土居,井戸,牧野,村田,安川,中川：素形材,51 (2010) 12,48
10) 岡崎ヒュッテナスアルバータス化成：特許6007435号 (2016)
11) 浜田,中林,大橋,岡林：鋳物, 44 (1972) , 12, 1055
12) 市野,片岡：日本鋳物協会第117回全国講演大会講演概要集 (1990) , 41
13) 鈴木,中田：鋳物, 48 (1976) , 6, 377
14) 石崎：「塗型剤によるガス欠陥対策」日本鋳造工学会東海支部・長野地区鋳物技術講演会 (2014)
15) 津田昌利,小林武,笠一也,上地豊:鋳物, 51 (1979) , 9, 520