

Metodi di produzione e applicazioni delle schiume metalliche

G. Costanza, G. Gusmano, R. Montanari, M.E. Tata

Le schiume metalliche abbinano peso ridotto con buona rigidità, resistenza meccanica, capacità di smorzamento e resistenza agli shock. Oggi vengono prodotte schiume di numerosi metalli e leghe (Al, Ti, Fe, Cu, Pb, superleghe ecc.).

Parole chiave: alluminio e leghe, processi, produzione, fonderia

INTRODUZIONE

Le possibili applicazioni di una schiuma metallica dipendono da:

- 1- il metallo di cui essa è composta;
- 2- la sua morfologia, cioè porosità (aperta, semi-aperta o chiusa), dimensione e forma delle celle, densità;
- 3- la possibilità di impartire alla schiuma la forma voluta;
- 4- i costi per produrre componenti su scala industriale.

Anche se la distinzione è discutibile, si può dire per comodità che le schiume possono avere applicazioni strutturali e funzionali in numerosi settori (automobilistico, aeronautico, aero-spaziale, strutture off-shore ecc.). Esistono diversi procedimenti di fabbricazione (vedi p.e. [1-2]) e specifici brevetti sono stati sviluppati in vari paesi. Anche se le potenzialità d'impiego di questi materiali sono enormi, l'insufficiente conoscenza dei meccanismi fisici che governano la formazione delle schiume metalliche impedisce di ottenere prodotti con caratteristiche ben riproducibili e quindi ne limita oggi un'applicazione su larga scala.

Questo articolo si prefigge di descrivere le applicazioni e le principali tecniche di produzione. Verranno inoltre esaminati brevemente i processi fisici che sono alla base della formazione delle schiume metalliche.

APPLICAZIONI STRUTTURALI

In campo automobilistico possono essere sfruttate parecchie proprietà delle schiume metalliche, in particolare delle schiume di Al, di cui un esempio è mostrato in fig. 1.

Un materiale con caratteristiche ideali per assorbire energia in caso d'incidente deve avere una curva σ - ϵ praticamente rettangolare, cioè una volta raggiunto un valore critico di stress deve continuare a deformarsi esibendo un plateau di σ . Il materiale deve inoltre avere un'alta capacità di assorbimento per unità di volume e buona isotropia. Quest'ultima proprietà è importante affinché la sicurezza dei passeggeri sia garantita a prescindere dalla direzione in cui ha luogo l'impatto. Le schiume omogenee di Al rispondono in modo eccellente a questi requisiti. La maggioranza degli studi applicativi considera schiume con una pelle esterna di metallo compatto poiché in queste condizioni l'andamento della curva σ - ϵ approssima meglio le condizioni ideali ed è migliore anche il comportamento a corrosione, anche se ciò è realizzato un po' a scapito della densità.

Dal momento che il fattore di smorzamento di una schiuma

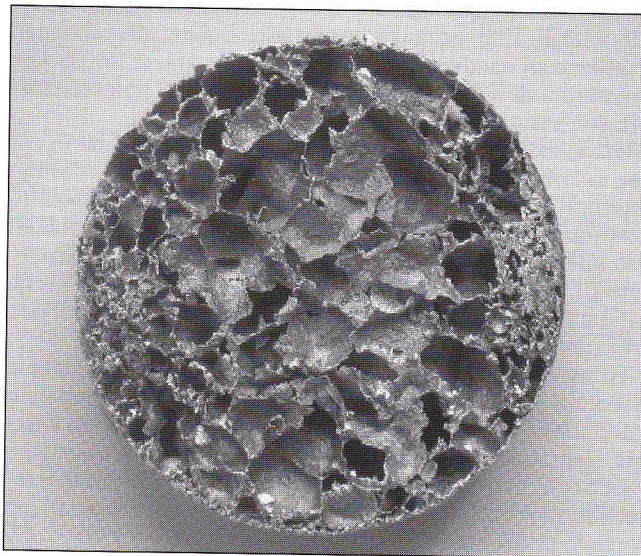


Figura 1: La macrografia mostra la sezione di un cilindro di schiuma in lega di Al a pori aperti.

Figure 1: The macrograph shows the section of a cylinder of Al alloy foam with open pores.

è circa dieci volte maggiore di quello del corrispondente metallo monolitico, un altro interessante utilizzo riguarda il controllo del rumore e l'isolamento acustico. Le schiume possono essere efficaci sia per attenuare rumori che provengono dall'ambiente esterno sia per limitare vibrazioni di organi di macchine che, oltre a dar luogo ad onde sonore indesiderate, possono provocare rotture degli organi stessi. Un'onda sonora che entra in un materiale poroso è in parte riflessa e in parte attraversa la struttura. Una parte dell'onda che entra è assorbita mentre la rimanente è trasmessa. Le onde sonore entranti in una struttura porosa vengono attenuate, in maniera maggiore se i pori sono interconnessi da piccoli canali. Schiume metalliche possono raggiungere elevatissimi livelli di assorbimento, fino al 99% per alcune frequenze (1-5 kHz). Pannelli di schiume metalliche sono già stati usati in Giappone come assorbitori acustici lungo strade con traffico particolarmente intenso e in alcuni tunnel ferroviari per attenuare le onde sonore del treno ad alta velocità Shinkansen. Pannelli di schiuma sono inoltre utilizzati anche per assorbire suoni agli ingressi degli edifici pubblici. La capacità di assorbire energia delle schiume metalliche è importante per treni leggeri e tram che operano in ambiente urbano, riducendo le conseguenze in caso di urto. I vantaggi sono gli stessi dell'utilizzo nel settore automobilistico, con la differenza che le dimensioni e le masse dei vagoni ferroviari sono molto maggiori.

Le costruzioni leggere si basano su un rapporto rigidità / massa molto elevato. In questa particolare applicazione le

G. Costanza, R. Montanari, M. E. Tata
Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Università di Roma - Tor Vergata
G. Gusmano
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche

Memoria pervenuta a luglio 2002

schiume metalliche si trovano a competere con strutture ad alveare (honeycomb) sempre in lega leggera (principalmente Al). Le strutture a base di schiuma tuttavia risultano più facili da realizzare anche in geometrie complicate, meglio sopportano i danneggiamenti e l'eventuale rottura ha conseguenze meno catastrofiche. Inoltre mostrano ulteriori utili proprietà quali per esempio la resistenza al calore e l'assorbimento acustico.

Nel settore aerospaziale, dove per molti aspetti le problematiche sono simili a quelle del campo automobilistico, il rimpiazzo di costose strutture honeycomb con lamine di schiume di Al può condurre a migliori prestazioni e ad una riduzione dei costi. Da una parte si ricerca una migliore resistenza a taglio e flessione mentre dall'altra si apprezza l'isotropia delle proprietà meccaniche e la possibilità di realizzare strutture composite senza ricorrere ad adesivi. Ne consegue un migliore comportamento in caso di incendio mantenendo più a lungo l'integrità strutturale: p.e. Boeing sta valutando l'utilizzo di sandwich di schiuma di Ti, grazie anche alla possibilità di realizzare curvature e forme 3D non realizzabili con strutture honeycomb.

Nella tecnologia spaziale schiume di Al sono utilizzabili come assorbitori di energia per i veicoli spaziali che devono atterrare e come rinforzo per strutture portanti nei satelliti, sostituendo quei materiali che danno problemi in condizioni estreme (sbalzi di temperatura, vuoto, etc.). E' stato considerato l'uso di schiume in lega Li-Mg, altamente reattiva ma ultraleggera: questa lega, non utilizzabile normalmente, può trovare campo applicativo in condizioni di vuoto.

Nell'ingegneria civile, oltre a svolgere funzioni estetiche e decorative, le schiume metalliche possono trovare impieghi particolari: ad esempio possono ridurre il consumo di energia elettrica degli ascensori; porte antincendio ultraleggere fabbricate con particolari leghe di Al sono sorprendentemente stabili quando esposte alla fiamma libera, nonostante il punto di fusione relativamente basso.

Nel settore biomedico leghe di Ti e Co-Cr sono utilizzate grazie alla loro biocompatibilità per realizzare protesi o impianti dentali. Per favorire la crescita tissutale sulla loro superficie si deposita uno strato poroso di materiale biocompatibile. Le proprietà meccaniche delle schiume in lega di Ti possono essere calibrate variandone la densità così da raggiungere i requisiti (resistenza, modulo elastico, etc.) più appropriati per l'impiego specifico.

APPLICAZIONI FUNZIONALI

Alcuni tipi di schiume possiedono caratteristiche diverse da quelle dei più classici materiali porosi prodotti mediante metallurgia delle polveri, pertanto possono essere complementari a questi in impieghi di filtrazione e separazione.

Schiume con porosità aperta di metalli con alta conducibilità termica (p.e. Al e Cu) possono essere usate come scambiatori di calore: liquidi e gas scorrono attraverso la struttura della schiuma scaldandola o raffreddandola. Un esempio di tale applicazione è rappresentato dai sistemi compatti di raffreddamento di dispositivi microelettronici con alta densità di dissipazione di energia come i chips dei computer.

Metalli con struttura cellulare hanno già parzialmente sostituito i ceramici come supporti catalitici, poiché hanno buona conducibilità termica e duttilità. Un brevetto tedesco [3] è basato sulla preparazione di un lamierino in schiuma metallica, sul riempimento di questo con una barbotina contenente i catalizzatori, seguito da un trattamento termico ad alta temperatura. Questo metodo permette di ottenere un'eccellente resistenza meccanica poiché il catalizzatore non si stacca dal supporto anche dopo molti cicli.

Schiume di Pb potrebbero essere impiegate come elettrodi nelle batterie al posto dei lamierini in Pb massivo. Schiume

di Ni sono già state usate come elettrodi sia in batterie NiCd ricaricabili, per ridurre il peso e per raggiungere una più alta densità di energia [4], che in reattori elettrochimici per migliorarne le prestazioni [5-6]. Interessanti sono anche le possibilità di immagazzinare e trasferire liquidi (p.e. cuscinetti autolubrificanti, rulli porosi per distribuire omogeneamente acqua, adesivi o altri liquidi su una superficie ecc.).

Uno specifico vantaggio delle schiume usate come materiali per serbatoi, è quello di limitare rispetto ai materiali tradizionali lo sloshing, cioè le indesiderate oscillazioni del liquido dovute ad un parziale riempimento del serbatoio.

Come ultimo punto si deve accennare alle applicazioni artistiche e decorative, che non sfruttano le proprietà chimico-fisiche ma l'aspetto estetico particolare. Schiume di Al sono già state usate per costruire oggetti di arredamento (lampade, sedie, mobili ecc.) così come altoparlanti di sistemi hi-fi di alto costo. Inoltre, nel campo della gioielleria è stata avanzata l'ipotesi di costruire oggetti in schiuma di Au o Ag per avere un alto rapporto volume-peso e per conferire un aspetto originale ai prodotti.

METODI DI PRODUZIONE

Un primo metodo per produrre schiume metalliche consiste nel mescolare polveri metalliche con un materiale in grado di liberare un gas (p.e. polveri di Al e idruro di Ti), pressare la miscela per ottenere un precursore compatto ed infine scaldare il tutto portando a fusione il metallo. L'agente soffiante viene scelto in modo che si decomponga ad una temperatura più bassa di quella di fusione del metallo, così che il gas rilasciato possa poi espandere il fuso producendo la schiuma. Per favorire l'effetto schiumogeno si aggiungono delle sostanze in grado di modificare i valori di tensione superficiale e di viscosità del metallo liquido. Ad esempio, nel caso di Al o sue leghe, per aumentare la viscosità del fuso, si aggiunge Ca metallico (si formano CaO, Ca Al₂O₄) oppure polveri di Al₂O₃ o SiC.

Questo procedimento (uno schema è riprodotto in Fig. 2), messo a punto presso l'Istituto Fraunhofer di Brema [7], si trova al momento ad uno stadio di sfruttamento commerciale su piccola scala da parte della società tedesca Schunk-Honsel e delle austriache Alulight e Neumann Alufoam.

Una variante a due stadi di questo metodo è stata messa a punto da Gergerly & Clyne [8]. Per ottenere maggior compattezza del precursore, le particelle di TiH₂ vengono disperse nel fuso dopo averle pre-trattate in modo da formare sulla loro superficie una barriera protettiva di TiO₂ che limita l'evoluzione di gas durante questo primo stadio. Dopo raffreddamento il precursore viene portato ad una temperatura superiore a quella di fusione della matrice permettendo il progressivo rilascio di gas per formare la schiuma.

Un'altra tecnica di produzione si basa sull'aggiunta di gas direttamente nel fuso previa modifica della sua viscosità e tensione superficiale (Fig. 3). In alcuni casi si lascia raffreddare tutto il fuso trasformato in schiuma, in altri, quando la schiuma si forma alla superficie, la si asporta con un nastro trasportatore per farla raffreddare in un secondo tempo. Questo secondo processo è stato sviluppato e commercializzato dalle seguenti industrie: Cymat (Canada), Shinko-Wire (Giappone), Hydro-Aluminium e Sperre (Norvegia).

Le schiume metalliche possono essere prodotte anche senza l'introduzione di un gas nel metallo liquido. In questo caso si parte da una schiuma polimerica (p.e. poliuretano) a pori aperti, che viene riempita con una barbotina di materiale termoresistente (p.e. una miscela di mullite, resina fenolica e carbonato di calcio). Una volta che la miscela si è asciugata, il polimero viene rimosso con trattamenti termici ed il metallo fuso viene colato nello stampo così ottenuto. Dopo la solidificazione della lega si rimuove il materiale termoresi-

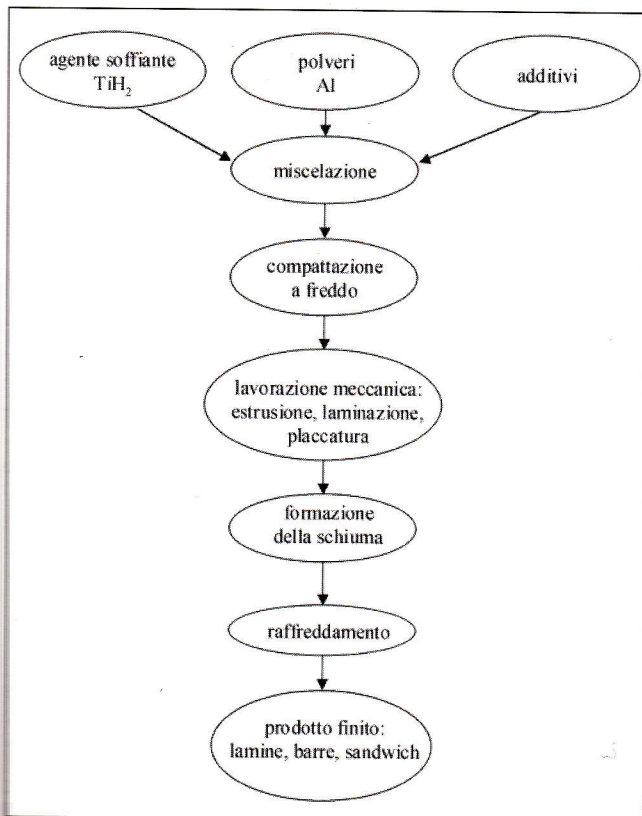


Figura 2: Schema del processo messo a punto presso l'Istituto Fraunhofer di Brema per la produzione di schiume di Al ottenute da polveri.

Figure 2: A sketch of the process setup at the Fraunhofer Institute of Bremen to produce Al foam from powders.

stente, in genere con acqua in pressione, ottenendo una struttura metallica che riproduce quella della schiuma polimerica. Uno schema di questo processo è mostrato in Fig. 4. Il metodo, usato da ERG (USA), si presta bene a realizzare parti complesse preformando opportunamente la schiuma polimerica e permette di ottenere porosità di varia grandezza con diversi metalli e leghe.

Un'altra tecnica prevede la deposizione galvanica del metallo su una schiuma polimerica a celle aperte, preventivamente ricoperta di uno strato di grafite o metallizzata per evaporazione, per migliorare la conduttività elettrica. Dopo la deposizione del metallo il polimero viene rimosso e quello che rimane è di fatto una schiuma metallica. Esistono prodotti

Figura 4: Schema del processo di produzione di schiume metalliche a partire da schiuma polimerica.

Figure 4: Schematic illustration of the process to make Al foam from polymeric foam.

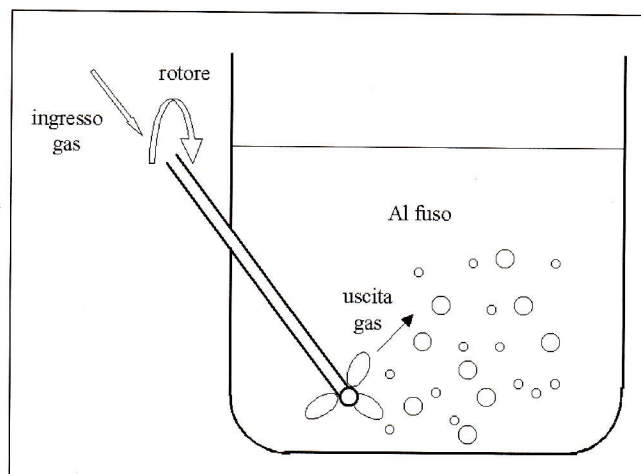
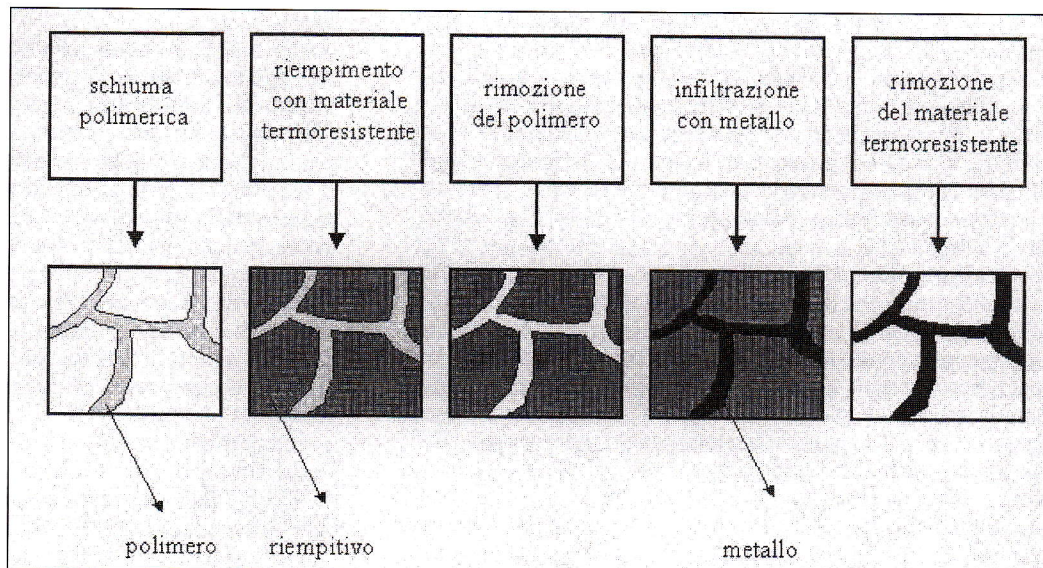


Figura 3: Formazione della schiuma per iniezione di gas nel fuso.

Figure 3: Direct foaming of melts by gas injection.

commerciali fabbricati con questo metodo da Dunlop (GB), Sumitomo (Giappone) ed Ecosot (Bielorussia).

Da quanto esposto risulta evidente che l'interesse per questo tipo di materiali ha stimolato svariati approcci portando alla commercializzazione di prodotti diversi in numerosi paesi. Purtroppo, a fronte di questo, in Italia non sono presenti produttori di schiume metalliche in campo industriale e solo a livello di ricerca di laboratorio si stanno facendo i primi passi.

PROBLEMI APERTI E SVILUPPI DELLA RICERCA

A prescindere dalla tecnologia di produzione, per ottenere delle buone caratteristiche occorre che le bolle siano piccole, di dimensione uniforme e stabili nel tempo. In altre parole, si tratta di controllare nucleazione e crescita e di contrastare i fenomeni di coalescenza. E' desiderabile inoltre che le particelle ceramiche usate come stabilizzatori siano uniformemente distribuite.

I procedimenti produttivi descritti sono basati su metodi empirici ed i meccanismi di base che governano la formazione delle schiume metalliche non sono stati mai studiati in modo sistematico. Come messo in evidenza da Banhart in un recente lavoro di rassegna [9], i principali problemi aperti sono:

- 1- comprensione dei meccanismi di base;
- 2- capacità di produrre schiume di qualità costante con caratteristiche predefinite;
- 3- difficoltà di trovare applicazioni su larga scala.

E' evidente che il punto 1 è decisivo poiché applicazioni industriali su larga scala richiedono un accurato controllo del processo produttivo basato sulla conoscenza dei processi fisici di base.

Le schiume metalliche sono sistemi termodinamicamente instabili a causa della grande area delle superfici interne. Da un punto di vista pratico per "stabilità" si intende una cinetica di evoluzione molto lenta. Per stabilizzare le schiume metalliche si ricorre ad additivi quali particelle di SiC, di ossidi di Al e Ca oppure di loro ossidi misti, o di sottili filamenti metallo-ossido. La stabilizzazione si ottiene sempre con particelle solide però non è completamente chiaro come esse agiscano.

Alcune ipotesi sono state pubblicate recentemente al riguardo [10-11]. Due sono gli aspetti da chiarire: 1- come si distribuiscono le particelle nella schiuma; 2- come una certa configurazione di particelle ne influenzi la stabilità.

Per quanto riguarda il primo aspetto, il comportamento delle particelle dipende dalla bagnabilità da parte del fuso, decisiva ai fini del loro inglobamento nel metallo oppure della loro segregazione. E' importante studiare più a fondo quale influenza hanno la composizione chimica delle particelle, la forma, la rugosità superficiale e la concentrazione nel metallo liquido.

Sul meccanismo con cui le particelle stabilizzano le schiume, esistono tuttavia opinioni diverse. Kaptay [12] ha sviluppato il seguente criterio per la selezione delle particelle ceramiche con cui stabilizzare schiume di Al con celle di dimensione predefinita (raggio R) separate da pareti di spessore predefinito t:

$$1 - \frac{8R^2 g \rho_M}{3\sigma_M} > \cos\Theta > \frac{3t\sigma_M n^* + hR^2 \rho_M}{6r\sigma_M n^*} \quad (1)$$

- dove g è l' accelerazione di gravità,
- ρ_M la densità del fuso,
- σ_M la tensione superficiale del fuso,
- Θ l' angolo di contatto del fuso sulla superficie planare del materiale delle particelle nell' atmosfera gassosa della bolla,
- n* il numero di particelle che prendono parte alla separazione (vedi fig.5),
- r il raggio delle particelle,
- h lo spessore macroscopico della schiuma.

I lavori citati sono un buon punto di partenza tuttavia molta attività di ricerca dovrà essere ancora svolta per approfondire la conoscenza dei meccanismi in gioco.

La formazione delle schiume presenta un complicato scenario dove più processi fisici (drenaggio, flusso, ingrossamento e coalescenza) sono presenti e strettamente collegati tra loro. Nel caso di procedimenti basati sull'apporto di agenti soffianti, il drenaggio è costituito dal flusso di liquido che per gravità passa attraverso la struttura della schiuma dall'alto verso il basso. Come conseguenza la parte superiore della schiuma tende ad asciugarsi, le pareti delle bolle si assottigliano e quindi possono rompersi più facilmente dando luogo ad ingrossamento e coalescenza. Flusso, ingrossamento e coalescenza possono provocare inoltre il movimento delle bolle.

D'altra parte, lo studio sperimentale e il controllo dei processi di formazione delle schiume metalliche sono resi difficili poiché i metalli liquidi sono opachi, molto reattivi con l'ossigeno e possiedono un'alta conduttività elettrica. Pertanto metodi basati su misure di resistenza elettrica o di proprietà ottiche non possono essere utilizzati per monitorarne l'evoluzione. Si può procedere arrestando il processo a stadi successivi, raffreddando e controllando i risultati con prove meccaniche, osservazioni metallografiche, misure di modulo elastico dinamico, di frizione interna, di porosimetria (schiume a pori aperti), di conducibilità elettrica e termica

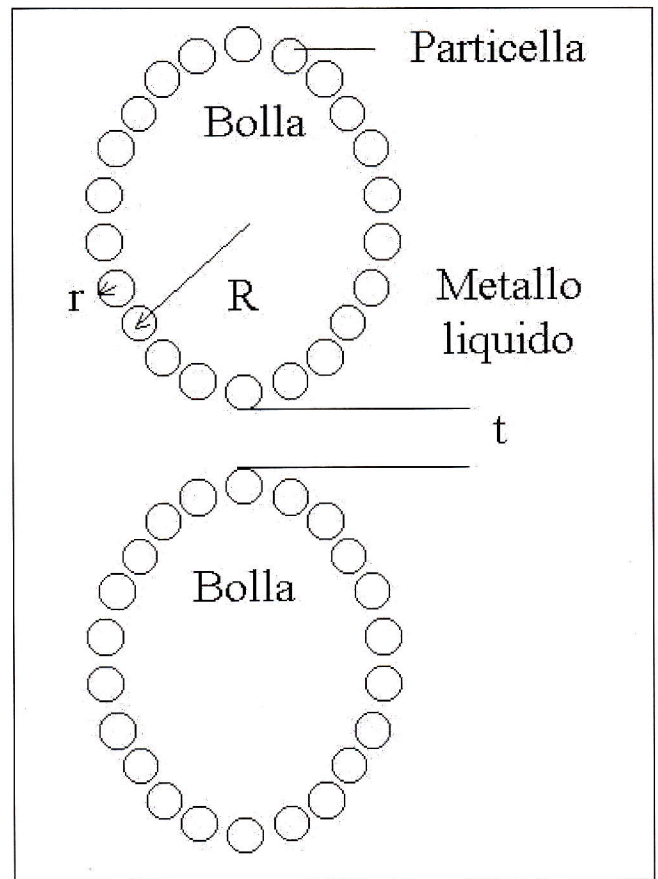


Figura 5: Celle di raggio R, stabilizzate con particelle ceramiche di raggio r, separate da parete di spessore t.

Figure 5: Cells of radius R are stabilized by ceramic particles of radius r. The bridge between the cells has thickness t.

etc. In alternativa a questa metodologia, l'evoluzione della struttura delle bolle può essere monitorata in-situ mediante radiografia X oppure mediante misure volumetriche o di densità.

La radiografia con raggi X permette di studiare non solo la struttura interna nel materiale finale ma anche l'evoluzione durante stadi successivi del processo. Per esempio, Banhart [13] descrive l'evoluzione di una schiuma di Al durante la fase di espansione mediante immagini radioscopiche ottenute con luce di sincrotrone (ESRF-Grenoble).

Le misure volumetriche consistono nel determinare con un sensore laser l'espansione uniaassiale della schiuma, che avviene all'interno di un apposito cilindro, in dipendenza dal tempo.

Un aspetto importante della ricerca sulle schiume metalliche è la sperimentazione in gravità ridotta. In queste condizioni si possono meglio comprendere i meccanismi operanti durante la formazione ed evoluzione delle schiume. Inoltre si possono produrre schiume metalliche senza i difetti associati ad effetti di galleggiamento presenti in condizioni di normale gravità. In particolare si può semplificare il quadro dei processi fisici operanti evitando il drenaggio.

Per queste ragioni già negli anni '70 (voli SPAR 1-2) furono condotti da Patten ed al.[14] esperimenti per valutare gli effetti della concentrazione del gas, della temperatura di fusione e del tempo di fusione sulla struttura di schiume di Al e sulla loro cinetica di evoluzione. Con il volo SPAR 10 fu realizzata una schiuma di Cu rinforzata con ossido di rame, avente porosità omogenea e densità pari ad un terzo di quella del Cu [15]. Uno studio condotto nel 1983 sulle schiume di Fe (TEXUS 7) ha portato alla conclusione che dimensione e distribuzione delle bolle non possono essere controllate nemmeno in microgravità usando gas reattivi [15]. Un pro-

gramma di ricerca sulle schiume di Pb in voli parabolici è stato avviato nel 1998 da Banhart et al.[13]. Si portano a fusione i campioni in modo che la formazione della schiuma inizi nel momento in cui inizia la microgravità, la schiuma evolve liberamente per 20 secondi e, nei restanti 2 secondi di microgravità, viene temprata in aria. Il confronto con campioni prodotti nelle medesime condizioni a terra ha messo in evidenza che le bolle in gravità ridotta risultano più piccole e meno schiacciate ai poli. Nuovi progetti prevedono tempi prolungati in microgravità ed offriranno la possibilità di eseguire osservazioni in tempo reale sulle schiume in fase liquida, di stimolarle con campi elettrici e magnetici e registrarne la risposta.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] J. BANHART, Proc. of Fraunhofer USA Metal Foam Symposium, Stanton- Delaware (1997), p.3.
 [2] J. BANHART, Progress in Materials Science, 46 (2001) p.559.
 [3] H. SWARS, German Patent Application 3, 619,360, (1987).
 [4] I. MATSUMOTO, T. IWAKI, N. YANAGIHARA, US Patent 4,251, 603, (1981).
 [5] A. MONTILLET, J. COMITI, J. LEGRAND, J. Appl. Electrochem 23 (1993) 1045.
 [6] P. COGNET, J. BERLAN, G. LACOSTE, P.L. FABRE, J.M. JUD, J. Appl. Electrochem. 26 (1996) p.631.

[7] J. BANHART, J. BAUMEISTER, M. WEBER, Proc. of the European Conference on Advanced PM Materials, Birmingham (1995), p.201.
 [8] V. GERGERLY, T.W. CLYNE, Proc. of the International Conference on Metal Foams and Porous Metal Structures, Bremen (1999), p.83.
 [9] J. BANHART, JOM (2000) 22.
 [10] V. GEGERLY, T.W. CLYNE, Adv. Eng. Materials, 2 (2000) p.175.
 [11] S.W. IP, Y. WANG, J.M. TOGURI, Canadian Metallurgical Quarterly, 38 (1999) p.81.
 [12] G. KAPTAY, Proc. of the International Conference on Metal Foams and Porous Metal Structures, Bremen (1999), p.141.
 [13] J. BANHART, F. BAUMGARTNER, S.J. COX, B. KRONBERG, D. LANGEVIN, S. ODENBACH, D. WEAIRE, T. WUBBEN, Proc. of the 1st Symposium on Microgravity Research and Applications in Physical Sciences and Biotechnology, Sorrento (2000), p.589.
 [14] J.W. PATTEN, E.N. GREENWELL, Space Processing and Applications Rocket Project, SPAR 1 Final Report, NASA TM X-3458, (1976), p.II-1.
 [15] R. B. POND, J. M. Jr WINTER, Space Processing Applications Rocket Project, SPAR X Final Report, NASA TM 86548, (1986), p.75.
 [16] J. POETSCHKE, P. PANT, Manufacture of Iron Foam. In Summary Review of Sounding Rocket Experiments in Fluid Science and Materials Sciences, TEXUS 1 to 20, MASER 1 and 2, ESA SP-1132, (1991), p.326.

A B S T R A C T

MANUFACTURING ROUTES AND APPLICATIONS OF METAL FOAMS

Manufacturing routes and applications of metal foams are reviewed. Foams and other porous materials exhibit an interesting combination of physical and mechanical properties. Nowadays foams of several metals and alloys (Al, Ti, Fe, Cu, Pb, superalloys) can be produced. Metal foams have structural and functional applications in many sectors and different production methods have been developed giving rise to many patents. In spite of their industrial applications, physical mechanisms of metal foaming are not yet well known. This lack prevents to make products with controlled features and limits large-scale applications.

Structural applications

In the automotive sector metal foams may be exploited as energy-absorbers because they show a rectangular σ - ϵ curve combined with high isotropy and absorption capacity for unit volume. Foams can also be used for lowering noise and for damping mechanical vibrations.

Metal foams can be used instead of honeycomb Al structures in light-weight constructions where a high stiffness-weight ratio is required. In aerospace industry they offer the possibility to realize composite structures without using adhesives. Ti alloy foams are used in prosthesis for the biocompatibility and low density of Ti.

Functional applications

Metal porous structures have features useful for filtering systems, heat exchangers, catalytic substrates and Ni electrodes in Ni-Cd battery. Foams may be used for limiting fuel sloshing in tanks. Artistic and decorative applications exploit their external aspects rather than chemical or physical properties of foams.

Production routes

The method of production developed at the Fraunhofer Institute in Bremen consists in mixing metal powders (e.g. Al) with a blowing agent (e.g. TiH_2) and stabilizers (ceramic particles), in compacting the mixture and heating it up to melting. The blowing agent is suitably chosen so that it decomposes before melting and the released gas can foam the melt. Finally, the foam is cooled down to room temperature to freeze the cell structure. Another method is based on the injection of gas into the melt, whose physical properties (viscosity and surface tension) have been previously modified. The whole melt can be then solidified or the foam present on the surface is removed by a conveyor belt and cooled down later. Metal foams may also be produced starting from a polymeric foam with open cells. The polymeric structure is filled with a slurry of heat resistant materials. After a heat treatment, which causes the slurry solidification, the polymer foam is removed and molten metal is cast into the open voids to replicate the original structure of polymer foam.

Further developments

To achieve satisfactory properties of metal foams, the bubbles in the liquid metal should be stable in the time and exhibit small and uniform size. Therefore, nucleation and growth must be controlled and coalescence avoided. All the aforesaid production processes are based on empirical criteria since the basic mechanisms of metal foaming are not yet well understood. For this reason, it is not possible to produce foams with prefixed characteristics and to have a large scale exploitation of these materials. A deeper knowledge of the physical processes governing metal foaming is the key to get extended industrial applications and should be the main target of future investigations. In this respect experiments in reduced gravity conditions (International Space Station, parabolic flights etc.) are underway and may provide interesting contributions.