

Étude de l'abreuvement des pièces massives en fonte coulées en sable à prise chimique.

Essais sur éprouvettes
massives (2^{ème} partie)

Study of metal penetration in massive iron castings cast in chemically bonded sand.

Tests on massive
specimens (part two)

PATRICK BEAUVAIS, CTIF, NICOLAS HILY, UNIVERSITÉ DE LA ROCHELLE,
JEAN-BAPTISTE PRUNIER, FERRY CAPITAIN, SANDRA GASPAR, FMGC

Les fonderies fabriquant des pièces de grandes dimensions en fonte sont confrontées à des problèmes de défauts de surface. Ces pièces sont par exemple des contrepoids ou des éléments de plusieurs tonnes pour l'industrie minière, la cimenterie, le domaine de l'énergie...

L'élimination de ces défauts de surface engendre de gros travaux de finition représentant près de 20 % du coût final des pièces.

L'objectif de cette étude est l'amélioration de l'état de surface des pièces massives en fonte lors du processus de fabrication. Cet article fait suite à celui publié dans *Fondeur Fonderie d'Aujourd'hui* n° 264 d'avril 2007 rendant compte des résultats de la première partie de l'étude.

Foundries that make large iron castings must deal with the problem of surface defects. Examples of such castings are counterweights and parts weighing several tonnes used in the mining, cement-making, power generation, and other industries.

Eliminating these surface defects requires major finishing work that can account for nearly 20 % of the final cost of the castings.

The aim of this study is to find ways to improve the surface condition of massive iron castings during the production process. This article continues the one published in *Fondeur Fonderie d'Aujourd'hui* n° 264 of April 2007, which reported the results of the first part of the study.

► Il traite plus particulièrement de la conception d'un plan d'expériences, sa réalisation et l'interprétation des résultats qui ont permis de caractériser l'influence des différents paramètres sur l'état de surface de pièces massives.

En parallèle, a été effectuée la mise au point des montages de caractérisation des matériaux constituant les moules.

Les résultats des différentes investigations permettent de proposer un mécanisme de formation du défaut d'abreuvage.

En final, ont également été observés les interactions entre enduit et sable.

PROBLÉMATIQUE DE L'ÉTUDE

► Les pièces massives en fonte sont coulées dans des moules en sables à prise chimique. Les défauts d'abreuvage les plus préoccupants se retrouvent dans les parties de la pièce difficiles d'accès telles qu'au niveau des noyaux en sable (permettant de réaliser les parties creuses).

Le défaut d'abreuvage

► Les interactions entre le métal et le sable peuvent être à l'origine de défauts de pénétration du métal dans le sable (fig. 1) [1].

Les défauts de pénétration ont lieu lorsque la pression du métal est supérieure à sa tension superficielle et aux forces capillaires du sable.

L'abreuvage se traduit par une excroissance de forme non géométrique, constituée par un mélange intime de sable et de métal, d'aspect spongieux, fortement adhérent à la pièce et généralement localisé dans les parties de sable les plus exposées au métal en fusion et les moins denses.

Les gerces sont des excroissances en forme de veines, généralement perpendiculaires à la surface de la pièce. Ce sont des défauts dus à la dilatation du sable et qui peuvent initier l'abreuvage.

Figure 2 montre les deux principaux défauts :

L'élimination de ces défauts entraîne des opérations de finition longues, difficiles et coûteuses. Le but de cette étude est de déterminer quelles sont les actions et les causes de l'abreuvage et les actions correctives à mettre en place pour limiter le phénomène.

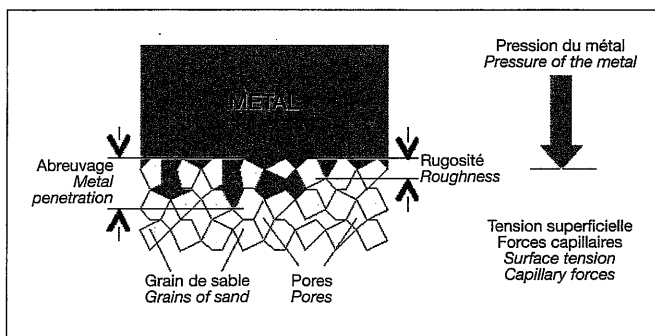


Fig. 1 : Schéma de principe des défauts de pénétration.
Fig. 1: Diagram of principle of penetration defects.

► It deals more particularly with the creation and implementation of an experimental design and the interpretation of the results, which served to characterize the influence of various parameters on the surface condition of massive castings.

At the same time, tests to characterize the component materials of the moulds were developed.

The results of the various investigations make it possible to propose a mechanism of formation of the metal penetration defect.

Finally, the interactions between coating and sand were also observed.

THE PROBLEM INVESTIGATED

► Massive iron castings are made in chemically bonded sand moulds. The most worrying metal penetration defects occur in hard-to-reach parts of the casting, for example those in contact with sand cores (used to make hollow parts).

The metal penetration defect

► Interactions between the metal and the sand can cause defects in the form of penetration of the metal into the sand (fig. 1) [1].

Penetration defects occur when the pressure of the metal is greater than its surface tension and than the capillary forces of the sand.

Metal penetration produces an excrescence of irregular shape, a blend of sand and metal, spongy in appearance, that adheres strongly to the casting and is generally located in the parts of the sand that are most exposed to the molten metal and the least dense.

Veining comprises vein-shaped excrescences, generally perpendicular to the surface of the casting. It is caused by the expansion of the sand, and may initiate metal penetration.

Figure 2 below shows the two principal defects:

Eliminating these defects requires finishing operations that are long, difficult, and expensive. The aim of this study is to identify the mechanisms and causes of metal penetration and the corrective actions that can be taken to limit the phenomenon.

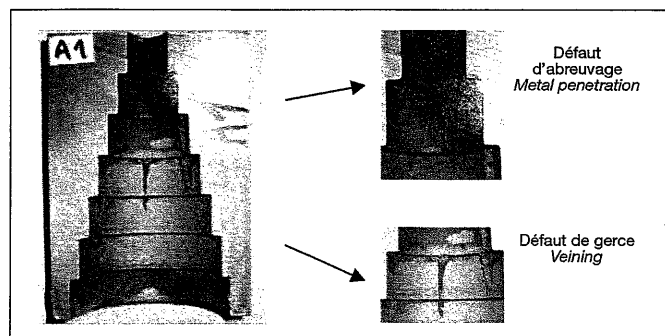


Fig. 2 : Les deux principaux défauts de surface.
Fig. 2: The two main surface defects.

Une étude bibliographique [1] a été réalisée afin d'identifier les causes principales des défauts de pénétration. L'origine de ces défauts pourrait provenir de plusieurs ensembles principaux :

- Le sable de moulage,
- La nature de la fonte utilisée,
- La géométrie de la pièce.

Dans cette étude, seul le cas des sables à prise chimique est traité. Les paramètres concernant ces sables ont été décrits dans des articles antérieurs [1], [2].

■ TRAVAUX ANTÉRIEURS

► Une étude préliminaire [2], a été effectuée afin de retenir les paramètres les plus influents sur les défauts. Deux plans d'expériences ont été menés sur des pièces cylindriques de 14 kg comportant des noyaux de type « step-cone ». Ces éprouvettes (fig. 3) ont la particularité de disposer de plusieurs étages présentant des rapports poids de métal/poids de sable différents.

Un premier plan d'expériences a été mis en œuvre afin de connaître les paramètres les plus influents. Il s'agissait d'un plan fractionnaire « screening » comportant 8 paramètres à 2 niveaux chacun. Les résultats ont montré que les paramètres significatifs de l'abreuvement sont la nature du sable, le serrage du noyau et la présence d'un enduit.

Un deuxième plan d'expériences a ensuite été réalisé afin de connaître les effets de ces paramètres sur l'abreuvement. De plus, cinq enduits déposés en simple et en double épaisseurs ont été testés. Ces enduits se différencient par leur base réfractaire (morphologie et nature chimique).

D'après les résultats obtenus, les paramètres Nature du sable, Type d'enduit et leurs interactions sont significatifs.

Les investigations effectuées sur l'éprouvette « Step-cone » ont montré que les défauts (gerce et abreuvement) diminuent lorsque les noyaux sont en sable de chromite et recouverts d'enduits. Ceci est dû à la faible dilatation de la chromite : le noyau se déforme peu et l'enduit ne se fissure pas. Par conséquent, il n'y a pas pénétration de métal dans le sable. Il apparaît aussi que les défauts sont moindres lorsque l'enduit est de base lamellaire. Il semble que ces enduits soient plus déformables que ceux à base sphéroïdale.

Les éprouvettes « Step-cone » ont permis de sélectionner les principales sources de pénétration. Cependant, les résultats obtenus sur éprouvettes de 14 kg en fonte ne peuvent pas être extrapolés directement aux pièces de plusieurs tonnes.

■ CONCEPTION ET MISE AU POINT DE LA PIÈCE MASSIVE

► Afin d'affiner les résultats obtenus à l'aide de l'éprouvette « Step-cone », une éprouvette massive, présentant un ratio poids de métal sur poids de sable plus élevé, a été conçue à CTIF. Cette éprouvette reflète davantage la massivité des pièces réalisées en industrie.

A review of the literature [1] was carried out in order to identify the main causes of penetration defects. Several main causes are possible:

- The moulding sand,
- The nature of the cast iron used,
- The geometry of the casting.

This study considers only the case of chemically bonded sands. The relevant parameters for these sands were described in previous articles [1], [2].

■ PRIOR WORK

► A preliminary study [2], was conducted in order to identify the parameters that most influence the defects. Two experimental designs were applied to 14kg cylindrical castings having «step-cone» type cores. These specimens (fig. 3) have several stages with different metal/sand weight ratios.

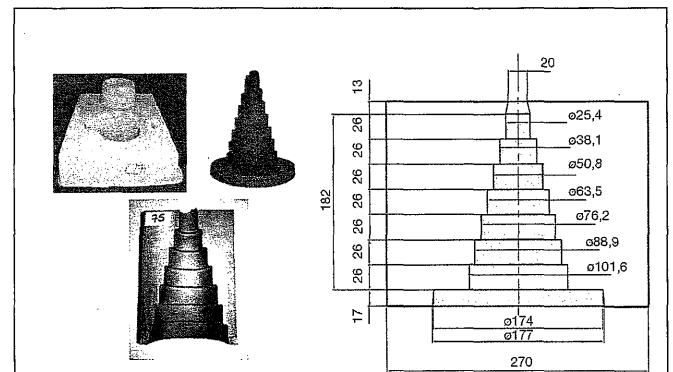


Fig. 3 : Eprouvette « Step-cone ».

Fig. 3 : «Step-cone» specimen.

A first experimental design was applied in order to identify the parameters of most influence. This was a fractional «screening» design having 8 parameters, each with 2 levels. The results showed that the significant parameters for metal penetration are the type of sand, the ramming of the core, and the presence of a coating.

A second experimental design was then applied in order to learn the effects of these parameters on metal penetration. In addition, five coatings, applied in one and two thicknesses, were tested. These coatings differ in their refractory bases (morphology and chemical nature).

The results show that the Type of sand and Type of coating parameters and their interactions are significant.

The investigations performed on the «Step-cone» specimen showed that the defects (veining and metal penetration) are diminished when the cores are made of chromite sand and coated. This is because of the slight expansion of the chromite: the core is deformed rather little and the coating does not crack. In consequence, there is no penetration of the metal into the sand. It also appears that the defects are diminished when the coating has a lamellar base. These coatings seem to be more readily deformable than coatings having a spheroidal base.

The «Step-cone» specimens made it possible to identify the main causes of penetration. However, the results obtained on 14kg cast iron specimens cannot be extrapolated directly to castings weighing several tonnes.

Il s'agit d'une pièce octogonale avec, en son centre, un noyau « porte-noyau » sur lequel on peut fixer 8 noyaux tests en forme de bi-cônes (voir fig. 4). C'est grâce à ces derniers que l'on a pu caractériser les sables à prise chimique. La fonte utilisée est une fonte à graphite lamellaire dont la composition est la suivante : C : 3,34 %, Si : 1,88 %, Mn : 0,73 %, S : 0,050 %, P : 0,016 %. La température de coulée est de 1320 °C. La pièce finale présente une masse de 180 kg.

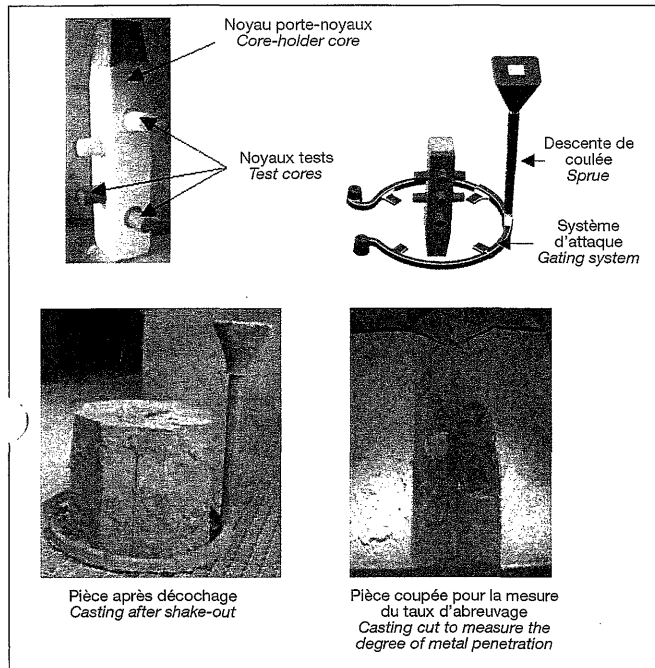


Fig. 4 : Pièce Massive CTIF, noyau porte-noyau et noyaux tests.
Fig. 4: CTIF massive casting, core-holder core, and test cores.

Une simulation thermique (Pam-Quikcast 2005) et une instrumentation ont été réalisées afin de visualiser les sollicitations thermiques du noyau central.

Conception de l'éprouvette massive

Les conditions de réalisation de l'éprouvette massive respectent les points suivants :

Le moule est réalisé en sable siliceux LA32 (sable standard d'indice de finesse 55 AFS) lié par une résine polyuréthane.

Les noyaux tests sont réalisés en sable à étudier, liés par une résine furanique.

Les granulométries des sables à étudier sont :

- La Silice LA32 : 55 AFS
- La Chromite : 61 AFS
- La Silice récupérée : 56 AFS

Le porte-noyau a été réalisé en sable de zircon (104 AFS) lié par une résine polyuréthane et recouvert de trois couches d'enduit à base zircon déposées au pinceau pour le protéger thermiquement et éviter la formation de gerces entre les portées de noyaux à tester.

Simulation thermique de l'éprouvette massive

Une simulation thermique (fig. 5) a été menée afin de définir les zones de l'éprouvette les plus sollicitées thermiquement ainsi que les temps de solidification. Ce dernier paramètre est important car il informe sur la durée d'exposition des noyaux au métal liquide, temps pendant lequel des réactions métal sable peuvent avoir lieu. Nous avons ainsi vérifié que la partie centrale

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE MASSIVE CASTING

In order to refine the results obtained using the «Step-cone» specimen, a massive specimen having a higher metal/sand weight ratio was designed at CTIF. This specimen more accurately reflects the massive character of the castings made in industry.

It is an octagonal casting with, at its centre, a «core-holder» core to which 8 biconical test cores can be attached (see figure 4). It was thanks to these last that it was possible to characterize the chemically bonded sands. The cast iron used is a lamellar graphite cast iron having the following composition: C: 3.34%; Si: 1.88%; Mn: 0.73%; S: 0.050%; P: 0.016%. The casting temperature is 1320°C. The final casting has a mass of 180 kg.

Thermal simulation (Pam-Quikcast 2005) and instrumentation were used in order to view the thermal stresses of the central core.

Design of the massive specimen

The conditions of production of the massive specimen comply with the following points:

The mould is made of LA32 silica sand (standard sand, AFS fineness index 55) bonded by a polyurethane resin.

The test cores were made of the sands to be studied, bonded by a furan resin.

The gradings of the sands studied were:

- LA32 silica: 55 AFS
- Chromite: 61 AFS
- Recycled silica: 56 AFS

The core-holder was made of zircon sand (104 AFS) bonded by a polyurethane resin and covered with three layers of a zircon-based coating, applied by brush, to protect it thermally and avoid the formation of veining between the core prints of the cores being tested.

Thermal simulation of the massive specimen

A thermal simulation (fig. 5) was carried out in order to identify the zones of greatest thermal stress in the specimen and determine the solidification time. This last parameter is important because it provides information about the duration of exposure of the cores to the liquid metal - the time during which metal-sand reactions can occur. We confirmed in this way that the central part of the core-holder is exposed to high temperatures the longest. The central test cores are therefore more likely to exhibit metal penetration.

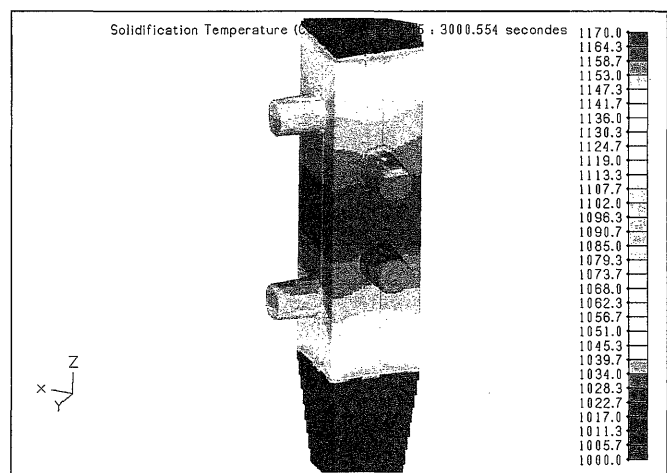


Fig. 5 : Simulation thermique (Pam-Quikcast 2005) du noyau porte-noyau.
Fig. 5: Thermal simulation (Pam-Quikcast 2005) of the core-holder core.

du porte-noyau est la plus longtemps exposée à hautes températures. Les noyaux tests centraux sont donc plus susceptibles d'être abreués.

■ DÉFINITION ET RÉALISATION DU PLAN D'EXPÉRIENCES

► A l'aide d'un plan d'expériences, ont été étudiés les effets des 2 paramètres retenus grâce à l'étude préliminaire réalisée par les éprouvettes « Step-Cone » : la nature du sable et l'enduit. De plus, l'influence de l'épaisseur d'enduit a été caractérisée.

Définition du plan d'expériences

- Les niveaux des facteurs étudiés sont :
- La nature du sable (3 niveaux).
Silice LA32,
Silice récupérée,
Chromite.
 - L'enduit (6 niveaux). Les enduits se différencient par la morphologie des charges réfractaires.

Le tableau I récapitule la composition et le diluant des enduits (eau ou alcool), donnés par les Fiches de Données Techniques (FDT) ainsi que la morphologie des charges réfractaires.

Enduits Coating	Compositions données par les FDT Composition stated by the FS	Morphologie des Charges Réfractaires Morphology of the refractory filler	Diluant Thinner
A	Silicate alumine-graphite-oxyde de fer Alumina silicate-graphite-iron oxide	Lamellaires + granulats Lamellar + granular	eau water
B	Silicate de zirconium, oxyde de zirconium Zirconium silicate, zirconium oxide	Granulats Granular	eau water
C	Graphite/talc Graphite/talc	Lamellaires Lamellar	alcool alcohol
D	Zircon Zircon	Granulats Granular	alcool alcohol
E	Mélange lamellaire réfractaire Lamellar refractory mixture	Lamellaires Lamellar	alcool alcohol
F	Céramiques Ceramic	Mélange Mixture	eau water

Tableau I : Enduits utilisés

Table I: Coating used

L'épaisseur de l'enduit (2 niveaux) (Tableau II)

- Monocouche
- Bicouche

Coating thickness (2 levels) (Table II)

- Single coat
- Two coats

Enduit Coating	Épaisseur en monocouche (mm) Thickness, single coat (mm)	Épaisseur en bicouche (mm) Thickness, two coats (mm)
A	0.4	0.8
B	0.3	0.6
C	0.5	0.9
D	0.25	0.45
E	0.3	0.5
F	0.2	0.4

Tableau II : Épaisseurs types des différents enduits

Table II: Typical thicknesses of the various coatings

■ DEFINITION AND IMPLEMENTATION OF THE EXPERIMENTAL DESIGN

► An experimental design was used to study the effects of the 2 parameters selected in the preliminary study on the « Step-Cone» specimens: the type of sand and the coating. The influence of the coating thickness was also characterized.

Definition of the experimental design

- The levels of the factors studied are:
- Type of sand (3 levels).
LA32 silica,
Recycled silica,
Chromite.
 - The coating (6 levels). The coatings are differentiated by the morphology of the refractory fillers.
- Table I indicates the composition of the coating and the thinner (water or alcohol), as stated by the Fact Sheet (FS), and the morphology of the refractory fillers.

Réalisation du plan d'expériences

Les effets des trois paramètres retenus sont étudiés par un plan d'expériences contenant toutes les combinaisons des niveaux des facteurs. Chaque expérience est répétée 2 fois pour tenir compte de la position des noyaux test. En effet, les essais préliminaires de coulées ont montré que les noyaux-tests centraux étaient de manière générale plus abreuvés que les noyaux placés aux extrémités. Le plan conduit donc à effectuer 72 expériences. Pour chaque éprouvette massive, on peut tester 8 combinaisons ce qui mène à couler 9 pièces massives.

Chaque pièce massive est ensuite grenillée (avec une protection du noyau central), découpée en 4 parties, puis sablée à faible pression (1 bar) afin d'enlever les résidus de sable et de laisser intact l'abreuvage intérieur.

Chaque élément est ensuite noté de 0 (pièce saine) à 5 (pièce totalement abreuvée) par 3 personnes. La moyenne des résultats rend compte du taux d'abreuvage pour chaque combinaison (figure 6).

Implementation of the experimental design

The effects of the three parameters selected were studied by means of an experimental design containing all combinations of the levels of the factors. Each experiment was performed twice to allow for the position of the test cores. This is because the preliminary casting tests had shown that the central test cores generally suffered more metal penetration than the cores placed at the ends. The design therefore led to performing 72 experiments. Each massive specimen could test 8 combinations, so 9 massive castings were poured.

Each massive casting was then shot-blasted (the central core was protected), cut into 4 parts, then sand-blasted at low pressure (1 bar) in order to remove the residues of sand but leave the interior metal penetration intact.

Each part was then rated from 0 (sound casting) to 5 (metal penetration throughout the casting) by 3 people. The mean of the results was taken as the level of metal penetration for each combination (figure 6).

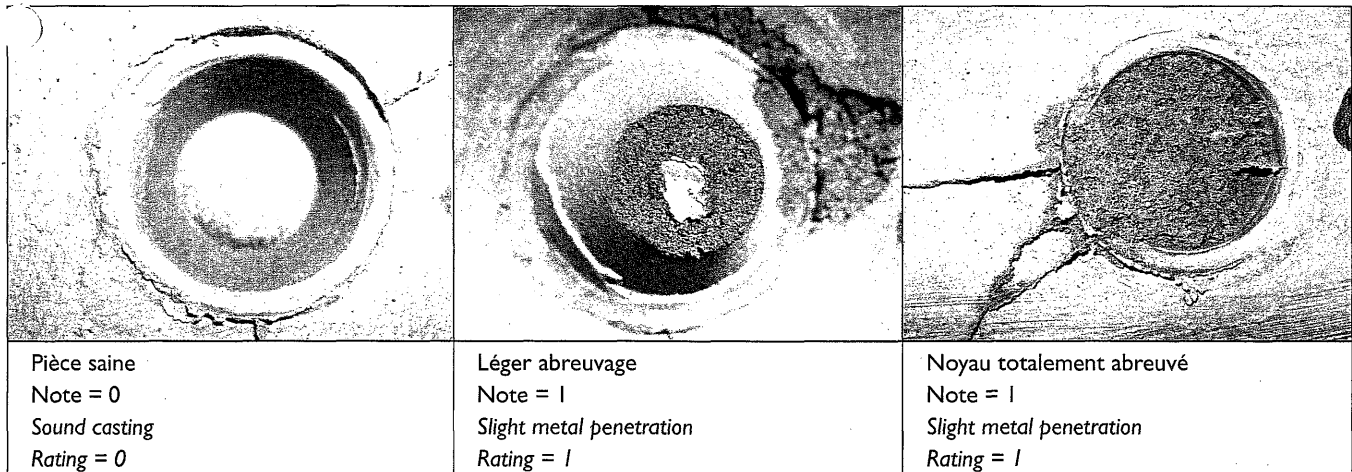


Fig. 6 : Exemples de notations d'abreuvage.
Fig. 6 : Examples of metal penetration ratings.

Résultats et discussions

Les résultats sont ensuite traités à l'aide du logiciel StatGraphics.

L'analyse de la variance permet de déterminer les paramètres du plan d'expériences qui sont significatifs à un niveau de confiance de 95 %.

Les valeurs des probabilités testent la signification statistique de chacun des facteurs. Lorsque la valeur des probabilités est inférieure à 0,05, les facteurs ont un effet statistiquement significatif sur l'abreuvage au niveau de confiance de 95,0 %.

L'analyse de la variance est présentée dans le tableau III :

Les facteurs significatifs sont donc la position du noyau dans l'empreinte, l'enduit, l'interaction sable enduit et la nature du sable. On peut alors, à partir de cette affirmation, refaire une analyse de la variance sans les paramètres non significatifs.

Results and discussion

The results were then processed using StatGraphics software. An analysis of variance was performed to pick out those parameters of the experimental design that are significant to the 95 % confidence level.

The probability values test the statistical significance of each factor. When the value of the probabilities is less than 0.05, the factor has a statistically significant effect on metal penetration to the 95.0 % confidence level.

The analysis of variance is shown in table III:

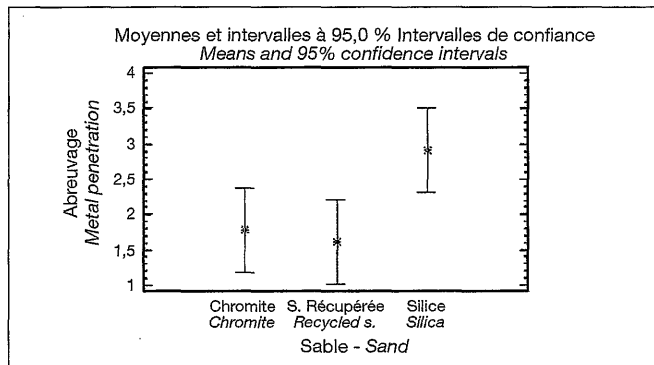
The significant factors are therefore the position of the core in the cavity, the coating, the sand-coating interaction, and the type of sand. When this has been determined, the analysis of variance can be repeated without the non-significant parameters.

Analyse de variance pour abreuvement - Somme des carrés de type III
 Analysis of variance for metal penetration - Sum of type III squares

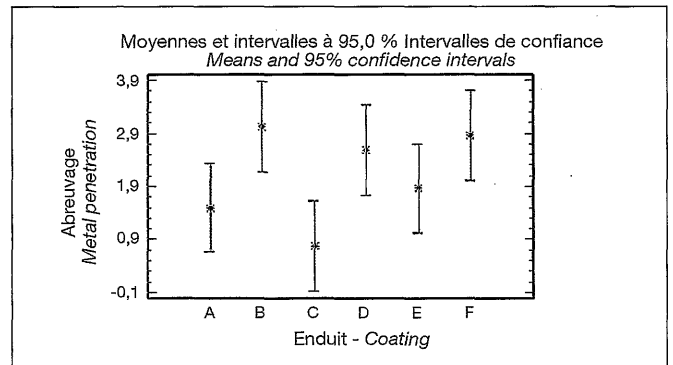
Source Source	Somme des carrés Sum of squares	Ddl DoF*	Carré moyen Mean square	F F	Proba. Prob.
EFFETS PRINCIPAUX - MAIN EFFECTS					
A : SABLE - SAND	24,2346	2	12,1173	5,68	0,0071
B : ENDUIT - COATING	46,0679	5	9,21358	4,32	0,0034
C : EPAISSEUR - THICKNESS	4,5	1	4,5	2,11	0,1549
D : POSITION - POSITION	27,7099	1	27,7099	12,98	0,0009
INTERACTIONS - INTERACTIONS					
AB	66,3951	10	6,63951	3,11	0,0057
AC	1,03704	2	0,518519	0,24	0,7856
AD	7,8642	2	3,9321	1,84	0,1727
BC	8,75926	5	1,75185	0,82	0,5429
BD	13,8457	5	2,76914	1,30	0,2862
CD	0,302469	1	0,302469	0,14	0,7088
RESIDU - RESIDUE	78,9815	37	2,13463		
TOTAL (CORRIGE) - TOTAL (CORRECTED)	279,698	71			

Tous les F sont basés sur l'erreur résiduelle quadratique moyenne. All F are based on the residual mean square error.
 * DoF = Degree of freedom

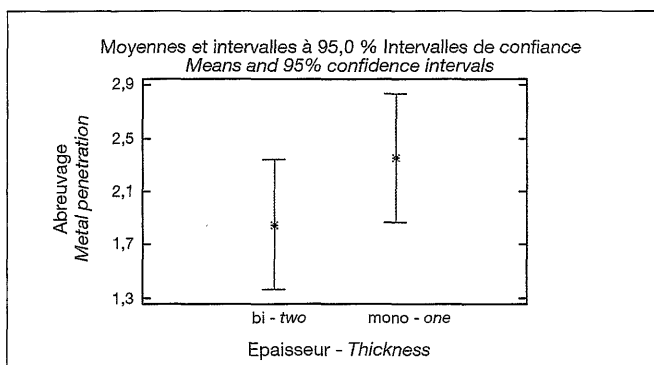
Tableau III : Analyse de la variance pour abreuvement
Table III: Analysis of variance for metal penetration



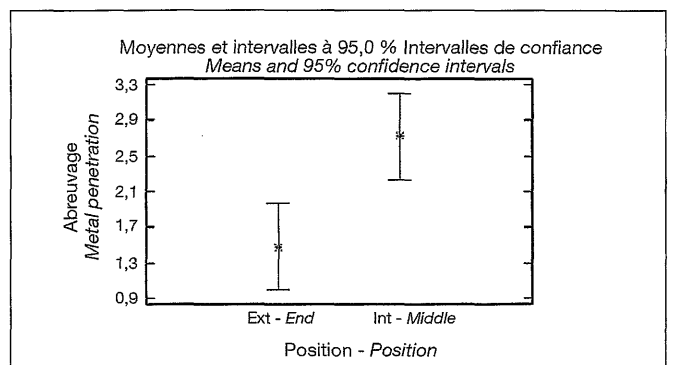
On remarque que les noyaux en silice récupérée et en chromite donnent les meilleurs résultats.
 Note that the recycled silica and chromite cores give the best results.



Les enduits A, C et dans une moindre mesure l'enduit E, se démarquent des autres.
 Coatings A and C, and to a lesser extent coating E, stand out from the others.



On remarque que l'épaisseur n'a pas d'influence significative sur l'abreuvement.
 It can also be seen that the coating thickness has no significant influence on metal penetration.



On retrouve que les noyaux en position centrale sont les plus abreuvés.
 Once again, the cores in the central position are most affected by metal penetration.

Fig. 7 : Moyennes et intervalles de confiance pour chacun des facteurs.
 Fig. 7: Mean and confidence interval for each of the factors.

Grâce aux moyennes des résultats des interactions figurant dans le tableau IV, on en déduit le tableau récapitulatif VI.

Les enduits à bases lamellaires (A, C et E) donnent de meilleurs résultats sur les sables siliceux, tandis que la chromite est mieux protégée avec des charges granulaires (enduits B et D), mais également avec l'enduit C à base de charge lamellaire.

Il est à noter cependant que ce dernier contient une quantité importante de graphite qui joue également un rôle sur la mouillabilité du sable par la fonte.

On remarque que les résultats sur la silice récupérée sont systématiquement meilleurs que sur la silice neuve, excepté dans une moindre mesure pour l'enduit E.

En conclusions, nous pouvons affirmer que le choix d'un enduit doit se faire en fonction de la nature du support, et non pas obligatoirement sur la tenue réfractaire de sa charge.

■ CARACTÉRISATIONS DES SABLES LIÉS ET DES ENDUITS

➤ Une des propriétés principales d'un sable est sa dilatation, qu'une des propriétés principales des enduits réside dans la modification de l'interface métal sable. Afin de caractériser l'influence de l'enduit sur le sable aggloméré, des montages ont été développés et optimisés : noyaux plongés et montage Hot Distorsion Tester (HDT).

Ces différents montages testent l'intégrité de la couche d'enduit sur différents supports après une sollicitation thermique ou mécanique.

Noyaux plongés

➤ Une des hypothèses d'apparition de l'abreuvage est la formation de gerces. Ce test vise donc à caractériser le comportement de l'enduit et notamment son élasticité pour éviter la formation de fissures provoquant la gerce.

Principe de l'essai

➤ L'essai consiste à plonger un noyau cylindrique en sable siliceux dans un bain de fonte et de photographier en sortie du noyau, la fissuration de l'enduit (fig. 10).

Conditions expérimentales

➤ Le tableau V récapitule les températures et les temps d'immersion pour chacune des éprouvettes :

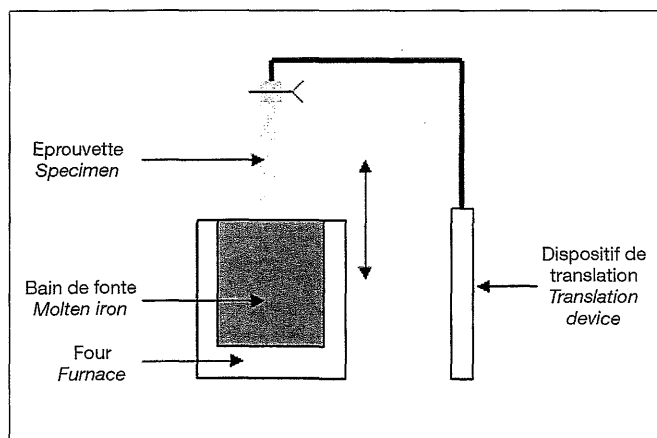


Fig. 10 : Schéma de principe du montage de plongée.
Fig. 10: Diagram of principle of the dipping test.

From the means of the interaction results in table IV, summary table VI is deduced.

The coatings with lamellar bases (A, C, and E) give better results on the silica sands, while the chromite is protected best with granular fillers (coatings B and D), but also by coating C based on a lamellar filler.

Note however that this last contains a large quantity of graphite, which also affects the wettability of sand by cast iron.

It can be seen that the results on the recycled silica are systematically better than on the new silica, except to a lesser extent for coating E.

From all this, we can conclude that the choice of a coating must be based not necessarily just on the refractory quality of its filler, but also on the nature of the substrate.

■ CHARACTERIZATIONS OF THE BONDED SANDS AND OF THE COATINGS

➤ One of the key properties of a sand is its expansion, while the key property of the coatings lies in the modification of the metal-sand interface. In order to characterize the influence of the coating on the bonded sand, tests were developed and optimized: dipped cores and the Hot Distorsion Test (HDT).

They test the integrity of the coating on different substrates after a thermal or mechanical stress.

Dipped cores

➤ One of the hypotheses concerning the occurrence of metal penetration has to do with the formation of veins. This test is therefore intended to characterize the behaviour of the coating, and notably its elasticity, to avoid the formation of cracks causing veining.

Principle of the test

➤ The test consists in dipping a cylindrical silica sand core in a bath of cast iron and photographing the cracking of the coating when the core is withdrawn (fig. 10).

Experimental conditions

➤ Table V indicates the temperatures and immersion times for each of the specimens:

Enduit Coating	Charges réfractaires Refractory fillers	Température du bain (°C) Bath temperature (°C)	Temps d'immersion (s) Immersion time (s)
sans enduit no coating		1440	15
A	L + G	1440	18
B	G	1440	15
C	L	1440	15
D	G	1440	10
E	L	1440	10
F	M	1440	10

Tableau V : Récapitulatif des conditions opératoires pour chacune des éprouvettes

Table V: Operating conditions for each of the specimens

Résultats

►► Ce montage est utilisé pour comparer le comportement de différents enduits et leurs aptitudes à épouser ou non la dilatation d'un sable de silice aggloméré par une résine furanique.

On remarque (fig. 11) la fissuration de l'éprouvette en silice non enduite. Ces fissures sont longitudinales.

Les comportements à la fissuration sont différents d'un enduit à l'autre :

Les enduits A et C ne se fissurent pas pour les conditions de température et de durée d'immersion, tandis que les enduits : B, D, E et F se fissurent mais de façons différentes :

- L'enduit B comporte des fissures radiales,
- L'enduit D présente des fissures longitudinales et d'autres orientées à 45°,
- Enfin, l'enduit E comporte une fissure longitudinale se terminant par 2 autres fissures orientées à 45°.

Results

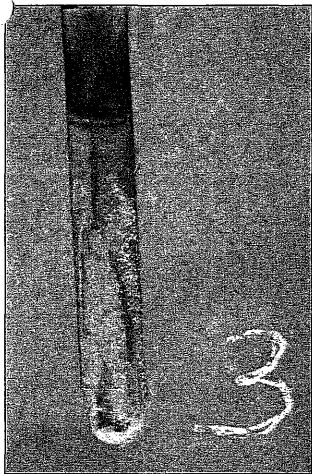
►► This test compares the behaviour of different coatings and their ability or inability to adapt to the expansion of a silica sand bonded with a furan resin.

Note (fig. 11) the cracking of the uncoated silica specimen. The cracks are longitudinal.

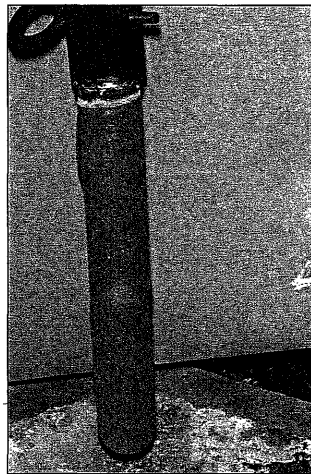
The cracking behaviour differs from one coating to the next:

Coatings A and C do not crack under the given conditions of temperature and duration of immersion, while coatings B, D, E, and F crack, but in different ways:

- Coating B has radial cracks,
- Coating D has longitudinal cracks and cracks oriented at 45°,
- Finally, coating E has a longitudinal crack ending at 2 other cracks oriented at 45°.



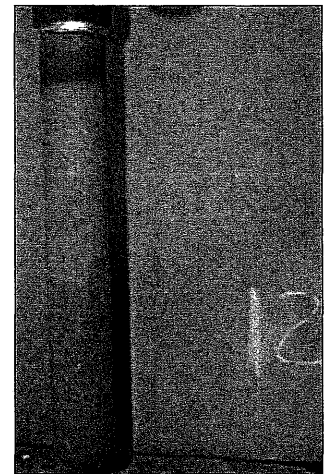
Sans enduit
No coating



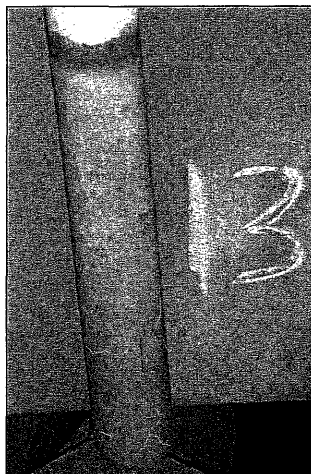
Enduit A
Coating A



Enduit B
Coating B



Enduit C
Coating C



Enduit D
Coating D



Enduit E
Coating E



Enduit F
Coating F

Fig. 11 : Observation des noyaux plongés.
Fig. 11: Observation of the dipped cores.

■ MONTAGE HOT DISTORSION TESTER (HDT)

➤➤ Le test de déformation à chaud mesure les changements de dilatation et de plasticité de sables agglomérés chimiquement. Cet essai a été conçu à l'origine par la BCIRA (British Cast Iron Research Association) pour observer le comportement de différents systèmes de liants [3], [4].

Lors de l'étude, nous avons développé et optimisé ce montage afin d'étudier le comportement thermoplastique des enduits.

Principe du montage HDT

➤➤ L'essai de déformation à chaud (fig. 12) consiste à exposer une éprouvette de sable (1 in x ¼ in x 4 ½ in), fixée à une de ses extrémités, à une flamme et à mesurer la flèche de l'autre extrémité en fonction du temps d'exposition. Le déplacement de la flèche renseigne sur la dilatation du sable et la plasticité de la résine.

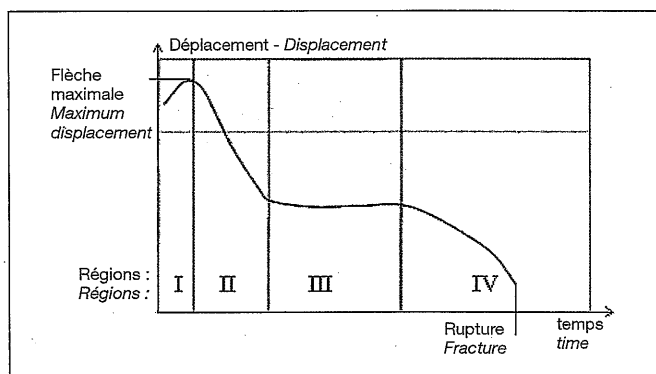


Fig. 13 : Courbe type du montage HDT.

Fig. 13: Typical HDT curve.

Les courbes de déplacements trouvées dans la littérature (fig. 13) présentent quatre régions particulières.

Région I : Montée de l'éprouvette due à la différence de dilatation entre la surface exposée à la flamme et celle de la partie supérieure (création d'un bilame)

Cette portion de la courbe dépend de la nature du sable et de son expansion thermique.

Région II : Relaxation thermoplastique du système liant-résine.

Après un certain temps d'exposition, l'éprouvette est uniformément échauffée et la dilatation est identique dans l'épaisseur de l'éprouvette : l'extrémité de l'éprouvette revient à son état initial. L'affaissement de l'éprouvette résulterait de la charge (masse du capteur de déplacement : 12 g, plus la masse des éprouvettes : réalisées en sable siliceux : 30 g, masse de celles en chromite : 50 g) ainsi que de la perte des caractéristiques du liant.

Région III : Stabilisation ou thermodurcissement.

La plupart des résines sont thermodurcissables ; la thermoplasticité est stoppée et la pente de la courbe change.

Région IV : Dégradation et rupture : la résine est totalement brûlée, l'éprouvette se casse.

Résultats

➤➤ La comparaison entre les différentes éprouvettes se fait principalement en fonction :

- du déplacement maximum,
- du temps à la rupture.

■ HOT DISTORTION TEST (HDT)

➤➤ The hot distortion test measures changes in the expansion and plasticity of chemically bonded sands. This test was originally developed by the BCIRA (British Cast Iron Research Association) to observe the behaviour of different binder systems [3], [4].

In the course of the study, we further developed and optimized this test in order to study the thermoplastic behaviour of the coatings.

Principle of the HDT

➤➤ In the hot distortion test (fig. 12), a cantilevered sand specimen (1 in x ¼ in x 4 ½ in) is exposed to a flame and the deflection of the other end as a function of the exposure time is measured. The time course of the deflection provides information about the expansion of the sand and the plasticity of the resin.

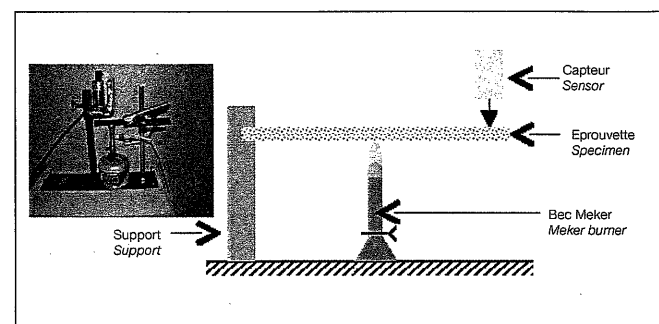


Fig. 12 : Schéma de principe du montage HDT.

Fig. 12: Diagram of principle of the HDT.

The deflection curves found in the literature (fig. 13) exhibit four particular regions.

Region I: Rise of the specimen due to the difference of expansion between the surface exposed to the flame and the upper part (like a bimetallic strip) This portion of the curve depends on the type of sand and its thermal expansion.

Region II: Thermoplastic relaxation of the binder system.

After being exposed for some time, the specimen is at a uniform temperature and its expansion is uniform over its thickness: its end returns to its initial position. The collapse of the specimen would seem to result from the load (mass of the displacement sensor, 12g, plus the mass of the specimen, 30g when made of silica sand, 50g when made of chromite) and the loss of the characteristics of the binder.

Region III: Stabilization or thermosetting.

Most of the resins are thermosetting; thermoplasticity ceases and the slope of the curve changes.

Region IV: Degradation and fracture: The resin is totally burned, the specimen breaks.

Results

➤➤ The various specimens are compared mainly in terms of:

- the maximum displacement,
- the time to fracture.

Comparison of uncoated sands

The distortions of four sands chemically bonded by a furan resin were recorded: new silica, recycled silica, new chromite, and recycled chromite (fig. 14).

Comparaisons entre sables non enduits

Les déformations de quatre sables agglomérés chimiquement par un liant furanique ont été enregistrées : la silice neuve, silice récupérée, chromite neuve et chromite récupérée (figure 14).

Les effets de chaque sable reflètent bien leur dilatation : la silice a une forte dilatation (4 mm de déplacement) tandis que la chromite se dilate très peu (0,5 mm)

On remarque que l'éprouvette à base de silice neuve ne présente pas de comportement thermoplastique : en effet, la rupture intervient juste après le maximum de dilatation. L'éprouvette en silice récupérée, quant à elle, subit moins de dilatation et possède une relaxation thermoplastique (de 25 s) avant la rupture.

La chromite neuve ou récupérée présente une faible dilatation (=0,5 mm) et les région II et III sont confondues : il n'y a pratiquement pas de changement de pente

Sur toutes ces courbes, on observe que plus le maximum de dilatation est élevé, plus la rupture intervient rapidement. Ceci peut s'expliquer par le fait que les éprouvettes en se dilatant se fragilisent (création de contraintes de traction compression).

Comparaison des résultats des sables enduits

Les essais sont réalisés avec les 4 sables, chacun revêtu de 6 différents enduits.

Sur chaque graphe, la référence de l'éprouvette non enduite du sable étudié est reportée en rouge.

A l'aide de ces courbes, on peut comparer les caractéristiques de chaque enduit entre eux :

Effet des enduits sur la silice (fig. 15) :

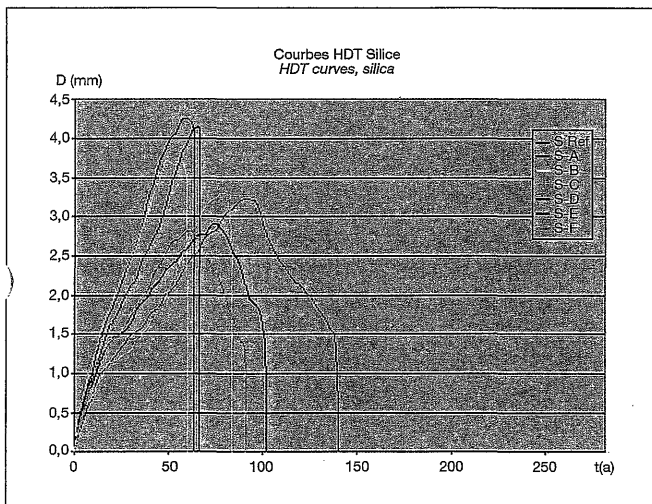


Fig. 15 : Effets de différents enduits sur la silice neuve.
Fig. 15: Effects of different coatings on the new silica.

Les enduits B et D n'apportent apparemment rien sur le comportement de la silice si ce n'est qu'ils diminuent légèrement le maximum de dilatation. En revanche les enduits A, C, E et F diminuent la vitesse ainsi que l'amplitude de dilatation. Les enduits A, E et F permettent une relaxation de la dilatation avant rupture.

Effets des enduits sur la silice récupérée (fig. 16)

Tous les enduits diminuent le maximum de dilatation. Cependant seuls les enduits A, C et E le retardent. Les enduits A, E et F permettent un comportement thermoplastique et ainsi retardent la rupture.

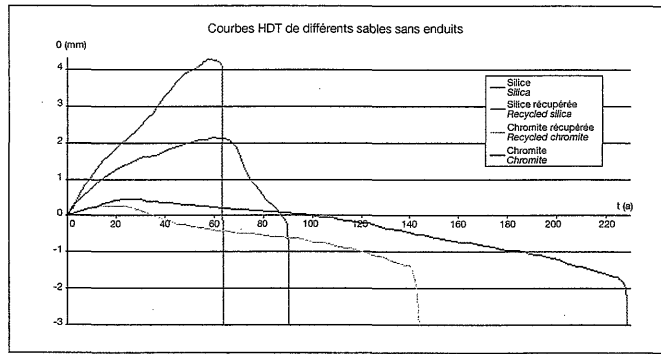


Fig. 14 : Comparaison des comportements de différents sables non enduits.
Fig. 14: Comparison of the behaviours of various uncoated sands.

The effects of each sand correctly reflect its expansion: the silica has a high expansion (4mm displacement), while the chromite expands very little (0.5 mm)

Note that the specimen made with new silica exhibits no thermoplastic behaviour: fracture occurs just after maximum expansion. The specimen made of recycled silica, for its part, undergoes less expansion and exhibits thermoplastic relaxation (for 25s) before fracture.

The expansion of the new and recycled chromites is small (~0.5 mm) and regions II and III are merged: there is practically no change of slope. On all of these curves, it can be seen that the greater the maximum expansion, the earlier the fracture. This can be explained by the fact that, as they expand, the specimens are embrittled (tensile and compressive stresses are created).

Comparison of the results of the coated sands

The tests were performed with the 4 sands, each covered with 6 different coatings.

On each graph, the reference of the uncoated specimen of the sand studied is identified in red.

These curves can be used to compare the characteristics of the coatings:

Effects of the coatings on the silica (fig. 15):

Coatings B and D seem to contribute nothing to the behaviour of the silica, other than to slightly reduce the maximum expansion. On the other hand, coatings A, C, E, and F reduce both the rate and the amplitude of expansion. Coatings A, E, and F allow relaxation of the expansion before fracture.

Effects of the coatings on the recycled silica (fig. 16)

All of the coatings reduce the maximum expansion. However, only coatings A, C, and E delay it. Coatings A, E, and F allow a thermoplastic behaviour and thereby retard fracture.

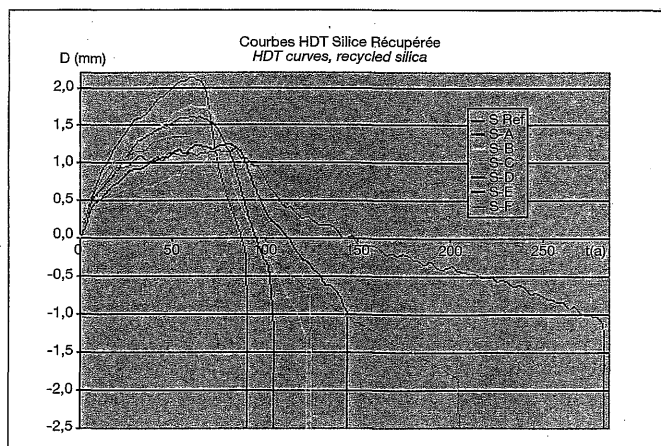


Fig. 16 : Effets de différents enduits sur la silice récupérée
Fig. 16: Effects of different coatings on the recycled silica

Effets des enduits sur la chromite (fig. 17)

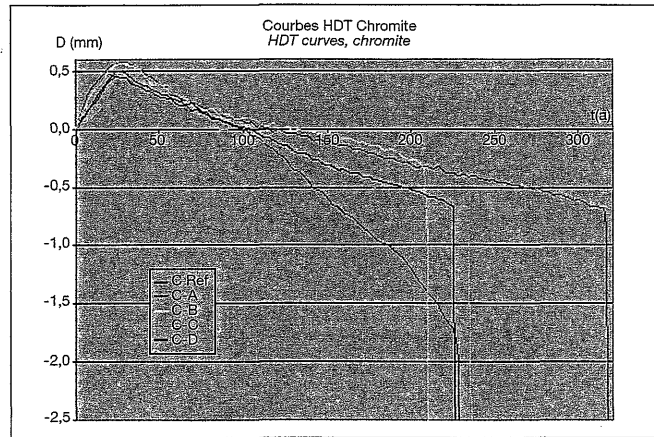


Fig. 17: Effets de différents enduits sur la chromite neuve.
Fig. 17: Effects of different coatings on the new chromite.

La présence des enduits sur les éprouvettes en chromite n'a pas d'influence significative sur la dilatation maximale. Cependant, ils permettent une relaxation linéaire sans toutefois retarder l'effondrement. L'enduit A se détache des autres en augmentant d'environ 90 secondes la rupture.

Effets des enduits sur la chromite récupérée (fig. 18)

De même que pour la chromite, la présence d'un enduit n'a pas d'influence sur la dilatation maximale mais permet une augmentation de la tenue à chaud.

En conclusion, le montage HDT est un des essais qui peut être retenu pour caractériser les enduits et leurs aptitudes à lutter contre l'abreuvage.

CORRÉLATIONS DES RÉSULTATS OBTENUS

On remarque que les résultats obtenus par les différents montages de caractérisation vont dans le même sens : on arrive à corréliser entre elles, les conclusions obtenues par les montages et les résultats de mesure d'abreuvage du plan d'expériences.

En plus des propriétés thermiques des charges réfractaires (les enduits agissent comme une barrière thermique), leurs morphologies ont une incidence sur le comportement à la dilatation.

Les résultats obtenus par les différents essais sont récapitulés dans les tableaux VI à VIII.

Résultats sur les éprouvettes en silice

On peut retenir l'effet bénéfique des enduits à charge lamellaire sur la silice (tableau VI). Ces enduits ont la particularité d'épouser la dilatation du sable. Comme la couche reste intègre, elle permet de limiter la dilatation de la silice. A l'inverse, les enduits à base granulaire se fissurent plus facilement et ne peuvent accompagner la dilatation du support.

La santé des pièces massives (PM) est corrélée avec une baisse du maximum de dilatation, une meilleure stabilité dimensionnelle (apparaissant sur HDT) et une moindre tendance à la fissuration observée par le montage de plongée.

Effects of the coatings on the chromite (fig. 17)

The presence of the coatings on the chromite specimens has no significant influence on the maximum expansion. However, they allow a linear relaxation, but do not for all that delay collapse. Coating A stands out from the others by increasing the time to fracture by approximately 90 seconds.

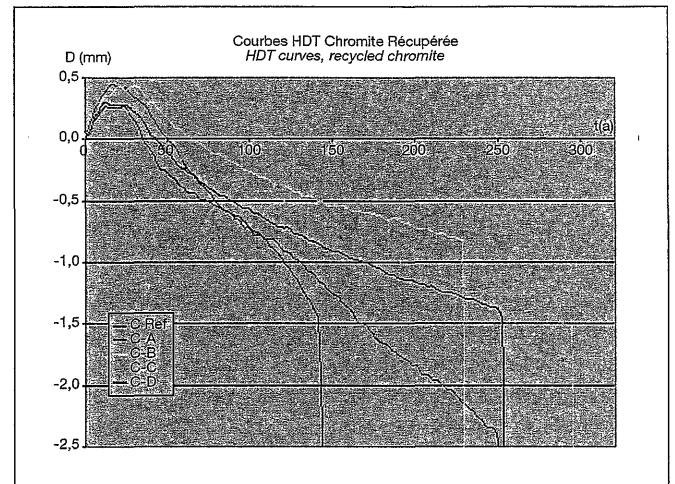


Fig. 18 : Effets de différents enduits sur la chromite récupérée.
Fig. 18: Effects of different coatings on the recycled chromite.

Effects of the coatings on the recycled chromite (fig. 18)

As in the case of the new chromite, the presence of a coating leaves the maximum expansion unchanged but increases the high-temperature strength.

In conclusion, the HDT is a test that can be used to characterize coatings and their ability to combat metal penetration.

CORRELATIONS OF THE RESULTS OBTAINED

It will be noted that the results yielded by the various characterization tests are in qualitative agreement: the conclusions of the tests and the metal penetration measurement results of the experimental design are correlated.

In addition to the thermal properties of the refractory fillers (the coatings act as thermal barriers), their morphologies influence expansion behaviour.

The results of the various tests are summed up in tables VI to VIII.

Results on the silica specimens

Note the beneficial effect of coatings having lamellar fillers on silica (table VI). These coatings have the particularity of adapting to the expansion of the sand. Since the coating remains intact, it can limit the expansion of the silica. Conversely, the coatings with granular bases crack more readily and cannot accompany the expansion of the substrate.

The soundness of the massive castings (PM) is correlated with a lowering of the maximum expansion, better dimensional stability (in the HDT), and a lower tendency to cracking observed in the dip test.

SILICE - SILICA					
Enduits Coating	Charges Réfractaires Refractory filler	PM	HDT		PLONGEE DIP
		Pièce Saine Sound Casting	Maximum de Dilatation Maximum Expansion	Stabilité Dimensionnelle Dimensional Stability	
A	L + G	++	↓↓	++	++
B	G	---	↓	==	--
C	L	++	↓↓	==	++
D	G	---	↓	==	--
E	L	++	↓↓	++	--
F	M	--	↓↓	++	--
L : Lamellaire, G : Granulaire, M : Mélange L : Lamellar, G : Granular, M : Mixture			+ : Effet bénéfique, - : Effet médiocre, = : Pas d'effet + : Beneficial effect, - : Mediocre effect, = : No effect		

Tableau VI : Corrélation des résultats sur sable de silice neuve - Table VI: Correlation of results on new silica sand

Résultats sur les éprouvettes en silice récupérée Results on the recycled silica specimens

SILICE RECUPEREE - RECYCLED SILICA					
Enduits Coating	Charges Réfractaires Refractory Filler	PM	HDT		
		Pièce Saine Sound Casting	Maximum de Dilatation Maximum Expansion	Stabilité Dimensionnelle Dimensional Stability	
A	L + G	++	↓↓	++	
B	G	--	↓	==	
C	L	+++	↓↓↓	++	
D	G	+	↓↓	==	
E	L	+	↓↓	++	
F	M	++	↓↓	++	
L : Lamellaire, G : Granulaire, M : Mélange L : Lamellar, G : Granular, M : Mixture			+ : Effet bénéfique, - : Effet médiocre, = : Pas d'effet + : Beneficial effect, - : Mediocre effect, = : No effect		

Tableau VII : Corrélation des résultats sur sable de silice récupérée - Table VII: Correlation of the results on recycled silica sand

► La silice récupérée a une plus faible dilatation que la silice brute du fait de la présence de liant résiduel. Les propriétés élastoplastiques de l'enduit sur la tenue du sable aggloméré sont moins nécessaires. La comparaison des résultats obtenus (tableau VII) sur les pièces massives et par le montage de Hot Distorsion Tester donne une bonne corrélation : une diminution de la dilatation et une stabilité dimensionnelle entraînent une belle qualité de surface.

► The recycled silica expands less than the new silica because of the presence of residual binder. The contribution of the elastoplastic properties of the coating to the behaviour of the agglomerated sand is less necessary. A comparison of the results (table VII) on the massive castings and in the Hot Distortion Test indicates a good correlation: less expansion and greater dimensional stability go hand in hand with good surface quality.

Résultats sur les éprouvettes en chromite Results on the chromite specimens

► Les résultats obtenus (tableau VIII) pour la chromite ne permettent pas d'être corrélés entre eux car le sable de chromite a une faible dilatation thermique. En conclusion, les montages d'Hot Distorsion Tester et de Plongée sont bien adaptés pour prédire le comportement d'enduits mis en œuvre sur des noyaux en sable siliceux, sujets à une brutale dilatation.

► The results found on the chromite (table VIII) cannot be correlated because the thermal expansion of chromite sand is small. In conclusion, the Hot Distortion Test and Dip Test are well suited to predicting the behaviour of coatings applied to cores made of silica sand, which undergo significant expansion.

CHROMITE - CHROMITE					
Enduit Coating	Charges Réfractaires Refractory filler	PM	HDT		
		Pièce Saine Sound Casting	Maximum de Dilatation Maximum Expansion	Stabilité Dimensionnelle Dimensional Stability	
A	L + G	+	==	+	
B	G	++	==	+	
C	L	++	↓	+	
D	G	+++	==	+	
L : Lamellaire, G : Granulaire, M : Mélange L : Lamellar, G : Granular, M : Mixture			+ : Effet bénéfique, - : Effet médiocre, = : Pas d'effet + : Beneficial effect, - : Mediocre effect, = : No effect		

Tableau VIII : Corrélation des résultats sur sable de chromite - Table VIII: Correlation of the results on chromite sand

CAUSES POTENTIELLES DE L'APPARITION DE L'ABREUVAGE

De toutes les observations faites au cours des expérimentations, on peut dégager différentes causes de l'apparition de l'abreuvage.

Cause I : Une grande dilatation du sable ou une faible élasticité de l'enduit font que ce dernier se craquelle et provoque la pénétration du métal liquide.

Cause II : La destruction du liant augmente la porosité favorisant la pénétration du métal entre les grains de sable.

Cause III : La zone de contact entre le noyau et le métal liquide n'est pas assez importante pour l'évacuation de la chaleur. Le noyau est surchauffé et le métal à son contact y sera liquide plus longtemps d'où une diminution de l'efficacité de l'enduit dans le temps.

Cause IV : La perméabilité trop faible du noyau empêche l'évacuation des gaz émis par la destruction du liant. Ils auraient tendance à s'évacuer au travers de l'enduit, provoquant alors un éclatement de l'enduit.

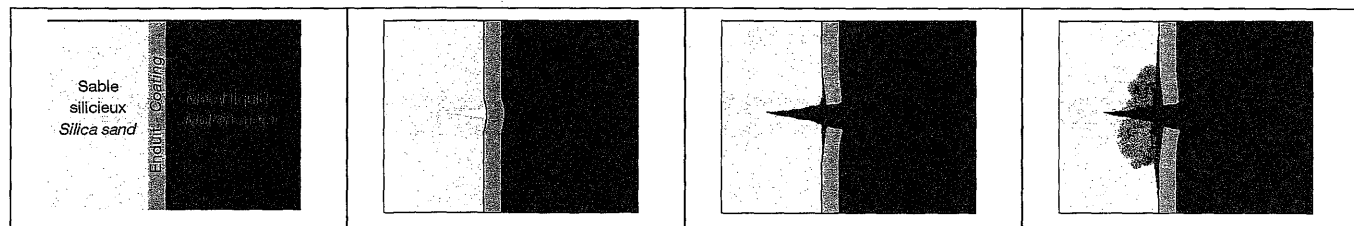
Cause V a : Retrait dimensionnel de l'enduit qui se craquelle lors du séchage.

Cause V b : De mauvaises propriétés rhéologiques : l'épaisseur de l'enduit n'est pas constante en particulier au niveau des angles (fig. 19).

MÉCANISME D'APPARITION DE L'ABREUVAGE

La présence d'un enduit est nécessaire pour lutter contre les défauts de surface. Cependant, cette couche doit rester intègre jusqu'à la solidification du métal.

La dilatation des sables siliceux est la source principale de la fissuration de l'enduit. La figure 20 explique les principaux stades de l'apparition de l'abreuvage : de la création de contraintes dans le sable, à la formation d'une gerce qui initie l'abreuvage.



Stade 1 : Protection de l'enduit.
Stage 1: Protection by the coating.

Stade 2 : Dilatation et création de contraintes qui provoquent la fissuration du sable aggloméré. Léger décollement de l'enduit.
Stage 2: Expansion and creation of stresses that cause cracking of the agglomerated sand. Slight separation of the coating.

Stade 3 : Fissuration de l'enduit et formation d'une gerce. Présence d'un feuillet d'enduit entre la pièce et une lame de métal.
Stage 3: Cracking of the coating and formation of a vein. Presence of a film of coating between the casting and a thin wedge of metal.

Stade 4 : Abreuvage, à partir de la gerce, dans les pores libérés par la destruction du liant.
Stage 4: Metal penetration, from the vein, into the pores liberated by the destruction of the binder.

Fig. 20 : Etapes de formation de l'abreuvage sur sable siliceux.
Fig. 20: Stages of formation of metal penetration in silica sand.

POTENTIAL CAUSES OF METAL PENETRATION

The observations made in the course of the experiments suggest various causes of metal penetration.

Cause I: If the expansion of the sand is large or the coating is not sufficiently elastic, the coating is crazed and penetration of the liquid metal occurs.

Cause II: Destruction of the binder increases the porosity, favouring the penetration of the metal between the grains of sand.

Cause III: The zone of contact between the core and the liquid metal is not large enough to dissipate enough heat. The core is overheated and the metal in contact with it remains liquid for a longer time, with the consequence that the effectiveness of the coating falls off over time.

Cause IV: The excessively low permeability of the core prevents the removal of the gases given off by the destruction of the binder. They then tend to be evacuated through the coating, causing it to burst.

Cause V a: Shrinkage of the coating, which crazes as it dries.

Cause V b: Poor rheological properties: the thickness of the coating is not constant, especially at corners (fig. 19).

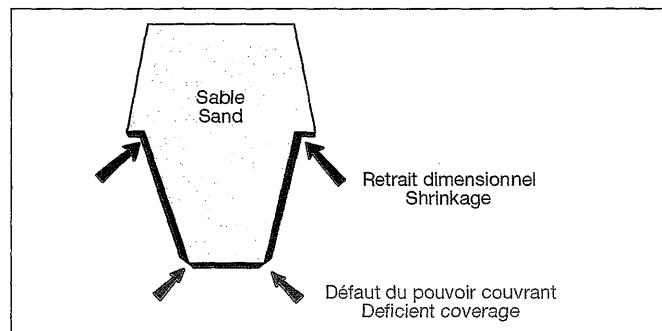


Fig. 19 : Défauts de l'enduit au niveau des angles.
Fig. 19: Defects of the coating at corners.

MECHANISM OF METAL PENETRATION

A coating is necessary to combat surface defects. It must remain intact until the metal has solidified.

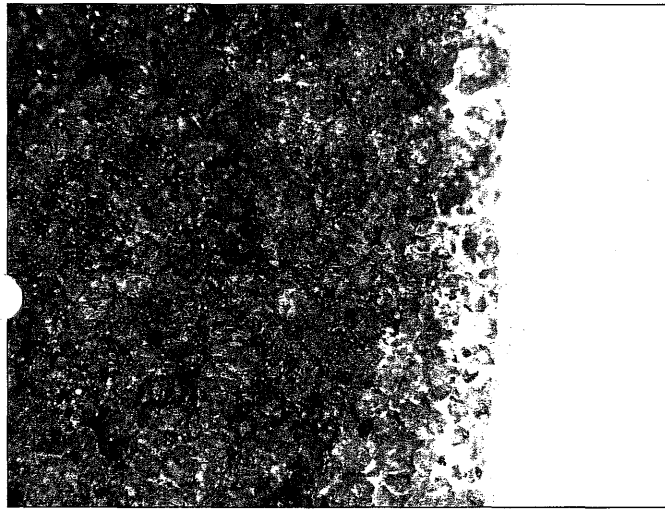
The expansion of silica sands is the main cause of cracking of the coating. Figure 20 shows the main stages in the occurrence of metal penetration, from the creation of stresses in the sand to the formation of a vein that initiates the metal penetration.

■ INTERACTIONS ENDUITS - SABLE

► Pour confirmer les hypothèses précédentes, la pénétration des différents enduits dans les pores du noyau a été analysée. Pour ce faire, des éprouvettes de flexion en sable furanique ont été revêtues par les différents enduits, puis sciées.

L'interface a été observée à la loupe binoculaire, puis par tomographie afin de s'affranchir du trait de coupe.

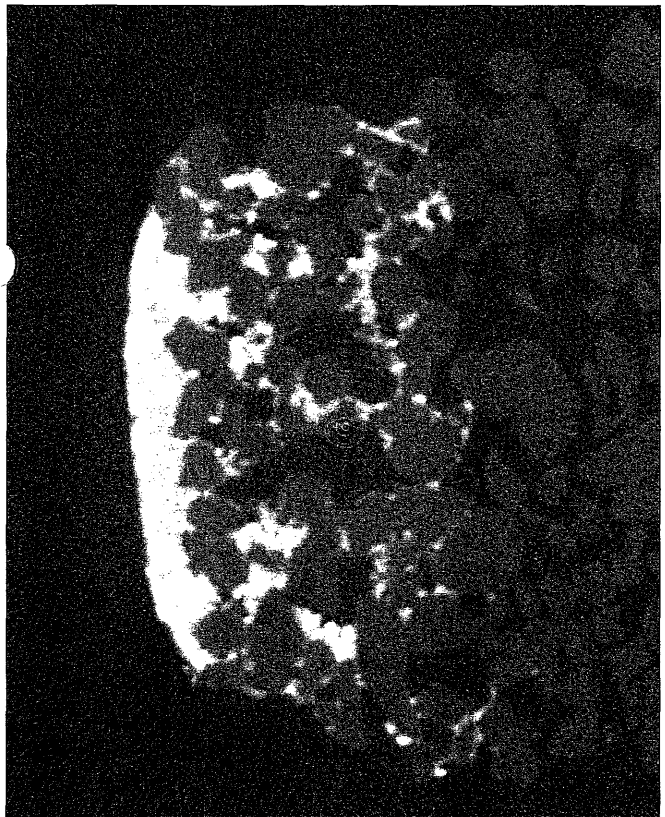
Les figures 21 et 22 illustrent la pénétration d'un enduit à charge granulaire (zircon) et d'un enduit à charge lamellaire (graphite - talc).



Enduit zircon
Zircon coating

Fig. 21 : Examen à la loupe binoculaire de la pénétration des enduits.

Fig. 21: Examination of the penetration of the coating under the binocular loupe.



Enduit zircon
Zircon coating

Fig. 22 : Examen par tomographie de la pénétration des enduits.

Fig. 22: Examination of the penetration of the coating by tomography.

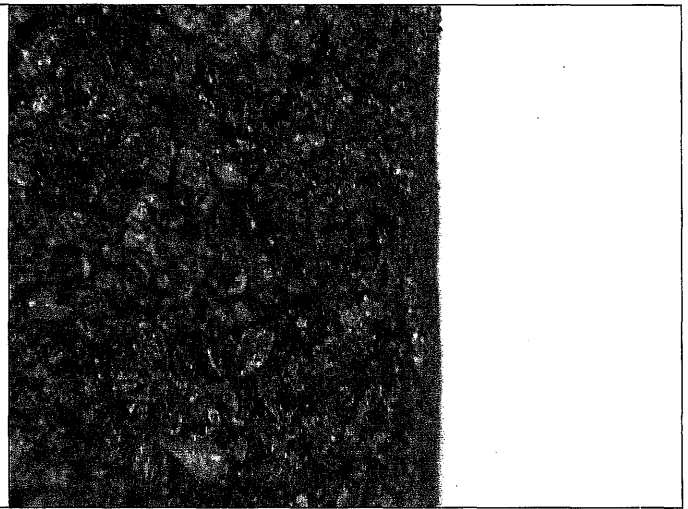
■ COATING-SAND INTERACTIONS

► To confirm the hypotheses above, the penetration of the various coatings into the pores of the core was analyzed.

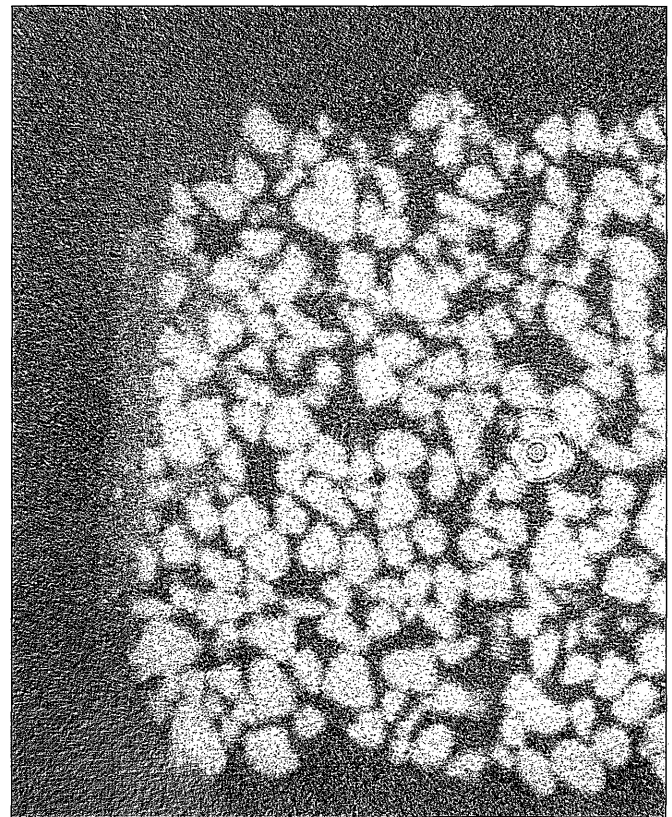
For this purpose, bending specimens of furan-bound sand were coated with the various coatings, then sawn.

The interface was observed under the binocular loupe, then by tomography in order to escape the effect of the kerf.

Figures 21 and 22 show the penetration of a coating having a granular filler (zircon) and of a coating having a lamellar filler (graphite-talc).



Enduit graphite-talc
Graphite-talc coating



Enduit graphite-talc
Graphite-talc coating

On remarque que les charges granulaires pénètrent plus profondément dans les pores existant entre les grains de sable alors que les charges lamellaires restent en surface du noyau.

It can be seen that the granular fillers penetrate more deeply into the pores between the grains of sand, while the lamellar fillers remain on the surface of the core.

CONCLUSIONS

Le choix d'un enduit doit se faire en fonction de la nature du sable utilisé. Pour lutter contre les défauts de fissuration (étape 3), l'enduit doit avoir un comportement élastique. Nous avons remarqué une diminution des défauts d'abreuvement sur les sables siliceux en présence de charges lamellaires. Ces dernières forment en effet une barrière physique pour le métal liquide, quelle que soit la dilatation du support comme le montre le schéma en figure 23.

CONCLUSIONS

The coating must be chosen as a function of the type of sand used. To combat cracking defects (Stage 3), the coating must have an elastic behaviour. We found a reduction of metal penetration defects on silica sands in the presence of lamellar fillers: they form a physical barrier to the liquid metal, whatever the expansion of the substrate, as shown by the diagram in figure 23.

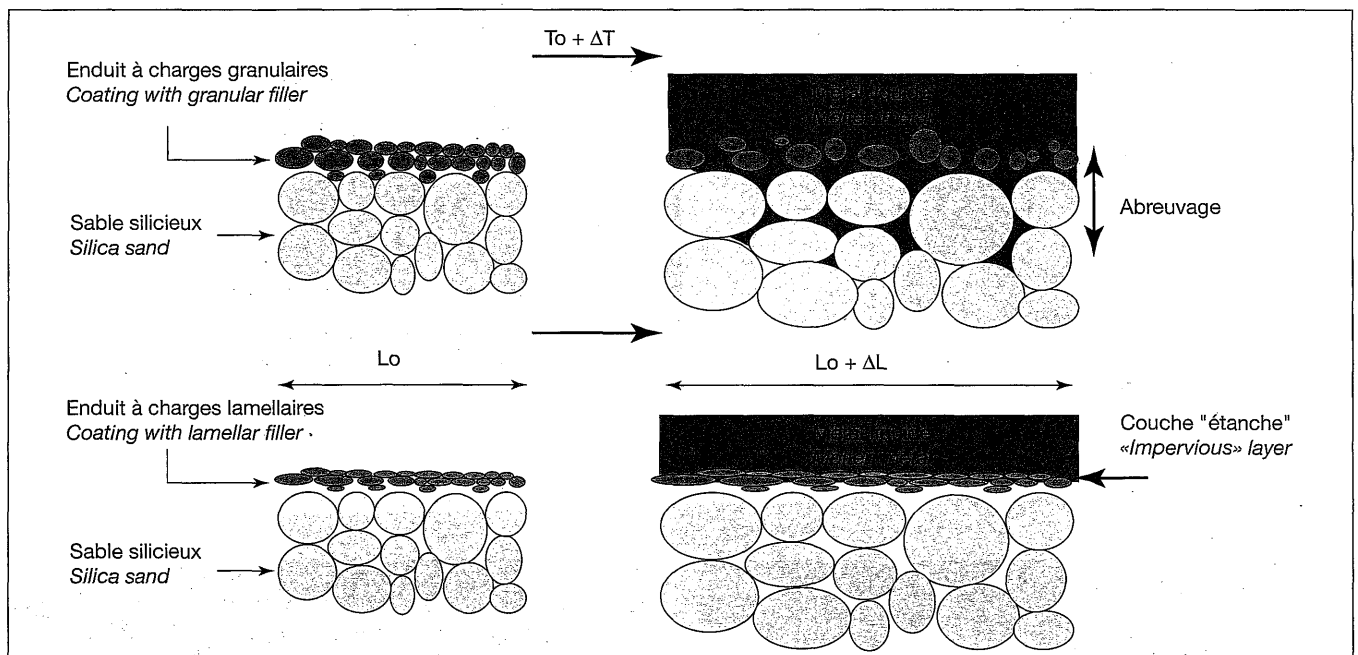


Fig. 23 : Influence de la morphologie des charges de l'enduit sur la pénétration du métal liquide dans le cas d'un noyau siliceux.
Fig. 23: Influence of coating filler morphology on the penetration of the liquid metal in the case of a silica core.

Les sables à faible dilatation, comme la chromite, sont mieux protégés thermiquement par des charges réfractaires granulaires. En effet, ces charges peuvent combler les pores existants entre les grains de sable de chromite. De plus, les charges granulaires présentent souvent une plus grande réfractarité que les lamellaires. Le montage Hot Distorsion Tester est très intéressant pour caractériser la tenue mécanique des enduits. Le montage de plongée servira, quant à lui, à caractériser l'élasticité des enduits. La suite de l'étude sur l'abreuvement consiste en la validation des conclusions sur des pièces industrielles. Elle sera réalisée dans les entreprises partenaires de l'étude (FMGC et Ferry Capitain). Traduit en anglais par B. Corson.

Sands that expand little, such as chromite, are better protected thermally by granular refractory fillers: these fillers can fill the pores between the grains of chromite sand. In addition, granular fillers often have better refractory properties than lamellar fillers. The Hot Distorsion Test is very useful for characterizing the mechanical strength of coatings. The dip test, for its part, can be used to characterize the elasticity of the coating. The rest of the study of metal penetration will consist in validation of the conclusions on industrial castings. It will be carried out on the premises of the partner companies in the study (FMGC and Ferry Capitain).

REFERENCES

- [1] P. Beauvais, A. Colbaut, CTIF. «Abreuvement de pièces massives en fonte coulées en sable à prise chimique». Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui, n° 250, 12/2005, p. 38-46.
- [2] P. Beauvais, C. Pastel. «Abreuvement de pièces massives en fonte coulées en sable à prise chimique. Essais sur éprouvettes (1^{ère} partie)». Fonderie Fondateur d'Aujourd'hui, n° 264, 04/2007, p. 12-27.
- [3] Morgan A. D. et Fasham E. W. The BCIRA "Hot Distorsion Tester for Quality Control in Production of Chemically Bonded Sands". Transactions AFS, mem. n° 91, 1975, p. 73-80.
- [4] Foundry Management & Technology. "Adapting hot distortion curves to process control", mars 1998, p. 22-26.

RÉSUMÉ

ETUDE DE L'ABREUVAGE DES PIÈCES MASSIVES EN FONTE COULÉES EN SABLE À PRISE CHIMIQUE ESSAIS SUR ÉPROUVETTES MASSIVES (2^{ÈME} PARTIE)

Les fonderies fabriquant des pièces massives en fonte moulées en sable à prise chimique sont confrontées à des défauts d'abreuvage.

Cet article traite plus particulièrement de la conception d'un plan d'expérience concernant la coulée d'éprouvettes massives, de sa réalisation et de l'interprétation des résultats qui ont permis de caractériser l'influence des différents paramètres du moulage/inoxyautage sur l'abreuvage de pièces massives.

Les paramètres influents sont la nature du sable, la nature de l'enduit, l'épaisseur de l'enduit, la position du noyau dans la pièce qui conditionne sa sollicitation thermique et l'interaction nature de l'enduit-nature du sable.

En parallèle, la mise au point de montages permettant de caractériser le système sable lié-enduit a été effectuée.

Finalement, les interactions entre enduit et sable ont également été observées. Les résultats de différentes investigations permettent de proposer un mécanisme de formation du défaut d'abreuvage.

Les montages mis au point permettent de caractériser la tenue mécanique et l'élasticité des enduits lors de la coulée. Les résultats obtenus avec ces montages sont en bonne corrélation avec le taux d'abreuvage observé sur les éprouvettes massives coulées.

Le choix d'un enduit (en particulier de la morphologie de sa base réfractaire) doit se faire en fonction de la nature du sable utilisé (silice ou chromite).

Patrick Beauvais, CTIF, Nicolas Hily, Université de la Rochelle, Jean-Baptiste Prunier, Ferry Capitain, Sandra Gaspar, FMGC

Fonderie Fondeur d'aujourd'hui, n°276, Juin-Juillet 2008, p.8

ABSTRACT

STUDY OF METAL PENETRATION IN MASSIVE IRON CASTINGS CAST IN CHEMICALLY BONDED SAND TESTS ON MASSIVE SPECIMENS (PART TWO)

Foundries that make massive iron parts cast in chemically bonded sand moulds must face the problem of metal penetration defects.

This article deals more particularly with the development and execution of an experimental design concerning the casting of massive specimens and the interpretation of the results to characterize the influence of the various moulding/coring parameters on metal penetration in massive castings.

The parameters of influence are the type of sand, the type of coating, the thickness of the coating, the position of the core in the casting, which determines the thermal stresses to which it is exposed, and the interaction between the type of coating and the type of sand.

Concurrently, tests were performed to characterize the bonded sand-coating system.

Finally, the interactions between the coating and the sand were also observed. The results of the various investigations make it possible to propose a mechanism of formation of the metal penetration defect.

The tests applied can be used to characterize the mechanical strength and the elasticity of the coatings during casting. The results obtained in these tests are in good agreement with the level of metal penetration observed in the massive specimens cast.

A coating (in particular the morphology of its refractory base) must be chosen according to the type of sand used (silica or chromite).

Patrick Beauvais, CTIF, Nicolas Hily, Université de la Rochelle, Jean-Baptiste Prunier, Ferry Capitain, Sandra Gaspar, FMGC

Fonderie Fondeur d'aujourd'hui, n°276, June-July 2008, p.8

Las fundiciones que fabrican diversas piezas pesadas de fundición coladas en arena de endurecimiento químico tropiezan con defectos de penetración de metal.

Gießereien, die massive Gusseisenteile in chemisch gebundenen Sandformen herstellen, müssen sich mit dem Vererzungsproblem auseinandersetzen.

In dieser Veröffentlichung geht es insbesondere um die Versuchsplanung für das Abgießen massiver Proben, die entsprechende Versuchsumsetzung und die Auswertung der Ergebnisse; Letztere dienen als Grundlage für die Beschreibung des Einflusses, den die verschiedenen Parameter in Formerei und Kernmacherei auf die Vererzung von Massivteilen ausüben.

Einflussreiche Parameter sind hierbei die Sandbeschaffenheit, die gewählte Schlichte, deren Stärke, die Kernposition im Teil, aus der sich seine thermische Beanspruchung ergibt, sowie die Wechselwirkung zwischen Art der Schlichte und Art von Sand.

Parallel hierzu wurden Versuchsaufbauten ausgearbeitet, um das System aus gebundenem Sand/Schlichte zu beschreiben.

Schließlich wurden auch die Wechselwirkungen zwischen Schlichte und Sand beobachtet.

Aus den Ergebnissen dieser verschiedenen Untersuchungen wurde ein Mechanismus für die Entstehung von Vererzungsproblemen abgeleitet.

Mit den ausgearbeiteten Aufbauten lassen sich die mechanische Haftung und Elastizität der Schichten beim Gießen beschreiben. Es wurde eine gute Übereinstimmung zwischen den mit diesen Aufbauten gemessenen Ergebnissen und dem an den gegossenen massiven Probeteilen festgestellten Vererzungsgrad festgestellt.

Die Schlichte, insbesondere die Morphologie ihrer hitzebeständigen Grundlage, ist je nach Beschaffenheit des verwendeten Sands auszuwählen (Quarz oder Chromerz).

Patrick Beauvais, CTIF; Nicolas Hily, Universität La Rochelle; Jean-Baptiste Prunier, Ferry Capitain, Sandra Gaspar, FMGC

Fonderie Fondeur d'aujourd'hui, n°276, Juni-Juli 2008, p.8

ESTUDIO DE LA PENETRACIÓN DE METAL EN LAS PIEZAS PESADAS DE FUNDICIÓN COLADAS EN ARENA DE ENDURECIMIENTO QUÍMICO ENSAYOS CON PROBETAS MASIVAS (2^ª PARTE)

Las fundiciones que fabrican diversas piezas pesadas de fundición coladas en arena de endurecimiento químico tropiezan con defectos de penetración de metal.

En el presente artículo se trata con mayor particularidad del establecimiento del concepto de un plan de muestreo que se refiere a la colada de probetas masivas, de su realización y de la interpretación de los resultados que han permitido caracterizar la influencia de los distintos parámetros del moldeo/fabricación de macho sobre la penetración de metal de las piezas pesadas.

Los parámetros que influyen son el género de la arena, la naturaleza del enlucido, el espesor del enlucido, la posición del macho en la pieza que condiciona su sollicitación térmica y la interacción género del enlucido-género de la arena.

En paralelo, se ha efectuado la elaboración de montajes que permiten caracterizar el sistema arena ligante-enlucido.

Finalmente, también se han podido observar las interacciones entre enlucido y arena.

Los resultados de las diferentes investigaciones permiten proponer un mecanismo de formación del defecto de penetración del metal.

Los montajes desarrollados permiten caracterizar el comportamiento mecánico y la elasticidad de los enlucidos en el momento de la colada. Los resultados obtenidos con estos montajes guardan buena correlación con el porcentaje de penetración de metal observado en las probetas masivas coladas.

La selección de un enlucido (en particular de la morfología de su base refractaria) debe efectuarse acorde al género de arena utilizada (silicio o cromita).

Patrick Beauvais - CTIF, Nicolas Hily - Universidad de la Rochelle, Jean-Baptiste Prunier - Ferry Capitain y Sandra Gaspar - FMGC

Fonderie Fondeur d'aujourd'hui, n°276, Junio-Julio 2008, p.8

RESUMEN