

L'alluminio come materiale per stampi injection molding: un esempio applicativo

M. Poletti, F. Bonollo, M. Modesti

La crescente competizione, tecnologica ed economica, tra le varie aziende determina, come fattore qualificante, un impiego sempre più "maturo" e corretto dei materiali. Si tratta, in sostanza, di scegliere ed utilizzare un materiale assecondandone al meglio le prestazioni ed evitando qualsiasi tipo di spreco. L'utilizzo delle leghe di Alluminio come materiale per stampi per injection molding è un esempio molto significativo di tale tendenza, e viene descritto in questo lavoro con specifico riferimento ad un caso industriale.

INTRODUZIONE

Il settore dello stampaggio ad iniezione (*injection molding*) di materiali polimerici è certamente molto dinamico e rivolto ad una gamma notevolmente estesa di applicazioni e di utilizzatori. La spinta innovativa determinata dalla notevole concorrenzialità tra le diverse aziende sta portando, come in molti altri segmenti industriali, ad un più razionale impiego dei materiali necessari alla realizzazione degli utensili per lo stampaggio. In altri termini, quello che fino a qualche anno fa poteva essere considerato un assioma (gli stampi per la produzione industriale di polimeri termoplastici devono essere realizzati in acciaio), è stato recentemente posto in discussione, valutando criticamente e introducendo approcci alternativi.

Ci si è chiesti, in sostanza, se convenisse davvero sempre impiegare l'acciaio per realizzare il *tooling* per l'*injection molding*, quando, in alcuni casi, fossero ipotizzabili e realizzabili soluzioni alternative molto valide sia dal punto di vista tecnologico che economico. Tali soluzioni prevedono l'utilizzo di leghe di alluminio, e sono state dettagliatamente descritte in letteratura [1-3]. In particolare, si è osservato come l'evoluzione dell'impiego delle leghe di alluminio per la realizzazione degli stampi sia stata verso leghe/famiglie dalle prestazioni via via crescenti (serie 5XXX; serie 6XXX e 2XXX; serie 7XXX di prima e seconda generazione).

In questo lavoro, verranno svolti alcuni concetti relativi al comportamento in servizio di stampi in lega di alluminio, riportando le informazioni provenienti da specifici casi aziendali e cercando di trarre alcune considerazioni di carattere generale.

IL PROCESSO INJECTION-MOLDING DI MATERIALI POLIMERICI

Il processo di stampaggio ad iniezione è la tecnologia più diffusa per trasformare molti polimeri in manufatti a forma finita nelle tre dimensioni. Tale tecnologia ha senza dubbio raggiunto un elevato livello di evoluzione grazie soprattutto all'uso estensivo dei controlli computerizzati di processo e all'applicazione ormai diffusa della modellazione (*Flow analysis*). L'attuale tendenza è verso il miglioramento della qualità e della produttività per fronteggiare una competizione ormai a livello mondiale e la ricerca di nuove varianti tec-

nologiche (ad es. co-iniezione, stampaggio con iniezione di gas, stampaggio ad alta pressione, ecc.) che consentano di ampliare ulteriormente le possibilità applicative di tale processo. Pur non essendo questa la sede per affrontare nel dettaglio questo argomento (si veda al riguardo la letteratura specialistica [4-6]), si ritiene opportuno riportarne gli elementi fondamentali. Il processo di *injection molding* (schema in Figura 1) è basato su una serie di operazioni che possono essere così riassunte:

- plastificazione del polimero che, caricato sotto forma di granuli, viene portato allo stato fuso e caricato in una camera di iniezione (in Tabella 1 si riportano le temperature tipiche di stampaggio di alcuni polimeri);
- iniezione del polimero fuso in uno stampo che si trova al di sotto della temperatura di solidificazione del polimero;
- mantenimento del polimero sotto pressione fin quando non avviene la solidificazione di una sezione a monte del manufatto;
- raffreddamento del manufatto fin quando la solidificazione è completa;
- apertura dello stampo ed estrazione del manufatto.

La successione di operazioni appena descritta viene eseguita in un'apparecchiatura che risulta costituita essenzialmente da due parti: il gruppo stampo con i relativi meccanismi di apertura, chiusura ed estrazione del manufatto (Figura 1, sulla sinistra) ed il gruppo di plastificazione-iniezione (Figura 1, sulla destra).

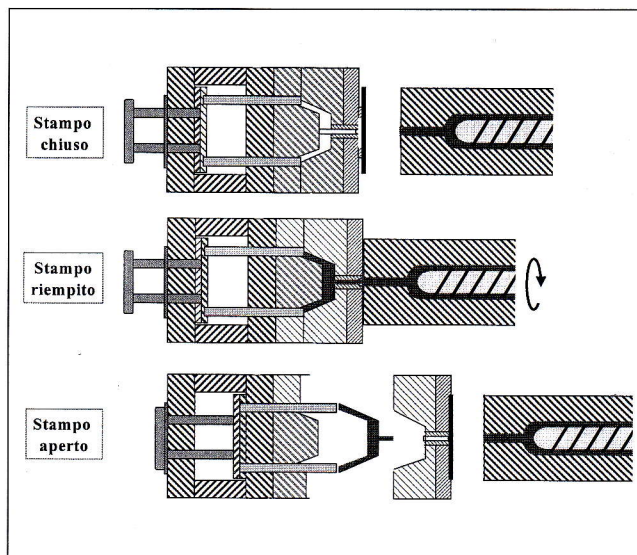


Fig. 1 - Schema operativo di massima di un processo di injection molding.

Fig. 1 - Working scheme of injection molding process.

M. Poletti, Polplastic, Dolo (VE)

F. Bonollo, M. Modesti, Università di Padova

Memoria presentata al Convegno AIM "Stampi in lega di alluminio per materiali termoplastici", Vicenza, 28 settembre 1999.

Materiale Intervallo tipico di stampaggio

ABS	200-240°C
PC	250-300°C
HDPE	160-180°C
PP	180-200°C
PS	180-210°C
PA 66	250-265°C
PMMA	220-240°C
PA 6	230-240°C
PVC	160-175°C
SAN	220-230°C

Tab. 1 - Temperature di stampaggio caratteristiche per alcuni polimeri.

Table 1: - Typical injection temperatures for some polymers.

L'USURA NEI SISTEMI METALLO-POLIMERO

Gli aspetti che si debbono prendere in esame nella scelta di materiali per stampi *injection molding* sono molteplici. Vanno infatti considerati la lavorabilità, l'attitudine ad operazioni di finitura superficiale, i costi, la riciclabilità, la leggerezza, le prestazioni in servizio.

Tra i fattori che maggiormente qualificano quest'ultimo aspetto, vi è indubbiamente la resistenza dello stampo alle sollecitazioni ingenerate dal contatto con il polimero, senza dar luogo a fenomeni di usura.

In generale, il comportamento ad usura dei materiali metallici è influenzato da un elevato numero di variabili e di parametri. Si possono citare, senza per questo pretendere la completezza, le caratteristiche geometriche del sistema in esame, le condizioni di lubrificazione, le proprietà termofisiche dei materiali coinvolti, i parametri di lavoro (velocità di strisciamento, forza applicata tra le due superfici a contatto), ecc.

Polimero	Resistenza a taglio [MPa]	Coefficiente di attrito	Note
Nylon 6/6	70.5	0.66	Usura superficiale acciaio
Poliossimetilene	65.5	0.65	Usura superficiale acciaio
Polietilene alta densità	63.4	nd	Assenza di fenomeni di usura
Nylon 11	41.4	0.50	Assenza di fenomeni di usura
UHMWPE	24.1	0.55	Assenza di fenomeni di usura

Tab. 2 - Coefficienti di attrito e comportamento tribologico di diversi polimeri accoppiati ad un acciaio al carbonio [7].

Table 2: - Friction coefficients and tribological behaviour of different polymers coupled to Carbon steel [7].

Materiale metallico (fisso)	Polimero (in movimento)	Tipo di test	Coefficiente di Attrito	
			Statico	Dinamico
Acciaio al carbonio	ABS	Pin on flat	0.40	0.27
Acciaio basso-legato	ABS	Thrust washer	0.30	0.35
Acciaio al carbonio	PE alta densità	Pin on flat	0.36	0.23
Acciaio al carbonio	PE bassa densità	Pin on flat	0.48	0.28
Acciaio al carbonio	Nylon 6	Pin on flat	0.54	0.37
Acciaio basso-legato	Nylon 6	Thrust washer	0.22	0.26
Acciaio al carbonio	Nylon 6/10	Pin on flat	0.53	0.38
Acciaio basso-legato	Nylon 6/10	Thrust washer	0.23	0.31
Acciaio al carbonio	PMMA	Pin on flat	0.64	0.50
Acciaio basso-legato	Polipropilene	Thrust washer	0.36	0.26
Acciaio al carbonio	Polipropilene	Pin on flat	0.08	0.11
Acciaio basso-legato	Polistirene	Thrust washer	0.43	0.37
Acciaio al carbonio	Polistirene	Pin on flat	0.28	0.32
Acciaio al carbonio	PVC	Pin on flat	0.53	0.38
Acciaio al carbonio	PTFE	Pin on flat	0.37	0.09
AISI 1032	PTFE	Flat on flat	0.18	0.16
AA6061-T6	PTFE	Flat on flat	0.19	0.18

Tab. 3 - Coefficienti di attrito tra materiali metallici e polimerici [7].

Table 3 - Friction coefficients between metallic materials and polymers [7].

Polimero Condizione Coefficiente di attrito

Nylon	Secco	0.40
Nylon	Umido	0.15
PMMA	Secco	0.50
PVC	Secco	0.50
Polistirene	Secco	0.50
LDPE	Secco, umido	0.40
HDPE	Secco, umido	0.15
PTFE	Secco, umido	0.06
PTFE	Secco, umido	0.30
PTFE + 15% fibre di vetro	Secco	0.12

Tab. 4 - Coefficienti di attrito tra acciaio e materiali polimerici, in condizioni di temperatura ambiente e basse velocità di strisciamento [8].

Table 4 - Friction coefficients between steel and polymers, at room temperatures and low sliding speeds [8].

Tab. 5 - Principali parametri utilizzati da Lim e Ashby per lo studio delle mappe dei meccanismi di usura [9].

Table 5 - Main parameters introduced by Lim and Ashby to study wear mechanism maps [9].

Parametri Normalizzati

$$\bar{W} = \frac{W}{A_n} = \text{velocità di usura normalizzata}$$

$$\bar{F} = \frac{F}{A_n \cdot H_0} = \text{pressione normalizzata}$$

$$\bar{V} = \frac{V \cdot r_0}{a} = \text{velocità normalizzata}$$

Definizioni

W = velocità di usura [m³/m]

A_n = area nominale di contatto [m²]

F = forza normale alla superficie di strisciamento [N]

H₀ = durezza a temperatura ambiente [N/m²]

V = velocità di strisciamento [m/s]

A = diffusività termica [m²/s]

L'argomento è stato razionalizzato innanzitutto introducendo alcune tipologie caratteristiche di prova di usura (*pin on disk, flat on flat, flat on cylinder, ecc.*), in modo da poter studiare a livello di laboratorio il comportamento di materiali solidi sottoposti a contatti di strisciamento in condizioni note [7]. La gran parte dei test di laboratorio effettuati sono stati in realtà indirizzati ad accoppiamenti metallo-metallo o metallo-ceramico; sono comunque reperibili alcuni dati riferiti ad accoppiamenti (contatti di strisciamento) tra leghe metalliche e polimeri, sintetizzati nelle Tabelle 2-4 [7-8]. Alcune indicazioni generali sul comportamento ad usura di tali accoppiamenti sono di seguito riassunte:

- il coefficiente di attrito tende a diminuire aumentando il carico applicato e diminuendo l'area effettiva di contatto;
- l'area di contatto effettiva può aumentare, nel tempo e sotto un carico applicato, anche per effetto di fenomeni di *creep*;
- l'attrito può subire dei cambiamenti che sono essenzialmente legati alle variazioni di viscosità del polimero e, soprattutto, al riscaldamento generato durante il contatto;
- a velocità di strisciamento di pochi metri al secondo, il coefficiente di attrito può essere piuttosto elevato, mentre a velocità particolarmente elevate tale coefficiente può

sensibilmente diminuire per la formazione di uno strato fluido con caratteristiche lubrificanti.

Una decina di anni fa, Lim e Ashby, mediante l'introduzione delle cosiddette "mappe dei meccanismi di usura" per gli acciai [9], hanno fornito un decisivo contributo ad una visione sistematica dell'argomento. In sostanza, mediante l'introduzione di alcune grandezze normalizzate (si veda a tale riguardo la Tabella 5), legate alla geometria, ai materiali, alle condizioni di lavoro, è possibile dapprima determinare le temperature che si generano nei materiali in esame per effetto dell'attrito (vengono in questo senso definite le temperature di *flash* - cioè all'interfaccia tra i due materiali in contatto - e di *bulk* - cioè all'interno dei materiali -) e quindi stimare il meccanismo di usura agente e l'entità del consumo del materiale. Tale approccio è stato successivamente esteso da altri ricercatori all'alluminio [10], pur senza distinguere tra le varie leghe (Figura 2), e ai compositi a matrice di alluminio [11].

Attualmente, sono disponibili alcuni codici di calcolo per la valutazione delle temperature generate sul materiale a contatto (Figura 3), una volta definite, al solito, le condizioni operative [12].

Il problema fondamentale è comunque quello di trasferire quantitativamente le indicazioni fornite da specifiche prove e dalle "mappe" al comportamento di un componente reale; da un punto di vista qualitativo, invece, le informazioni ottenibili sono di indubbia utilità nel confrontare le prestazioni di diversi materiali.

In quest'ultima ottica, focalizzando l'attenzione al sistema stampo-polimero da iniettare, si deve innanzitutto considerare il fatto che il polimero non si trova in uno stato solido, ma in condizioni pastose. Non essendo attualmente disponi-

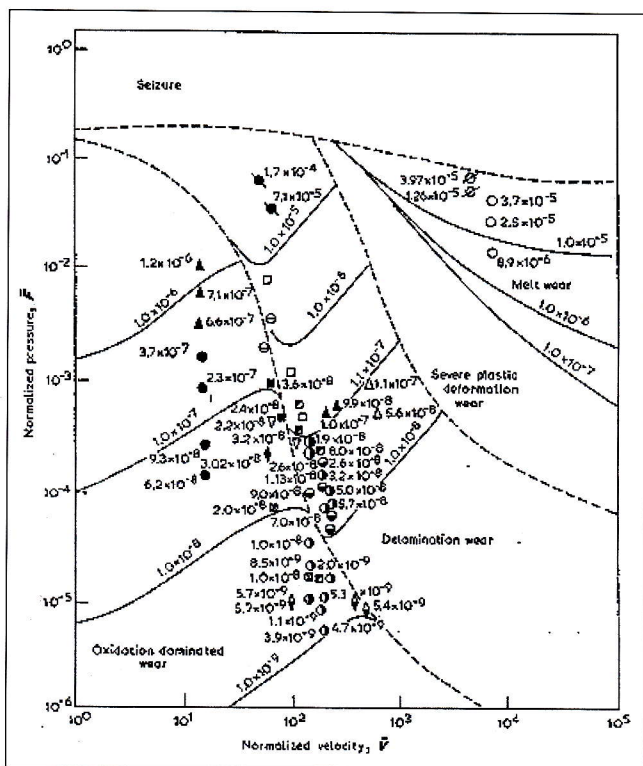


Fig. 2 - Mappe dei meccanismi di usura per l'alluminio e le sue leghe [10].

Fig. 2 - Wear mechanism maps for Aluminum and its alloys [10].

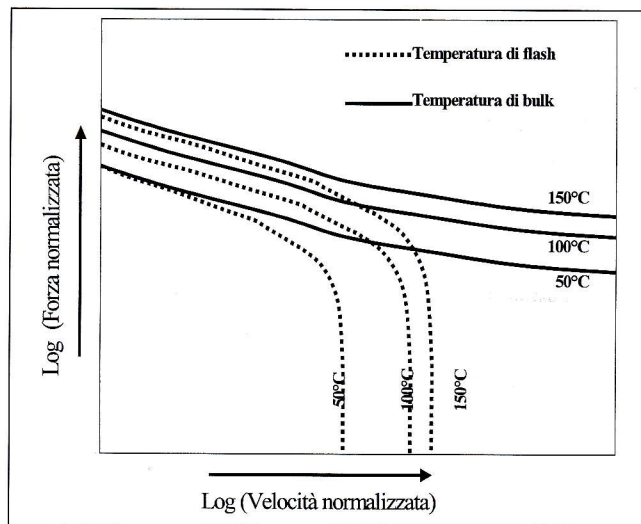


Fig. 3 - Valutazione delle curve isoterme di bulk e di flash, al variare di pressione e velocità normalizzate [12].

Fig. 3 - Evaluation of bulk and flash isotherms, as functions of normalized pressure and speed [12]

bili modelli teorici per la valutazione delle temperature di bulk e di flash in queste condizioni, ci si deve riferire comunque al sistema metallo-polimero allo stato solido, cercando di trarne informazioni utili.

A tale scopo,

- si è considerata una geometria del tipo pin-on-disk (Figura 4), in cui il metallo o la lega fungono da *pin*, mentre il *disk* è costituito da un materiale polimerico
- si è preso come polimero di riferimento il polietilene ad alta densità (HDPE);
- si sono considerati, come possibili materiali costituenti il pin, un acciaio al carbonio, l'alluminio commercialmente puro e alcune leghe di alluminio di corrente impiego per gli stampi per *injection molding* (AA5083, AA6082, AA2017, AA7075);

sono state quindi realizzate le mappe delle temperature di *flash* e di *bulk*, raccogliendo i risultati nella Figura 5 e nella Tabella 6.

Se ne ottiene, a parità di condizioni imposte, una valutazione comparativa tra i diversi materiali per stampi. In particolare, si osserva come il comportamento dei diversi materiali a base

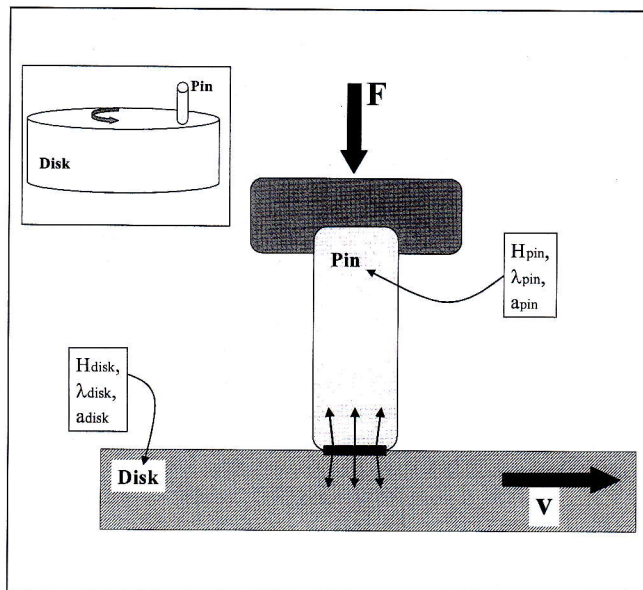


Fig. 4 - Schematizzazione del test di usura pin-on-disk.

Fig. 4 - Pin-on-disk wear test.

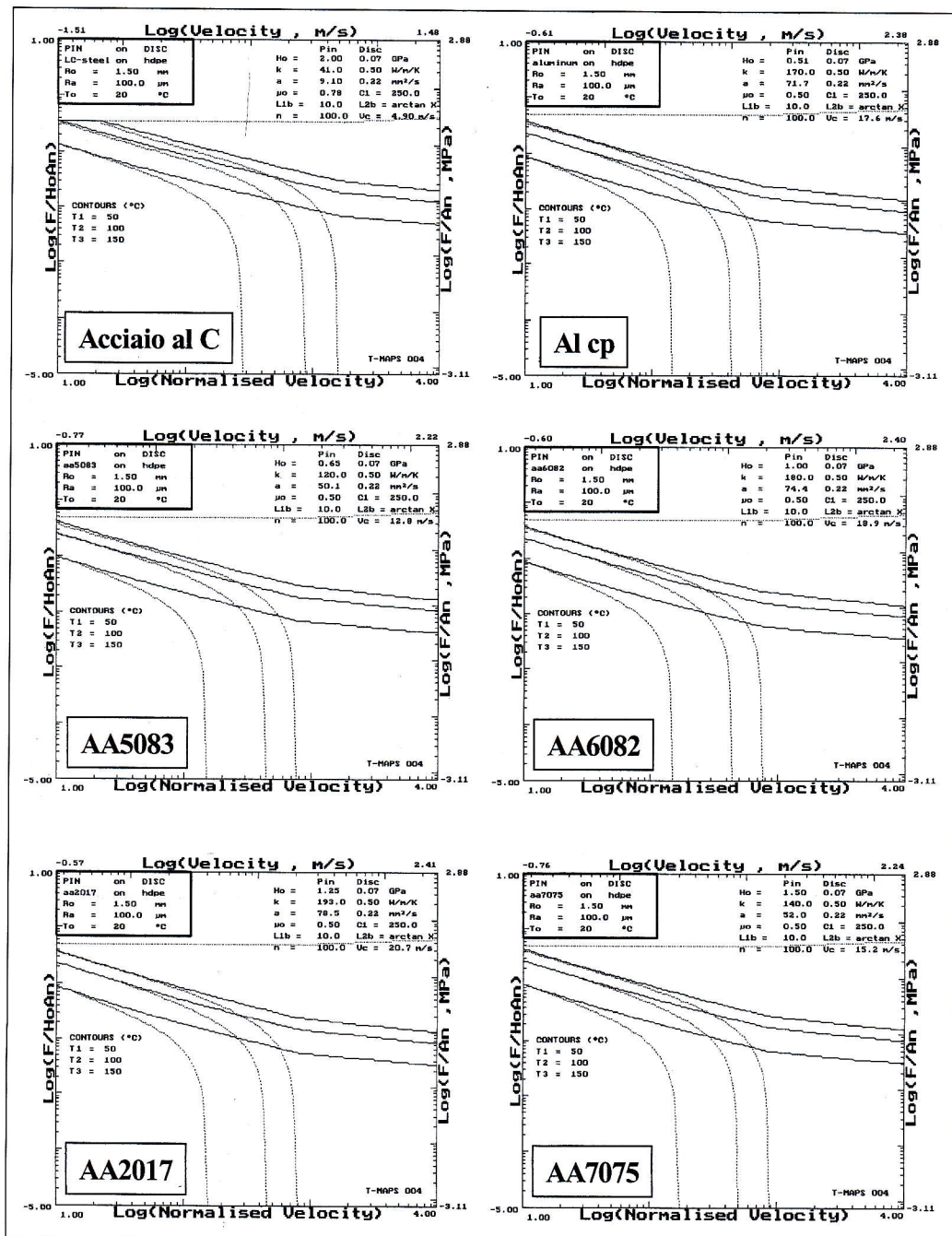


Fig. 5 - Confronto tra le mappe delle temperature di bulk e di flash relative a diverse leghe di alluminio e all'acciaio, contrapposti a Polietilene alta densità.

Fig. 5 - Comparison among bulk and flash temperature maps of various Aluminum alloys and steel, sliding against HDPE.

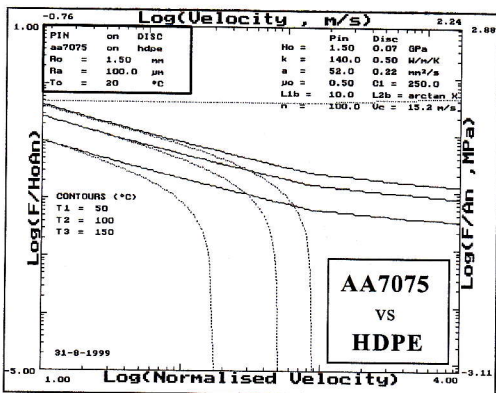


Fig. 6 - Confronto tra le mappe delle temperature di bulk e di flash relative alla lega AA7075 contrapposta a diversi polimeri (HDPE, Nylon, PMMA).

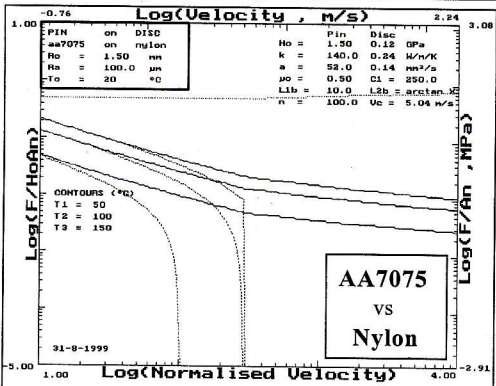
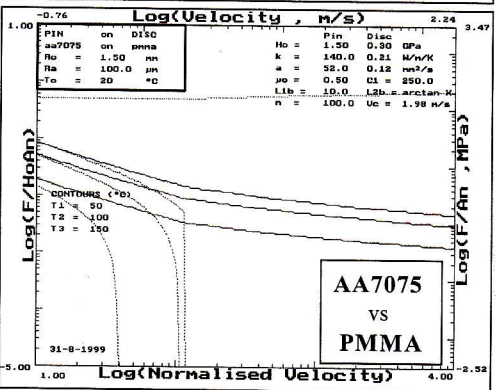


Fig. 6 - Comparison among bulk and flash temperature maps of AA7075 alloy sliding against various polymers (HDPE, Nylon, PMMA).



alluminio migliori passando dall'alluminio commercialmente puro, alle leghe AA5083, AA6082, AA2017, AA7075. Le mappe delle temperature di flash e di bulk presentano un andamento che coincide, di fatto, con quella che è stata l'evoluzione delle leghe utilizzate per gli stampi [3]. In sostanza, le mappe, pur riferite a contatti solido-solido, costituiscono un indice sufficientemente affidabile delle prestazioni, in termini di resistenza all'usura, di materiali per stampi. Altrettanto interessante può essere perciò il loro utilizzo per confrontare l'“aggressività meccanica” dei vari polimeri (Figura 6, Tabella 6) nei confronti di un materiale metallico.

UN ESEMPIO APPLICATIVO

L'utilizzo delle leghe di alluminio per realizzare gli stampi per injection molding è, come si è visto, già documentato in letteratura. Può essere comunque di notevole interesse l'esame di una ben precisa realtà produttiva.

Si tratta di Polplastic srl (stampaggio ad iniezione, 70 dipendenti) e Poletti srl (progettazione, costruzione e manutenzione stampi, 18 dipendenti), aziende operanti nel settore dello stampaggio ad iniezione di tecnopolimeri da circa 30 anni. Polplastic srl stampa più di 5000 articoli per vari settori applicativi, tra cui quello automobilistico, degli elettrodomestici, del giardinaggio, con presse che variano dalle 40 alle 2000 tonnellate di forza di chiusura. Poletti srl dispone di un proprio ufficio di progettazione e può contare su sei fresatrici a controllo numerico di varie dimensioni, su sistemi per elettroerosione a filo e a tuffo e su una macchina per controlli dimensionali 3D.

Già da qualche anno, Polplastic srl impiega leghe di alluminio (in particolare della famiglia AA6XXX) per la realizzazione degli stampi (Figure 7-8).

Tale scelta è stata inizialmente motivata dall'elevata lavorabilità delle leghe di alluminio, decisamente superiore rispetto all'acciaio. A livello aziendale, si è verificato che i tempi di produzione di uno stampo in lega di alluminio, rispetto ad uno equivalente in acciaio, possono risultare ridotti a meno di un terzo, con evidenti vantaggi sia in termini di costi di lavorazione (tempi ridotti, possibilità di utilizzare macchine utensili di limitata potenza), sia in termini di risposta al mercato. L'alluminio e le sue leghe presentano un comportamento migliore in confronto all'acciaio anche in lavorazioni non convenzionali quali l'elettroerosione.

Questi innegabili vantaggi non debbono però portare a trascurare alcuni aspetti fondamentali.

Innanzitutto, la produzione massima possibile con questo genere di stampi è certamente inferiore, se confrontata con quella di uno stampo “tradizionale” in acciaio, anche in funzione del tipo di resina termoplastica stampata e soprattutto dal tipo di cariche presenti. E' evidente infatti come non vi siano particolari problemi nell'iniettare del polietilene ad alta densità, mentre nello stampaggio, ad esempio, di poliammidi rinforzate con fibre di vetro, l'usura dello stampo può raggiungere livelli significativi, con drastiche riduzioni della vita.

L'alluminio e le sue leghe presentano una deformabilità superiore all'acciaio: questo implica

- maggiori rischi di danneggiamento in caso di manovre errate o urti accidentali, e quindi la necessità di opportune precauzioni a livello operativo;
- l'eventuale posizionamento, nelle zone di chiusura dello stampo, ed in ogni caso dove vi sia scorrimento, di inserti in acciaio per limitare l'usura.

Un altro fattore da tenere in debita considerazione è la funzione estetica del particolare stampato. Le leghe di allumi-

Sistema	Velocità normalizzata necessaria per far raggiungere alla lega $T_{flash} = 100^{\circ}C$ [Pressione normalizzata = cost = 10^5]	Pressione normalizzata necessaria per far raggiungere alla lega $T_{bulk} = 100^{\circ}C$ [Velocità normalizzata = cost = 10^4]
---------	--	---

Acciaio-HDPE	880	1·10 ⁻²
Alluminio-HDPE	420	0.70·10 ⁻²
AA5083-HDPE	430	0.80·10 ⁻²
AA6082-HDPE	440	0.70·10 ⁻²
AA2017-HDPE	460	0.65·10 ⁻²
AA7075-HDPE	500	0.80·10 ⁻²
AA7075-Nylon	300	0.70·10 ⁻²
AA7075-PMMA	110	0.10·10 ⁻²

Tab. 6 - Confronto tra il comportamento ad usura di diversi sistemi metallo-polimero.

Table 6 - Comparison among the wear behaviour of various metal-polymer systems.

Fig. 7 - Esempi di componenti realizzati impiegando stampi in lega di alluminio.

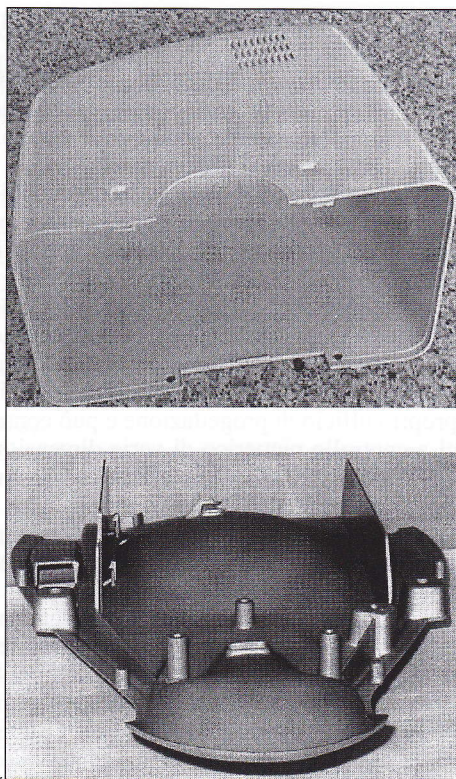


Fig. 7 - Examples of components produced using Aluminum dies.

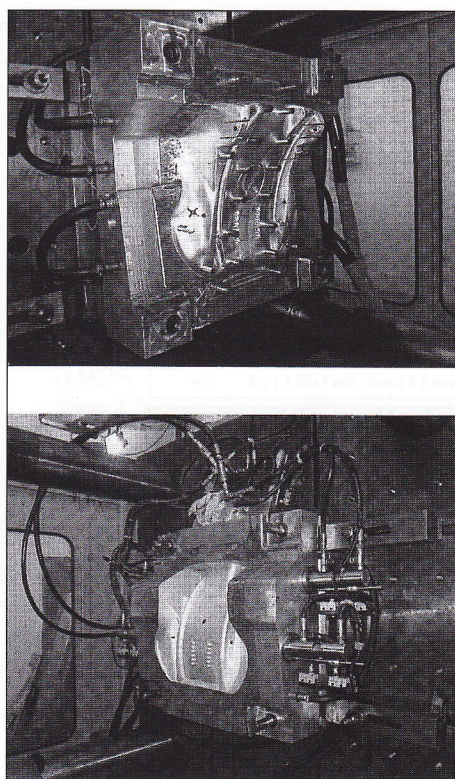


Fig. 8 - Stampi in lega di alluminio per injection-molding.

Fig. 8 - Aluminum dies for injection-molding processes.

Prodotto	Polimero	Pezzi prodotti	Osservazioni
A	PP EPT, mfi = 5	50.000	
B	PP EPT	50.000	Nessun
C	PP, caricato 10% con talco	30.000	danneggiamento
D	PA 6 + 20% fibre di vetro	10.000	significativo
E	PA 66	10.000	degli stampi
F	PP EPT con 2% glitter metallizz.	100.000	

Tab. 7 - Dati di produzione di componenti in materiale polimerico, ottenuti impiegando stampi in lega di alluminio della famiglia AA6XXX.

Table 7 - Production data for polymer components, produced employing dies in AA6XXX alloy.

nio, con le lavorazioni meccaniche usualmente impiegate in azienda per giungere ad una finitura "a specchio" dello stampo, presentano una minore qualità estetica rispetto all'acciaio. La Tabella 7 riporta i dati di maggior interesse relativamente a produzioni realizzate dalla Polplastic utilizzando stampi in lega di alluminio. Gli aspetti che con più evidenza si segnalano sono:

- l'assenza, per tali produzioni, di fenomeni di danneggiamento degli stampi: la vita dello stampo è cioè superiore alla vita "di mercato" del pezzo da produrre;
- l'utilizzo di questi stampi per iniettare diverse tipologie di polimeri, in particolare polipropilene e poliammidi, talora caricati con fibre di vetro (e quindi potenzialmente aggressivi);
- il raggiungimento (caso F) di una produzione di 100.000 pezzi, cioè di entità piuttosto rilevante, impiegando uno stampo in lega AA6XXX per iniettare del polipropilene con una carica (2%) a base metallica.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In definitiva, gli stampi in lega di alluminio costituiscono già oggi una valida alternativa ai tradizionali stampi in acciaio. Tale alternativa riguarda sia casi in cui sono previste produzioni fino ai 100.000 pezzi (prodotti destinati a mercati che seguano fortemente l'effetto moda, in cui è necessaria la disponibilità in tempi assai ridotti, con produzioni concentrate in una singola stagione), sia produzioni di pre-serie

necessarie per il collaudo o per indagare la risposta del mercato a nuovi prodotti.

Il fatto che siano già state realizzate produzioni significative, impiegando diverse tipologie di polimeri, anche con cariche in fibra di vetro, testimonia indubbiamente l'efficacia delle leghe di alluminio come materiali per stampi injection molding.

Una più approfondita conoscenza di tali leghe da parte degli utilizzatori e l'introduzione di leghe con composizioni innovative non potranno che migliorare tale situazione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] V. Wagner: "Blocchi stampo in lega di alluminio", Alluminio e leghe, 2 (1998), pp 87-92.
- [2] V. Wagner: "Cresce il ruolo degli stampi in alluminio", Alluminio e leghe, 12 (1998), pp 85-90.
- [3] V. Wagner: "Stampi mould verso il 2000: Acciai, leghe di alluminio e altri materiali avanzati", Stampi - Progettazione e Costruzione, 3 (1999).
- [4] T. Whelan, J. Groff: "Injection molding of thermoplastics materials", Vol. 1 and 2, Ed. VNR, New York (1990).
- [5] A. Brent Strong: PLASTICS - Materials and Processing", Ed. Prentice-Hall, New Jersey (1996)
- [6] K. Stoeckert: "Stampi per materie plastiche", Tecniche Nuove, Milano (1981).
- [7] ASM Metals Handbook, Vol. 18 "Friction, Lubrication

and wear technology", Ed. ASM, Metals Park, Ohio (1992).

Smithells Metals Reference Book, 7th ed., Ed. Butterworth, London, (1992).
 S.C. Lim and M.F. Ashby, "Wear-Mechanism Maps", *Acta Metallurgica*, 35, 1 (1987), 1-24;
 Y. Liu, R. Asthana and P.K. Rohatgi, "A map for wear mechanisms in aluminium alloys", 26, 1 (1990),

99-102;
 [11] P.K. Rohatgi, Y. Liu and R. Asthana, "Some issues in the construction of wear mechanism maps for metal matrix composites", Proc. Conference on Tribology of Composite Materials, Oak Ridge (1990), ASM, Materials Park, Ohio (1991), p 69;
 [12] M.F. Ashby, H.S. Kong, J. Abulawi: "T-Maps", vers. 4.0, Cambridge University Engineering Dept. (1992).

MEMORIE

————— A B S T R A C T —————

ALUMINUM AS A MATERIAL FOR INJECTION MOLDING DIES: AN APPLICATION EXAMPLE

The field of injection molding of polymers is oriented to a high number of applications and users. A key-point is, actually, an optimized use of the tool materials. Steel is not the only material available for injection molding tools: promising results have been recently obtained with Al alloys [1-3], with particular regard to 5XXX 6XXX, 2XXX and 7XXX families.

This work presents some general considerations about the interaction between polymers and tool materials (Aluminium alloys, steels) and a description of an in-field experience carried out with Aluminium alloys dies.

The injection molding process [4-6] has the typical working scheme given in Figure 1. For choosing the more suitable die materials, various aspects have to be considered, such as machinability, surface finishing, costs, recycling, lightness, in-service performances. Such performances are often related to the possible wear phenomena induced by the process.

Generally speaking, the wear behaviour of metallic alloys is affected by a high number of variables, which, on a laboratory scale, can be studied by specific wear tests: pin on disk, flat on flat, flat on cylinder, etc. [7]. However, the data available for metals-polymers contact are relatively few (Tables 2-4 [7-8]).

The introduction of wear mechanism maps [9-11] led to the possibility of evaluating the flash (at the interface between the materials in contact) and the bulk (inside the materials) temperatures, as function of normalized parameters (Table 5), and consequently of estimating the amount of wear phenomena (Figure 2). Actually, some computational codes are available for determining flash and bulk temperatures (Figure 3) [12].

The main problem, however, is the transfer of the information coming from these maps to the real behaviour of materials. If attention is focussed on the real die-polymer system, it has to be considered, firstly, that the polymer is in a viscous state, not in a solid one. If, as a very rough approximation, the hypothesis of solid-solid contact is however accepted

- a pin-on-disk (Figure 4) geometry can be chosen, with the metal acting as pin and the polymer as disk;
- as reference-polymer HDPE can be used;
- as pin materials a Carbon steel, Al commercially pure and AA5083, AA6082, AA2017, AA7075 alloys can be considered;
- some flash and bulk temperature maps are achievable (Figure 5 and Table 6).

From these maps, the behaviour of Al-based materials is im-

proved going from Al_{cp} to AA5083, AA6082, AA2017, AA7075 alloys, similarly to the evolution of the use of al alloys for injection molding dies [3]. In other words, the maps, even if referred to solid-solid contacts, constitute a good index of the in-service behaviour of Al alloys as injection molding dies.

Other information can be achieved for understanding the "mechanical impact" of different polymers onto the metallic dies (Figure 6, Table 6).

The potential of Aluminum dies for injection molding of polymers is well described by the industrial experiences carried out at Polplastic srl (injection molding) and Poletti (design and manufacturing of dies). Since some years, Polplastic srl is adopting Aluminum alloys (mainly of the AA6XXX group) as injection molding dies (Figurs 7-8). This approach has been suggested by the very good machinability of these alloys with respect to steel: it has been verified a reduction of one third in die manufacturing times, with associated lower costs and improved time-to-market. Advantages have been also observed with non conventional machining techniques, such as EDM.

Some points need, however, to be stressed:

- the maximum production is generally lower than that achievable with a steel die, depending on the kind of polymer and filler materials,
- the strains are higher than with steel: attention must be paid during the operation of die,
- the use of steel inserts, to avoid localized wear phenomena, is suggested.

Table 7 collects the more significant data concerning the productions carried out by Polplastic employing Al alloy dies. They are worth-mentioning:

- the absence of damage phenomena of the dies: the die life is certainly longer than the "market life" of the product;
- the dies have been used for various kinds of polymers, mainly polypropylene and polyammydes, sometimes with a glass fibers filler (so potentially aggressive);
- the achievement (case F) of a production of 100.000 pieces, so really significant, employing an AA6XXX die for the injection of polypropylene, containing (2%) a metal-based filler.

In conclusion, it can be said that Al alloy dies are already a real alternative to steel as injection molding dies. This alternative, which is demonstrated by the industrial examples above mentioned, concerns both standard productions up to 100.000 pieces (for markets following fashion-effects) and prototype productions (testing the market answer to new products).

A deeper knowledge about these alloys from the users and the development and introduction of innovative Aluminum alloys will further improve this situation.

3/2000