

TESTA MOTORE SENZA DIFETTI

La simulazione numerica di un processo di colata permette di individuare le cause delle difettosità presenti nei getti, di suggerire gli eventuali interventi correttivi, di valutare le caratteristiche e le potenzialità del processo

Progettare l'attrezzatura per un processo di colata in gravità di una testa cilindri, in tutti i suoi componenti, in modo corretto e senza alcuna necessità di modifica, è un compito assai arduo anche per il progettista più esperto; per questo motivo, anche nel settore della fonderia per raggiungere gli obiettivi di qualità e flessibilità della progettazione, ci si può avvalere di adeguati strumenti di calcolo in grado di simulare con precisione tutti i fenomeni termofisici che intervengono durante il processo di colata della lega nella conchiglia metallica. In questo contesto si inserisce il contributo decisivo del software Magmasoft® che attraverso un processo produttivo virtuale indirizza la progettazione verso la soluzione economicamente e qualitativamente migliore.

L'analisi di processo è stata utilizzata per lo studio e la risoluzione di un problema metallurgico presente in una testa motore benzina 16V colata in conchiglia e realizzata in lega primaria di alluminio al 10% di silicio; la simulazione in questo caso è stata impiegata per l'eliminazione di un difetto posto nella sezione centrale della testa motore. Le geometrie 3D del getto, della colata, delle anime e delle materozze sono state importate come modello STL direttamente da un modellatore solido quale Pro_Engineer, mentre la conchiglia metallica e l'intero complesso dei circuiti di raffreddamento sono stati modellati direttamente con il pre-processore di Magmasoft. Il modello numerico del sistema è stato suddiviso automaticamente in una mesh ai volumi di controllo, consistente nel suo complesso in circa 12.500.000 celle, delle quali 680.000 relative al metallo.

La temperatura della lega all'istante di colata è stata impostata a 700 °C, mentre alla conchiglia metallica e al-



1. Particolare della sezione della testa motore e del difetto.



le anime in sabbia sono state impostate inizialmente una temperatura uniforme, rispettivamente di 250 °C e di 30 °C. Sono state inoltre definite le condizioni al contorno, ossia i coefficienti di scambio termico tra ogni coppia di materiali a contatto; dette condizioni valgono sia per la fase di riempimento sia per la fase di solidificazione. Infine, sono stati simulati 6 cicli produttivi raggiungendo in maniera efficace le condizioni a regime della conchiglia.

IL DIFETTO

Il difetto in questione è localizzato nella zona centrale della testa motore ed è costituito da una macroporosità concentrata rilevata mediante la prova di tenuta; tale porosità mette in comunicazione il vano olio con l'esterno della testa, portando quindi ad uno scarto del getto.

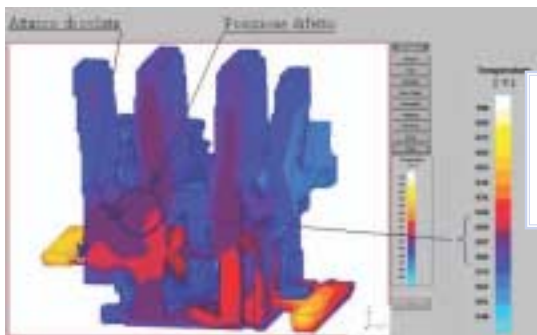
Nelle immagini di figura 1 è possibile osservare le fotografie della testa motore in oggetto in corrispondenza della sezione in cui è concentrata la difettosità.

In seguito all'osservazione del difetto sono state impostate una serie di simulazioni di processo atte ad individuare e risolvere il problema tramite modifiche geometriche sia al getto stesso sia al sistema di colata.

LA SIMULAZIONE

La simulazione ha consentito di descrivere, una volta raggiunte le condizioni di regime, l'andamento dell'intero processo.

Nella figura 2 è riportata un'immagine relativa alla distribuzione di



2. Distribuzione della temperatura della lega di alluminio al termine della fase di riempimento.

temperatura della lega di alluminio al termine della fase di riempimento, che avviene complessivamente in un tempo di circa 15 secondi. Sono illustrate le distribuzioni di temperatura nel metallo liquido in corrispondenza di percentuali progressive di riempimento; tutte queste immagini fanno riferimento alla sezione in cui si manifesta il difetto.

La scala delle temperature utilizzata è compresa tra la temperatura di colata (700 °C) e la temperatura di solidus (540 °C); ad ogni colore corrisponde un intervallo di temperatura, dove ai colori più elevati nella scala corrispondono temperature prossime alla temperatura di colata, mentre ai colori più bassi corrispondono temperature prossime a

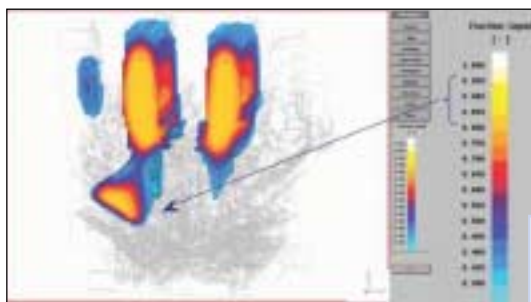
quella di solidus; tale scala permette di visualizzare la presenza di eventuali disomogeneità all'interno del getto.

In corrispondenza della sezione dove si manifesta il difetto è presente un attacco di colata il quale surriscalda localmente la zona critica (come evidenziato nel cerchio).

Fondamentale per lo studio della difettosità presente nella parte superiore del getto si è rivelata la simulazione della solidificazione.

Nella figura 3 è rappresentata un'immagine relativa al criterio della frazione liquida applicato in corrispondenza della sezione critica. La scala dell'immagine è compresa fra 0,3 e 1, dove al valore superiore corrisponde lo stato di inizio solidificazione, al valore inferiore corrisponde lo stato di fine solidificazione mentre le zone completamente solidificate sono in trasparenza.

In seguito a studi sperimentali effettuati sui getti colati in gravità è emerso che quando la percentuale di liquido scende al di sotto del 30%,



3. Distribuzione di frazioni di liquido all'85% della solidificazione.

la capacità della lega di autoalimentarsi si annulla (ecco il motivo del valore inferiore della scala cromatica). Le zone isolate ad elevata frazione liquida sono quelle più a rischio di porosità.

Come è possibile osservare, la zona critica ha un elevato grado di frazione liquida.

Sono stati effettuati numerosi studi che mettono in correlazione le caratteristiche di porosità e microporosità dei getti in lega di alluminio

con i parametri di solidificazione (gradienti termici, velocità di raffreddamento, tempi di solidificazione, ecc.). In generale per le leghe delle famiglie Al-Si-Mg, Al-Si-Cu e Al-Cu è stato osservato che il tempo di solidificazione locale può costituire un buon indice del contenuto di porosità del getto; infatti, al crescere del tempo di solidificazione la porosità tende ad aumentare.

A questo scopo il software MagmaSoft mediante il criterio di "porosity", mette in evidenza le zone a rischio di porosità.

Nella immagine di figura 4 sono rappresentate le sezioni di testa motore del processo reale con il criterio di porosity applicato al processo virtuale; da questa immagine è immediatamente osservabile la bontà della simulazione. La simulazione di processo ha consentito sia di determinare la posizione del difetto



4. Immagine della sezione a rischio di porosità del processo reale e criterio di porosity.

con molta precisione sia di capire perché la porosità si manifesta proprio in quella posizione; infatti, a causa della grossa parte massiva, la zona critica non riesce ad essere alimentata correttamente per tutto il tempo di solidificazione. Per poter porre rimedio al problema è stato possibile agire su due strade diverse:

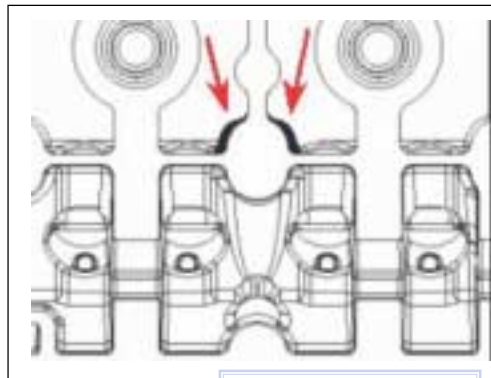
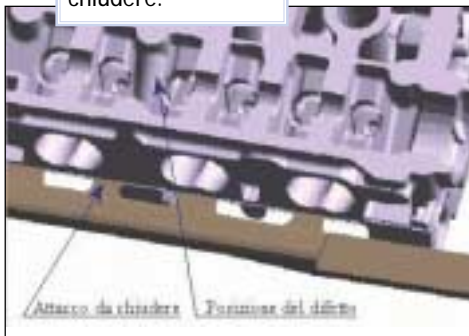
- eliminare l'attacco di colata posto in corrispondenza della grossa

parte massiva,

- allargare l'area di passaggio della lega tra la materozza ed il getto (detta anche collo della materozza) in modo da poter prolungare il tempo di alimentazione.

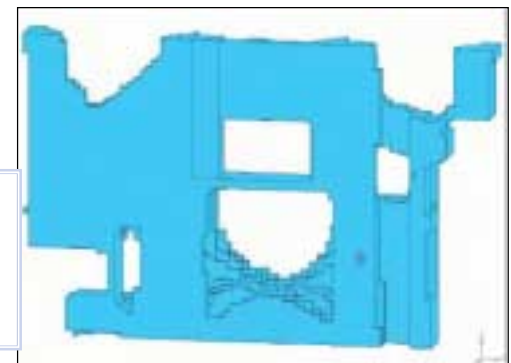
Sono state effettuate altre 3 simulazioni, una relativa al solo primo punto, una relativa al solo secondo punto ed una relativa al primo ed al secondo punto insieme. Questo modo di operare è basilare sia in simulazione sia in ogni processo in cui è necessario effettuare delle prove di qualsiasi tipo su un corpo; è importante, infatti, capire qual è il peso di ogni singola modifica sull'oggetto

5. Porzione della testa motore e del sistema di colata; è rappresentato l'attacco da chiudere.



6. Vista superiore della testa motore; le frecce indicano la modifica apportata alla testa.

8. Criterio di porosity applicato alla sezione in analisi; il difetto è sparito completamente.



7. Distribuzione di frazioni di liquido all'85% della solidificazione.

getto; a questo punto è stato possibile applicare i due interventi contemporaneamente.

Nella rappresentazione della distribuzione di temperatura a fine riempimento, la cui scala cromatica ha gli stessi valori e lo stesso significato di quella di figura 2, è possibile osservare che la temperatura del metallo è più uniforme rispetto alla prima versione oltre che inferiore di circa 20 °C.

Questo calo di temperatura porta a

sottostante, come mostrato anche dal criterio di "porosity" rappresentato in figura 8.

CONCLUSIONI

In seguito alle analisi effettuate ed ai risultati conseguiti è possibile affermare che:

- eliminare l'attacco di colata por-

da studiare. Se venissero effettuate più modifiche contemporaneamente sarebbe impossibile capire quale ha portato ad una soluzione efficace e quali effetti secondari, eventualmente, ne derivano.

Nelle immagini di figura 5 e 6 è possibile osservare la modifica apportata alla geometria del sistema di colata ed alla testa motore.

RISULTATI DELLE MODIFICHE APPORTATE

Le simulazioni effettuate hanno dimostrato che ogni intervento applicato singolarmente porta ad una riduzione dell'entità del difetto senza provocare alcun problema metallurgico secondario in altre parti del

dubbi vantaggi, in quanto la lega essendo più vicina alla temperatura di solidificazione, permette alle materozze di svolgere il loro compito più agevolmente. Nell'immagine di figura 7 è possibile osservare l'immagine relativa al criterio della frazione liquida applicato in corrispondenza della sezione critica; la cui scala cromatica ha lo stesso significato di quella di figura 3.

Come è possibile osservare, la zona critica ha un basso grado di frazione liquida, inoltre è presente ancora un piccolo cordone di liquido tra la materozza ed il getto; questo effetto conduce ad una corretta alimentazione della zona massiva da parte dei montanti a tutto vantaggio della compattezza della struttura

in-

ta ad una riduzione di temperatura all'interno della sezione critica; questo effetto facilita il lavoro delle materozze riducendo contemporaneamente il tempo di solidificazione;

- aumentare il collo della materozza permette alle materozze di prolungare il tempo di alimentazione della testa motore.

Ogni intervento singolo porta ad un miglioramento della situazione senza aggravare la metallurgia del getto in altre zone della testa motore; inoltre, questi due interventi applicati contemporaneamente portano ad una soluzione definitiva del problema.

Ing. I. Dall'Argine, Fonderie Mario Mazzucconi.