

Ottimizzare la velocità del pistone in pressofusione

Le fusioni in alta pressione sono spesso uno dei processi più complessi nel mondo della fonderia per via degli innumerevoli aspetti fisici coinvolti e della loro strettissima rete di relazioni.

È difficile toccare un solo particolare del processo di fusione senza che questo faccia scattare immediatamente una fitta serie di implicazioni e di retroazioni che si riversano sul prodotto finito, a volte anche in modo decisivo.

Un esempio geometricamente molto semplice su cui si è voluta puntare l'attenzione in questo studio è una delle prime fasi del processo di fusione: la rincorsa assunta dal pistone dentro la camera di iniezione al fine di spingere il metallo dentro lo stampo con velocità più o meno elevate.

Oggigiorno le macchine da pressofusione sono diventate quasi dei veri e propri computer, e l'operatore di fonderia si trova libero di definire a proprio piacere ogni più piccolo comportamento della macchina e di avere su questo un controllo molto preciso. Dalla temperatura della camera fino, come in questo caso, a come muovere il pistone in diversi istanti temporali del processo.

Questa libertà da parte dell'utente di definire ogni singolo dettaglio della propria fusione pone però spesso anche nuovi problemi non del tutto banali, ritrovandosi a dover definire la combinazione migliore di parametri al fine di produrre un prodotto eccellente.

L'esperienza sicuramente è la prima fonte di aiuto nel scegliere qualcuno di questi valori, ma individuare la combinazione esatta per creare rapidamente ed economicamente il risultato perfetto può non essere così intuitivo.

Una sfida particolarmente avvincente è proprio legata alla definizione della velocità da imprimere al pistone durante la fase di iniezione del metallo: se si accelera il pistone il più rapidamente possibile per minimizzare il raffreddamento del metallo e al tempo stesso l'ossidazione e il tempo di processo, il fronte d'onda frange e sviluppa turbolenza che portano ad inglobare aria e bolle dentro lo stampo. Al contrario, un movimento lento manterrebbe la superficie del metallo calma, ma il processo risulterebbe più lento, richiedendo una temperatura più elevata e aggravando i costi di produzione.

In passato, a risolvere queste problematiche, sono state studiate soluzioni più o meno semplificatrici che mirano a valutare il moto delle onde all'interno del cilindro e la loro condizione limite di frangimento.

La maggior parte sono principalmente orientate a modellare il problema in una o due dimensioni. XC Engineering ha provato ad affrontare il quesito con un approccio estremamente reale, utilizzando il software FLOW-3D che risolve la dinamica del metallo in moto pienamente 3D e turbolento, e IOSO NM, un software di ottimizzazione non-lineare auto-adattativo della Sigma Technology.

Il caso di studio

L'obiettivo, a fronte del problema presentato, è quello di definire il movimento del pistone più rapido possibile (in quella che viene chiamata "prima fase" del processo di iniezione) minimizzando al tempo stesso la rottura della superficie del metallo e l'inglobamento di aria nello stampo.

Per valutare e ottimizzare tale profilo di velocità è stato definito un ciclo di lavoro basato su 3 passaggi fondamentali: IOSO sceglie il profilo di velocità da applicare al pistone, FLOW-3D simula il comportamento del metallo tenendo conto di ogni multi-fisica e valutando la "qualità" del movimento, IOSO interpreta i risultati e ri-simula l'evento cercando di individuare il profilo migliore per conseguire tutti gli obiettivi dati col minor numero possibile di prove (figura 1).

Studio 3D di ottimizzazione del profilo di velocità del pistone in prima fase

A cura di **Stefano Mascetti**,
XC Engineering srl

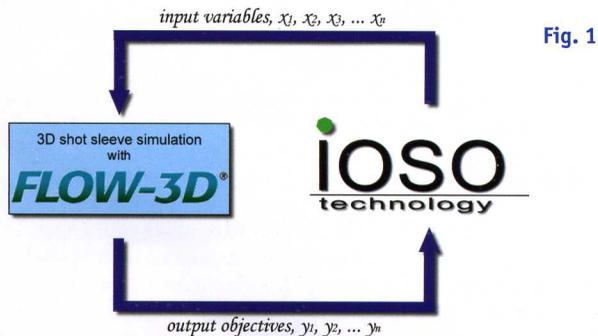


Fig. 1

Setup dell'ottimizzazione

Grazie alla preziosa collaborazione dell'Ing. Alberto Forcolin di Buhler Group – società svizzera leader mondiale nella progettazione e fabbricazione di impianti di produzione alimentare, così come di presse per leghe leggere – si è scelta una macchina di pressofusione di riferimento reale, riempita con una quantità di metallo media per quella macchina e definendo come istante di fine analisi la corsa del pistone corrispondente alla transizione tra prima e seconda fase.

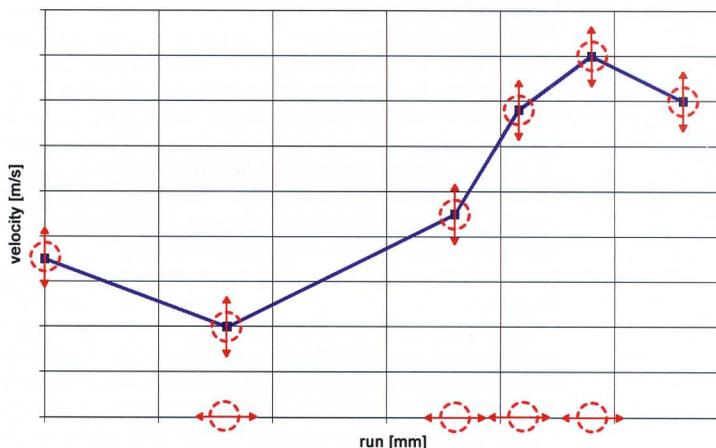
La pressa in questione ha la possibilità di essere programmata impostando fino a 20 punti di corsa e velocità del pistone anche se mediamente per la sola prima fase ne vengono utilizzati circa 4.

Per garantire comunque una buona flessibilità dei risultati e una condizione di lavoro complessa si è deciso di fare lavorare IOSO su 6 punti di corsa, e altrettanti valori di velocità, per un totale di 10 variabili totalmente indipendenti tra loro (la corsa iniziale e quella finale infatti sono date)(figura 2).

Il team di analisi ha ritenuto che la scelta degli obiettivi da impostare nel software doveva chiaramente essere qualcosa di minimo, e al tempo stesso comunque sufficiente a descrivere adeguatamente tutte le possibili fonti di "qualità" o di "difettosità" del problema; la decisione è stata quella di adottare

Velocity Profile

Fig. 2



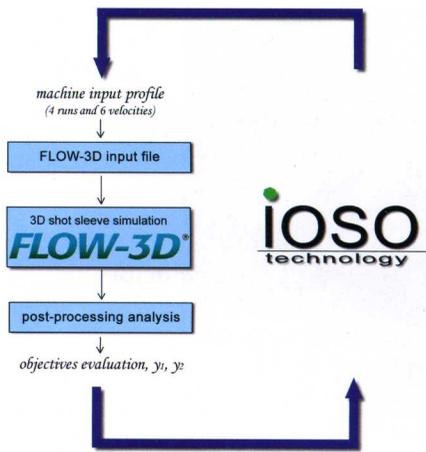


Fig. 3

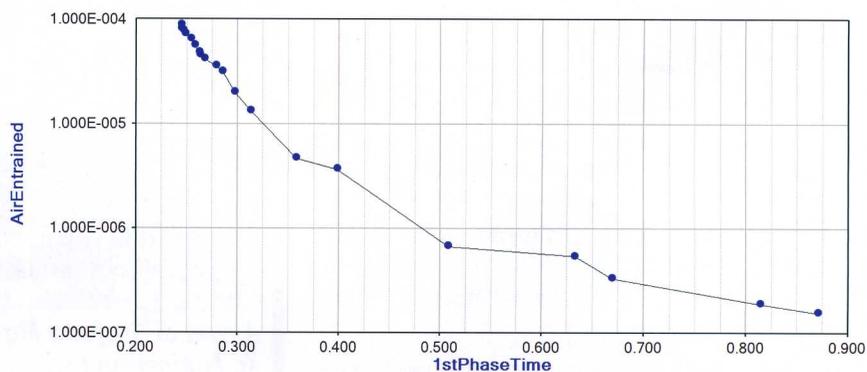


Fig. 4



Fig. 5

due obiettivi concorrenti e di pari livello: minimizzare il tempo totale impiegato per la prima fase del pistone e minimizzare anche il valore di "Air Entrainment" fornito da FLOW-3D nel corso della simulazione e indice dello stato di turbolenza o di rottura della superficie libera del metallo.

Si noti come i due obiettivi individuati non solo siano tra loro contrastanti (accelerare il processo significa rendere più frangente la superficie libera, e vice versa) ma anche di pari livello. La soluzione fornita da IOSO deve quindi essere una curva di Pareto con diverse coppie di set ottimali a seconda di ciascun compromesso tra velocità di prima fase e aria inglobata. E' poi libera scelta dell'utente valutare secondo la propria esperienza quale valore di compromesso si adatta meglio alle proprie esigenze.

Il flusso di lavoro complessivo si arricchisce di qualche passaggio intermedio, diventando quello di figura 3.

Risultati

La prima cosa da affermare è che IOSO non si basa su alcun algoritmo di ottimizzazione particolare ma è una tecnologia che si adatta di volta in volta alla topologia del problema individuandone la superficie di risposta utilizzando fino a 7 logiche concorrenti (ad es.: reti neurali, radial basis, algoritmi genetici, etc...). La topologia di questo problema è molto particolare e assolutamente non lineare.

Dopo qualche simulazione di test per valutare la superficie di risposta infatti IOSO inizia a produrre la propria curva di Pareto e ad individuare alcune soluzioni ottimali.

A fine ottimizzazione la curva di Pareto è quella riportata in figura 4.

Vi sono alcuni risultati notevoli in quella curva: innanzitutto copre un involucro molto ampio e con i due estremi molto robusti. Quest'ultimo aspetto è particolarmente importante nei processi di ottimizzazione in quanto si vuole che la soluzione trovata non sia tanto un'eccezione unica e rara, quanto un va-

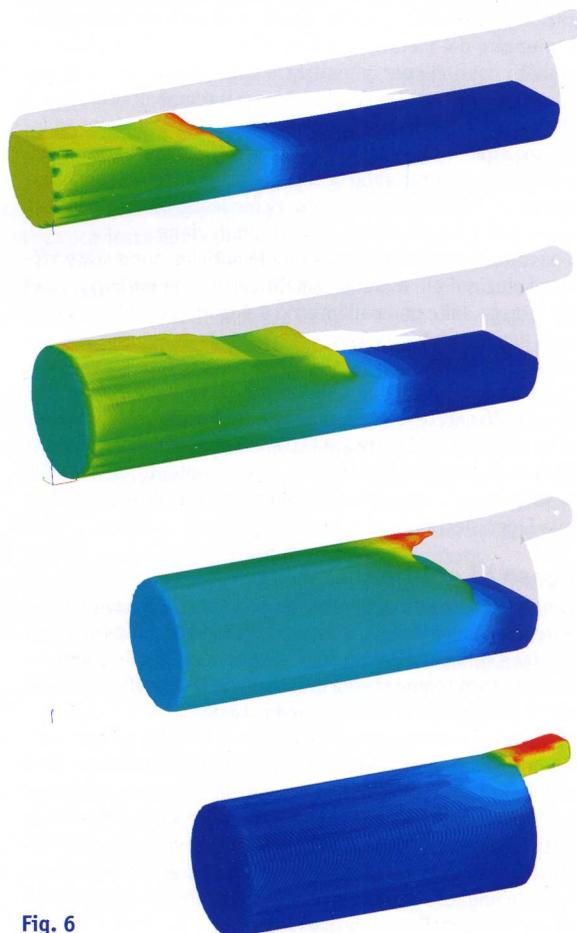
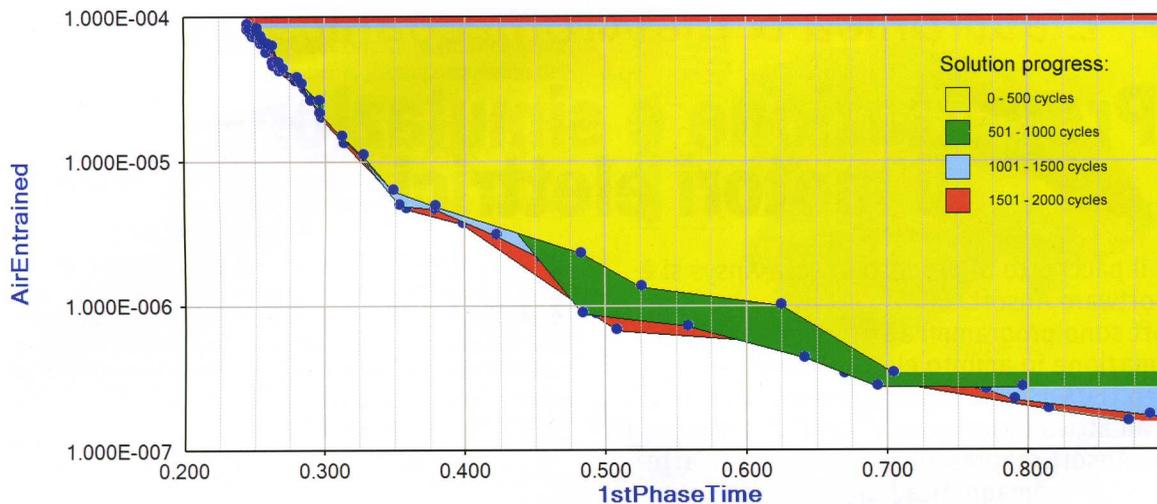


Fig. 6

Fig. 7



lore reale ed utilizzabile anche nel caso in cui la macchina abbia una certa incertezza sul parametro dato.

Il secondo rilievo notevole di questa curva è che, comunque sia, il tempo ottimo da dedicare alla prima fase non supera i 0.9 secondi. Questo rappresenta un processo mediamente del 30% più veloce di quanto invece solitamente si usa in fonderia dove, al fine di assicurarsi la minima presenza di onde superficiali, si tende ad usare tempi più lenti (da 1 a 1.5 secondi) con conseguente maggior raffreddamento del metallo e ossidazione superficiale. Oppure, con un altro punto di vista: un costo maggiore per una qualità inferiore.

Corrispondente al processo più lento vi è inoltre un valore di aria inglobata praticamente nullo.

Ogni punto appartenente alla curva è un valore ottimale, e rappresenta il miglior profilo di velocità da attribuire al pistone per quel determinato compromesso tra aria inglobata e tempo di processo.

Attualmente si tende a dare maggior importanza all'aria inglobata, anche a discapito di un processo più lento, e quindi non è difficile che tra tutti i punti della curva individuati l'utente vada a scegliere quello estremo destro.

Il profilo di velocità relativo a quel punto è illustrato in figura 5 e, come già detto, ha un valore di aria inglobata prossimo a zero. È sorprendente notare come l'andamento individuato dal software IOSO, tra le infinite possibilità di accelerazione o decelerazione, è molto simile a quanto viene attualmente utilizzato sulle macchine Buhler secondo l'esperienza acquisita: un'accelerazione iniziale lenta e prolungata, un breve tratto a velocità costante, e infine una rapida accelerazione. Il profilo non segue quindi solo la logica umana, ma individua tra tutte le curve simili quella migliore.

Secondo le teorie mono-dimensionale l'andamento ottimale del pistone è quello che cattura l'onda mossa senza darle il tempo di riflettersi né di frangersi: guardando un'animazione della simulazione (figura 6) la prima impressione è che questa teoria è stata scoperta e adottata in modo autonomo anche dal software.

Più esattamente, il pistone controlla l'onda presente all'interno del cilindro:

- incrementando rapidamente la pendenza del suo fronte senza frangerlo, e innalzando il livello a monte del metallo a contatto col pistone;
- quando l'altezza a monte sta per raggiungere e toccare l'altezza massima del cilindro l'accelerazione è ridotta gradatamente, in modo da ritardarne il più possibile il contatto;
- non appena l'onda tocca la parte superiore del cilindro formando una piccola appendice allora il pistone viene immediatamente accelerato, per far sì che questa non cada e resti adesa al cilindro.

L'onda generata dal pistone quindi è controllata da IOSO in modo tale da raggiungere elevati angoli di pendenza senza darle il tempo di frangersi, ed è immediatamente rincorsa e catturata dal pistone non appena questo equilibrio non può più essere mantenuto (negli ultimi istanti di processo), preven-

nendo la formazione di pericolose bolle d'aria.

Il software di simulazione fluidodinamica FLOW-3D è particolarmente efficiente per questo tipo di applicazioni, in quanto il solver è stato appositamente studiato e ottimizzato per risolvere fenomeni transitori e con un'elevata precisione nel monitorare la superficie libera del fluido anche in condizioni estreme di forte rottura, come avviene in pressofusione.

Per di più, l'algoritmo FAVORTM del software, è in grado di fornire una rapida rappresentazione dei corpi solidi in movimento con un approccio a mesh fissa.

Tutto questo consente di eseguire molteplici simulazioni di uno stesso processo in modo molto rapido, un aspetto assolutamente critico e fondamentale quando si parla di ottimizzazione di un processo.

Conclusioni

A conclusione possiamo quindi affermare che a fronte di macchine di pressofusione sempre più evolute e programmabili la scelta iniziale dell'utente può non essere semplice, aprendo allo stesso tempo però le porte alla possibilità di avere un processo ottimale e di altissima eccellenza.

Nell'esempio illustrato, grazie all'uso accoppiato di FLOW-3D e IOSO, è stato possibile individuare un setup della macchina talmente ottimale da poter contemporaneamente sia ridurre la durata del processo sia migliorare la qualità del prodotto finito.

Processi di ottimizzazione analoghi possono essere applicati a disegni ben specifici, con contenitori e livelli di metallo caratteristici di ogni ambiente produttivo.