

La caratterizzazione delle MINIMANICHE

PER REALIZZARE UNA FUSIONE CHE RISPETTI COMPLETAMENTE LE RICHIESTE DEL CLIENTE NON È SUFFICIENTE RISPETTARE GLI STANDARD DI PROCESSO, MA OCCORRE ANCHE TENER CONTO DELLA QUALITÀ DEI MATERIALI AUSILIARI IMPIEGATI, COME MINIMANICHE, MANICOTTI ESOTERMICI O ISOLANTI, TERRE E SABBIE. IN ITALIA NON ESISTONO (E NEL MONDO SONO POCHE) STRUTTURE COMPETENTI PER CERTIFICARE MATERIALI DA FONDERIA: LA GARANZIA DI QUALITÀ È DELEGATA AL FORNITORE

La realizzazione di una fusione che rispetti alla perfezione le richieste del cliente non potrà avvenire garantendo solo il rispetto degli standard di processo, ma dovrà tenere conto anche della qualità di tutti quei materiali ausiliari impiegati come, ad esempio, minimaniche, manicotti esotermici o isolanti, terre e sabbie di varia natura. Non esistono in Italia e sono poche nel mondo, strutture in grado di agire con competenza come enti certificatori dei materiali da fonderia: la garanzia di qualità dei prodotti impiegati è delegata al fornitore stesso che si autocertifica. Proprio questa lacuna si intende colmare nel CRIF, il Centro di Ricerca per l'Industria Fusoria di SCM Group, dove si stanno mettendo a punto

procedure rigorose per la certificazione dei materiali ausiliari (fig. 1). In particolare, considerando che l'alimentazione delle forme rappresenta un elemento chiave per la realizzazione di getti conformi alle attese, il primo passo è stato indirizzato verso l'individuazione di un metodologia idonea alla caratterizzazione delle minimaniche e alla verifica delle proprietà qualitative garantite dai fornitori.

L'alimentazione dei getti

Nelle fonderie di ghisa i getti sono ottenuti colando metallo fuso all'interno di forme che, nel caso della fonderia qui studiata, sono del tipo a verde. Dopo il riempimento delle cavità e durante le fasi di raffreddamento e solidificazione vera e propria si assiste ad una contrazione del fuso in parte compensata dall'espansio-

ne grafite del materiale. Questo fenomeno si manifesta in maniera molto violenta nelle ghise sferoidali (GS) causando, nel caso di formatura a verde, un aumento più o meno marcato delle dimensioni della cavità del getto. Ne consegue un aumento della quantità di ghisa da colare per la realizzazione dei pezzi. Questo effetto deve essere compensato tramite l'implementazione di un efficace sistema di alimentazione in grado di evitare la formazione di difetti all'interno dei pezzi. Un simile controllo, importante per i getti in ghisa grigia, lo diventa ancor di più per componenti realizzati in sferoidale.

Durante il raffreddamento la transizione da fase liquida a fase solida del fuso non avviene in modo uniforme: le parti dei getti caratterizzate dalle sezioni più piccole tendono a solidificarsi per prime, mentre quelle più massicce e calde assumono il ruolo di alimentatori delle zone adiacenti più fredde e per questa ragione tendono ad essere affette dai cosiddetti difetti di integrità. Per ovviare a questo problema è necessario utilizzare dei veri e propri serbatoi di ghisa fusa in grado, a loro volta, di fornire materiale alle zone più massicce dei getti che altrimenti tenderebbero a svuotarsi: queste riserve di metallo liquido, se formate in sabbia, prendono il nome di "materozze" o "carichi in natura". Tali elementi sono uniti al pezzo attraverso un elemento noto come "collo" che ha la funzione di regolare il tempo di contatto materozza-getto: il loro scopo è quello di spostare il baricentro termico del getto all'interno della materozza stessa in modo che essa contenga tutti i difetti di risucchio. Il problema principale del fonditore è quindi quello di valutare un getto in termini di massività termica per meglio individuare le zone di ultima solidificazione, laddove applicare le materozze. E' bene sottolineare che per ottenere pezzi qualitativamente migliori la solidificazione dovrebbe avvenire in maniera direzionata: per questa ragione i getti dovrebbero essere progettati in modo tale da avere massività via via crescenti.



Fig. 1 Alcuni dei materiali ausiliari utilizzati nella fonderia.

Fig. 2 Alcune immagini delle maniche utilizzate nel processo fusorio.

Molti scienziati si sono occupati dello studio del comportamento dei getti durante il cambiamento di fase liquido/solido. In particolare, oltre 60 anni fa, Chvorinov [1], uno studioso di fonderia, dimostrò che il tempo di solidificazione (T_s), e quindi la massività termica di un getto di forma geometrica elementare, è proporzionale al quoziente tra il suo volume (V) e la relativa superficie di smaltimento di calore (S) secondo la relazione $T_s = k (V/S)^2$, dove k dipende dal tipo di lega considerato e dalle caratteristiche termofisiche del fuso e del mezzo di formatura. Nel caso delle ghise raffreddate in forme in terra i valori che tale parametro può assumere sono compresi tra 6 e 7 (a seconda della temperatura di colata). Lo scienziato ottenne tale relazione uguagliando la quantità di calore smaltita da una forma piana

di superficie S a contatto con un liquido alla temperatura T_i (misurata al termine della solidificazione del getto) e la quantità di calore accumulata dal fuso in esame (data dalla somma del calore latente assorbito dal metallo durante la fusione e di quello sensibile assimilato durante il surriscaldamento). L'espressione (1) non appare affatto casuale dal momento che il volume del pezzo (e quindi la sua massa) è una misura della quantità di calore in esso contenuto, mentre il valore della superficie del medesimo è un indice della capacità di smaltimento di tale calore. Il rapporto V/S prende il nome di Modulo Termico (M). Di rado i moduli termici dei getti sono facilmente calcolabili e questo perché i pezzi non sono costituiti da forme geometriche uniche ma sono composti da più profili elementari uni-

ti tra loro. Le giunzioni ottenibili possono essere essenzialmente di due tipi: lineari (o fredde) ed angolate (o calde); la differenza sostanziale tra i due casi è che le seconde, al contrario delle prime, portano alla generazione di un punto caldo. Per le giunzioni angolate non è possibile determinare analiticamente l'entità del modulo: per questa ragione, in base al tipo di collegamento delle sezioni ed al relativo raggio di raccordo, sono state costruite tabelle in cui sono stati riportati i fattori maggiorativi da applicare al modulo geometrico per ottenere il modulo termico reale della sezione. Tuttavia non esistono fattori correttivi per tutte le circostanze: ciò può dare luogo a valutazioni errate o soggettive in merito all'andamento della solidificazione. Un approccio veloce ed efficace che non lascia spazio ad interpretazioni personali in merito alla disposizione dei moduli termici è senz'altro rappresentato dalla simulazione. Attualmente in commercio esistono diversi programmi (Magma, SolidCast e così via) che, a partire dalle proprietà del getto in esame, dal suo disegno in 3D e dal tipo di formatura utilizzato, calcolano in maniera più accurata rispetto al metodo tradizionale i tempi di raffreddamento delle diverse parti che compongono il getto. Il metodo utilizzato dai simulatori per svolgere i calcoli è quello degli elementi finiti, una tecnica numerica adatta a ricercare soluzioni approssimate dei problemi descritti da equazioni differenziali alle derivate parziali riducendo queste ultime ad un sistema di equazioni algebriche. I tempi di raffreddamento delle diverse zone del getto calcolati mediante tale procedura vengono convertiti in valori equivalenti di modulo: questo approccio consente di comparare le materozze ai getti giacché i moduli degli alimentatori vengono forniti direttamente dai produttori o sono facilmente ricavabili [2].

Una volta calcolati i moduli termici delle diverse zone dei getti si ha un'idea della direzione del raffreddamento e quindi si riescono a individuare le sezioni che soli-

dificheranno per ultime. Le parti che passeranno allo stato solido dopo le altre saranno quelle a modulo termico maggiore e, come anticipato, sarà proprio in questi punti che andranno applicate le materozze o in generale dei sistemi di alimentazione.

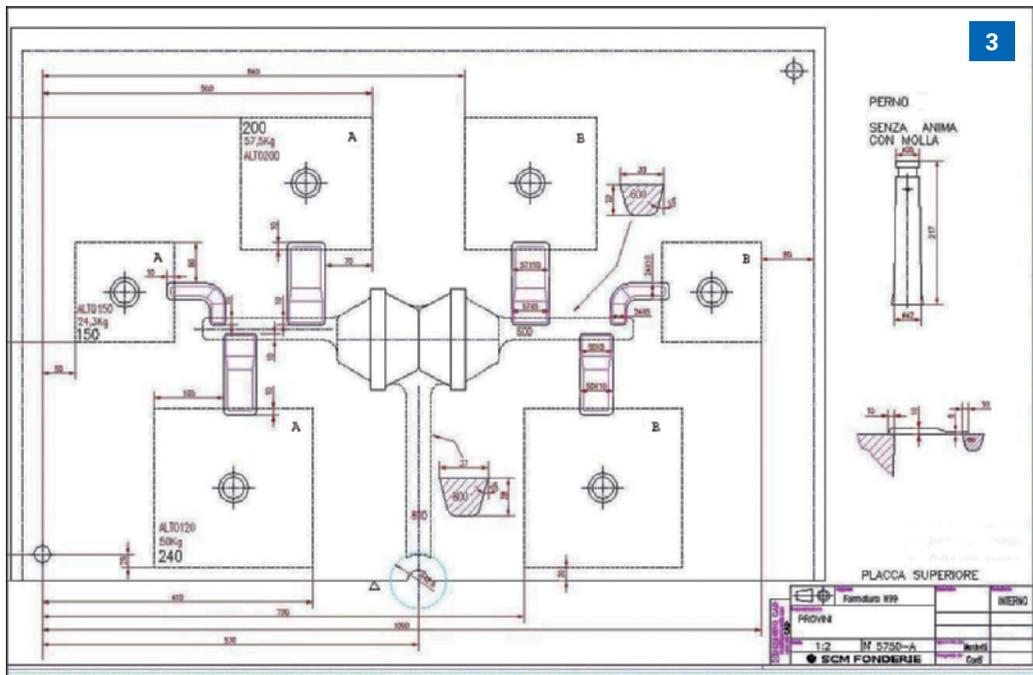
Le materozze in sabbia sono alimentatori aventi nella maggior parte dei casi forma cilindrica od ovale in modo da massimizzare il modulo per un determinato volume. Queste, per compensare le diverse contrazioni dei getti, possono fornire solo una parte del metallo di cui sono costituite: il rendimento (E), definito come la percentuale utile a questo scopo, è dato dalla relazione $E = (W_a/W_m) \cdot 100$, dove W_a = peso disponibile per l'alimentazione e W_m = peso della materozza.

Il rendimento è un dato del problema e, per i carichi in natura, è pari a circa il 15%. Esistono anche altri tipi di alimentatori il cui funzionamento è del tutto analogo a quello delle materozze in sabbia: essi sono le maniche isolanti o esotermiche e le minimaniche. È importante sottolineare che entrambi i sistemi appena citati hanno rendimenti maggiori rispetto a quello delle materozze in sabbia: in particolare le prime raggiungono valori di E pari al 35%, mentre le seconde arrivano addirittura al 70%.

Le differenze che intercorrono tra i vari tipi di alimentatori sono prettamente fisiche (fig. 2). Le maniche isolanti sono alimentatori costituiti da un materiale caratterizzato da bassa conducibilità termica e quindi da un elevato potere isolante garantito a sua volta da una densità apparente pari a 0,4-0,5 gr/cm³. La bassa densità, l'alto livello di isolamento e la notevole permeabilità consentono l'utilizzo di questi alimentatori per tutti i tipi di metallo. I manicotti esotermici sono invece costituiti da un materiale caratterizzato da un buon livello isolante abbinato a proprietà esotermiche dovute all'utilizzo di alluminio metallico: queste sono composte da percentuali variabili e comprese tra l'1 e il 3% di fluoruro di alluminio e potassio. La loro densità apparente è pari a circa 0,7-0,8 gr/cm³ ed è associata ad una buona resistenza meccanica. La caratteristica esotermica ne consiglia l'impiego per metalli con intervalli brevi di solidificazione. Un discorso analogo vale per le minimaniche le quali sono costituite dalle stesse percentuali di fluoruro di alluminio e potassio dei manicotti esotermici. A questi elementi viene aggiunta una percentuale variabile e comunque compresa tra il 3 e il 5% di diossido di manganese. Questi alimentatori hanno densità maggiore rispetto ai manicotti esotermici.

TAB. 1 CONFRONTO TRA LE ALTEZZE MEDIE DEL RESIDUO PER I DUE FORNITORI NEL CASO DELLE DIVERSE PROVE

	Altezza media del residuo (in mm)								
	Prova I			Prova II			Prova III		
	cubo 150	cubo 200	cubo 240	cubo 150	cubo 200	cubo 240	cubo 150	cubo 200	cubo 240
residuo fornitore B	140	105	103	133	89	76	122	65	65
residuo fornitore A	140	100	100	121	73	58	104	65	30
residuo A prova precedente	-	-	-	140	100	100	121	73	58
Temperatura	1438 °C			1408 °C			1414 °C		
Tempo riempimento	40 sec			46 sec			51 sec		



3



4



ci: essa è pari a 1,3-1,4 gr/cm³. La loro composizione chimica dà origine ad una reazione esotermica più forte e prolungata nel tempo rispetto a quella innescata dai manicotti: tale comportamento è alla base del loro maggior rendimento. In generale l'impiego delle minimaniche consente quindi risparmi in termini di metallo e di finitura tali da giustificarne il maggiore costo: tale affermazione è facilmente dimostrabile secondo quanto segue.

Alimentatori a confronto

Nel caso delle ghise il ritiro del materiale oscilla tra l'1 e il 5%: in questo range, come anticipato, i valori più alti sono riconducibili alle ghise sferoidali (GS) in formatura a verde in bassa pressione, mentre quelli più bassi sono relativi alle ghise grigie (GG). A parità di ritiro è facilmente intuibile come il rapporto tra il peso dell'alimentatore e il peso del getto cali a seconda che si usino, al posto del semplice carico in natura, maniche isolanti/esotermiche o minimaniche.

Indicando con r (%) il ritiro previsto, il peso totale in contrazione sarà $W_c = r \cdot (W_m + W_g) / 100$, dove W_m = peso della materozza (kg) e W_g = peso del getto (kg). Come già spiegato, se E (%) è l'ef-

Fig. 3 Modello di posizionamento dei cubi alimentati da minimaniche.

Fig. 4 Sezione delle maniche poste a confronto (con liquidi penetranti): prova 1, fornitori A e B.

ficienza dell'alimentatore, il peso di metallo che questo può cedere risulta $W_a = E \cdot W_m / 100$.

Per un disegno corretto si deve compiere che $W_c = W_a$. Risolvendo si avrà che $W_m / W_g = r / (E - r)$ e quindi W_m / W_g (materozza in sabbia) > W_m / W_g (manica esotermica o isolante) > W_m / W_g (minimanica).

È bene sottolineare che le materozze in sabbia generalmente hanno altezza circa uguale a 1,5-2 volte il diametro per cui, assimilando tale componente ad un cilindro finito, il loro modulo termico e volume sono facilmente calcolabili. Per quanto riguarda invece le maniche esotermiche o isolanti e le minimaniche tali specifiche, che ne rappresentano le grandezze fisiche rilevanti, sono fornite dai produttori. Per una corretta alimentazione del getto, comunque, il modulo termico dell'alimentatore dovrà essere maggiore rispetto a quello del pezzo a cui è collegato e questo perché, per potergli fornire materiale, tale componente dovrà solidificarsi

per ultimo. Per mostrare in maniera ancora più dettagliata le differenze che intercorrono tra i diversi alimentatori, è utile specificare che, a parità di dimensioni, una manica isolante o esotermica rispetto ad una materozza in sabbia ha un modulo del 30-40% maggiore mentre il modulo delle minimaniche supera quello dei carichi in natura addirittura del 220%. Inoltre, per calcolare velocemente il diametro di alimentazione equivalente a quello di una materozza in sabbia avente un determinato modulo, basta moltiplicare il diametro del carico in natura per 0,7 (nel caso di maniche isolanti o esotermiche) e per 0,4 (per le minimaniche): questa relazione è indicativa della diminuzione dei costi di finitura riconducibili all'impiego delle minimaniche.

A causa degli evidenti vantaggi a cui porta l'utilizzo di tale tipo di alimentatori rispetto all'adozione dei carichi in natura e dei manicotti isolanti o esotermici, negli ultimi anni si è ideato e corretto i modelli dei getti in maniera tale da poter implementare tale sistema di alimentazione su praticamente tutti i pezzi in GS che attualmente vengono prodotti nello stabilimento. È stato proprio per verificare l'adeguato funzionamento delle minimaniche

che è stata messa a punto una procedura per il controllo delle caratteristiche garantite dai fornitori.

Procedura di caratterizzazione

All'interno della fonderia analizzata le minimaniche utilizzate sono di diversi tipi. Queste però, in generale, possono essere suddivise all'interno di tre macrofamiglie:

- minimaniche semplici costituite dal solo materiale esotermico;
 - minimaniche con animetta in shell;
 - minimaniche con animetta metallica.
- Ognuna di queste tipologie viene implementata a seconda delle necessità di alimentazione e delle caratteristiche dei diversi getti.

Nell'ambito dello studio sono state compiute varie esperienze volte alla caratterizzazione dei diversi tipi di componenti. In sede di discussione teorica di sviluppo della procedura ci si è concentrati sull'individuazione delle cause alla base della comparsa dei problemi nei getti riconducibili all'utilizzo di minimaniche. Una simile analisi è stata compiuta con lo scopo di svolgere prove ad hoc per verificare la probabilità di insorgenza dei difetti.

Come importante fonte di non conformità è stata individuata la presenza di inclusioni di materiali non ferrosi nei pezzi a causa della scarsa resistenza meccanica delle minimaniche alle forze di compressione esercitate dai macchinari di formatura a verde. Per questo motivo la prima prova che si è deciso di svolgere sui materiali è stata proprio quella di compressione in modo tale da verificare il valore del carico limite sopportabile dall'alimentatore prima di giungere a rottura.

Successivamente, per vedere se il carico di rottura a compressione era più o meno elevato rispetto alla forza esercitata dalle formatrici in condizione di sollecitazioni molto importanti, si è deciso di svolgere la prova di formatura.

Inoltre, poiché una delle più importanti cause di non conformità (se non la più rilevante) è la presenza di risucchi nei get-

ti dovuti ad inefficienze di esercizio delle minimaniche, per verificare le caratteristiche fisiche del materiale esotermico di cui sono costituiti gli alimentatori, si è stabilito di compiere una prova di innesco e combustione e questo è stato fatto per verificare l'effettiva capacità del materiale di dare origine ad una reazione esotermica di durata ed entità tali da garantire un tempo e un volume di alimentazione adeguati per il getto considerato. Allo stesso modo, per verificare l'effettivo funzionamento dei carichi, si è stabilito di valutarne l'altezza e di verificare la conformità dei getti ottenuti.

La prova è quindi stata articolata nelle seguenti fasi:

- prova di compressione;
- prova di formatura;
- prova di combustione e innesco;
- prova di utilizzo (per controllare l'altezza dei carichi, l'aspetto del getto e la presenza di porosità e risucchi).

Questa stessa procedura è stata implementata per una serie di esperienze utilizzate per valutare in termini comparativi i vari tipi di alimentatori forniti dai diversi produttori. Tutti questi esperimenti hanno richiesto la progettazione e la costruzione di un'apposita attrezzatura la cui matematica è stata definita anch'essa in sede preliminare. Il modello definitivo è stato strutturato in maniera tale da ottenere una serie simmetrica di tre cubi di lato diverso: tale scelta è stata motivata dalla volontà di ottenere figure geometriche semplici il cui calcolo del modulo termico (M) fosse immediato. Poiché lo scopo era quello di verificare nel modo più accurato possibile le caratteristiche delle minimaniche, si è stabilito di scegliere il lato dei cubi in maniera tale da ottenere un modulo nell'intorno di quello degli alimentatori esotermici di cui si intendeva compiere una valutazione e tale da garantire un ritiro del getto sopportabile dal volume utile delle minimaniche (il ritiro è stato assunto in maniera cautelativa pari al 2%: caso della GS in formatura a verde in alta pressione).



Fig. 5 Sezione delle maniche poste a confronto (con liquidi penetranti): prova 2, fornitori A e B.



Fig. 6 Sezione delle maniche poste a confronto: prova 3, fornitori A e B.

Descrizione delle prove

Per ogni caratterizzazione, è stato quindi necessario costruire un modello ad hoc in cui i moduli risultanti fossero strettamente legati a quelli degli alimentatori considerati ed il ritiro compensabile dal volume di materiale contenuto nella minimanica. A scopo esemplificativo, per mostrare in dettaglio la procedura seguita, verranno riportati nel seguito i risultati di una sperimentazione che ha visto la comparazione di due fornitori diversi (indicati rispettivamente con le lettere A e B). Entrambe le maniche considerate avevano, ovviamente, lo stesso modulo che, nella fattispecie, era di 3,3 cm e un uguale volume di 240 cm³. Per testare questo tipo di maniche sono stati colati cubi aventi le seguenti caratteristiche:

- 150 x 150 x 150 mm (modulo = 2,5 cm), peso = 24,3 kg;
- 200 x 200 x 200 mm (modulo = 3,3 cm), peso = 57,5 kg;
- 240 x 240 x 120 mm (modulo = 4 cm), peso = 50 kg.

Come risulta evidente dallo schema di modello implementato (fig. 3), mentre nella parte destra sono stati posizionati i cubi alimentati da minimaniche prodotte dall'azienda A, nella parte sinistra sono stati posti quelli con minimaniche fabbricate dall'azienda B. Per distinguere i pezzi tra loro sono stati siglati con l'iniziale del fornitore che si intendeva valutare. A questo punto sono state svolte tutte le prove previste dalla procedura.

a) prova di compressione

È stata eseguita su due maniche dell'azienda A e su due alimentatori prodotti dall'azienda B. Per entrambi i tipi di alimentatori i carichi medi di rottura sono risultati paragonabili e pari a 16 kN. Questa prova è stata eseguita aumentando via via la forza di compressione alla quale erano sottoposte le maniche. Il carico di rottura è stato misurato in corrispondenza della comparsa della prima crepa sul materiale esotermico. Nota la forza limite a cui le maniche potevano essere sottoposte si è proceduto con la seconda prova.

b) prova di formatura

Per eseguirla sono state effettuate in momenti diversi tre prove di formatura nel corso di ognuna delle quali sono state modellate 2 staffe. Per ognuna di queste è stata verificata l'integrità delle minimaniche. Le staffe sono quindi state attentamente analizzate e nell'ispezione non sono state registrate rotture dei materiali esotermici né incrinature visibili anche dopo distaffatura.

c) prova di combustione ed innesco

A questo punto si è proceduto a colare le staffe formate. Naturalmente tale processo è avvenuto in tempi diversi (la formatura delle staffe è stata infatti eseguita in tre momenti differenti) con ghise aventi quindi temperature e analisi eterogenee. Il primo esperimento è stato eseguito con $T = 1438\text{ }^{\circ}\text{C}$, il secondo con $T = 1414\text{ }^{\circ}\text{C}$ e il terzo con $T = 1408\text{ }^{\circ}\text{C}$. In tutti e tre i casi è stata effettuata la prova di innesco eseguita riempiendo una manica per tipo con la stessa ghisa usata per colare le staffe. Anche in questo caso durata, tempi di innesco e temperatura di reazione sono apparsi molto simili per i due alimentatori. Tuttavia si è rilevato che la minimanica prodotta dall'azienda B, in tutti e tre i casi, dava origine a una reazione più violenta rispetto all'alimentatore A.

d) prova di utilizzo

Al termine del raffreddamento tutti i getti sono stati distaffati e quindi inviati al collaudo dove sono stati sezionati per verificarne l'integrità.

Considerazioni principali

Le altezze dei carichi rilevate nelle diverse prove (**tab. 1**) hanno suggerito una dipendenza dell'entità del ritiro dalla temperatura della ghisa e da altri fattori: questo fenomeno, non ancora del tutto compreso, rappresenta un tema di ricerca sicuramente adeguato per successivi approfondimenti. In questa sede l'attenzione è stata rivolta unicamente alla valutazione

delle modalità di esercizio dei carichi. Le prove hanno evidenziato come le condizioni più sfavorevoli si siano verificate durante la terza prova ($T = 1414\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 51\text{ s}$). Una volta sezionati i getti è risultato chiaro come gli alimentatori abbiano funzionato nei casi in modo molto differente tra loro: questo risultato si è evidenziato, particolarmente, nei due cubi di dimensioni maggiori in cui il ritiro è risultato all'incirca pari alla massa della manica.

Prova I. Nei cubi di modulo inferiore non sono state riscontrate anomalie e questo discorso vale per entrambi gli alimentatori. Al contrario, per quanto riguarda i getti di maggiori dimensioni, entrambe le maniche sono andate in sofferenza a causa della scarsità di liquido. Tuttavia le maniche A, solidificando in maniera più omogenea, sono riuscite ad alimentare i getti mantenendo i risucchi al di fuori del pezzo (**fig. 4a**). Questo risultato è stato tanto più evidente dopo l'esecuzione della prova con i liquidi penetranti. Altrettanto non si può dire delle maniche B che, in tre casi su quattro, hanno dato origine a risucchi che sono proseguiti all'interno del getto anche se solo di qualche millimetro (**fig. 4b**).

Prova II. Analizzando l'altezza dei carichi è risultato subito evidente come in questo caso il ritiro della ghisa fosse maggiore rispetto alla prova precedente. Anche in questo caso, dalle sezioni dei getti, è stato possibile riscontrare un diverso comportamento delle due maniche evidente solamente nei cubi a modulo maggiore dove il ritiro della massa del getto corrispondeva all'incirca con la massa della manica stessa. In questi due casi entrambi gli alimentatori sono andati in sofferenza a causa della scarsità di liquido, tuttavia, come è stato notato anche nella precedente prova, le maniche A sono riuscite ad alimentare maggiormente i pezzi: in particolare, in due casi su quattro, nei getti per i quali sono state utilizzate le maniche A è stata riscontrata la presenza



di un risucchio all'interno del getto seppur di pochi millimetri (4-5) (**fig. 5a**). Per quanto riguarda i getti alimentati con maniche di tipo B, il risucchio è stato individuato in 3 pezzi su 4 ma, in questo caso, la profondità è stata decisamente superiore (10-12 mm) (**fig. 5b**).

Prova III. Per l'altezza dei carichi, analogamente alle prove precedenti, le due maniche hanno mostrato un comportamento piuttosto diverso. In questo caso, infatti, è evidente che la ghisa ha ritirato di più rispetto alle volte precedenti (è infatti questa la circostanza più sfavorevole nella quale ci si è trovati). Anche dalle sezioni dei getti è risultato manifesto un diverso comportamento delle due maniche e, analogamente ai casi precedenti, tale differenza è stata evidenzia solamente nei cubi a modulo maggiore. Questa volta però, a differenza delle precedenti prove, anche a causa dell'aumentato ritiro, tutti i cubi (sia quelli alimentati con maniche B sia quelli alimentati con maniche A) hanno presentato un evidente risucchio all'interno del getto (fino a $20\div 25\text{ mm}$). La differenza di comportamento dei due alimentatori è stata riscontrata più che altro nella tipologia del difetto causato che,

nel caso di utilizzo delle maniche A risultava più spugnoso (**fig. 6a**), mentre nel caso delle maniche B aveva forma conica (**fig. 6b**).

Conclusioni

Le analisi di confronto portano a ritenere che le due minimaniche presentino un comportamento simile ma non del tutto equivalente. Di queste considerazioni è stato informato il produttore delle maniche B che, in base alle prove sperimentali, ha deciso di sottoporre a modifica l'alimentatore. L'utilizzo di una simile procedura consente quindi di identificare i "fornitori virtuosi" e di utilizzarli come termini di paragone per la valutazione dei nuovi prodotti. D'altro canto i risultati ottenuti permettono di avere feedback circa la bontà dei propri articoli spingendoli verso il miglioramento continuo. ■

Bibliografia

- [1] Askeland, Donald R., Phule, Pradeep P. *Essentials of Materials Science and Engineering*. Thomson, Ontario, Canada: 2004.
- [2] Degarmo, E. Paul (2003) *Materials and Processes in Manufacturing*.
- [2] J. Alva, "Il calcolo e posizionamento di materozze con l'utilizzo di SOLIDCast e di modelli 3D - Caso delle gs".