

2. モールドフラックスの役目

2-1. モールドフラックスの役目

モールドフラックスの役目は大きく分けて4つあります。

A. 溶鋼の酸化防止と保温

鋳型内の溶鋼湯面を被覆し、大気との接触を遮断して、溶鋼の酸化を抑制するとともに、厚い断熱層の形成により、溶鋼温度の低下を防ぎます。

B. 脱酸生成物の吸収・溶解

溶鋼中より浮上してくる脱酸生成物を、フラックスの溶融スラグが吸収または溶解し、鋳片表面欠陥の発生を防ぎます。

C. 鋳型-鋳片間の潤滑

溶融スラグが連続的に鋳型-鋳片間に流入することで、鋳型と鋳片の直接接触(焼きつき)を防ぎます。

D. 鋳型-鋳片間の抜熱

スラグフィルムを通して溶鋼熱を鋳型に伝えることで、鋳片凝固シェルを適切に発達させて、鋳片表面ワレ欠陥の発生を防ぎます。

上記の他、モールドフラックスが関係する現象としてはFig.9が挙げられます。

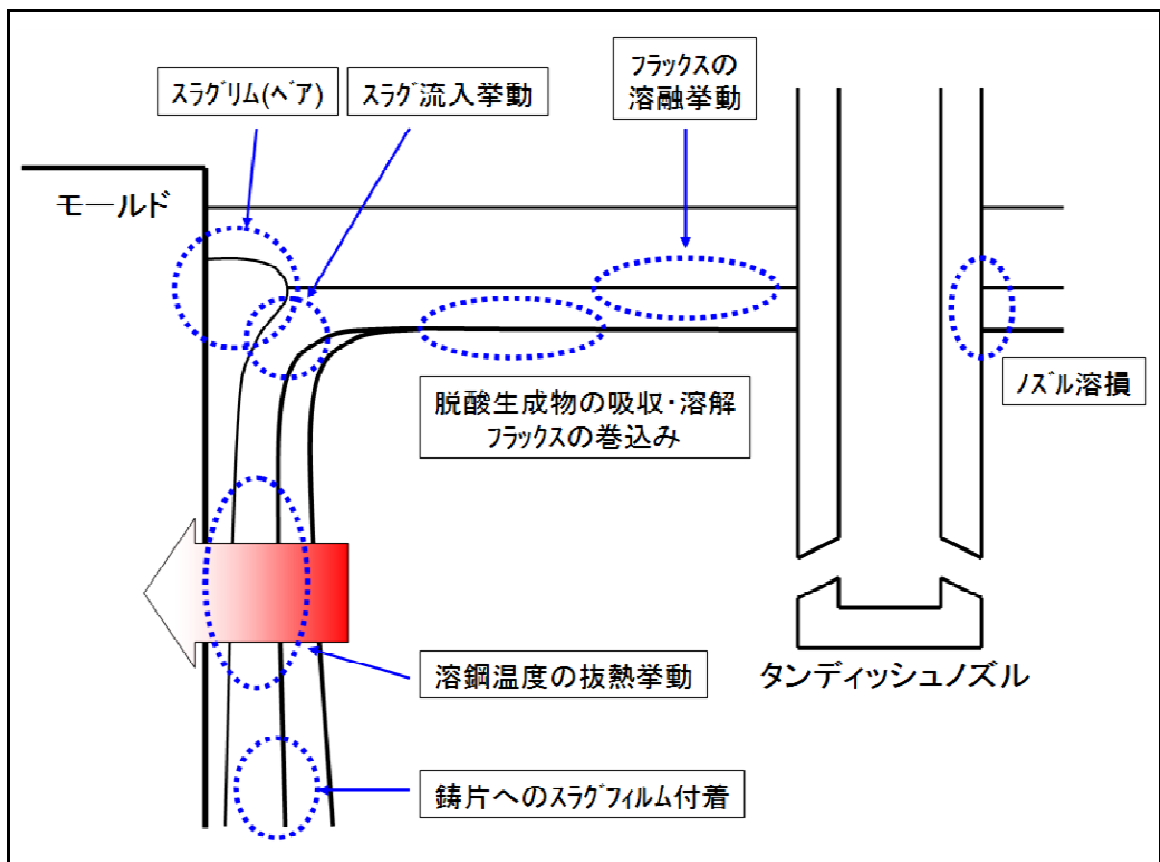


Fig.9 モールド内断面の模式図

2-2.溶融のコントロール

湯面上で厚い断熱層を形成し、溶鋼熱の放出を抑え、かつ適度な溶融スラグ層を確保する為に、フラックスの溶融過程を調整することは非常に大切です。

○溶鋼熱の遮断

溶鋼の保温性が悪いと、溶鋼メナスカス部での鑄片凝固シェル爪部が成長しやすくなり、浮上してくるガス(例えばAr)や脱酸生成物が捕捉(トラップ)され、鑄片表面欠陥の要因となります。【Fig.10】モールド内のフラックスの状態をFig.11に示します。溶鋼熱の保温については、フラックス層(粉末や顆粒等)および焼結層が厚いほど断熱効果があります。しかし、厚過ぎる焼結層はブロッキング現象(※)を起こし、フラックスの溶融速度を小さくしてしまい、あまり好ましくありません。

したがって、フラックス層をより厚くすることで溶鋼の保温性を高める方法がとられます。

※…ブロッキング現象…焼結がひどく大きな塊になること。

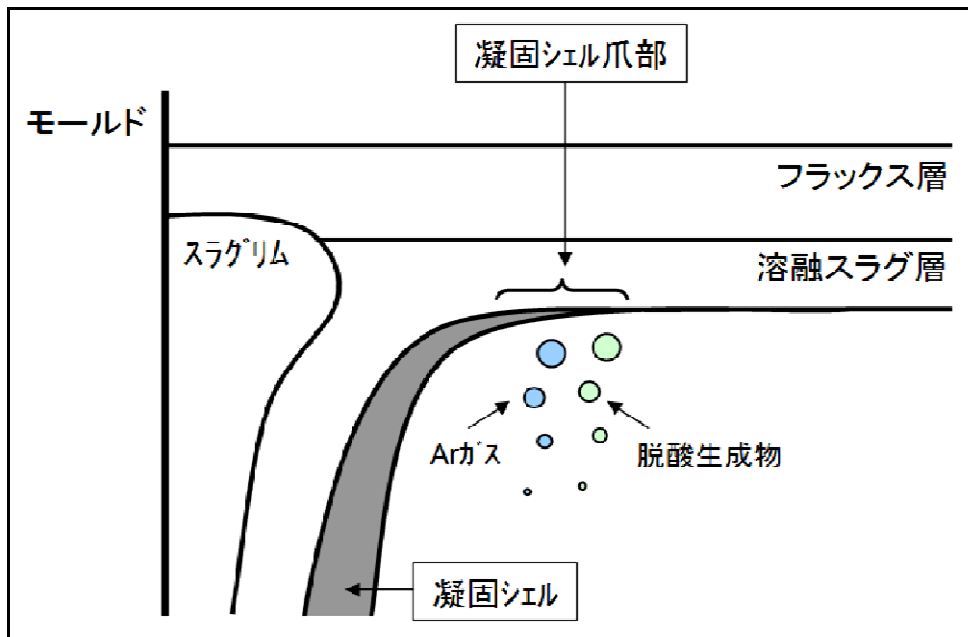


Fig.10 凝固シェル爪部でのトラップ現象

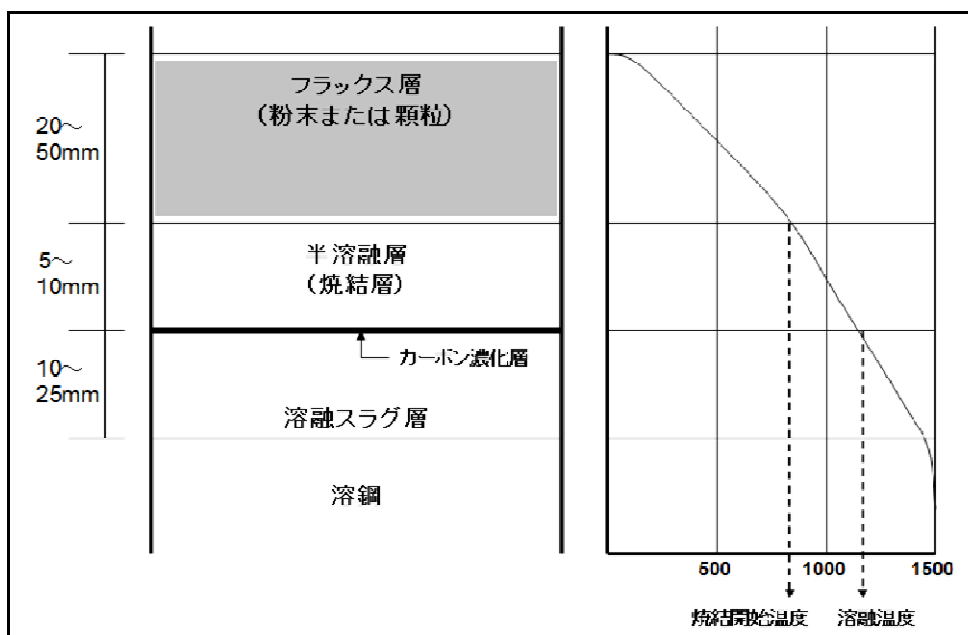


Fig.11 モールド内でのフラックス層の状態

○溶融スラグ層厚

溶融スラグ層厚は、フラックス溶融量と鑄型-鑄片間へのスラグ流入量とのバランスで決まります。【Fig.12】すなわち、流入量より溶融量が多い時は、溶融スラグ層は厚くなり、フラックス層(粉末や顆粒)が薄くなるので、溶鋼の保温性は悪化します。

一方、流入量より溶融量が少ない時は、溶融スラグ層は薄くなり、フラックスの巻込み(パウダーカミ)や脱酸生成物の吸収不良によるノロカミ等の鑄片欠陥や潤滑不良による鑄片焼きつきトラブルが発生しやすくなります。したがって、鑄造時は常に、適度な溶融スラグ層厚(10~25mm)を保つ必要があります。

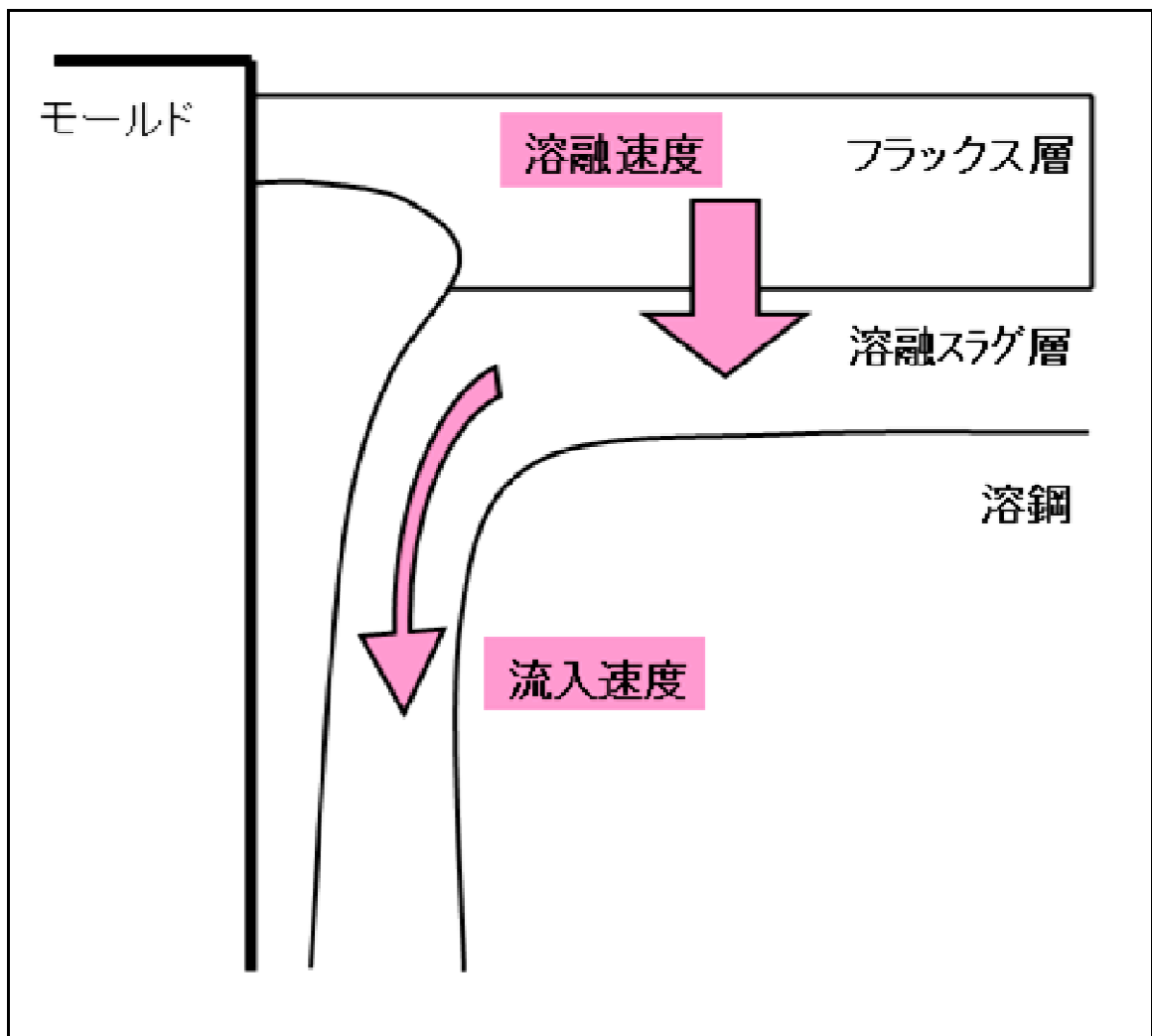


Fig.12 フラックスの溶融速度とスラグの流入速度

2-3.脱酸生成物の吸収溶解と巻込み

溶鋼中の脱酸生成物または外来性非金属介在物(以下、脱酸生成物)は、溶鋼よりも比重が小さい為、メナスカス部に浮上してきます。そのメナスカス部において、脱酸生成物は溶鋼よりも熔融スラグとの界面張力が小さい為、熔融スラグ層に吸収され、さらに熔融スラグ中で溶解・拡散します。【Fig.13】

一方、メナスカスでの溶鋼流速が速い場合、熔融スラグに同明かした脱酸生成物が溶鋼中に巻き込まれ、鑄片表面欠陥の要因となる可能性もあります。【Fig.14】

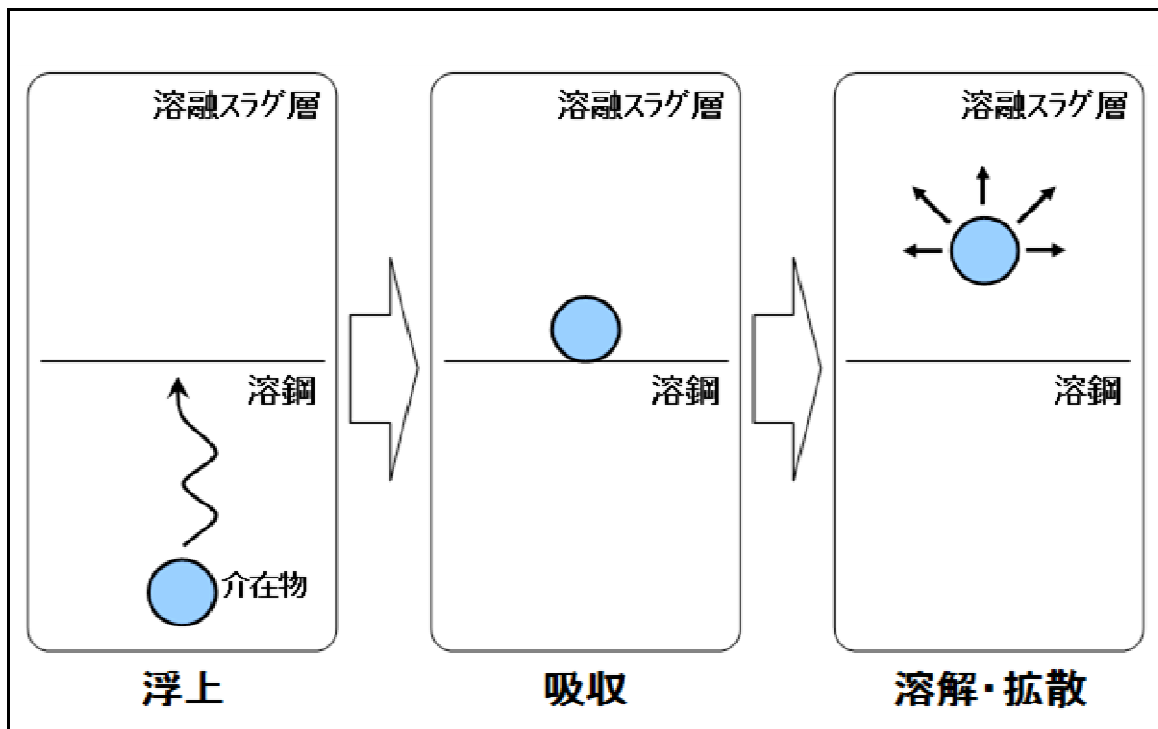


Fig.13 溶鋼メナスカスでの脱酸生成物の挙動

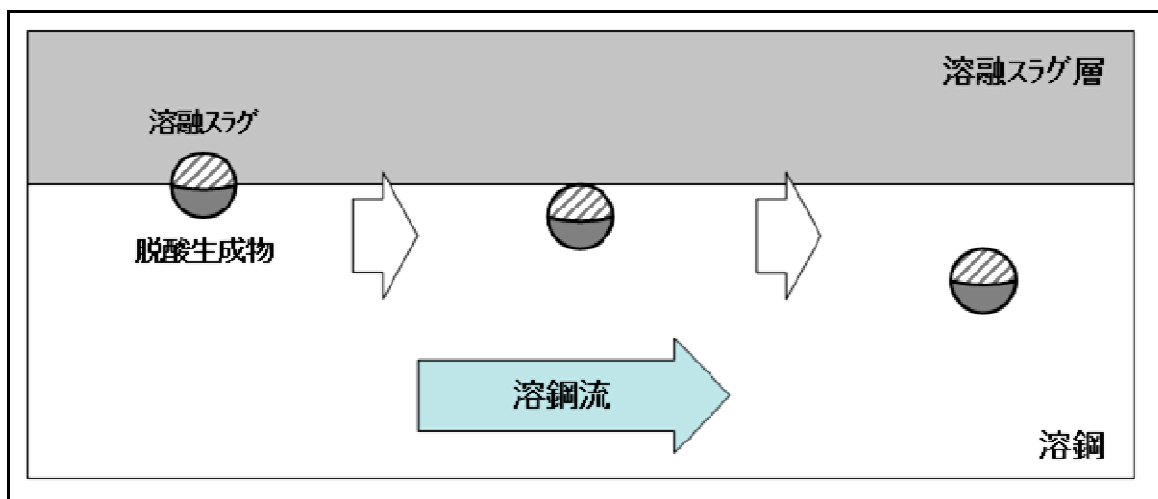


Fig.12 フラックスの溶融速度とスラグの流入速度

Al₂O₃脱酸生成物に対する溶融スラグの溶解能は、スラグの塩基度(CaOとSiO₂の重量%比)が大きいほど高く、また溶融スラグの粘度(粘性)が小さいほど高い傾向にあります。【Fig.15, 16】

一方、溶融スラグのAl₂O₃脱酸生成物に対する吸着能は、両者の界面張力が小さいほど(すなわち、Al₂O₃脱酸生成物の表面張力は一定であるので、溶融スラグの表面張力が大きいほど)高くなります。

したがって、脱酸生成物を取り除くためには、まずメニスカス部において、溶融スラグに同化した脱酸生成物が溶鋼流に巻き込まれないように溶融スラグの表面張力を大きくし、次に脱酸生成物に対する溶解能を上げるために塩基度を高くする工夫が必要になります。

Table.2 界面張力の比較

	界面張力(dyne/cm)
脱酸生成物(Al ₂ O ₃)-溶鋼	2000
脱酸生成物(Al ₂ O ₃)-溶融スラグ ($\eta = 1.5\text{poise}$, $C/S = 1.0$)	450
脱酸生成物(Al ₂ O ₃)-溶鋼 ($\eta = 3.0\text{poise}$, $C/S = 1.0$)	500

界面張力の式

$$\gamma_{MS} = (\gamma_M^2 + \gamma_S^2 - 2\gamma_M\gamma_S \cos\theta)^{1/2}$$

γ_{MS} : 溶鋼-溶融スラグ間の界面張力

γ_M : 溶鋼の表面張力

γ_S : 溶融スラグの表面張力

$\cos\theta$: 溶鋼上の溶融スラグの接触角

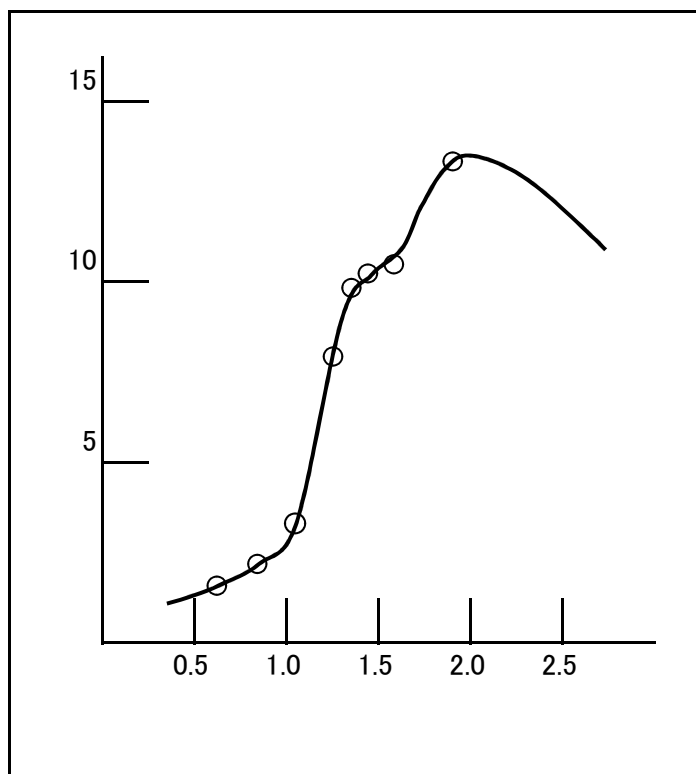


Fig.15 アルミナ溶解速度に及ぼす塩基度の影響

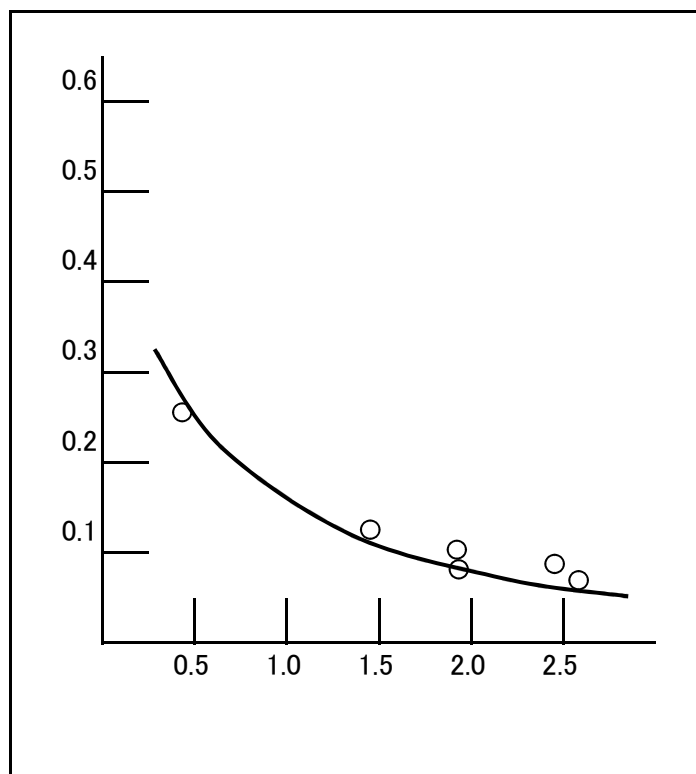


Fig.16 フラックス粘度とアルミナ溶解度の関係

2-4. 鑄型-鑄片間への溶融スラグの流入

溶融スラグの鑄型-鑄片間への流入量は、鑄造条件・鋼種によって変わります。一般に、流入量はポジティブストリップ時間に比例し、サイクル数が速くなると流入量は減ります。

また鑄型内で鑄片の収縮率が大きい鋼種(中炭素鋼等)の場合は、スラグフィルムが厚くなるため、流入量は増えます。

鑄型-鑄片間のスラグフィルム層には、鑄型側に固相部、鑄片側に液相部が存在します。【Fig.17】溶融スラグの流入量はこの液相部の粘度と厚みで決まります。すなわち、液相部の粘度が低く、液相部の厚みが大きい方が流入量は多くなります。

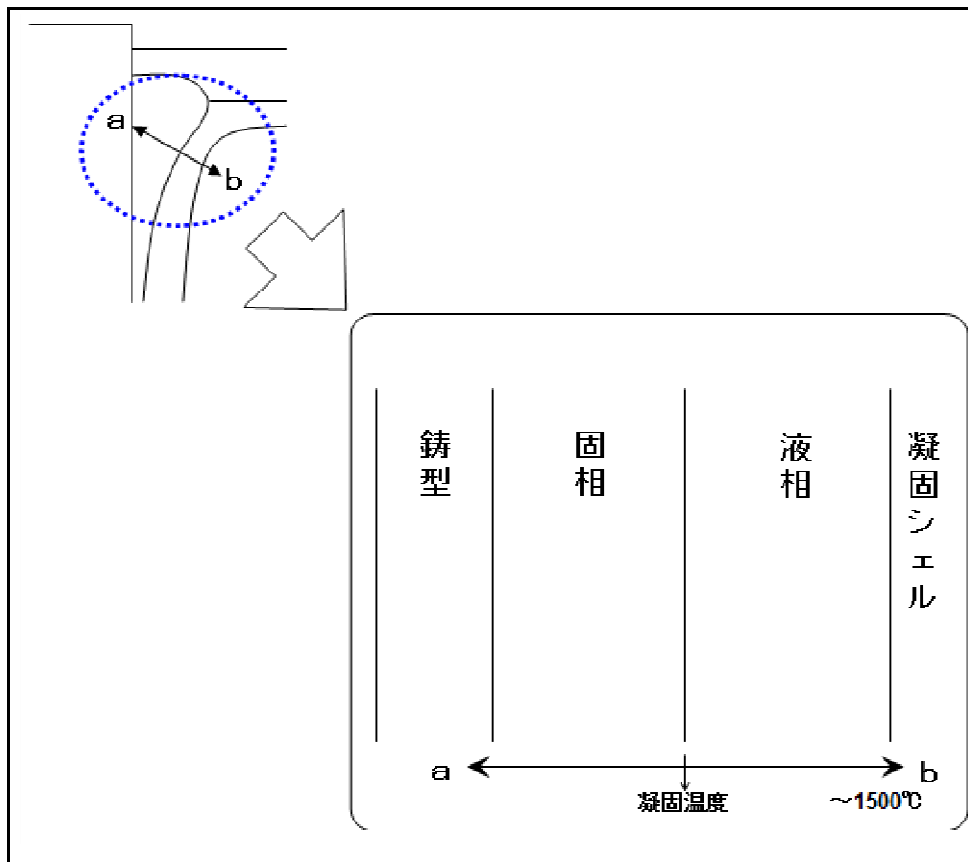


Fig.17 鑄型-鑄片間のスラグフィルムの状態

2-5. 鑄型-鑄片間の抜熱挙動

一般に、表面ワレ感受性の強い鋼種(中炭素鋼等)の鑄造では、鑄型-鑄片間のスラグフィルム層で鑄片の抜熱を緩和する必要があります。

スラグフィルム層内には鑄片側に液相部、鑄型側にスラグ固相部が存在し、メニスカス下では鑄片の凝固収縮により鑄型とスラグ固相部の間にエアーギャップが形成されます。【Fig.18】

スラグフィルム層での抜熱速度を抑える為には、①エアーギャップ層を均一に形成する、②スラグ固相部を厚くする、③スラグ固相部の結晶化度を高めることが効果的です。

①エアーギャップ層の均一な形成

鑄型-鑄片間への溶融スラグの過剰な流入は、エアーギャップ層を埋めてしまい、不均一抜熱の要因になる可能性があります。よって適度な流入量を確保する為、溶融スラグの粘度と凝固温度を調整する必要があります。

②スラグ固相部を厚くする

スラグ固相部を厚くするためには、溶融スラグの凝固温度を高める必要があります。但し、凝固温度を上げるとスラグ液相部が薄くなり潤滑能が低下します。よって、適度な鑄型-鑄片間の潤滑を保つために、スラグ液相部の粘度を下げ流入量を確保する必要があります。

③スラグ固相部の結晶化度を高める

スラグ固相部の熱伝導度は固相中の結晶化度を上げることで低くすることが出来ます。一般に、溶融スラグの塩基度(CaO/SiO₂)を高くすると結晶化度は上がります。結晶核元素の添加も有効です。

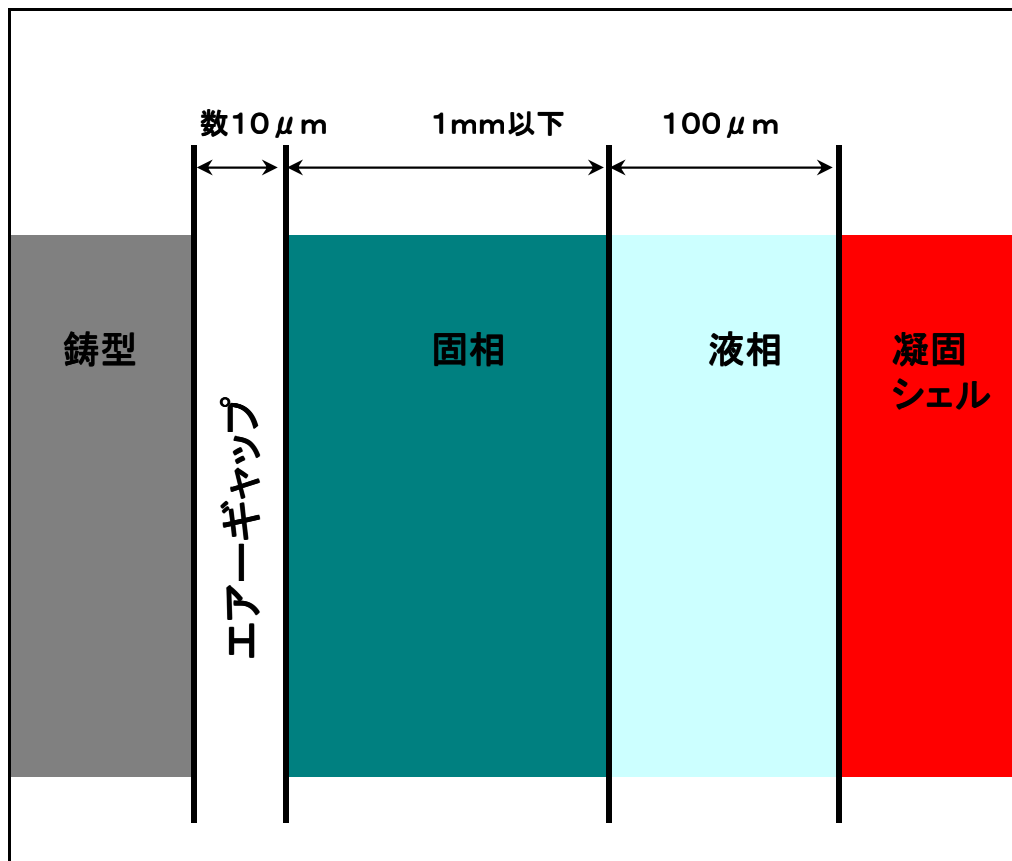


Fig.18 スラグフィルムとエアーギャップ

2-6.スラグリム

スラグリムとは、メナスカス上部の鑄型内周に付着した固形物です。スラグリムが大きくなると、溶融スラグの鑄型-鑄片間への流入が阻害され、潤滑不良によるブレークアウト(B.O、漏鋼)の要因となったり、スラグリムそのものを巻き込んで表面欠陥の要因となったりします。一般に、湯面の変動が大きい場合ほど、スラグリムの成長は促進されます。

スラグリムは、Fig.19に示すように鑄型壁で溶融スラグが冷却され、凝固した部分と焼結層が冷やされ、鑄型の振動により団子状になって固まった部分から構成されています。スラグベアとも言います。スラグリムの成長を防止するためには、溶融スラグの凝固温度を下げることと、焼結層を少なくする必要があります。焼結層の薄いモールドフラックスの設計としては、①骨材の微粒カーボン量を増やす、②各原材料の軟化温度差を小さくする、などといった方法が効果的です。

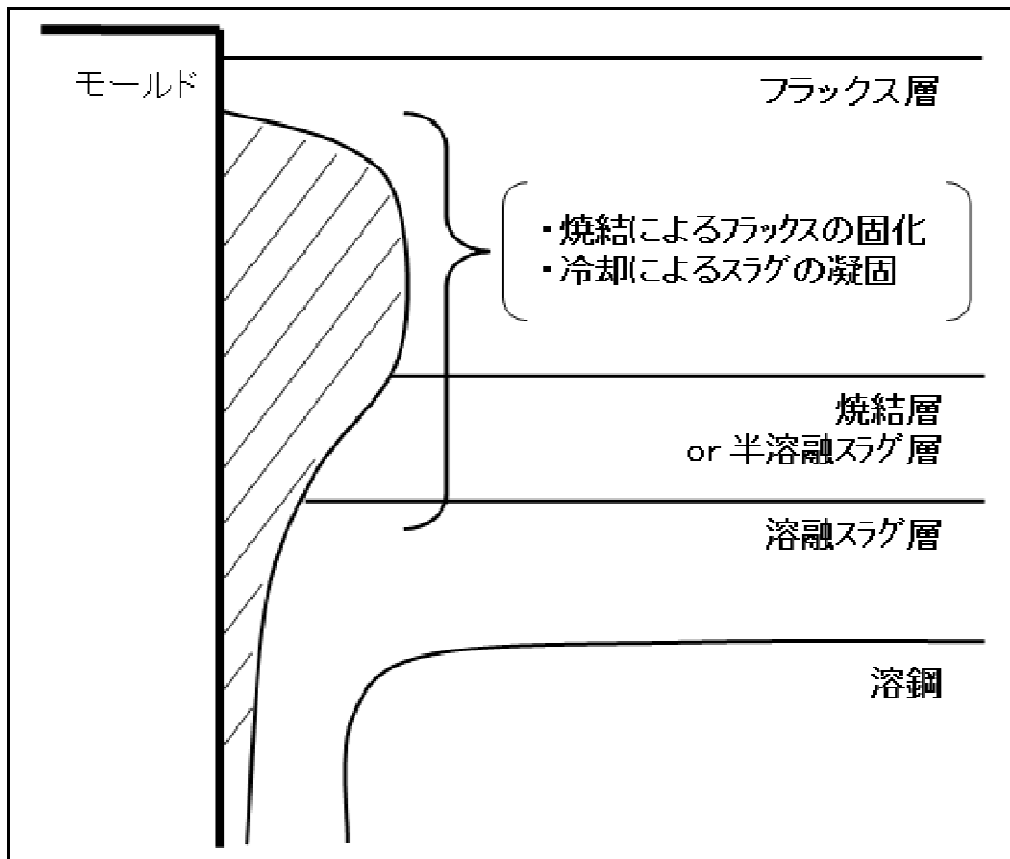


Fig.19 スラグリム(ベア)の構造

2-7.浸漬ノズルの溶損

浸漬ノズルを使った連続鋳造では、溶融スラグとノズルが接触するスラグラインにおいて溶損現象が起きます。スラグライン部には通常、溶融スラグによる溶損防止の為、ZrO₂-C質の耐火物がコーティングされています。溶鋼と溶融スラグの界面において徐々に溶損は進行し、鋳造途中でノズルの交換が必要になることもあります。

この溶損現象はFig.20に示すように、まず溶融スラグにZrO₂が溶出し、スラグに強い黒鉛が耐火物表面に残ります。この黒鉛は溶融スラグと濡れにくく溶鋼に濡れる為、溶鋼-溶融スラグ界面は上昇し、耐火物表面の黒鉛は溶鋼と接するようになります。すると黒鉛は溶鋼に溶出するため、再び耐火物表面にZrO₂等の酸化物が現れ、溶鋼-耐火物境界に溶融スラグが侵入して酸化物が溶出します。このような溶鋼-溶融スラグ界面の移動現象とZrO₂等の酸化物骨材と黒鉛の溶解が交互に連続して起こり、局所溶損が進行します。

モールドフラックスでの溶損対策としては、酸化物溶解能の低いスラグ組成にする必要があります。一般に、溶融スラグの粘度を高くすると溶損量は少なくなります。また組成的には、B₂O₃やNa₂O、F等の融材を少なくすることで溶損量は少なくなります。

$$\text{溶損量 (mm/min)} = -0.0063(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2) + 0.00544(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{BaO}) \\ + 0.00837(\text{Na}_2\text{O} + \text{F}) + 0.0226(\text{B}_2\text{O}_3)$$

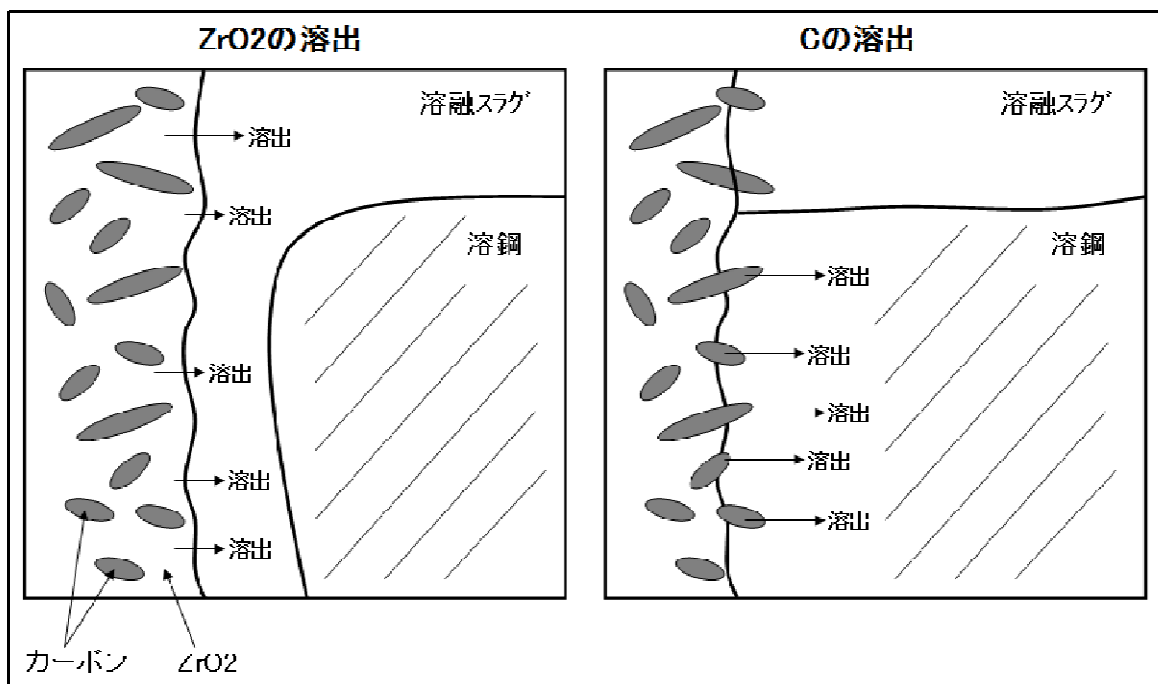


Fig.20 ノズル耐火物の溶損メカニズム

2-8.鋳片へのスラグ付着

鋳造ロールで鋳片を引き抜く際、極低炭素鋼のように比較的柔らかい(低硬度)鋼では、鋳片に付着したスラグが原因で表面欠陥が発生する場合があります。その原因は、鋳型出口でスラブに付着した溶融スラグが、その冷却過程で強固に結晶化して固結した状態となり、鋳片表面から剥離せず付着し、鋳造ロールで押し付けられることに起因します。

防止策としては、鋳片に付着した溶融スラグの組成を冷却過程において結晶化させず、ガラス化させることが効果的です。すなわち、スラグが鋳造ロールで鋳片に押し付けられた際、スラグが簡単に破碎され、鋳片に残らず、鋳片への食い込みをなくすことができます。