

Simulazione di Colata Continua

Continuous casting

La modellazione termo-fluidodinamica e di stress

The geometrical setup of continuous casting (CC) processes is in general very simple. Figure 1 shows a typical continuous casting process associated with a corresponding picture of the basic principles. The liquid metal is cast in a mould, having mainly a circular or a squared shape. In the mould the metal is solidifying and drawn out with certain velocity. In order to promote a fast removal of the heat from the strand, which is corresponding to a high productivity of the process, materials with a high thermal conductivity like copper and graphite are used for the mould. Additionally, water spraying directly on the surface of the billet is also often applied to increase the efficiency of production.

Gap formation between the strand and the mould plays an important role in reducing the heat transfer coefficient.

Stress simulation and the influence of the gap formation

ProCAST allows to calculate stress and deformation and therefore also the gap formation between casting and mould.

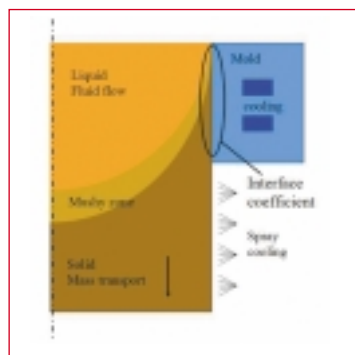
Figure 2 shows the important facts for the heat transport between interfaces and also the tasks which are solved by the ProCAST approach. Since the meshes of the casting and the mould are both deformed in function of the temperature it is not only necessary to find the elements which are facing each other by the non coincident interface algorithm but also to deter-

La configurazione geometrica dei processi di colata continua (CC) è generalmente molto semplice. La figura 1 mostra un tipico processo di colata continua con rispettiva rappresentazione delle principali caratteristiche.

Il metallo viene colato in una lingottiera, solitamente a sezione circolare o quadrata. Nella lingottiera il metallo inizia a solidificare e quindi viene estratto ad una determinata velocità. Per favorire una veloce asportazione del calore dalla billetta, che corrisponde ad un'alta produttività del processo, vengono utilizzati per la realizzazione della lingottiera ma-

1) Tipico processo di colata continua e rappresentazione schematica delle sue caratteristiche base

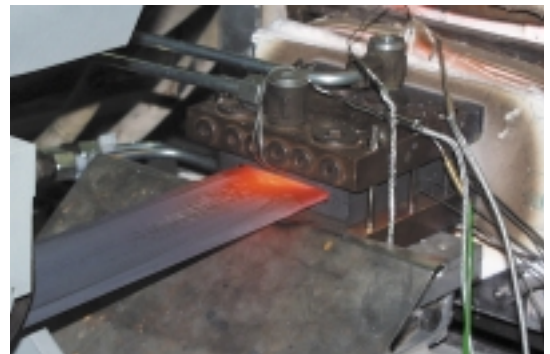
Typical continuous casting process and schematic representation of its basic features



teriali ad elevata conduttività termica come rame e grafite. Inoltre, per aumentare l'efficienza produttiva, spesso viene spruzzata acqua direttamente sulla superficie della billetta. La formazione di un'intercapedine d'aria tra la billetta e la lingottiera ha un ruolo importante perché riduce il coefficiente di trasmissione termica e quindi qualità e produttività dell'impianto.

Simulazione di stress ed influenza della formazione di un intercapedine d'aria

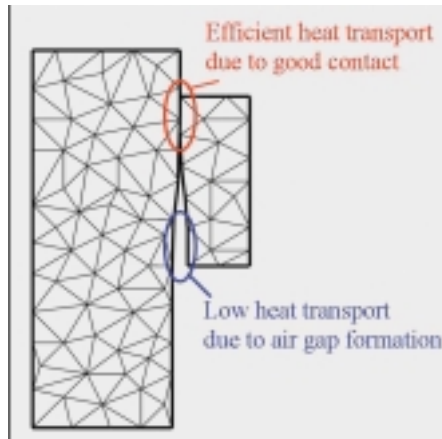
ProCAST permette di calcolare stress residui e deformazioni e quindi di valutare la formazione di un'intercapedine d'aria fra billetta e lingottiera. In figura 2 sono riportati i fattori più importanti per il trasferimento di calore tra le interfacce che vengono simulati con il software ProCAST. Dato



2) Influenza della formazione di un'intercapedine d'aria sul coefficiente di scambio termico

Influence of gap formation to the heat interface coefficient

che billetta e lingottiera vengono entrambe deformate in funzione della temperatura, non è sufficiente trovare soltanto i rispettivi elementi relativi all'algoritmo di interfaccia non coincidente, ma si dovrà determinare anche la loro distanza. A seconda della larghezza del gap d'aria si ridurrà il trasferimento di calore. Dato che ciò influenza la mappa termica e porta ad una deformazione con una conseguente diversa formazione del gap d'aria, è evidente che il comportamento finale dell'intero sistema è difficile da valutare in anticipo e richiede l'utilizzo del simulatore ProCAST.



Riguarda la colata di una lega di rame in una lingottiera in grafite tra due piastre di rame. Nella parte sinistra della figura 3 è rappresentata la mappa termica e nella parte destra le corrispondenti sollecitazioni. Si può osservare una zona ad elevata temperatura al centro della lingottiera (verde scuro), che crea compressione vicino alla billetta e trazione all'esterno della lingottiera in grafite. Questa distribuzione delle sollecitazioni può essere facilmente compresa poichè il materiale più caldo nella zona vicino alla billetta cerca di espandersi di più rispetto alle regioni esterne più fredde. Guardando ora la deformazione della lingottiera in figura 4, si può capire perché lo stampo in grafite ha una zona di temperatura così elevata al centro. A causa della deflessione dello stam-

mine their distance. Depending on the gap width the heat transport will be reduced.

Since this influences the thermal field and leads to a corresponding deformation and therefore to a changed gap formation, it is clear that the final behaviour of the whole system is difficult to estimate in advance and requires such an approach.

Example to horizontal CC of Cu based alloy squared shape

Figure 3 shows some simulation results in the case of a horizontal cc process by a cut along the axis of the process. It is concerning the casting of a copper based alloy into a graphite mould between two copper plates. The left side of figure 3 shows the thermal field and respectively the corresponding stresses on the right side. One can see a high temperature region in the middle of the mould (dark green), which leads to pressure near the casting and tension at the outside of the graphite mould. This stress distribution can easily be understood since the hotter material in the region near the casting tries to expand more compared to the colder regions outside.

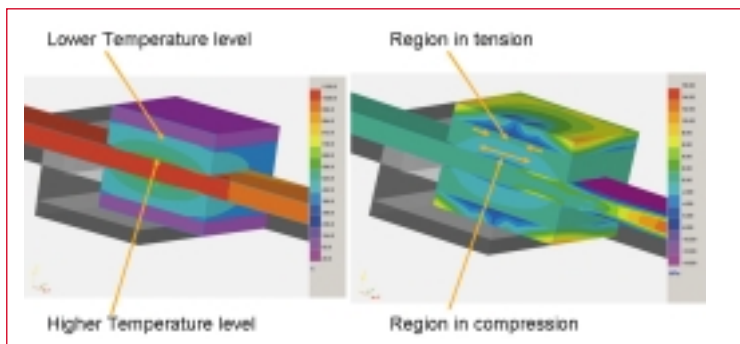
By looking now at the deformation of the mould in figure 4 one can get a hint, why the graphite mould has a high temperature region in the middle. Because of the bending of the mould,

Esempio su CC orizzontale di una sezione quadrata in lega di Cu

La figura 3 mostra alcuni risultati di simulazione nel caso di un processo di CC orizzontale, mostrando una sezione lungo di colata.

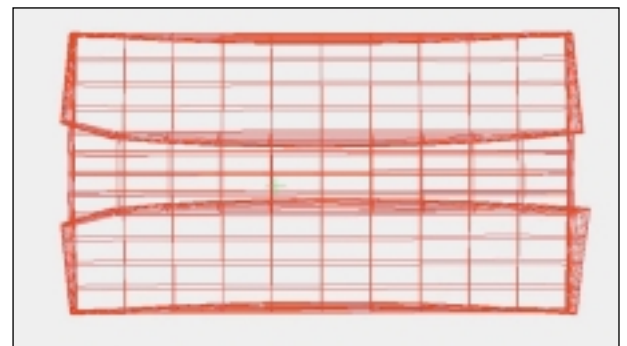
3) Mappa termica e sollecitazioni (ProCast)

Temperature field and the corresponding stresses (ProCast)



4) Deformazione della lingottiera ingrandita di 100 volte

Deformation of the mold 100 times enlarged



the gap width has a minimum in the middle and therefore the heat flow has its maximum at this location. The example shows that an approach, which is taking into account also the stress and deformation deliver quite interesting additional information compared to a thermal calculation only.

Application example to vertical CC of steel rounds

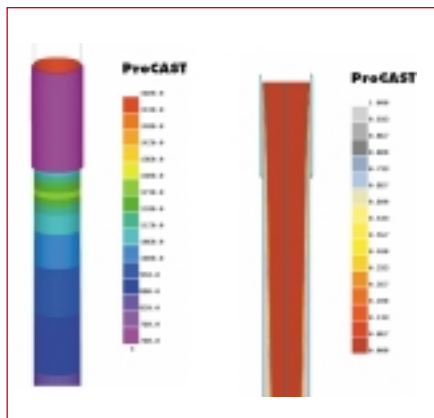
Figures 5 and 6 show a similar application, but now for vertical cc of steel of a round casting. As the casting section is circular, the geometry can further be simplified to a slice by applying a rotational symmetry condition. The steel casting has a radius of 90 mm and the modelled height is 14 m. It is surrounded by a water cooled copper mould.

Figure 5 shows thermal and solidification results, which are influenced by the effect of an air gap forming between the casting and the mould.

In particular, some reheating can be evidenced in the vicinity of the mould exit. This is linked to the important heat source available in the liquid core of the casting.

Figure 6 concentrates on the mould. The first figure on the left shows the temperature distribution in the water cooled mould. Clearly, the inner region that is in contact with liquid steel is substantially hotter than the outer region. The central figure shows the normal stresses. Due to the important temperature gradients existing in the mould, the inner region is under compression (hot and trying to expand), whereas the outer region is under tension (cold and trying to shrink), what was also observed in the horizontal case.

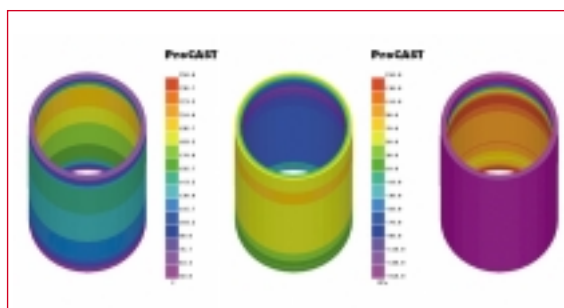
The figure on the right side shows the gap width between casting and mould. Visibly, there is a region in the upper part of the mould where the gap is larger, which can be due to some local distortion of the mould due to high normal stresses.



po, la luce ha una larghezza minima al centro ed il flusso termico raggiunge quindi il suo massimo in questo punto. L'esempio e la realtà mostrano che un simulatore che tiene conto anche delle sollecitazioni e deformazioni, fornisce determinanti informazioni aggiuntive rispetto ad un semplice calcolo termico.

Esempio applicativo su CC verticale di tondini in acciaio

Le figure 5 e 6 mostrano un'applicazione simile, ma questa volta per la colata continua verticale di tondini d'acciaio. Il getto in acciaio ha un raggio di 90 mm e l'altezza modellata è di 14 m. E' circondato da una lingottiera in rame raffreddata ad acqua. In figura 5 sono riportati i risultati di solidificazione, che vengono influenzati dalla presenza di un'intercapedine d'aria che si forma tra la billetta e la lingottiera. In particolare si



5) Distribuzione delle temperature lungo la billetta e relativa sezione

Temperature distribution along the casting on the left and fraction of solid plot in a cross section on the right

può osservare un riscaldamento successivo in prossimità dell'uscita dalla lingottiera. Ciò è dovuto alla grossa sorgente di calore presente nella parte interna liquida della billetta.

La figura 6 si concentra sulla lingottiera. La prima figura a sinistra mostra la distribuzione delle temperature nella lingottiera raffreddata ad acqua. Ovviamente, la parte interna a contatto con l'acciaio liquido è notevolmente più calda rispetto a quella esterna. La figura centrale mostra le sollecitazioni normali. Per via dell'elevato gradiente di temperatura presente nella lingottiera, la parte interna è in compressione (calda e con tendenza ad espandersi), mentre la regione esterna è in trazione (fredda e con tendenza a contrarsi), cosa osservata anche nel precedente processo di CC orizzontale. La figura a destra mostra la larghezza del gap d'aria tra billetta e lingottiera. Risulta chiaramente che vi è una zona nella parte alta della lingottiera in cui l'intercapedine è maggiore, il che può essere dovuto a qualche distorsione locale conseguenza delle elevate sollecitazioni normali.

6) Distribuzione delle temperature nella lingottiera (immagine sx), sollecitazioni normali (immagine centrale) e intercapedine d'aria tra billetta e lingottiera (immagine dx)

Temperature distribution in the mould on the left, normal stresses in the centre and the air gap between mould and casting on the right