

Smart Lubrication System: sistema di controllo lubrificazione stampo in funzione della temperatura superficiale

L. Baraldi, R. Boni

La fase di lubrificazione stampo riveste un'importanza determinante sia dal punto di vista della cadenza produttiva che della qualità della produzione. La spruzzatura di distaccanti a base acqua asporta la maggior parte del calore di solidificazione e raffreddamento dell'alluminio che ammonta a circa 250 Kcal per ogni Kg. di lega e crea uno strato sulla cavità dello stampo che favorisce lo scorrimento della lega e riduce l'effetto chimico-fisico di adesione. A tutti è noto l'effetto di incollaggio dell'alluminio all'acciaio tanto più evidente quanto più alta è la temperatura del metallo, la velocità e la pressione finale, fenomeno noto come "metallizzazione". Nel presente lavoro saranno riportati i risultati ottenuti "in campo" con la tecnologia "Smart Lubrication System": sistema di controllo lubrificazione stampo in funzione della temperatura superficiale".

Parole chiave: pressocolata, tribologia, lubrificazione, impianti e attrezzature

PREMESSE

Eccessi di distaccante sviluppano gas, durante il riempimento, che causano porosità nel getto e possono raffreddare eccessivamente lo stampo nei transitori di riscaldamento aumentando il numero degli scarti.

La necessità ottimale prevede l'utilizzo di un distaccante con basso calore specifico ed alta capacità lubrificante, nella fase di avviamento della produzione quando lo stampo non ha ancora raggiunto la temperatura di esercizio e la possibilità di variare il tempo di spruzzatura durante la produzione, in funzione delle variazioni di temperatura dello stampo quando la macchina è a regime.

La temperatura dello stampo che, in condizioni di produzione normale dovrebbe rimanere costante, per ogni zona della superficie e nello stesso momento del ciclo, è in realtà influenzata dalle fermate dovute alle cause più diverse ma che rappresentano la realtà nella vita pratica della fonderia e dalle variazioni delle condizioni esterne come: temperatura del metallo, temperatura dell'acqua di raffreddamento ed in alcuni casi particolarmente sensibili anche dalle condizioni dell'ambiente.

Sempre più diffuso è l'uso di centraline di termoregolazione degli stampi ma abbiamo visto come la quantità maggiore delle 250 Kcal che bisogna sottrarre allo stampo per ogni kg di lega pressofusa vengano asportate dal distaccante spruzzato sulla superficie dello stampo.

I canali di raffreddamento che si possono realizzare nello stampo sono spesso limitati da restrizioni geometriche dovute alla conformazione della figura, alla presenza degli estrattori e dall'esigenza di non passare troppo vicini alla superficie dell'impronta per non incorrere in rotture premature delle matrici.

Se per ottenere cicli produttivi rapidi è necessario disporre, da un lato, di una grande potenza di raffreddamento e cioè grandi portate di fluido a bassa temperatura, dall'altro si corre il rischio di rotture dovute al gradiente di temperatura.

Gli acciai a caldo al 5% di Cr usati per le matrici sono cattivi conduttori di calore e quindi il differenziale di temperatura tra la pelle a contatto con il metallo fuso e la parte interna dove scorrono i canali di raffreddamento genera forti tensioni da dilatazione termica.

La fase più critica per la vita dello stampo è quella di raffreddamento quando si nebulizza il distaccante a base acqua sulla superficie calda dell'impronta perché nascono forti tensioni di trazione dovute alla brusca contrazione degli strati superficiali rispetto alla parte sottostante che si raffredda molto più lentamente per la ridotta conducibilità termica. E' noto come il carico di rottura a trazione sia più basso rispetto a quello a compressione e così anche la resistenza a fatica.

Da ciò si conclude che il preriscaldamento degli stampi è importante per velocizzare la messa a regime della produzione ma ha un limitato effetto sulle rotture superficiali dovute alla fatica termica.

Altrettanto importante è l'effetto della temperatura dello stampo sulla qualità dei getti ed è evidente come la termoregolazione dello stampo effettuata con le centraline di termoregolazione abbia un effetto molto blando in quanto viene regolata la temperatura del fluido e non della superficie dello stampo. Si possono usare termocoppie inserite direttamente nello stampo ma anche queste, a meno di non essere posizionate molto vicine alla superficie, con problemi di resistenza meccanica, hanno una notevole isteresi e l'effetto di correzione lasciato alla variazione di temperatura del fluido di raffreddamento è contenuto e con una variabile di tempo molto alta. Bisogna anche considerare che l'uso dell'acqua limita la temperatura del fluido a 120 °C (circuiti pressurizzati) mentre i fluidi termici che possono arrivare a 350°C hanno un calore specifico che è la metà dell'acqua e di conseguenza non sono idonei ad asportare grandi quantità di calore in tempi brevi.

I modelli di simulazione, oggi largamente usati, permettono di fare simulazioni precise della dinamica termica dello stampo con diverse geometrie dei canali di raffreddamento e, senza addentrarci ulteriormente nell'argomento, possiamo affermare che:

- La costanza della temperatura dello stampo è essenziale per la qualità del prodotto e per la vita dello stesso.
- La temperatura più importante è quella della pelle dell'impronta, soggetta ai cicli termici più importanti.

L. Baraldi
Baraldi Lubrificanti Srl, Osteria Grande (BO-Italy)

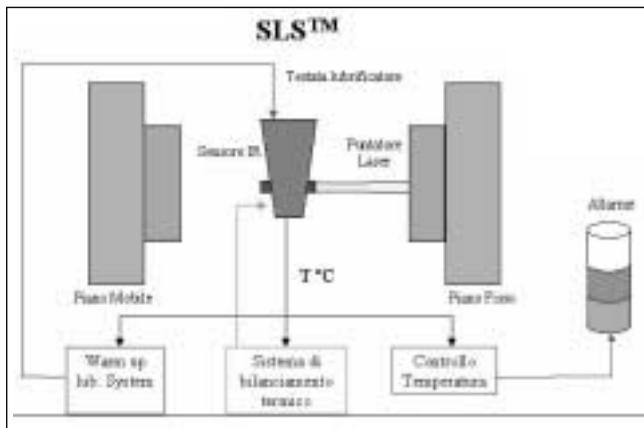
R. Boni
IDRA Casting Machine Spa, Brescia (Italy)

- La spruzzatura del distaccante riveste il ruolo principale nell'asportazione di calore dallo stampo e, quindi nel mantenimento dell'equilibrio termico.

EXPERIMENTAL
TECNOLOGIA SLS™ "SMART LUBRICATION SYSTEM"

Per affrontare i temi sopra esposti e dare al pressofonditore uno strumento efficace ma utilizzabile nel difficile ambiente delle fonderia Idra, Baraldi e Venezia Tecnologie hanno messo a punto un sistema per misurare la temperatura della pelle dello stampo con sensore all'infrarosso e la relativa protezione che ne consente l'utilizzo vicino allo stampo, il sistema di acquisizione e il software per l'elaborazione delle misure ed il loro utilizzo per intervenire sul ciclo di lubrificazione.

La misura della temperatura viene usata per comandare il circuito del lubrificatore che nebulizza olio a basso calore



specifico durante le fasi di avviamento della produzione e dopo arresti del ciclo che superano una certa durata e per modificare il tempo di lubrificazione durante la produzione a regime quando si verificano variazioni della temperatura dello stampo eccedenti le tolleranze impostate.

Nella pratica corrente la spruzzatura dell'olio di avviamento è fatta a mano così come il numero delle iniezioni fatte a bassa velocità e bassa pressione è lasciata all'iniziativa dell'operatore. Il numero di stampate di avviamento e, soprattutto quelle di riavviamento dopo interruzioni del ciclo, rap-

presentano una percentuale significativa dello scarto totale della macchina quando si producono getti difficili. Poter oggettivare la gestione delle fasi di transizione genera benefici economicamente importanti.

Di seguito vengono riportati i valori relativi al confronto tra l'avviamento tradizionale e l'avviamento con sistema SLS™ realizzati in una importante fonderia italiana che parte già da una situazione operativa strutturata con pratiche operative ed istruzioni all'operatore.

Sono stati definiti i protocolli di prova che prevedono la temperatura di pelle di transizione da bassa velocità/pressione a 290-300°C, la produzione di 5 pezzi a regime quindi simulazione di fermata con raffreddamento stampo utilizzando il lubrificatore e successivo ciclo di ripartenza. Nel Protocollo 1 l'operatività segue il metodo tradizionale, quindi dopo 5-6 stampate il passaggio alle condizioni di produzione viene fatto manualmente. Si è verificato sperimentalmente che la temperatura di transizione prima evidenziata corrisponde al limite tra pezzi buoni e pezzi scarti.

Il numero medio di pezzi da scartare per ogni ri-avviamento è di 4,6.

Il Protocollo 3 prevede l'uso della misura della temperatura per passare automaticamente dal lubrificante anidro a quello base acqua. Sempre considerando la temperatura di transizione da 290-300°C, sono stati necessari mediamente 3 cicli ridotti per raggiungere le condizioni di esercizio.

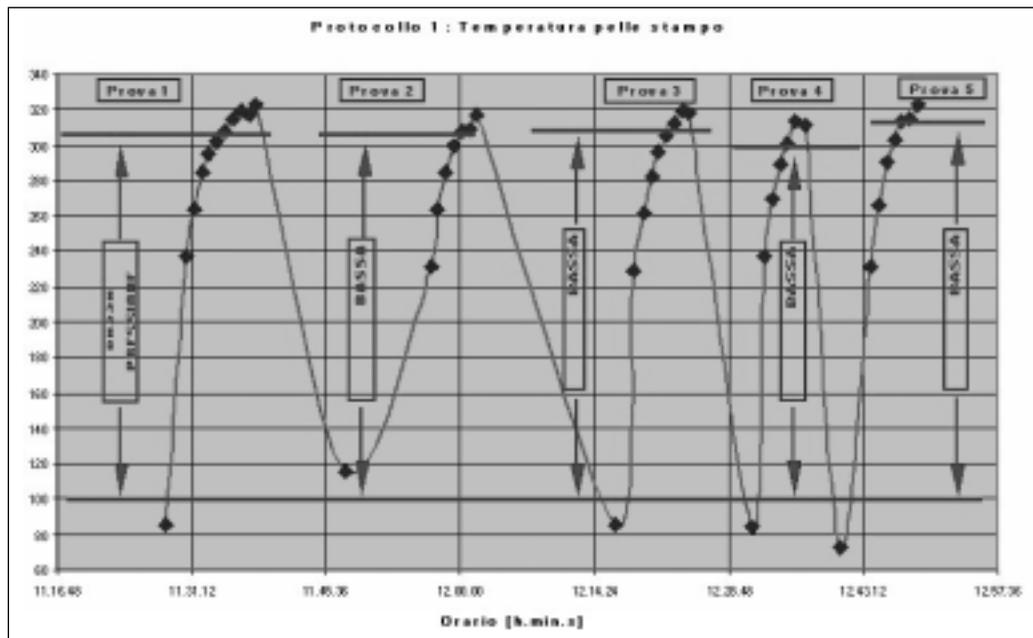
La transizione è, inoltre gestita automaticamente e non condizionata da interpretazioni o errori dell'operatore sempre possibili.

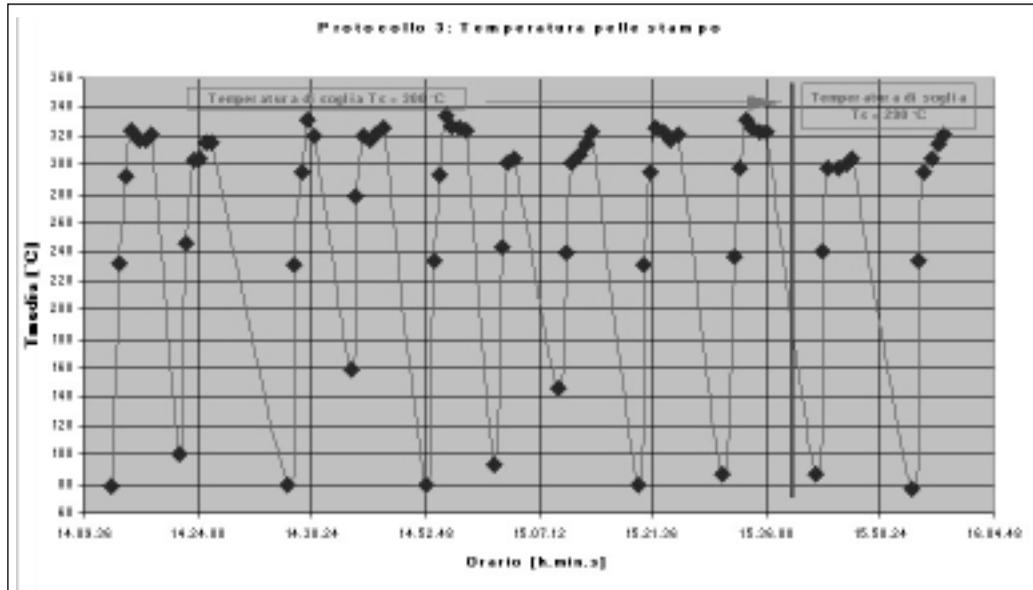
La gestione delle ripartenze rappresenta una fase molto delicata con il coinvolgimento del personale della qualità. I rischi che si corrono sono la mancata selezione di pezzi non idonei o, dall'altra parte di scartare un numero di pezzi eccessivo. In entrambi i casi con ripercussioni sui costi complessivi del lotto.

Il numero medi di getti prodotti in condizioni "ridotte" è stato di 3 con una riduzione del 35% rispetto alle condizioni senza lubrificante anidro e gestione automatica del Protocollo 1.

I Grafici 1 e 3 sopra esposti riportano l'andamento delle temperature di ogni singolo ciclo delle due prove. Si vede chiaramente come il numero di cicli sotto la temperatura di transizione nel Protocollo 3 siano inferiori e come la temperatura di pelle dello stampo aumenti più velocemente.

In effetti l'impiego del Warm Up Lube 04™ nella fase di warm-up riduce notevolmente la capacità di sottrarre calore





allo stampo. La sua bassa capacità termica (meno della metà rispetto a quella dell'acqua - Tab. 1) conduce ad un rapido innalzamento della temperatura del film lubrodistaccante, riducendone drasticamente la capacità refrigerante. A questo risultato contribuisce anche il basso valore di conducibilità termica.

I principi attivi contenuti nel Warm Up Lube 04™, sono stati selezionati ed approfonditamente studiati mediante prove di laboratorio e test applicativi condotti direttamente sul campo nella produzione di differenti tipologie di getti.

Il prodotto consente di creare sullo stampo un film ad altissimo potere lubrificante, che garantisce un buon scorrimento degli organi mobili per stampi con movimenti ed estrattori delicati, prevenendo grippaggi e rotture nella delicata fase di avviamento della produzione. Inoltre il Warm Up Lube 04™ dà un eccellente potere separatore senza depositare residui oleosi sui getti, riducendo, in questo modo, l'inquinamento dei bagni di rifusione.

La tabella seguente (Tab. 2) è stata determinata mediante analisi termogravimetrica su un campione da 5.0 mg di Warm Up Lube 04™: il prodotto viene riscaldato molto lentamente mediante un ciclo automatico (2 °C/min) e se ne

registra la variazione (perdita) di peso in percentuale.

Come si può dedurre dai dati riportati il prodotto non subisce praticamente modifiche fino a 200 °C, mentre fino a 300 °C permane il 74 % del peso iniziale. Una temperatura di 300°C viene raggiunta in uno stampo di dimensioni medie o elevate solo alla fine del ciclo di warm-up, quando il sistema passa automaticamente al distaccante tradizionale, mentre all'inizio del ciclo di warm-up è mediamente molto più bassa e, come abbiamo constatato, lavorando sul campo, i valori effettivi possono variare da < 100 °C a max 180 °C.

Va rimarcato, infine, che la temperatura di ebollizione del Warm Up Lube 04™ è > 300 °C, quindi la decomposizione ha inizio prima del raggiungimento della temperatura di ebollizione. Il prodotto non è, quindi, in grado di sottrarre quantità significative di calore attraverso il semplice meccanismo evaporativo come avviene per il distaccante tradizionale.

Abbiamo evidenziato e verificato empiricamente che queste caratteristiche peculiari del Warm Up Lube 04™ consentono il passaggio dalla bassa alla alta velocità di iniezione senza difetti riconducibili alla lubrificazione stampo, fin dal primo getto prodotto in condizioni standard di alta velocità di iniezione. La sua applicazione automatica è rapidissima, ed elimina anche l'operazione di lubrificazione manuale con tampone, che è normale prassi in fonderia.

Il Warm Up Lube 04™ apporta anche notevoli vantaggi dal punto di vista dell'impatto ambientale e alla salubrità dell'ambiente di lavoro. Il prodotto è sintetico al 100%, è biodegradabile oltre il 90% e non ha effetti nocivi o irritanti. Sostituendo nell'avviamento l'impiego delle paste e grassi lubrificanti o smetallizzanti elimina anche i vapori dannosi cui viene esposto l'operatore.

	Capacità termica a 20°C 10 ⁶ J/m ³ K	Conducibilità termica a 20°C W/m K	Densità a 20°C Kg/m ³
DISTACCANTE TRADIZIONALE	4180	0.6	1000
WARM UP LUBE 04™	ca. 1600	ca. 0.20	930

Tab. 1 - Caratteristiche fisiche.

Table 1 - Physical properties.

T campione °C	Peso residuo % in peso
200	> 99
250	85
300	74
350	59
400	45

Tab. 2

Table 2

VALUTAZIONI ECONOMICHE E CONCLUSIONI

Considerando una macchina di medio tonnellaggio che produce un getto con la cadenza tecnica, esclusa quindi l'efficienza, di 65 pezzi/ora e considerando 10 fermate nell'arco delle 24 ore (1 ogni ora e mezza circa) che rappresentano un valore medio per isole completamente automatizzate che producono getti critici ma senza considerare stampi particolarmente delicati per i quali le fermate possono facilmente essere anche più del doppio, si ha un risparmio di 15' al giorno che rappresenta l'1% del tempo disponibile.

Più difficile da valutare ma sicuramente reale è la diminuzione degli scarti "esterni" non intercettati cioè dal "Controllo Qualità" che si evidenziano dopo la lavorazione mec-

canica con l'onere del relativo costo.

Il sistema SLS™ rappresenta una soluzione facilmente gestibile per misurare la temperatura di pelle dello stampo senza soluzioni complicate che rendono difficoltoso il cambio stampi. L'attività delle fonderie è già di per se difficile e le soluzioni devono rispondere al criterio di robustezza e semplicità. La strada di sensori nello stampo, proposta già da tempo, superata la fase di entusiasmo iniziale, il più delle volte va a finire, insieme ad altri dispositivi, sugli scaffali delle fonderie.

La misura della temperatura viene anche usata, con il modulo di retroazione, nel controllo dei lubrificatori di produzione Idra per variare il tempo di spruzzatura e mantenere costante la temperatura di pelle al variare di alcune condizioni del processo ma questo sarà l'argomento da affrontare successivamente.

REFERENCES

- B.Molinas, D.Giantin, C.Raone and L.Baraldi, "Smart Lubrication System", Proceedings of the "2nd International Conference & Exhibition on New Developments in Metallurgical Technology" (Riva del Garda -Italy), (2004) – introduction
- Pola, Panvini and Roberti, "Development and experimental validation of a mathematical model of the lubrication induced cooling of dies", Proceedings of the Conference HTDC 2002 (2002), p. 175.
- B.Molinas and L.Baraldi, "Relationship between release

- agent and thermal dynamism of the die in the different process phases", METEF 2004 - HTDC 2004 Proceedings, Montichiari (Brescia; Italy), (2004), p. 437.
- J.F. DuPont (TEKSID aluminium) and C. Raone (BARALDI lubrificanti), "W.U.L.S. – warm up lube system", Proceedings of the Conference HTDC 2004, Montichiari (Brescia, Italy), (2004) p. 271.
- Altan, T., Bishop, S.A., Miller, R.A., Chu, Y.L., "A Preliminary Investigation on the Cooling and Lubrication of Die Casting Dies by Spraying", The 16th International Die Casting Congress and Exposition, 1991.
- Chhabra, S., Chu, Y.L., and Altan, T., "An Investigation of Cooling and Lubrication of Die Casting Dies Using a Water/Lubricant Spray", Die Casting Engineer, vol 37(1), pp 24-27 (1993).
- Liu, G.W., Morsi, Y.S., Clayton, B.R., "Characterisation of the Spray Cooling Heat Transfer Involved in a High Pressure Die Casting Process", International Journal of Thermal Science, vol 39, pp 582-591 (2000).
- Sozbir, N., Chang, Y.W., Yao, S.C., 2003, "Heat Transfer of Impacting Water Mist on High Temperature Metal Surfaces", Transactions of the ASME, vol 125, pp 70-74 (2003).
- Piskoti, C.R., "New Study Turns up the Heat on Die Spray Cooling", Die Casting Engineer, vol 47(1), pp 44-45 (2003).
- A.S. Sabau, Zhuoxi Wu, " Measurement of heat flux during Lubricant application for the Die Casting processes", Nadca, CastExpo'05 (St. Louis Missouri 16-19 April 2005)

A B S T R A C T

SMART LUBRICATION SYSTEM:
A DIE LUBRICATION CONTROL SYSTEM
ACCORDING TO THE SURFACE TEMPERATURE

Key words:
diecasting, lubrication, temperature,
surface temperature, warm up, control, monitoring

The die lubrication phase plays a determinant role as far as both the production rate and the production quality are concerned.

Spraying water based release agents takes off the major part of heat deriving from aluminium cooling and solidification, which corresponds to about 250 Kcal for each Kg of alloy and forms a layer on the die cavity which facilitates the aluminium flow and reduces the physico-chemical adhesion effect. The well known "sticking" effect of aluminium on steel, becomes as more evident as higher the metal temperature, the speed and the final pressure, are.

These two functions (cooling and deposit of lubricating and

releasing active principles) are now well known and accepted by everybody in the light alloy diecasting sector, but up to today there was no kind of system available on the market, able to check or control the contribution made, at each cycle, to the thermal balance.

This paper shows the results achieved in exercise with the "Smart Lubrication System" technology: a die lubrication control system according to the surface temperature.

It will disclose in particular the data emerged from a dedicated management according to the process phases by means of an automatic feedback (module called Warm Up Lube System – WULS) which is able to process the die surface temperature data, with infrared rays, and to modify the release agent during the warm-up phases, according to this processing.

The experiences made and the relevant results achieved up to today, confirm the effectiveness of the applied technology and set up an industrial research horizon which will certainly modify the way of controlling and managing the light alloy diecasting process.