

DC スラブ鑄造用 TF コンボバッグの 製造、使用及びプラントテスト結果

Presented at the 2nd International Melt Quality Workshop,
Prague, Czech Republic, 16th-17th October 2003

Sylvain P. Tremblay

Pyrotek Chicoutimi

1623, Manic street

Chicoutimi (Quebec)

Canada G7k 1G8

概 要

この 10 年間、DC スラブ鑄造の鑄塊へのアルミニウム溶湯分配において、その多くはガラス繊維製布のコンボバッグを使って行われてきた。これらの布は織目の粗い材質であったり、固いガラス繊維を縫い合せた布であったりした。これらのバッグは一般に柔軟性があり、その製造には大掛かりな縫製作業が必要である。バッグは鑄造中に変形し、分配だけでなく鑄型近傍の溶湯温度分布、そして最終的にはスラブ品質に影響を及ぼすこともある。Pyrotek はこういったコンボバッグ技術のパイオニアであると自負している。

本稿では、TF コンボバッグと呼ばれる新しいコンボバッグの製造方法と使用結果について説明する。TF コンボバッグとは、“加熱成形 (Thermally Formed)” を意味する。本稿は 2 部に分かれる。第 1 部では、TF コンボバッグの製造について詳述する。バッグを製造する新技術並びに使用される布とその独自性の説明で第 1 部は終わる。

第 2 部では、合金 AA1045、AA3003、AA3004、AA5052 及び AA5182 を鑄造する複数のプラントで使用された標準コンボバッグと TF コンボバッグの結果を比較した。次の変数と指標について検討した。

鑄造開始の観察

実際の溶湯流の観察

スラブ表面仕上がり

鑄型近傍の温度分布

圧延プラントからの結果報告

1.0 TF コンボバッグ - 序論

図 1 は、多年にわたる飲料用缶の薄肉化の変貌を示す。缶厚が絶え間なく薄くなっていくことで、アルミメーカーは全体的な溶湯清浄度を改善することを余儀なくされている。通常、溶湯清浄度は分配極までは維持されていると見なして良い。しかし、その溶湯清浄度を維持するには優れた分配システムが重要な構成要素である。

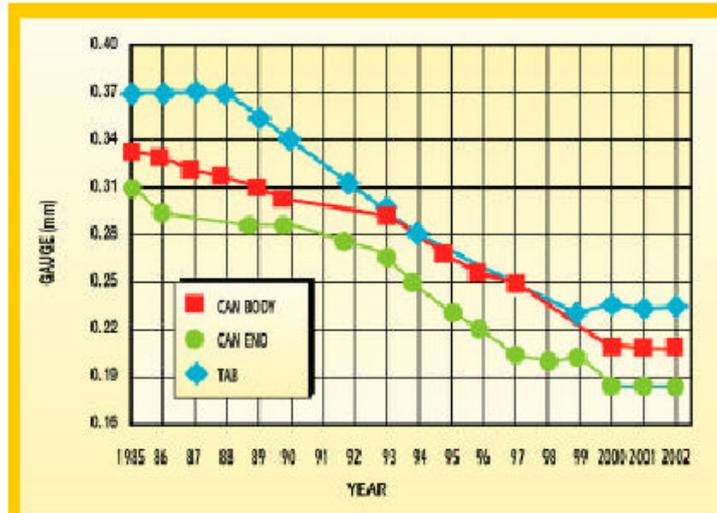


図 1：飲料缶の薄肉化

Pyrotek は、2002 年の TMS でスラブ鋳塊へのアルミ溶湯を分配する前もって成形されたインナーバッグと一体となった再使用可能な複合フレームからなる ReMAD（再使用可能なアルミ溶湯ディストリビュータ：Reusable Molten Aluminum Distributor）技術を発表した²（図 2）。この技術は、まだ中間段階のテスト中である。しかし、前もって成形されたインナーバッグが、この発表の主題である TF コンボバッグの開発につながった。本稿では、今日のスラブの高品質規格を実現させるために TF コンボバッグディストリビュータの開発とプラント試験結果を検討する。

この 10 年間、DC スラブ鋳造の鋳塊へのアルミニウム溶湯分配において、その多くはガラス繊維製布のコンボバッグを使って行われてきた。これらの布は織目の粗い材質であったり、固いガラス繊維を縫い合わせた布であったりした。コンボバッグの主な機能は次の通りである：

- () スラブヘッドで溶湯分配システムとして働く。この分配システムが鋳型周辺の温度分布を決定し、最終金属組織に影響する。
- () コンボバッグは乱流を最小にし、溶湯表面酸化皮膜を保持し、大きな粒子を集める効果がある。

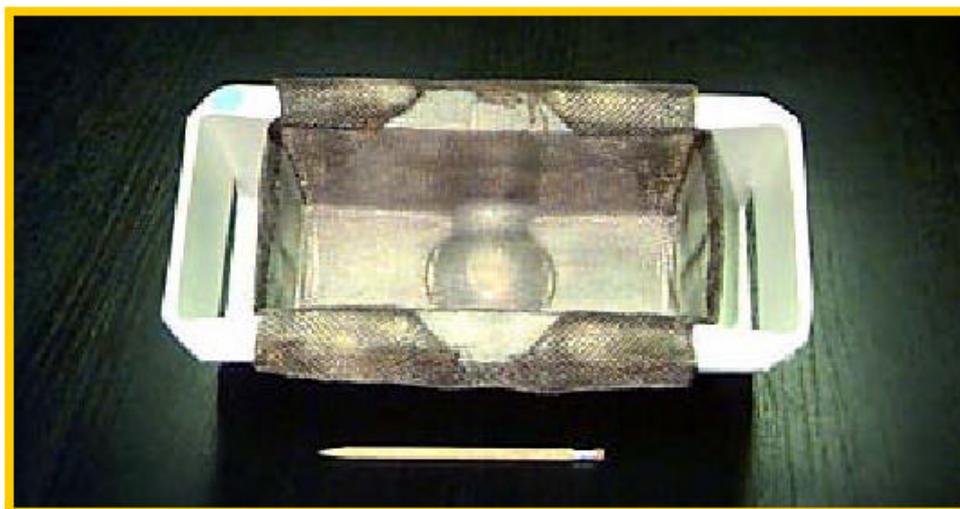


図 2：ReMAD 再使用可能なアルミ溶湯ディストリビュータ

代表的なコンボバッグを、異なるいろいろな縫い合わせパーツの説明と一緒に図3に示す³。再確認のために、いろいろなパーツの機能を手短かに説明する。

本体(1)

コンボバッグ本体は、織目の粗い布製バッグである。最善の温度分布のために溶湯分配、鋳型内の溶湯の広がりと速度をコントロールする。

外殻(2)

外殻は本体の周りに縫いつけられた硬織りの布である。その主要な機能は、溶湯の流出方向をコントロールし酸化物を捉え鋳造時の乱流を小さくすることである。

エンドパッチ(3)

エンドパッチは軽量の硬織り材質でできている。それらは一緒になって酸化物をバッグ内に留める働きをする。また、流れを溶湯表面下方に向ける働きもする。

底部及び補強パッチ(4)

底部及び補強パッチは一緒になって溶湯の流れを横方向に向け、本体の布を溶け落ちから保護する効果がある。また、鋳造中にコンボバッグが変形し過ぎるのを防ぐ。最後に、縦方向の拡散を抑える。

底部ホールと横窓(5)

横窓は鋳型を満たす溶湯流出をコントロールし、スラブ側面のホットスポットを減らす。長さ330mmのコンボバッグの底部ドレンホールは、鋳造終了時にバッグから溶湯を抜き出す以外の機能はない。バッグに入る溶湯速度は、まるで底部ホールがないかのように充分速い。しかし、長さが330mmから450mmと長くなると、実際にはこの長いバッグの表面張力がメタル速度を弱める。したがって、流れの一部はこれらの底部ホールに分配される。

位置合せタブ(6)

これらのタブのただひとつの機能は、コンボバッグをスパウトのまわりの適切な位置に合わせることである。

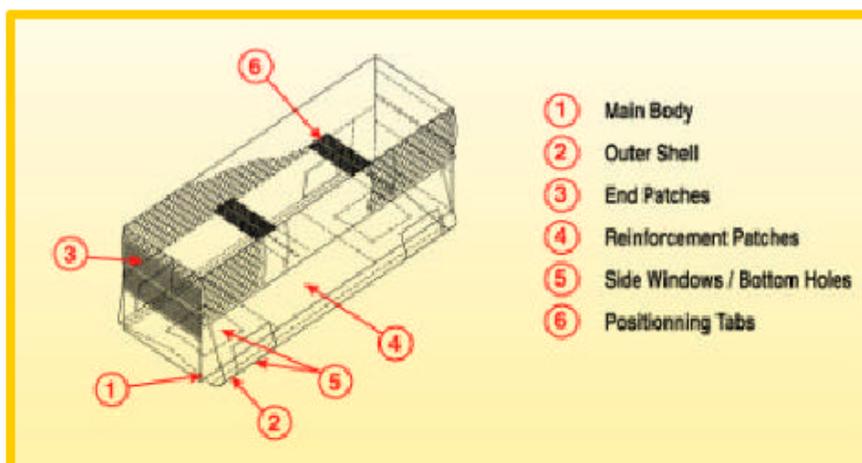


図3：代表的な縫い合わせコンボバッグ

位置合せタブと補強パッチがないのを除けば、形状はTF コンボバッグと標準の縫い合わせコンボバッグとは同一である。溶湯ドレンホールは、製造中の繊維のほつれを避けるために四角ではなく丸になっている。TF コンボバッグ技術は、新しいガラス繊維布コーティングの開発を基礎にしている。このコーティングがバッグに形を持たせることを可能にしている。この新しい技術が、コンボバッグの製造プロセスを根本的に変えている。多くの製造工程を減らし自動化している。さらに多くの縫い合わせ作業に必要な労働力が最低限にまで下がり、生産原価が大幅に抑えられている。

このコンボバッグ技術は、アルミニウムを生産する全ての国で特許になっている。

2.0 TF コンボバッグ - 製造

この技術の基礎は、F-100 仕上げとして知られる新しいガラス繊維布の仕上げである。全く発煙せず不燃性である。ある一定の温度では、重合して硬くなり有機炭素先駆物質を炭化させる。この特殊な性質を使って、様々なコンボバッグパーツが作られる。この F-100 仕上げは密度の高い布と同じように濾過用の布にも応用できる。適正な温度に加熱されたときは、通常の F-5 仕上げ（PVA ベース仕上げ）よりも付着物を酸化させる傾向が小さいことも証明されている。

TF コンボバッグの主な利点は、次の通りである：

- 縫い合わせ作業が省ける
- 生産コストが下がる
- バッグの安定性が改善される
- 鋳造開始が改善される
- アルミ溶湯温度では 75 分間硬いまま残る

様々なパーツは、図 4 に示すように同時に布の両縁を縫う自動スリッターを使ってガラス繊維の布から切り出される。



図 4：布の切断

次に、プレカットされたパーツは加熱された型を使って加熱成形される。一般的な加熱成形工程を図 5 に示す。この技術を使えば、パーツあたりの製造時間を約 30-50 秒に短縮することが可能である。温度は酸素を保持した安定した炭化物を形成するのに充分高く、これらの炭化物もまたアルミ溶湯の侵食から布を保護する。この作業中に発生するガスは環境基準に適合するため回収、焼却される。



図 5 : 布の高温成形

次に、加熱成形されたコンボバッグパーツは、続いて行われる組立ての前にカットされる。図 6 はバッグ外殻のドレンホールの打ち抜きを示す。自動化装置の使用は、非常に高い再現性と工程の最後にはバッグのより一層の安定性を保証する。



図 6 : 外殻の底部ドレンホールの打ち抜き

図7は、TF コンボバッグ製造に必要な様々なパーツを表わす。補強パッチは硬いので、取り外すことができる。濾過バッグは、包装を最適化して出荷のために積み上げられるように両端に少しテーパが付いている。



図7：TF コンボバッグパーツ

図8は、組立て完成コンボバッグを示す。様々なパーツ全て数カ所の仮縫いで連結され正確な位置に取り付けられている。この後者の作業は、TF コンボバッグ生産で使われる唯一の通常縫製作業である。Pyrotek は、製造時間を短縮しバッグの安定性をより一層保証するために、特殊な自動化裁縫機を開発した。



図8：組立て完成コンボバッグ

3.0 TF コンボバッグ - 水モデル

TF コンボバッグの湯流れが、標準コンボバッグの湯流れと比較された。同じ鑄造条件、同じサイズのコンボバッグ（100x100x300mm）及び同じ濾過用布を使い、湯流れが水モデルによって視覚化された。図 9 は、両バッグの湯流れの違いを側面から示す。縫い合わせ標準コンボバッグはスパウトの下がひどく変形し、はっきりとした湾曲が観察される。この湾曲により溶湯流の一部が溶湯表面に向かい、ついで再び表面下方に跳ね返る。鑄造条件によっては、この作用は酸化被膜を破り酸化物の形成を助長することになる。比較すると、TF コンボバッグはスパウト下での変形がごくわずかで、溶湯は基本的にスラブの溶湯表面には達せず表面下を流れる。

図 10 は、両バッグの湯流れの違いを上方から見たものを示す。縫い合わせ標準バッグの変形によるバッグ底の金属の溜りが、溶湯流出速度を落としてコーナーに向かう湯流れを少なくしている。その代わりに、TF コンボバッグは標準のコンボバッグよりもより良くコーナーに供給している。

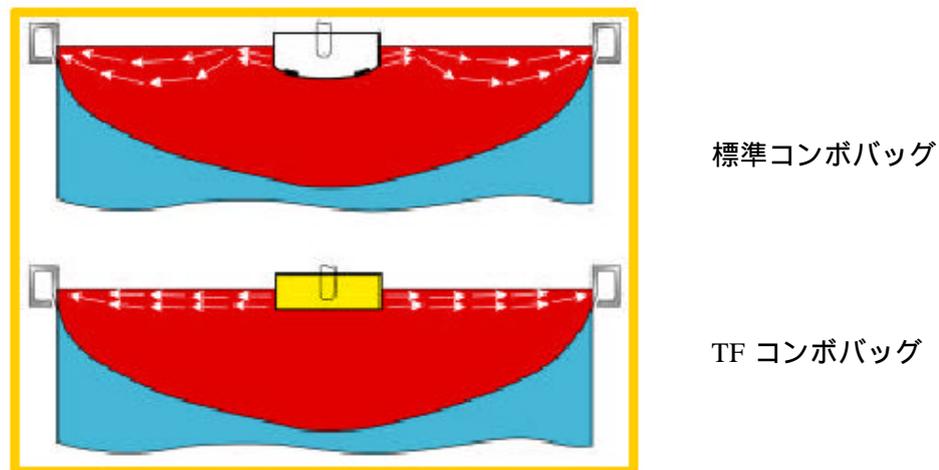


図 9：標準コンボバッグと TF コンボバッグ間のフローパターンの違い（側面図）

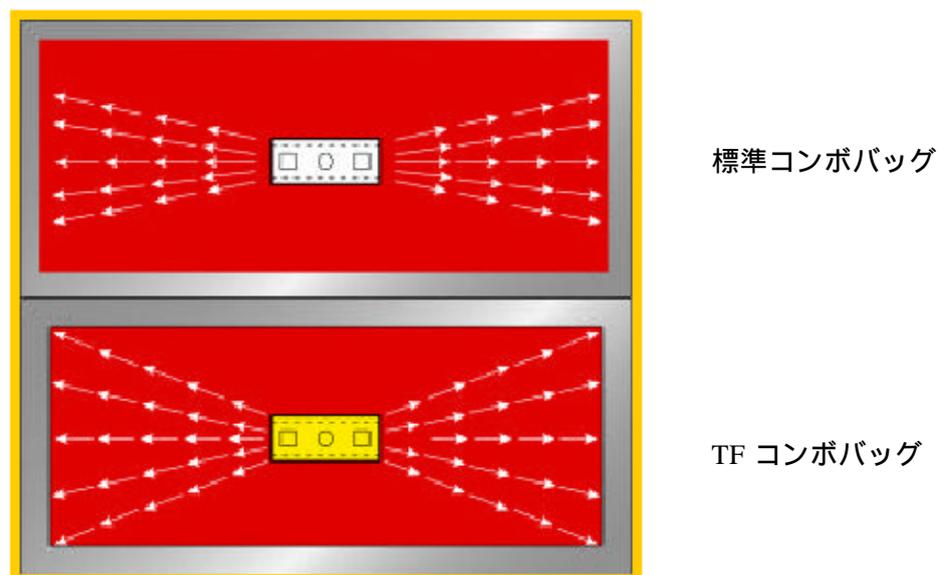


図 10：標準コンボバッグと TF コンボバッグ間のフローパターンの違い（上面図）

4.0 TF コンボバッグ - プラントトライアル結果

4.1 プラント A のトライアル

次の一連の図は、プラント A で得られたテスト結果を示す。鑄造条件を表 1 に表す。

合金	AA3003、AA5052 及び AA5182
鑄造機	Wagstaff true slot
鑄型寸法	635x1320mm 及び 660 x1660mm
スラブ長	4.8m
溶湯特性	脱ガス装置：Alpur SX-300
	フィルター：30 ppi CFF
	粒子微細化剤 5% Ti/ 1%B

表 1. プラント A - 鑄造条件

これらのトライアル中、スラブ半周内の 5 箇所温度分布が測定された。結果を図 11 に表す。スラブ長はほぼ 1000mm であった。このグラフから明らかなように、鑄型周囲の温度分布はどちらのコンボバッグもかなり似ている。どちらのコンボバッグも大きなデザインの違うことから、この結果は予測されていた。図 12 は、スラブ長 3500mm の温度分布を示す。

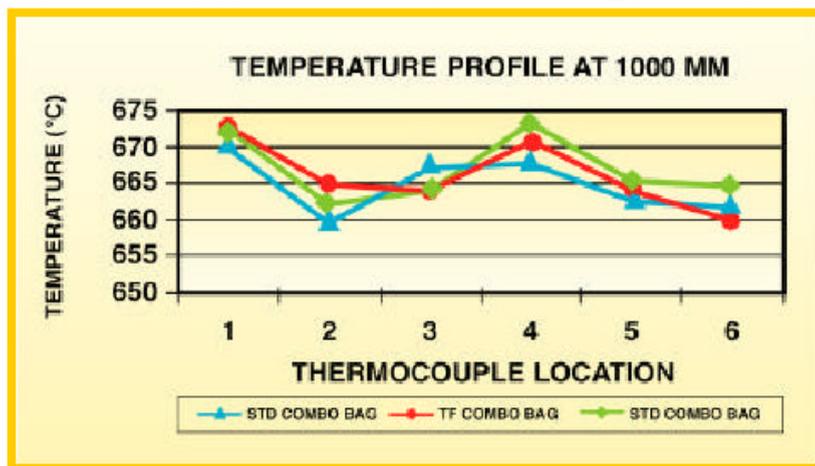


図 11 : 1000mm の温度分布

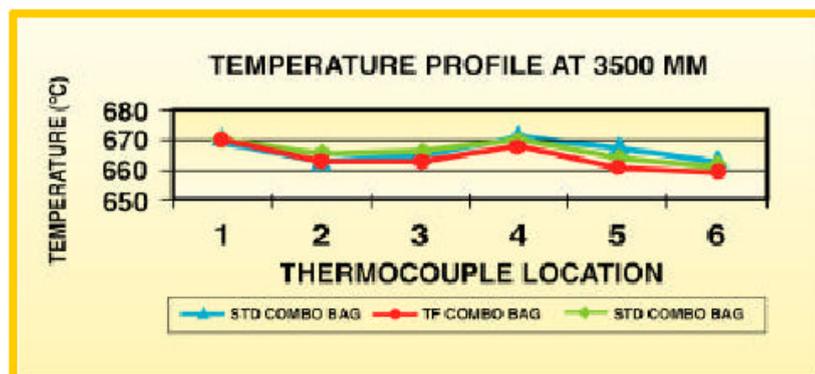


図 12 : 3500mm の温度分布

鑄造後使用済みのコンボバッグは慎重に調査されたが、**図 13** から明らかなように TF コンボバッグはその形状を留めている。さらに、各タイプの使用済みバッグ約 50 個の重量が測定され、TF コンボバッグは標準のコンボバッグより平均 12-15%重量が軽いことがわかった。これは、TF コンボバッグの方が垂直から水平へのフローパターンの溶湯移送中、乱流が少ないことをよく表している。



図 13 : 使用済みコンボバッグ

4.2 プラント B のトライアル

次の一連の図は、プラント B で得られたテスト結果を示す。 鑄造条件を表 2 に表す。

合金	AA1100 及び AA3003
鑄造機	Wagstaff true slot
鑄型寸法	420x1100mm
スラブ長	5.2m
溶湯特性	脱ガス装置：SNIF R-140U
	フィルター：40 ppi CFF
	粒子微細化剤：5% Ti/ 1%B

表 2 : プラント B - 鑄造条件

図 14 は、鑄造前のバッグを示す。濾過用布は 32 L で、バッグ寸法は 100 x 100 x 330mm である。



図 14 : 鑄造前のコンボバッグ

既に述べたように、F-100 仕上げは毒性がなくまた発煙もしない。図 15 は、この事実を示している。この写真から、鑄造開始時に TF コンボバッグをどの位置に置いたかを判断するのは容易である。



図 15 : プラント B の鑄造開始

縫い合わせ標準コンボバッグと TF コンボバッグ間の温度分布の直接比較が、プラント B で行われた。再度、異なるスラブ長 2 箇所温度分布が測定された。プラント A と同様の結果が認められる。各コンボバッグの温度分布は予想したように非常に接近している。図 16 と 17 は、これらの温度データを示す。

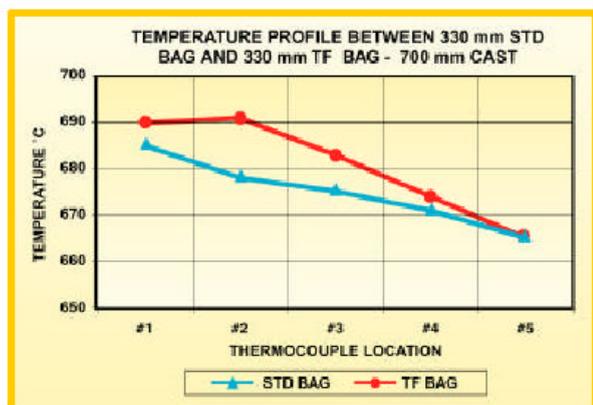


図 16 : 温度分布 - 700mm

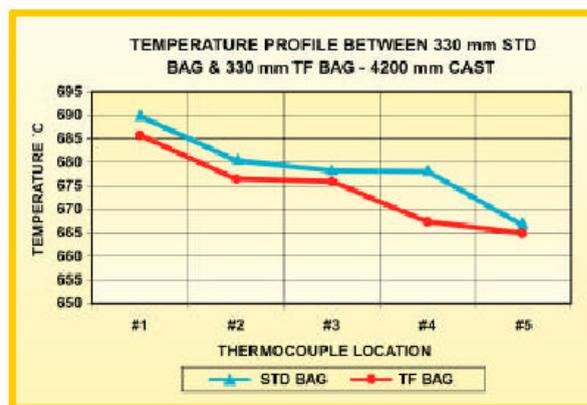


図 17 : 温度分布 - 4200mm

最後に、スラブ表面の写真は、**図 18** 及び **図 19** に示されるように非常によく似たパターンを示している。



図 18：縫い合わせ標準バグのスラブ表面



図 19：TF バグのスラブ表面

4.3 プラント C のトライアル

次の一連の図は、プラント C で得られたテスト結果を示す。鑄造条件を表 3 に表す。

合金	AA3003
鑄造機	Wagstaff true slot
鑄型寸法	558x1320mm 及び 610x1455mm
スラブ長	4.8m
溶湯特性	脱ガス処理：炉内処理
	フィルター：30 ppi CFF
	粒子微細化剤：5% Ti/ 1%B

表 3：プラント C - 鑄造条件

縫い合わせ標準コンボバグと TF コンボバグ間の温度分布の直接比較が、プラント C でも行われた。再度、異なるスラブ長 2 箇所温度分布が測定された。プラント A 及びプラント B と同様の結果が認められる。各コンボバグの温度分布は、予想したように非常に接近している。**図 21** と **図 22** は、これらの温度データを示す。

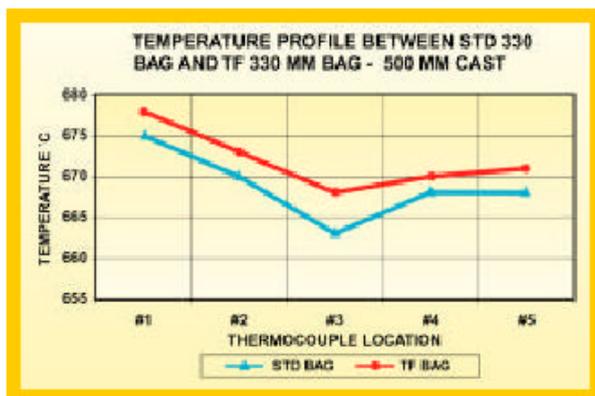


図 21：温度分布 - 500mm

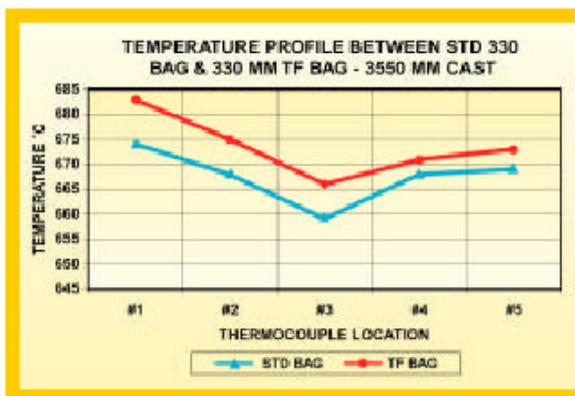


図 22：温度分布 - 3550mm

最後に、図 23 はプラント C での鑄造後の使用済みコンボバッグを示しており、上が縫い合わせ標準コンボバッグで、下が TF コンボバッグである。TF コンボバッグは方形を維持していたが、標準コンボバッグは完全に変形している。再度、TF コンボバッグと標準コンボバッグ間で同じように重量差が測定された。



図 23：プラント C の使用済みコンボバッグ

4.4 プラント D のトライアル

次の一連の図は、プラント D で得られたテスト結果を示す。鑄造条件を表 4 に表す。

合金	AA3004 缶ストック
鑄造機	Wagstaff Low Head Composite
鑄型寸法	788x1872mm
スラブ長	7.0m
溶湯特性	脱ガス装置：SNIF P-180
	フィルター：ベッドフィルター
	粒子微細化剤：5% Ti/ 1%B

表 4：プラント D の鑄造条件

ここでのトライアルでは、図 24 に示すように一体化した TF スパウトソックス付の TF コンボバッグが使用された。バッグ全体の寸法は、127 x 150 x 200mm の TF インナーバッグ付きで 127 x 150 x 450mm であった。TF インナーバッグは TF コンボバッグのポケットにぴったりとフィットしている。TF インナーバッグは、輸送中に積み重ねられるように少しテーパがつけてある。TF インナーバッグは、鑄造前に挿入される。Pyrotek は現在 TF インナーバッグが自動的に中心にくる構造を研究中である。

数個の TF コンボバッグが、異なる鑄造ポジションで問題なく使用された。溶湯分配はスムーズで静かであった。既に述べたように、F-100 仕上げは発炎あるいは発煙は認められず、スムーズな湯流れで鑄造開始を容易にする。

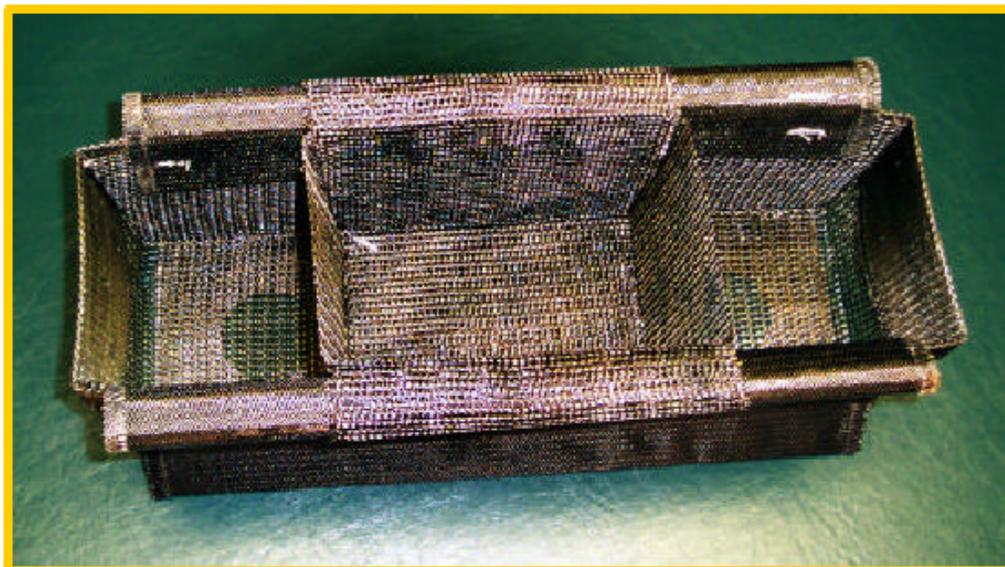


図 24：一体化した TF インナーバッグ付き TF コンボバッグ

鑄造されたスラブは、表面仕上りの点で非常によく似ていた。図 25 は、一般的な鑄造後の TF コンボバッグを示す。ここでのトライアルで鑄造されたスラブは、すべての圧延段階から最終ユーザーまで追跡された。製缶課程で、あるいは不良率の点で缶メーカーから不具合があるといった通知や報告はなかった。



図 25：一体化した TF コンボバッグ付き使用済み TF コンボバッグ

5.0 結論

異なる 4 プラントでの TF コンボバッグ使用は、以下の結論につながった：

TF コンボバッグは、

- 標準のコンボバッグと同等の温度分布をもたらす
- 溶湯温度で 75 分間まで硬性を維持する
- 作業員からユーザーフレンドリーであることが確認された
- 標準コンボバッグと比べて PoDFA 及びミクロ組織分析は同等かそれ以上である

これらのトライアルの結果として、5 プラントがこれまでに TF コンボバッグに切替えた。今では年間 100,000 個以上の TF コンボバッグが生産されている。北米、ヨーロッパ、南アフリカ及びオーストラリアの他の多くのプラントでテスト中である。

最後に、TF コンボバッグの主な利点は次の通りである：

- バッグコストの低下
- より安定したバッグ
- より安定した鑄造開始
- 少ない乱流
- 発煙あるいは発炎がない
- 同等の温度分布
- 同等の圧延スラブ特性

6.0 参考文献

1. S.P. Tremblay, "The manufacturing, design and use of combo bag distributors in sheet ingot casting", Continuous casting, Ed. K. Ehrke and W. Schneider, Wiley-VCH, (2000), 310-315.
2. S. P. Tremblay, & M. Lapointe, "The manufacturing, design and use of a new reusable molten metal distributor for sheet ingot casting", Light Metal, 2002, 1634-1642.
3. S. P. Tremblay and C. Brochu, "Fiberglass fabric filtration and distribution", Aluminium Times, 1(2) (1999), 38-39.
4. C. Brochu, R. Dault, J. Dery and S. P. Tremblay, "Liquid metal filtration and distribution using fiberglass fabric", Light Metal, 1996, 839-844.

7.0 謝辞

関与していただいた 4 プラント、そして特に鑄造工場の方々に謝意を表したいと思います。彼らの参加と提案が TF コンボバッグ技術の前進に大きく寄与しました。加えて、下記の Pyrotek の方々の関与なしにはこの研究は不可能だったでしょう。感謝します。：

協力者：Greg Hunting, Pyrotek Evansville
Don Nikolet, Pyrotek Carlisle
Mick O'Grady, Pyrotek Dubai
Bill Reinert, Pyrotek Evansville
Michel Ruel, Pyrotek Drummondville
Scott Whitcomb, Pyrotek Carlisle