

Simulazione ed indagini sperimentali su un getto pressocolato sottovuoto in lega di zinco

N. Gramegna, R. Trevisan, G. Mazzacavallo, M. Bruschi, B. Molinas, B. Burtet Fabris

Nel presente lavoro viene illustrata la progettazione, condotta con l'ausilio della simulazione numerica, del sistema di colata relativo ad un componente in lega Zama 8. Sono state in particolare studiate differenti condizioni operative, evidenziando la necessità di applicare una valvola per il vuoto, il cui sistema di canalizzazioni è stato progettato in funzione dei risultati delle simulazioni svolte. I getti prodotti industrialmente sono stati oggetto di indagini sperimentali allo scopo di valutarne le caratteristiche microstrutturali, la qualità superficiale, la difettologia. La ridotta entità dei difetti, le tipologie microstrutturali individuate e l'omogeneità della distribuzione delle microdurezze hanno posto in evidenza la bontà delle scelte effettuate in sede di progettazione del sistema di colata, garantendo la qualità richiesta per il getto.

Parole chiave: leghe a base di zinco, pressocolata, simulazione numerica, difettologia

INTRODUZIONE

La necessità di perfezionare e migliorare le tecniche di pressocolata nasce dalla sempre maggiore richiesta di componenti caratterizzati da elevate prestazioni meccaniche e strutturali. L'applicazione del vuoto è certamente una delle soluzioni che, in questo senso, offrono le migliori potenzialità e che hanno già trovato significativo impiego per getti anche notevolmente complessi in lega di alluminio. I vantaggi ottenibili sono legati alla riduzione della porosità, al miglioramento delle caratteristiche meccaniche, alla possibilità di eseguire trattamenti termici ed, eventualmente, la saldatura dei componenti.

Notevoli potenzialità vi sono anche per l'utilizzo del vuoto nella pressocolata in camera calda di getti in lega di zinco, fornendo, quali ulteriori miglioramenti, una buona qualità superficiale e la possibilità di trattamenti successivi come la verniciatura e la placcatura. La minor presenza di aria o gas nella cavità riduce ovviamente i rischi di inglobamento, in misura che è però correlata alla corretta progettazione del ramo di colata, all'ottimizzazione della curva di iniezione, ad un adeguato posizionamento di pozzetti e canali per il vuoto. In questo lavoro vengono illustrate la progettazione, condotta con l'ausilio della simulazione numerica, del sistema di colata relativo ad un componente in lega zinco-alluminio, e le indagini sperimentali (microstruttura, qualità superficiale, microdurezza, difettologia) effettuate sui getti prodotti. Le buone caratteristiche complessivamente riscontrate hanno confermato la validità delle scelte effettuate a livello di "progettazione" del processo, garantendo al componente finale la qualità richiesta.

IL GETTO E LE INDAGINI DI LABORATORIO

Il componente preso in esame (destinato ad applicazione in campo elettronico, come supporto per dischi rigidi) viene realizzato in lega di zinco ZA-8, mediante un processo di pressocolata sottovuoto in camera calda. La composizione e le caratteristiche termofisiche della lega sono indicate in Tabella 1. Su di un getto rappresentativo delle condizioni tipiche di produzione, sono state condotte differenti caratterizzazioni, con particolare riguardo ad 8 posizioni significative, localizzate secondo quanto riportato in Figura 1. Sui provini, inglobati a freddo, sono state eseguite le seguenti caratterizzazioni:

- determinazione mediante analisi di immagine del contenuto di porosità e dei principali parametri morfologici delle cavità (perimetro, area, coordinate, diametro medio, rotondità),
- test di microdurezza,
- indagini in microscopia ottica ed elettronica, dopo attacco metallografico (200 g di CrO_3 , 15g di Na_2SO_4 , 50 ml di HNO_3 e H_2O fino a portare la soluzione a 1000 ml).

ANALISI DIFETTOLOGICA

L'esame delle differenti sezioni considerate ha consentito di ricavare una sorta di "mappa difettologica" del getto. Con riferimento allo schema riepilogativo di Figura 2, è possibile

Tabella 1: Composizione e caratteristiche termofisiche della lega ZA-8.

Table 1: Composition and thermo-physical properties of ZA-8.

Elemento	(%)	Caratteristica	Valori
Alluminio	8.0-8.8	Temp. Solidus	380 °C
Rame	0.8-1.3	Temp. Liquidus	415 °C
Magnesio	0.0015-0.03	Calore latente	130 kJ/kg
Piombo	0.004 max	Conducibilità termica	85-112.5 W/mK
Cadmio	0.003 max	Densità	6528-6800 kg/m ³
Stagno	0.002 max	Calore specifico	431-598 J/kgK
Ferro	0.1 max		
Cd-Pb-Sn	0.008 max		
Zinco	Resto		

N. Gramegna
Engin Soft Trading - Padova

R. Trevisan, G. Mazzacavallo
DTG - Università di Padova

M. Bruschi
Bruschi S.p.A - Abbiategrasso (MI)

B. Molinas, B. Burtet Fabris
Venezia Tecnologie SpA - Porto Marghera (VE)

Memoria presentata al 29° Convegno Nazionale AIM,
Modena 13-15 novembre 2002

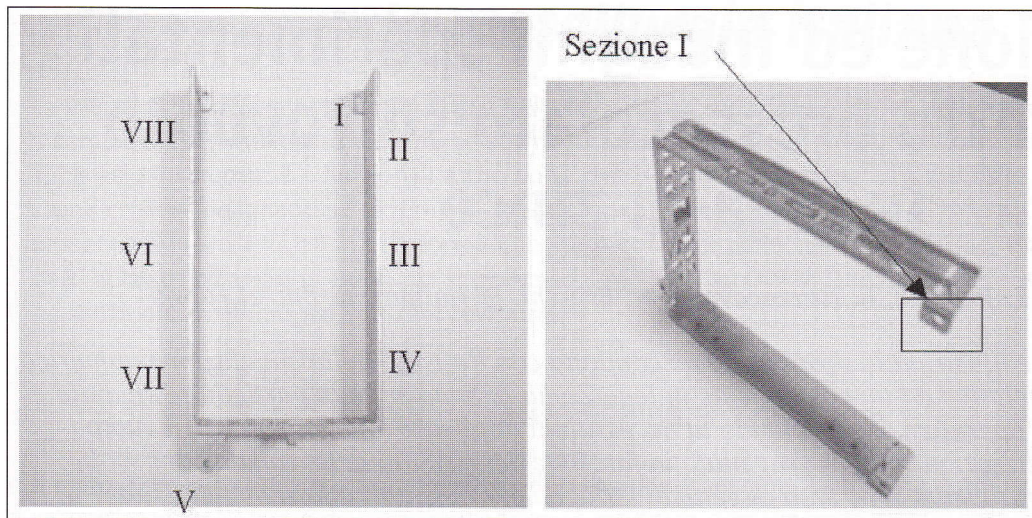


Figura 1: Immagine del pezzo e individuazione delle zone investigate sperimentalmente

Figure 1: The casting and the localisation of the experimentally investigated regions

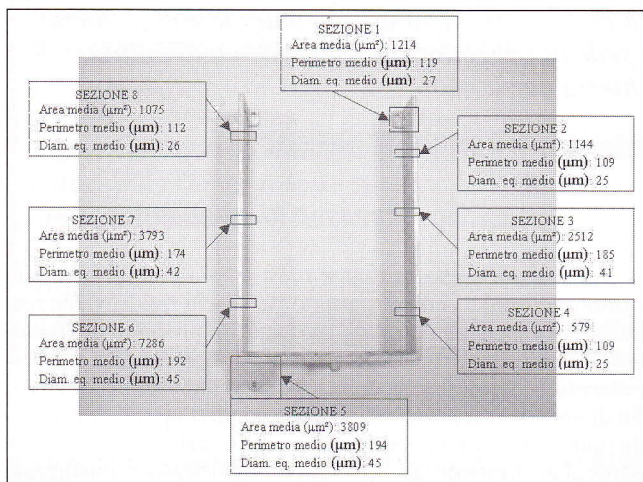


Figura 2: Schema riepilogativo della porosità sulle sezioni del pezzo

Figure 2: Schematic view of porosity distribution in the casting

osservare come un certo contenuto di porosità sia comunque presente nel getto. Tale porosità tende ad essere maggiore in quantità e dimensioni laddove la geometria del getto si fa più complessa (presenza di asole o fori): è cioè associabile alle zone in cui il riempimento della cavità-stampo è meno omogeneo. Le sezioni sottili, di regola, sono caratterizzate da una ridottissima presenza di porosità (in alcuni casi è pressochè assente come nelle sezioni 3 e 4). Le sezioni 1 e 2, localizzate sotto l'attacco di colata, presentano una porosità

superiore alla media del pezzo. La sezione 1 è caratterizzata da macrocavità (area massima 0.051 mm²) ma anche da innumerevoli microcavità (area dell'ordine di 100 µm²). Nella sezione 2 la porosità si presenta invece sotto forma di bolle rotondeggianti disperse e di dimensioni più ridotte. La sezione 5, molto spessa ed in una zona "decentrata" del getto, presenta delle grandi cavità, probabilmente associate a ritiri di solidificazione. La sezione 8 evidenzia una notevole porosità probabilmente causata dall'assenza di sfoghi d'aria. Sono anche presenti alcuni tipici difetti legati alla fase di riempimento (porosità superficiali, incollaggi, evidenziati in Figura 3).

Le caratteristiche superficiali del getto sono generalmente molto buone, con il livello di compattezza illustrato in Figura 4. Solo alcune zone del campione 6 presentano irregolarità e sfogliature (Figura 5), che ne deteriorano la qualità.

ANALISI MICROSTRUTTURALE E MICRODUREZZA

La microstruttura del getto è in generale molto fine e compatta, costituita dalla fase primaria ricca in Zinco, con morfologia dendritica equiassica, e dall'eutettico Zinco-Aluminio. I rapporti tra le fasi variano a seconda della posizione considerata (si vedano ad esempio le Figure 6 e 7). Variamente distribuite all'interno delle varie sezioni, sono presenti zone a morfologia eutettica molto fine (Figure 8-9). La presenza di disomogeneità microstrutturali è evidenziata anche Figure 10-11, che mettono in luce, nella parte sottile della sezione 6, una struttura con "bande" costituite unicamente dall'eutettico.

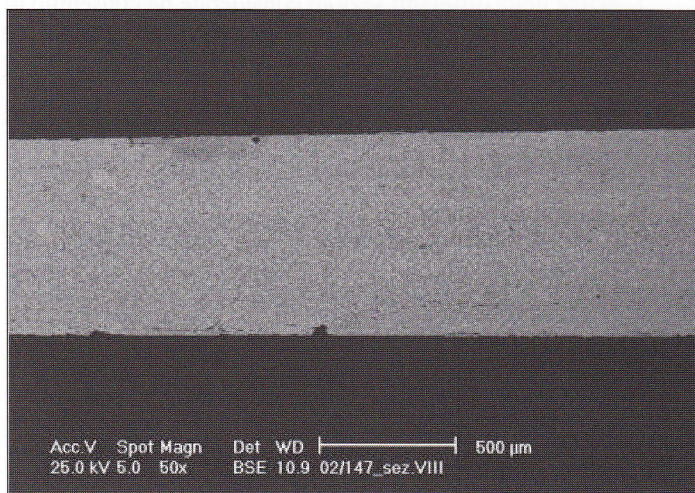


Figura 3: Esempi di difetti caratteristici della sezione 8

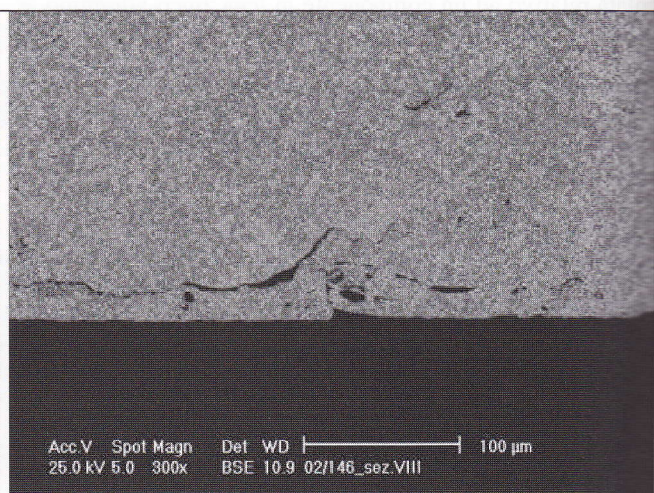


Figure 3: Typical defects in region n. 8

La distribuzione delle microdurezze medie del getto è illustrata in Figura 12. Si tratta di una distribuzione sostanzialmente omogenea, con le sezioni 1 e 2 che presentano valori medi di poco superiori alle altre.

SIMULAZIONE DEL PROCESSO

Gli strumenti di simulazione di processo, già da anni utilizzati per la progettazione delle attrezzature per la pressocolata tradizionale, sono in grado di considerare anche l'azione di una valvola del vuoto. La depressione all'interno della cavità si ottiene tramite l'apertura di una valvola di collegamento fra la cavità stessa ed un serbatoio in depressione controllata. Il metodo di apertura del collegamento e la posizione del canalino di aspirazione sono i parametri che il software MAGMASOFT, utilizzato nel presente studio, ri-

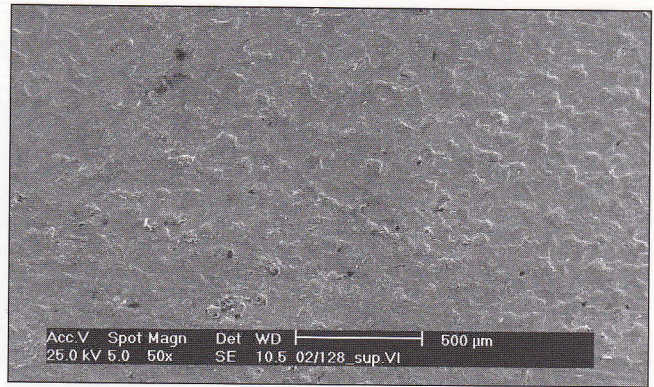


Figura 4: Micrografia S.E.M. relativa al tipico aspetto superficiale del getto

Figure 4: S.E.M. micrograph of the surface of the casting

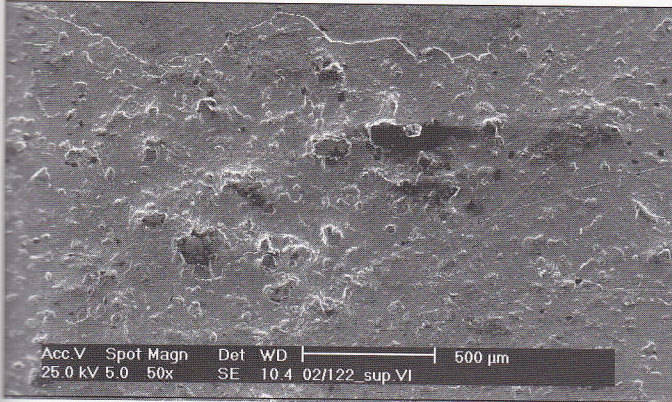


Figura 5: Micrografie S.E.M. relative ad irregolarità superficiali del campione 6.

Figure 5: S.E.M. micrographs concerning surface defects in region 6.

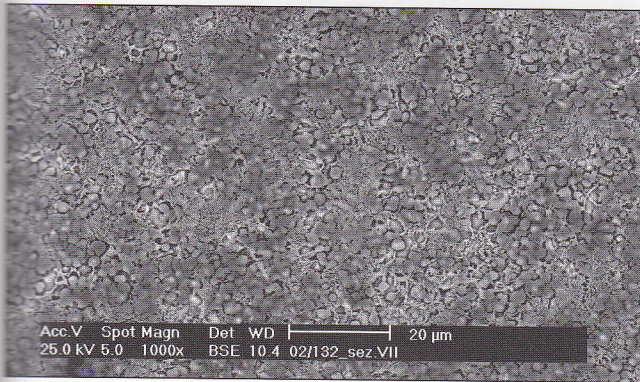
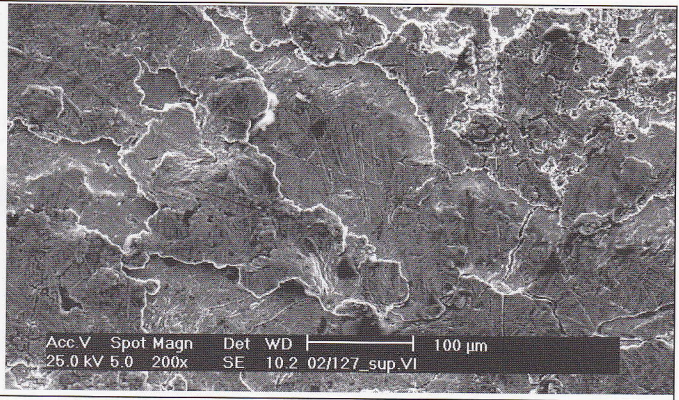


Figura 6: Micrografia S.E.M. relativa alla microstruttura della zona spessa della sezione 7

Figure 6: Microstructure (S.E.M.) in the thick zone of region 7

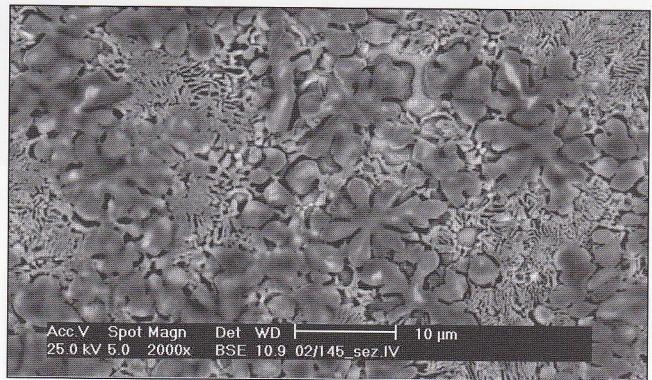


Figura 7: Micrografia S.E.M. relativa alla microstruttura della sezione 4.

Figure 7: Microstructure (S.E.M.) of region 4.

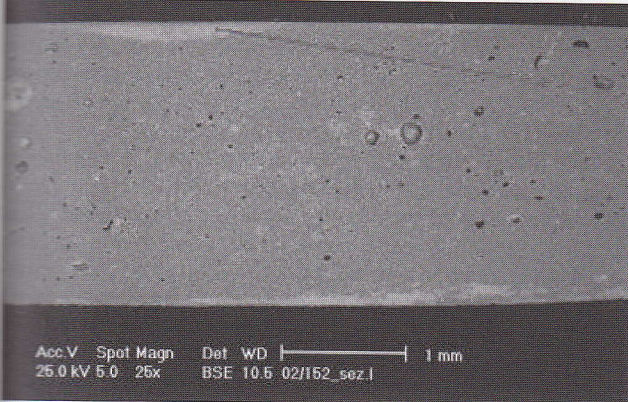
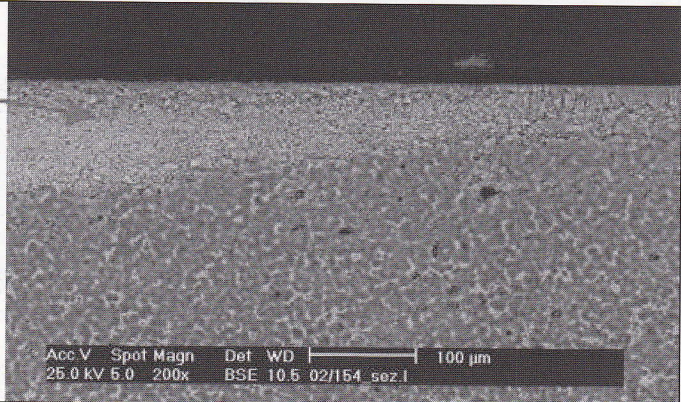


Figura 8: Micrografia S.E.M. relativa a disomogeneità microstrutturali (sezione 4)

Figure 8: Microstructural defects and irregularities in region 4 (S.E.M.)



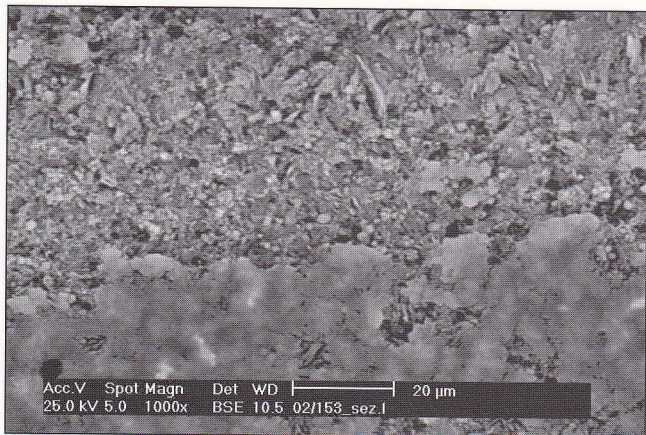


Figura 9: Particolare della regione illustrata in Figura 5: la micrografia S.E.M. evidenzia nella parte superiore una struttura eutettica fine, e in quella inferiore una zona prevalentemente dendritica

Figure 9: Detail of the region shown in Figure 5: fine eutectic structure in the upper zone and dendritic structure in the lower zone

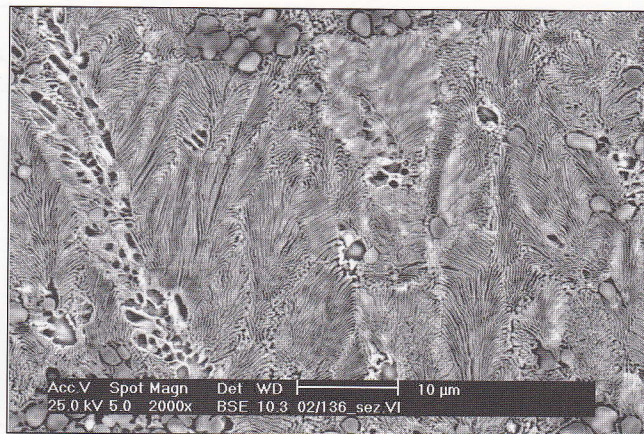


Figura 11: Particolare della regione a "bande" caratteristica della sezione 6.

Figure 11: Detail of the "banded" zone in region 6.

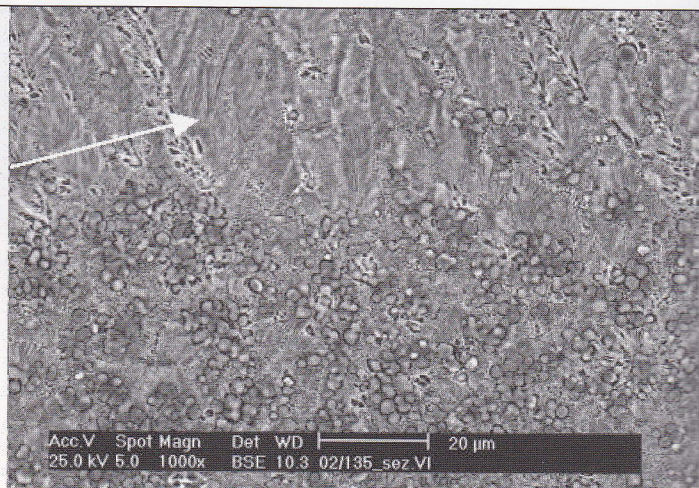
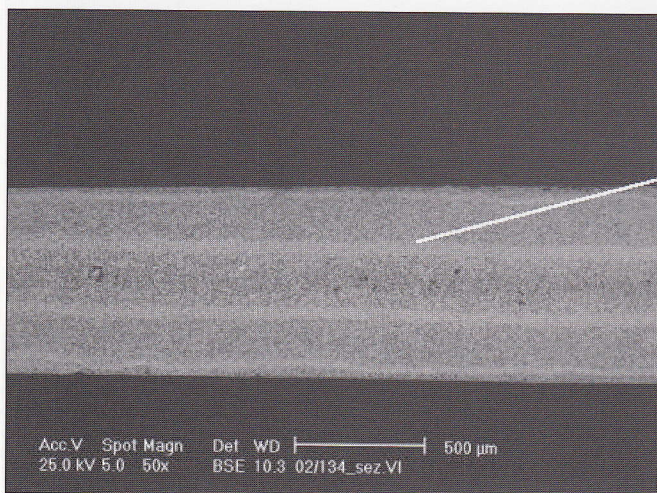


Figura 10: Micrografie S.E.M. relative alla microstruttura della sezione 6.

Figure 10: Microstructure (S.E.M.) of region 6.

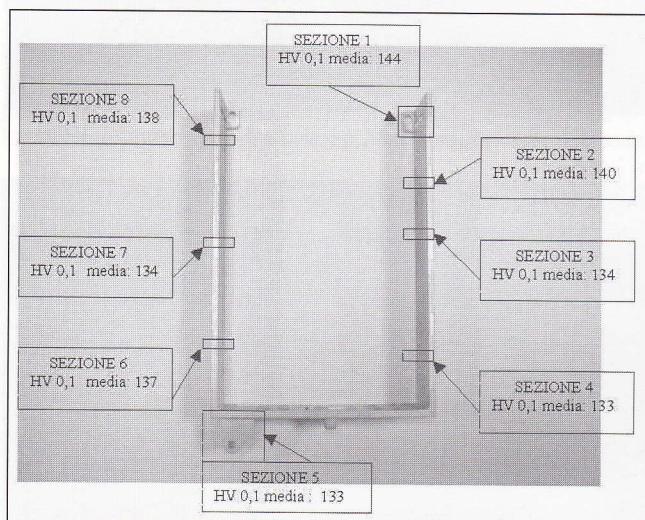


Figura 12: Schema riepilogativo della microdurezza media sulle varie sezioni del getto.

Figure 12: Distribution of microhardness in the casting

chiede per simularne l'effetto.

In generale l'applicazione del sistema "vuoto" comporta un miglioramento alla qualità del getto in funzione della evidente riduzione della quantità di aria che può essere inglobata. La canalizzazione di aspirazione deve essere progettata adeguatamente in funzione della curva di iniezione (avanzamento del pistone) e del sistema di aspirazione adottato. I parametri di processo, ottimizzati per la pressocolata tradizionale, possono essere oggetto di variazioni nel caso di applicazione del vuoto al fine di controllare l'omogeneità di riempimento del getto nel rispetto delle velocità critiche che possono indurre effetti di turbolenza, vortici, cavitazioni e sfogliature.

Le indagini sperimentali sono state utili per valutare le caratteristiche microstrutturali e la difettologia, seppur di entità ridotta, sui getti prodotti impiegando la pressocolata sotto vuoto. I risultati della simulazione consentono di comprendere le cause che hanno portato alla formazione dei difetti riscontrati sperimentalmente.

Nell'immagine di Figura 13 si presenta il legame fra i tempi di solidificazione e la microstruttura del getto: le zone con le velocità di solidificazione più elevate corrispondono a quelle in cui, sperimentalmente, si è riscontrata una microstruttura fine e compatta. I tempi di solidificazione si mantengono, in tutto il getto, al di sotto dei 5 secondi; il tempo ciclo

Figura 13: Simulazione della solidificazione e microstruttura del getto

Figure 13: Simulation of solidification and microstructure of the casting.

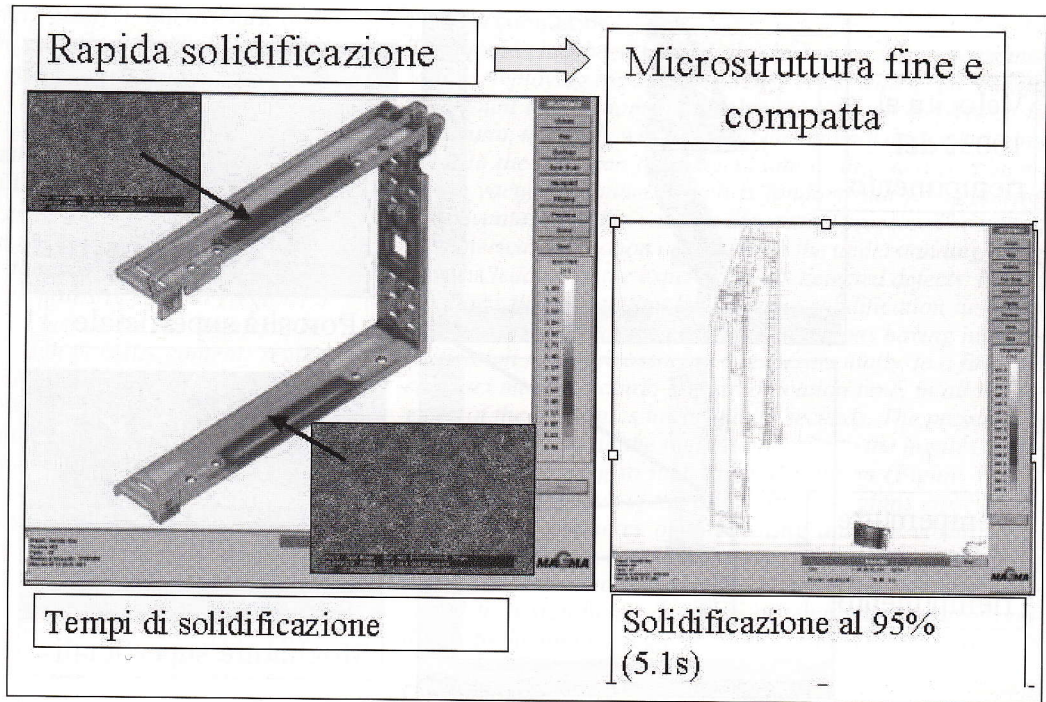


Figura 14: Corrispondenza tra analisi numerica e difettosità del getto

Figure 14: Correspondence between numerical analysis results and defects distribution in the casting

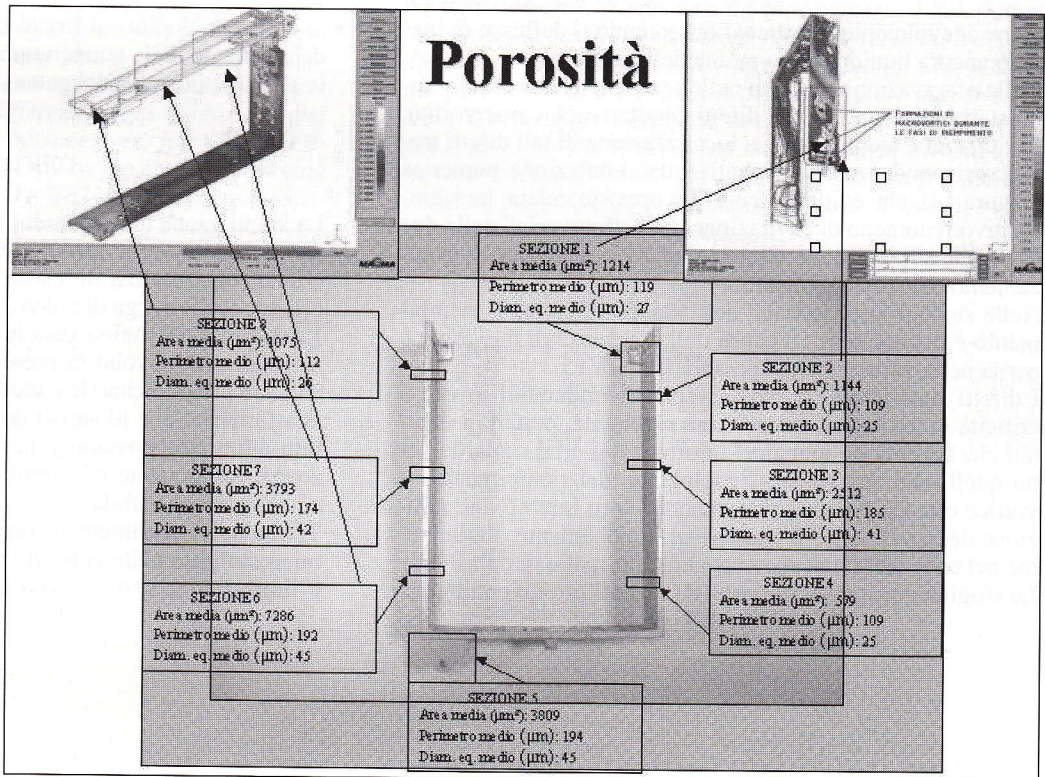
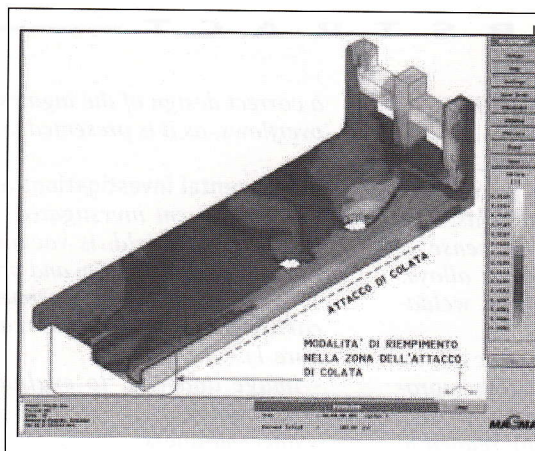


Figura 15: Porosità nella zona prossima all'attacco di colata.

Figure 15: Porosity genesis near to the ingate zone.



- Localizzazione porosità:
- In vicinanza di ostacoli al riempimento
- Spessori maggiori

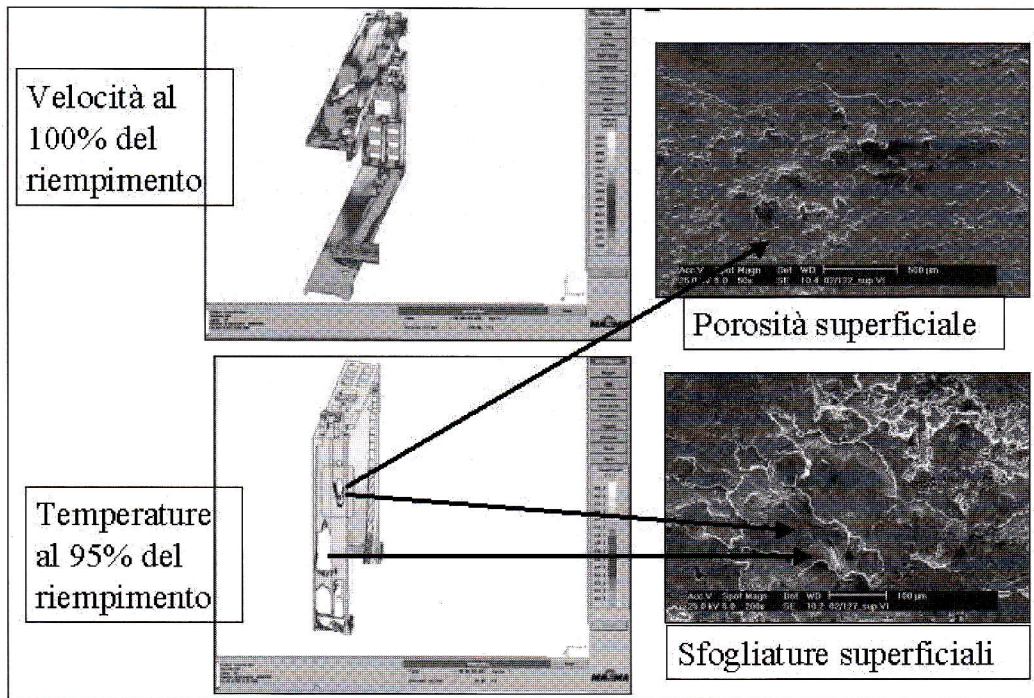


Figura 16: Analisi dei difetti superficiali.

Figure 16: Analysis of surface defects.

viene agevolmente rispettato consentendo il deflusso di metallo ancora liquido solo a monte dell'ugello.

Dalle osservazioni condotte nelle sezioni prese in esame, sono stati individuati alcuni difetti caratteristici, come vortici, cavitazioni e sfogliature. La localizzazione di tali difetti trova corrispondenza nei risultati della simulazione numerica (Figura 14), che evidenzia, nel lato opposto colata, un significativo fenomeno di cavitazione per "effetto scia" delle due asole che si presentano allineate lungo la direzione di avanzamento del fronte di metallo.

Nelle sezioni in prossimità dell'attacco di colata il riempimento è disomogeneo a causa della presenza di due asole e per la netta variazione di spessore (Figura 15).

I difetti superficiali, in genere, sono riconducibili invece a criticità in termini di temperatura e velocità, pertanto i risultati che forniscono maggiori informazioni a tal riguardo sono quelli che descrivono l'evoluzione del riempimento. Il vortice o la cavitazione presentano al loro interno una riduzione della velocità e il successivo inglobamento d'aria, come nel caso della scia che si genera alle spalle di un'asola. Le sfogliature superficiali sono dovute all'effetto combinato

di elevate velocità sul fronte di avanzamento con un chiaro decadimento della temperatura, come in corrispondenza delle sezioni più sottili del getto (Figura 16).

CONCLUSIONI

La simulazione numerica di processo ha permesso di verificare e migliorare le prime ipotesi progettuali del sistema di colata, in presenza di vuoto, relativo ad un componente pressocolato in lega di zinco ZA-8.

I risultati dell'analisi conclusiva, riportata nella presente memoria, descrivono la presenza di difetti di entità ridotta che non pregiudicano le caratteristiche del getto in relazione alla funzione che lo stesso dovrà svolgere. Non vi sono infatti difetti che possano generare cedimenti durante l'utilizzo del componente e la finitura superficiale è stata ritenuta comunque accettabile.

Tra indagini sperimentali (parametri morfologici dei difetti, microstruttura nelle zone di interesse) e risultati della simulazione di processo si è constatato un ottimo accordo.

A B S T R A C T

SIMULATION AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS ON A VACUUM DIECAST ZINC COMPONENTS.

The need of improving diecasting technologies arises from the increased performances required to components. The use of vacuum diecasting processes has, in this sense, a strong potential for all the industry of non-ferrous alloys: reduction of porosity, better mechanical properties, weldability, possibility of heat treatments.

This is true, obviously, also for the processing of zinc alloys. The application of vacuum to hot chamber diecasting improves the surface quality and makes possible treatments such as painting or plating. However, these results are related to

a correct design of the ingates, of the injection curve, of the overflows, as it is presented in this paper.

Experimental investigations and casting

The component investigated, whose final application is in the electronic field, is vacuum diecast, employing a ZA-8 zinc alloy (composition and properties are collected in Table 1). Various kinds of experimental investigations have been carried out, with particular care to 8 significant regions (Figure 1):

- image analysis, to evaluate the porosity content and morphology,
- microhardness,

- light microscopy and scanning electron microscopy, after metallographic etching (200 g CrO₃, 15g Na₂SO₄, 50 ml HNO₃ and H₂O up to 1000 ml).

Defect classification

The "defects map" of the casting is shown in Figure 2. A certain content of porosity is intrinsic in the casting; its amount increases where the geometry of the casting becomes more complex, i.e. where the filling of the die cavity is less homogeneous. Thus, the thinner sections of the casting are usually associated to a low porosity content (regions 3 and 4). Regions 1 and 2, placed just under the ingates, present, on the other side a quite high porosity content: region 1 has a big cavity (area 0.051 mm²) together with several microcavities (typical area: 100 μm²); region 2 is characterised by round pores, with smaller size with respect to region 1. Region 5, which is thick and "external" shows big cavities, probably associated to solidification shrinkage. Region 8 displays a high porosity content, probably due to an insufficient venting. There are also some typical filling defects, as shown in Figure 3.

The surface characteristics of the casting are generally good, as it can be seen in Figure 4. Only some zones in region 6 (Figure 5) have an unsatisfactory surface quality.

Microstructural analysis and microhardness

The microstructure of the casting is generally fine and compact, with the Zinc-rich primary phase (equiassic dendrites) and the Zinc-Aluminium eutectic. The amounts of these constituents changes in the different places (Figures 6 and 7). In some zones the eutectic becomes very fine (Figures 8-9). Some "bands", constituted only by the eutectic in region 5 are displayed in Figures 10-11. The microhardness distribution, which is quite regular, is reported in Figure 12.

Process simulation

The process has been studied also by means of process simulation, employing the MAGMASOFT code, which can take into account the phenomena involved in vacuum diecasting. In particular, the study was aimed at the optimal design (with respect to the injection parameters and of the vacuum system) of the vacuum channel, which is fundamental for achieving the advantages of the vacuum diecasting process. The output of numerical simulation also allowed the understanding of the reasons leading to the experimentally detected defects. Figure 13 shows the correlation between the solidification time and the microstructure of the casting. The regions having high solidification rates are associated, experimentally, to a fine and compact microstructure. The solidification time, in all the regions of the casting, is lower than 5 seconds. The presence of cavitation defects, in the regions opposite to the ingates, is associated, according to numerical simulation (Figure 14), to the filling behaviour of the alloy. In the regions close to the ingates, the geometry of the casting and the variation of thickness induce a turbulent filling (Figure 15). The surface defects experimentally detected, on the other side, are associated to a significant decrease of temperature, corresponding to the thinner regions of the casting (Figure 16).

Conclusions

As final remarks, it can be said that numerical simulation has been successfully employed for designing the vacuum diecasting process of a Zinc alloy. Simulation also allows the prediction and the localisation of defects into the casting. Such defects, experimentally detected, are however not critical for the final use of the component investigated. In fact, there are no defects really detrimental for the mechanical behaviour of the component, and the surface quality has been considered acceptable.