Composizione lubrificante per processi in colata continua

R. Carli, M. Alloni

Diffusasi attorno agli anni 50 del secolo scorso la colata continua a getto aperto (OCP) è il processo industriale usato per la produzione di travi, tondino, vergella e reti elettrosaldate. Al fine di dissipare gli attriti tra strand di acciaio e lingottiera ed evitare il fenomeno di stricking, è necessaria la presenza di un lubrificante che s'infiltri nello spazio tra lingottiera e acciaio. Tale lubrificante può essere un olio vegetale, come l'olio di colza oppure oli di origine sintetica come esteri di acidi grassi o polialfaolefine. La scelta su quale olio usare dipende sostanzialmente dal rapporto costi-benefici. L'introduzione negli anni sessanta del ventesimo secolo della tecnologia di colaggio dell'acciaio con tuffante (SEN) e l'opportuna modifica delle proprietà fisiche delle polveri di colata, fino ad allora utilizzate per il colaggio di lingotti, permise il loro utilizzo nella colata continua [1]. I tentativi di usare la polvere nell'OCP tuttavia ha dato origine a problemi di intrappolamento della stessa nell'acciaio con conseguente aumento delle inclusioni non metalliche (NMI). Per questa ragione l'utilizzo di olio rimane predominante in tale processo. Il presente lavoro riporta uno studio sullo sviluppo di un prodotto [2] che renda possibile all'interno del processo di colata continua a getto aperto l'unione dei vantaggi della polvere e dell'olio.

Parole chiave: Colata continua - Lubrificanti - Acciaio - Processi

GENESI DEL PRODOTTO

Il primo passo, per ottenere tale prodotto, è stata la modifica delle proprietà fisiche di una polvere di colata continua. In particolare è stata abbassata la temperatura di fusione ed è stato ridotto il carbonio libero. E' stato osservato che l'uso della polvere portava ad alcuni vantaggi nella qualità finale delle billette come per esempio una diminuzione della losangatura, una diminuzione della scaglia e una riduzione della formazione di cricche agli angoli. Due erano tuttavia i principali problemi occorsi durante i test, l'incremento del numero di inclusioni e la maggiore difficoltà nell'alimentare un solido anziché un liquido.
La risoluzione di questi problemi è stata la dispersione della polvere nell'olio al fine di facilitarne l'alimentazione nella lingottiera.
Il prodotto così preparato in piccole quantità è stato provato presso alcune acciaierie con risultati promettenti. Pertanto si è deciso di proseguire con ulteriori studi sulla stabilizzazione della dispersione solido-liquido e sula formulazione ottimale del prodotto.

Riccordo Carli, Marco Alloni
Prosimet S.p.A., Filago (BG)

Memoria vincitrice del premio Aldo Daccò 2013

SCELTA DELLA BASE OLEICA

A titolo esplorativo si è inizialmente stabilito di usare come componente solida una modifica della polvere già testata. Successivamente si è ricercata una fase liquida adatta a creare un prodotto con le caratteristiche tecnologiche opportune.
La scelta è ricaduta su una base liquida di natura oleica, come quelle normalmente usate come distaccanti in acciaieria. Diversi oli sono stati testati nella formulazione del prodotto. Le proprietà di cui si è dovuto tener conto per ciascun olio sono il punto di infiammabilità, il pour point, la densità e la viscosità.
Il punto di infiammabilità deve essere il più alto possibile affinché l'olio possa svolgere la sua funzione di trasporto della polvere sin dentro la lingottiera. Il pour point deve essere invece il più basso possibile per evitare il congelamento del prodotto in caso di temperatura molto bassa nelle condizioni di stoccaggio. Sia la densità sia la viscosità dell'olio devono rientrare in un certo intervallo poiché da esse dipendono pompabilità e velocità sedimentazione della dispersione.
Un ulteriore parametro di cui si deve tenere conto nella scelta della base oleica è la compatibilità ambientale della stessa e della miscela ottenuta in termini di biodegradabilità e non tossicità dei fumi di combustione prodotti durante l'uso del materiale. Nella tabella 1 sono riportati i valori di alcune proprietà degli oli testati.

Base olio	Punto di infiammabilità (°C)	Pour point (°C)	Densità (g/cm³)	Viscosità cinematica a 40°C (cSt)
Polialchilbenzolo	182	ND	0,86 - 0,88	20 - 26
Polialfaolefine 1	225	-51	0,86	68
Polialfaolefine 2	260	-15	0,870	84,8
Estere glicerico acido oleico 1	300	-30	0,930	68
Estere glicerico acido oleico 2	300	-30	0,950	150
Estere glicerico acido oleico 3	300	-10	0,935	61,5 - 68,5
Estere glicerico acidi grassi 1	320	-24	0,920	34,92
Estere glicerico acidi grassi 2	300	-12	0,925	65

Tabella 1. Caratteristiche degli oli usati nella formulazione del prodotto

Table 1. Features of different oils used in formulation of the product.

PROPRIETÀ DELLA MISCELA

La miscela olio-polvere deve soddisfare due principali proprietà strettamente intrecciate tra loro. La velocità di sedimentazione, infatti, dipende dalla viscosità della miscela e deve essere sufficientemente bassa da poter garantire la stabilità del prodotto. La viscosità deve essere sufficientemente bassa da garantire la pompabilità del prodotto e al contempo sufficientemente alta da garantire una bassa velocità di sedimentazione.

Viscosità

In tabella 1 si era fatto riferimento a viscosità cinematica espressa in cStokes come solitamente viene riportato nelle schede tecniche degli oli. La relazione tra viscosità e viscosità cinematica è data dalla seguente equazione:

$$\eta = \frac{\mu}{d} \qquad (1)$$

Dove η è la viscosità cinematica, μ è la viscosità e d è la densità del fluido (3).
Lo strumento usato per effettuare le misure di viscosità opera in un range di shear rate $\dot{\gamma}$ compreso tra 0,1 e 100 [1/s], con misure più precise per alti valori di shear rate. Questo comporta che, nel caso della miscela in esame, lo strumento è adatto alla misura della viscosità a shear rate infinita. Un errore maggiore viene commesso invece sulla misura della viscosità apparente a bassi valori di shear rate che sono particolarmente importanti nella determinazione della struttura della dispersione [3].
Le misure di viscosimetria hanno permesso di determinare che la miscela si comporta come un fluido non Newtoniano con una marcata tendenza allo shear-thinning, ovverola viscosità della dispersione diminuisce non linearmente all'aumentare della shear-rate (vedi Fig.1).
Sulla base delle considerazioni elencate si deve tenere conto che tutti gli studi riportati in questo lavoro sulla viscosità sono relativi alla viscosità a shear rate infinito.

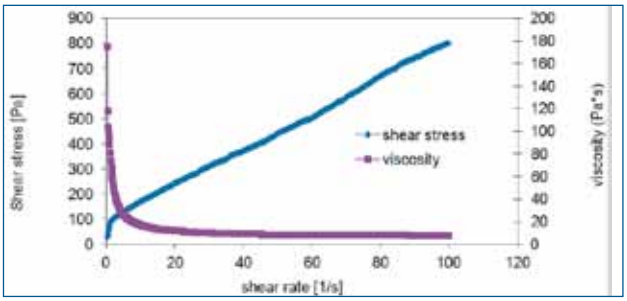

Fig. 1 - Andamento della Shear Stress al variare della shear rate per una dispersione di polvere in olio

Fig. 1 - Shear stress and viscosity vs shear rate for a dispersion of powder in oil

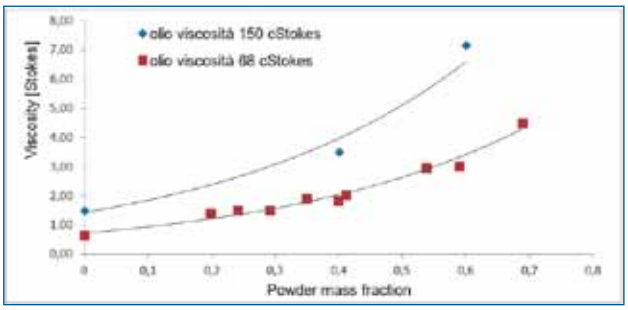

Fig. 2 – Andamento della viscosità all'incrementare della frazione in massa di solido disperso in oli con viscosità di 68 e 150 cStokes

Fig. 2 - Viscosity trend vs increasing solid mass fraction in dispersions prepared from an oil with a viscosity of 68 cStokes and an oil with a viscosityt of 150cStokes.

La viscosità della miscela olio polvere dipende da diversi fattori come la viscosità della base oleica, l'aggiunta di alcuni additivi, come per esempio l'acido adipico, e la quantità di polvere nella miscela (vedi Fig. 2).
La viscosità aumenta esponenzialmente all'aumentare della frazione in massa di polvere, mentre la viscosità della base oleica sembra influenzare il fattore preesponenziale.

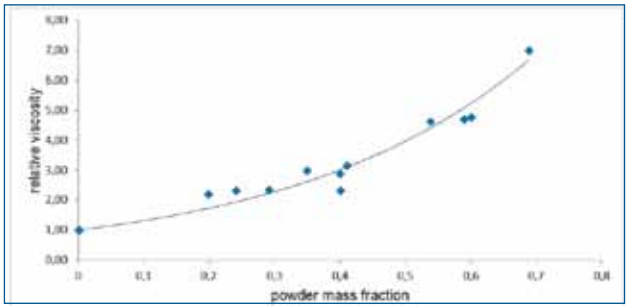

Fig. 3 - Andamento della viscosità relative all'aumentare della frazione in massa di solido disperso

Fig. 3 - Relative viscosity trend vs solid mass fraction.

Questo è confermato facendo riferimento alla viscosità relativa [3, 4, 5] delle miscele olio polvere che si ottiene dalla seguente relazione:

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_0} \qquad (2)$$

Dove η è la viscosità cinematica della miscela, ηr è la viscosità relativa e $\eta 0$ è la viscosità cinematica del fluido in cui viene dispersa la polvere. Le due curve riportate in figura 2 divengono, tramite l'applicazione dell'equazione 2, un'unica curva con andamento esponenziale (vedi Fig. 3).

Sedimentazione

In genere le dispersioni vanno incontro a sedimentazione a causa della differenza di densità tra fase dispersa e mezzo disperdente.
Per sospensioni molto diluite costituite da particelle non interagenti, la velocità di sedimentazione (v0) è espressa dall'equazione 3:

$$v_0 = \frac{2}{9}\frac{R^2 \Delta\rho g}{\eta} \qquad (3)$$

Dove R è il raggio delle particelle, $\Delta\rho$ è la differenza di densità tra particelle e mezzo, g è l'accelerazione di gravità e η è la viscosità cinematica della dispersione [4]. Nel caso di sospensioni concentrate l'equazione diviene molto complessa e deve tenere conto anche della frazione volumetrica del solido disperso [4,5]. Da un punto di vista sostanzialmente qualitativo, l'equazione 3 mostra che la viscosità della miscela e la differenza di densità tra le componenti sono due dei fattori principali di cui bisogna tenere conto nella formulazione di una dispersione che sia adeguatamente stabile. La base oleica, influenzando entrambi questi fattori, è un parametro importante nella formulazione del prodotto. In figura 4 sono messi a confronto gli andamenti della separazione tra solido e liquido in due dispersioni nelle quali il mezzo disperdente è in un caso

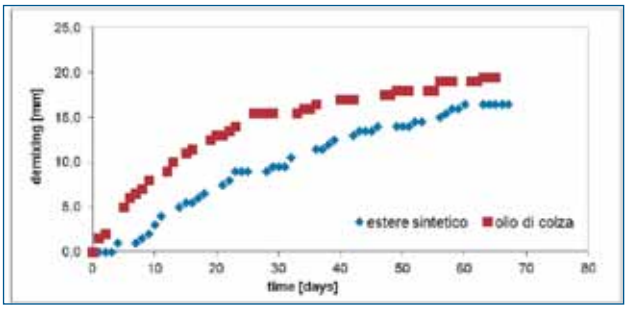

Fig. 4 - Andamento della sedimentazione nel tempo per due miscele prodotte con oli diversi.

Fig. 4 - Sedimentation trend in time for two mixtures prepared from two different oil bases

è l'olio di colza e nell'altro un estere glicerico dell'acido oleico. Quest'ultimo essendo dotato di una viscosità e una densità maggiori rispetto al primo assicura una velocità di sedimentazione inferiore per la dispersione.
Un approccio tecnologico comunemente utilizzato per stabilizzare la dispersione nel tempo è l'aggiunta di additivi. La figura 5 riporta La variazione della separazione tra solido e liquido nel tempo in seguito all'aggiunta di diversi additivi. Tra gli additivi che migliorano la stabilità della dispersione quelli che hanno dato i migliori risultati sono B e C, i quali attraverso un marcato effetto di thickening portano a un aumento della stress yeld, la forza necessaria a mettere in movimento la miscela [4].

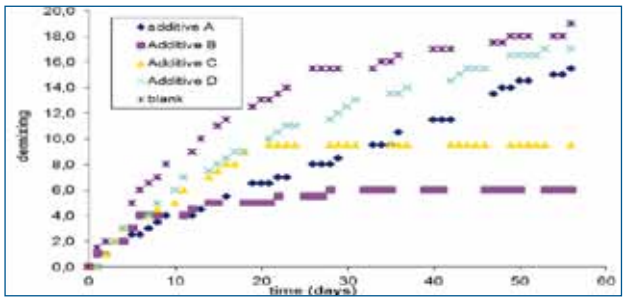

Fig. 5 - Andamento della sedimentazione nel tempo per miscele prodotte usando vari additivi.

Fig. 5 - Sedimentation trend in time for mixtures with different additives.

SISTEMI DI POMPAGGIO

A causa delle proprietà intrinseche del prodotto, un ulteriore problema è stato trovare pompe adatte all'alimentazione
Per i primi test industriali del prodotto sono state usate pompe dosatrici a pistoni (Fig. 6).
Questo tipo di pompe è stato scelto per la loro alta prevalenza e per la possibilità di una regolazione fine della portata della miscela. Durante i test l'impiego di queste pompe ha permesso innanzitutto di stabilire la perdita di carico in funzione delle caratteristiche idrodinamiche della linea di alimentazione, caratteristiche non facilmente prevedibili a causa della natura non-newtoniana del fluido.

Fig. 7 - Carrello con sistema di pompaggio.

Fig. 7 - Pumping skid.

Inoltre con l'impiego di queste pompe è stato possibile determinare con accuratezza il consumo specifico di prodotto. Le pompe dosatrici a pistoni tuttavia non sono adatte all'impiego in prove industriali di lunga durata per il loro costo e per l'inevitabile rottura delle tenute meccaniche in contatto con il fluido. Per tali ragioni si è optato per l'uso di pompe che siano più economiche e che evitino il contatto del fluido con le parti meccaniche.
Per facilitare lo svolgimento dei test con il prodotto, le pompe sono state inserite in carrelli singoli o doppi (figura 7) dotati di un sistema elettronico di controllo. Il sistema è copletato dal collegamento a uno speciale distributore montato sulla flangia della lingottiera con dei tubi flessibili.
In prove successive di più lunga durata e condotte su un'intera macchina di colata il sistema di pompaggio completo è stato montato su un unico banco (figura 8).

Fig. 8 - Carrello con sistemi di pompaggio per 5 linee. Vista frontale e posteriore.

Fig. 8 - Pumping skid for 5 casting lines. Front and rear view.

PROPRIETA' TECNOLOGICHE

Test industriali di breve, media e lunga durata sono stati svolti presso diverse acciaierie in Italia, Francia e Spagna per un totale di circa 50000 tonnellate di acciaio colato con risultati promettenti.
Un primo lavoro sui benefici di questo nuovo prodotto è stato presentato nel 2011 [6]. In esso vengono confrontati

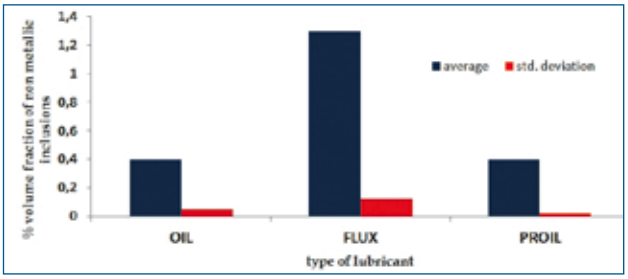

Fig. 9 - Livello di NMI nell'acciaio usando diversi lubrificanti.

Fig. 9 - NMI level in steel casted using different kinds of lubricant.

i risultati ottenuti usando olio, polvere e miscela olio-polvere. Come riportato in figura 9, il livello inclusionale è minimo quando si utilizza il solo olio e aumenta notevolmente usando la polvere mentre l'uso della miscela dà a un livello inclusionale simile all'olio.
Un fenomeno che è stato rilevato in prove successive sulla la formazione di inclusioni, è l'esistenza di un punto di rottura nell'andamento della relazione tra livello inclusionale e quantità di miscela aggiunta: se il quantitativo di miscela aggiunto in lingottiera rimane sotto un certo valore non si ha aumento del livello inclusionale mentre superato tale valore si ha un forte incremento del numero di inclusioni che dare origine a problemi in laminazione.
Nel lavoro del 2011 [6] è stato osservato anche un effetto sullo scambio termico in lingottiera. Usando l'olio il raffreddamento dell'acciaio avviene principalmente nella prima parte della lingottiera, in prossimità del menisco, mentre usando la miscela olio polvere tale raffreddamento è esteso su una superficie maggiore e avviene in modo più graduale. Il maggiore controllo sul raffreddamento in lingottiera dell'acciaio, ottenuto mediante l'uso della miscela olio-polvere al posto del solo olio, è stato confermato anche in prove successive e ha come diretta conseguenza un miglioramento della forma delle billette con una riduzione della losangatura che in certe prove ha raggiunto i 10 mm (vedi Fig. 10).
Un altro importante miglioramento rispetto all'uso dell'olio riguarda la sicurezza degli operatori. Lo strato di slag che si viene a formare sopra l'acciaio liquido porta a una diminuzione degli schizzi provenienti dalla lingottiera, fenomeno detto di sparkling (Fig. 11).
Altri effetti che sono stati osservati durante i vari test sono una riduzione della scaglia, una riduzione delle cricche agli angoli e una riduzione della precipitazione dei solfuri.

CONCLUSIONI

Lo studio sull'uso della polvere di colata anche nella colata a getto aperto ha portato allo sviluppo di un prodotto che combina i benefici di olio e polvere. Diversi esperimenti di laboratorio sono stati svolti al fine di ottenere una formulazione del prodotto in cui le caratteristiche chimico-

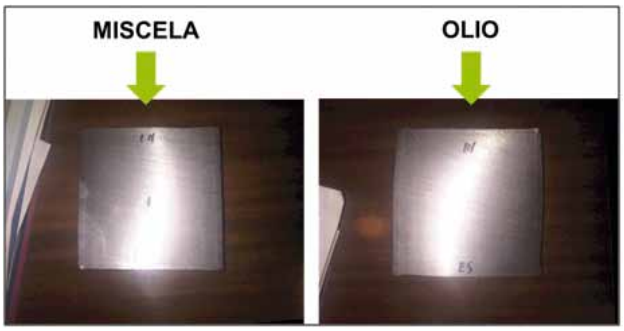

Fig. 10 - Sezioni trasversali di billette colate usando la miscela olio-polvere (sinistra) e olio (destra).

Fig. 10 - Transversal sections of billets casted using the mixture oil-powder (left) and oil (right).

fisiche delle componenti e del preparato finale siano ottimizzate. A queste ricerche hanno fatto seguito prove industriali di diversa durata dalle quali sono stati ottenuti i vantaggi di seguito riportati:

- riduzione del fenomeno di sparkling;
- riduzione delle operazioni di pulizia della lingottiera e di parti della macchina di colata;
- aumento della sicurezza per gli operatori;
- forte riduzione della losangatura;
- riduzione della formazione di scaglia;
- riduzione della formazione di cricche;
- riduzione della precipitazione di solfuri.

BIBLIOGRAFIA

[1] R.Carli, A. Del Moro, C.Righi, Properties and Control of Fluxes for Ingot Casting and Continuous Casting, Metall. Ital., May 2008, Pg. 13-18.

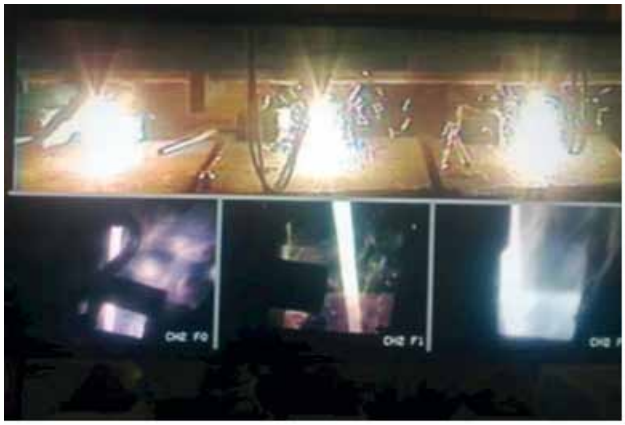

Fig. 11 - Fenomeno di sparkling in tre lingottiere durante I test del prodotto. La miscela olio-polvere è utilizzata sulla lingottiera più a sinistra mentre nelle altre due lingottiere è in uso l'olio.

Fig. 11 - Sparkling phenomenon in three molds during a test of the product. The mixture oil-powder is being used in the mold on the left side while, in the other two molds, oil is being used.

[2] EP Application number 12425029.1 on 13/02/2012.
[3] A. Del Moro, M. Alloni, R. Carli, Una Polvere Liquida per la Colata Continua dell'Acciaio. Sviluppo e Test Industriali, 34° convegno nazionale AIM, Trento (2012).
[4] S. M. Peker and S. Helvaci, Solid-Liquid Two Phase Flow, Elsevier, Netherlands (2008).
[5] T. F. Tadros, Rheology of Dispersions, Wiley-VCH, Singapore (2010).
[6] C.Mapelli, D. Mombelli, A. Gruttaduria, F. Magni, R.Carli, The Role Of A Correct Heat Exchange In The Mould For Improving The Subsurface Quality Of Cast Products, 7th ECCC, Dusseldorf (2011).

Lubricant composition for continuous casting processes

Keywords: Continuous casting - Lubricant - Mold flux - Open casting

Continuous open casting of steel is a procedure widely operated in casting construction steel billets used to produce rods, wired rods and welded wire meshes. This procedure is frequently conducted without protection tubes of liquid steel stream between ladle, tundish and mold. Generally lubrication between steel strand and mold walls is obtained by using oil. Different kinds of oil have been historically used for this application, both natural, like rapeseed oil, and synthetic, such as fatty acids esters and polyalphaolefin.
A new product has been developed to be used as lubricant in the mold instead of oil. This product is a dispersion of opportunely formulated continuous casting powder in a synthetic oil based on glyceric esters of fatty acids. Some additives have been added to the dispersion to control rheological characteristics. Target of this project was the development of a product which shows features of both oil and continuous casting powder.
Extensive laboratory tests to measure physical characteristics of this product have been performed in order to sort out a well-defined and stable material. Industrial trials have been conducted using these new products and different benefits have been pointed out both in operations and in semis quality. A sharp decrease of sparkling phenomenon is observed which is connected with an improvement of operators safety, a reduction of mold cleaning operations and an increase in mold parts life. Regarding semis quality an improvement in shape of billets, a decrease of under-skin cracks and a decrease of sulphide precipitation have been observed. Other effects have been experienced such as a decrease in scale formation and a decrease in B/O index.