

PROCESSO DI METAL INJECTION MOULDING (M.I.M.)

Una tecnologia per produrre grandi serie di piccoli componenti meccanici

NOTE INFORMATIVE SULL'ATTIVITA' DI PROCESSO

Il processo industriale denominato Metal Injection Moulding (M.I.M.), inteso anche come formatura per iniezione isostatica di polveri metalliche, è una tecnologia relativamente recente, che in questi ultimi anni, in alternativa ad altri procedimenti industriali, ha assunto una propria connotazione nella fabbricazione di piccoli componenti metallici, in genere per il settore metalmeccanico.

La tecnologia M.I.M. trae le proprie origini da quella analoga, già impiegata, sin dagli anni 30, per la formatura e produzione, con polveri ceramiche, degli elementi isolanti delle candele per i motori endotermici.

E' però solo nel corso degli anni 80 che la tecnologia M.I.M., grazie all'intraprendenza di alcune società Nordamericane, che ne adottato i medesimi principi, iniettando, in appositi stampi, polveri metalliche titolate, che la tecnologia inizia il proprio sviluppo industriale, assumendo una rilevante importanza nella realizzazione di piccoli componenti per il settore metalmeccanico ed industriale in genere.

Successivamente, con ritmi d'impiego molto rapidi, detta tecnologia si sviluppa in Giappone ed in Estremo Oriente, mentre in Europa, dopo un incerto periodo di incubazione, l'attività produttiva si

avvia, ma in modo piuttosto lento. Il M.I.M. (Metal Injection Moulding) si prospetta quindi molto interessante come procedimento per realizzare: piccoli componenti di forma o configurazione anche molto complessa, superando in termini di qualità complessiva il confronto con la pressatura uniaassiale di polveri metalliche (sinterizzazione convenzionale), quando si considerano le eccellenti condizioni microstrutturali ottenibili sugli stessi elementi prodotti, la loro più valida finitura superficiale e spesso la loro convenienza economica rispetto ad altri processi industriali di trasformazione, ma anche per le possibilità di ottenere con lo stesso procedimento M.I.M., elementi metallici semifiniti o semplicemente finiti.

STAMPAGGIO AD INIEZIONE DELLE POLVERI METALLICHE (MIM)

La tecnologia M.I.M. (Metal Injection Moulding) si basa sull'impiego di polveri metalliche finissime (molto più fini di quelle impiegate nella pressatura uniaassiale convenzionale), con granulometrie di $5-20\mu$ e con analisi chimica predeterminata, che consente di ottenere, come già accennato, oltre a valide superfici ed efficienti condizioni microstrutturali, la realizzazione di piccoli elementi metallici di configurazione geometrica anche

molto complessa.

Nella figura n. 1 è schematizzato, nella sua complessità, il processo secondo il normale flusso operativo.

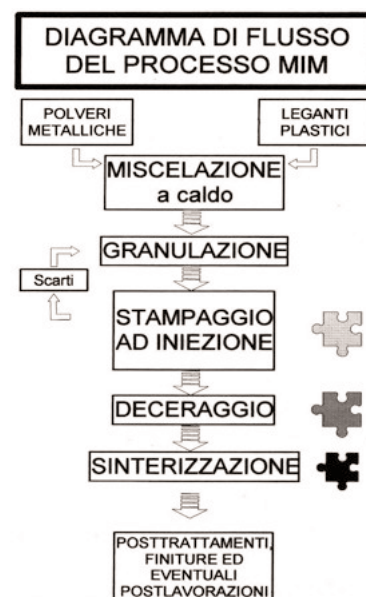


Fig. 1 Diagramma di flusso operativo del processo MIM

Dette polveri metalliche finissime con analisi chimica predeterminata, sono preventivamente miscelate a caldo con adeguate quantità di speciali leganti termoplastici (binders), che con una loro distribuzione omogenea, consentono di ottenere delle masse (di struttura granulare) facilmente fluidificabili a caldo, per essere poi iniettate negli appositi stampi, posizionati sulle macchine ad iniezione diretta (presse), con modalità analoghe a quelle in uso per l'iniezione di polimeri convenzionali caricati. Si realizzano, in tal modo, gli ele-

LEGHE FERROSE	ACCIAI INOSSIDABILI	LAGHE NON FERROSE
Fe – Ni 2%	AISI 304 L	Spinodali Cu - Ni - Sn
Fe – Ni 8%	AISI 316 L	Bronzi - Ottoni
Fe – Ni 50%	AISI 630 (17-4 PH)	Leghe W
Fe – Si 3%	Serie AISI 400	W - Cu
Fe – Si 6,5%		Leghe di Titanio
Fe – Co		altre

Acciai da utensili

menti metallici attraverso le relative impronte negative, ricavate negli appositi stampi di acciaio, le cui dimensioni sono necessariamente più grandi rispetto a quelle finali previste per gli stessi elementi.

Si deve, infatti, tenere conto del ciclo evolutivo per la loro realizzazione, che prevede, dopo l'iniezione con la pressa ed il successivo raffreddamento, la rimozione e dissociazione completa degli speciali leganti (binders), ancora presenti nella loro struttura interna, che ne condizionano le relative dimensioni con ritiri volumetrici anche prossimi al 18% e oltre.

Gli elementi metallici, così pressati, che acquistano consistenza col raffreddamento, sono quindi estratti dallo stampo, sistemati su un apposito vassoio ed introdotti nello speciale forno per essere trattati, secondo i parametri e le prassi tecnologiche prestabilite, per rimuov-

verne con solventi, riscaldamento o combinazione di questi, i leganti presenti nella loro struttura.

Le condizioni operative di questa delicatissima fase di rimozione dei leganti sono considerate molto critiche per i risultati qualitativi dei componenti metallici realizzati, soprattutto in relazione alla loro integrità strutturale.

I tempi previsti per tale operazione sono normalmente di 10-14 h e sono motivati dalla necessità di mantenere il componente metallico pressato nella sua forma primitiva impartitagli con lo stampaggio, senza collassare, deformarsi, creparsi o peggio esplodere; è pertanto comprensibile perché la formulazione dei leganti (binders) ed il relativo know-how operativo, sono riservati ed acquisibili soltanto con esperienze pratiche dirette o contratti di licenza.

Detta fase esplicativa, piuttosto

lunga e delicata, anche se non pre-sidiata, incide ovviamente sui costi complessivi del processo.

Eliminato completamente il legante (binder) contenuto nella struttura degli stessi elementi metallici, si procede alla loro sinterizzazione, ovvero gli stessi elementi vengono riscaldati in appositi forni (autoclavi) funzionanti in progressione di sottovuoto, con temperature inferiori a quelle di fusione della stessa lega metallica trattata; detta fase è accompagnata, come più sopra accennato, da un considerato elevato ritiro volumetrico, determinato dal collassamento delle polveri nei vuoti primariamente occupati dal legante (binder), volume che il tecnico di processo è sempre in condizione di prevedere già dalla fase d'impostazione realizzativa degli stessi elementi da allestire.

Data l'ampia superficie specifica delle polveri metalliche impiegate e

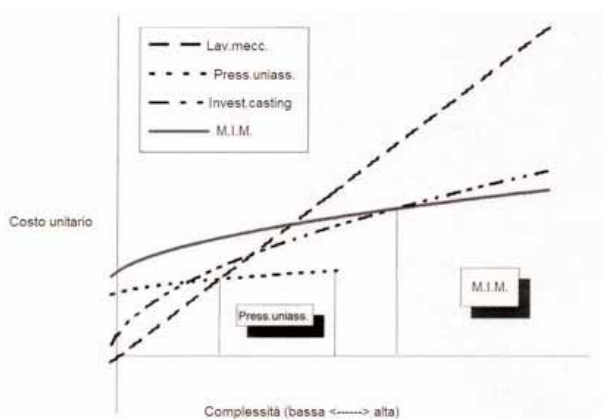


Fig. 2 Andamento del costo unitario relativo alla qualità e complessità di un elemento metallico, realizzato con quattro diverse tecnologie

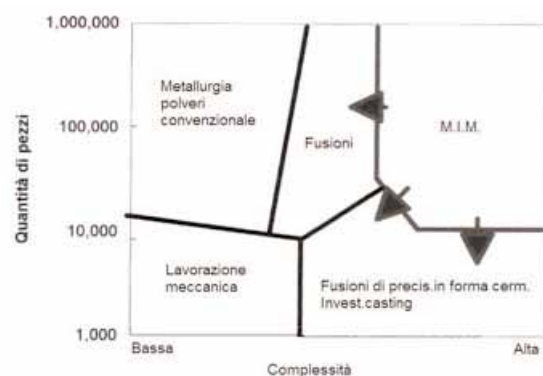


Fig. 3 Zone di vantaggio virtuale di varie tecnologie in funzione della complessità geometrica e quantità di pezzi (lotto) da allestire

Metal Injection Moulding M.I.M. à BINDER CONCEPTS (Examples)

Binder for 1 step Debinding:

- > 48 % Hostalen
- > 46 % Carnauba Wax
- > 6 % Stearic Acid

Binder for 2 step Debinding:

- > 56 % Water
- > 25 % Methyl Cellulose
- > 13 % Glycerine
- > 6 % Boric Acid

alla valida isoterma complessiva prodotta nel corso del ciclo operativo (termico), si ottiene un elevato grado di densificazione strutturale degli stessi elementi metallici finiti, con valori superiori al 95-96%, della massa volumica relativa alla lega metallica impiegata per la loro realizzazione, ma spesso anche con densità fino al 98-99%.

Considerata la bassa percentuale di porosità sul sinterizzato si possono effettuare tutti i tipi di trattamento termico come cementazioni, nitrurazioni, ecc., oltre ad eventuali finiture di ordine estetico.

I vantaggi del processo MIM sono da ricercare soprattutto nel fatto di poter allestire componenti meccanici di piccole dimensioni, utilizzando polveri metalliche molto fini e titolate, tanto da garantire, oltre ad una loro struttura tendenzialmente isotropa per compensazione, l'uniformità della relativa com-

posizione chimica del pezzo in tutte le sue parti, poiché ogni singolo granulo di polvere metallica ha la stessa composizione chimica della lega prescelta.

Offre inoltre al progettista dell'elemento metallico la massima libertà di configurazione dello stesso, con geometrie funzionali finite, eliminando o in ogni caso minimizzando eventuali lavorazioni meccaniche e spreco di materiale, soprattutto se questo ultimo possiede elevati requisiti prestazionali e di costo.

Le tolleranze dimensionali dei singoli elementi metallici finiti sono normalmente nell'ordine dell'1% sulle quote nominali (in pratica 0,01 mm per mm) e con opportuni accorgimenti è possibile raggiungere anche lo 0,3% (vale a dire 0,003 mm per mm).

Le limitazioni di ordine tecnico sono invece vincolate, nei singoli casi, al processo di stampaggio e ai successivi trattamenti, soprattutto da quello già citato della rimozione del legante plastico dall'interno dell'elemento metallico, operazione che può essere meglio controllata e gestita se lo spessore delle sue pareti è contenuto, uniforme e senza variazioni repentine, (possibilmente entro i 4 mm di spessore), mentre il peso massimo

Parameters Related to Molding

Working Parameters of the IM Machine

- > Long term accuracy
- > Temperature profile in green body
- > Thermal conductivity of the toll Set

Feedstock

- > Cooling conditions in the tool set
- > Form filling

del singolo componente prodotto non deve superare i 50-60 gr. anche se oggi molti produttori propongono di realizzare, sperimentalmente, senza però garantirne in assoluto i normali risultati di omogeneità qualitativa, la realizzazione di componenti metallici di maggior peso (120 -160 gr.).

Per quanto riguarda l'aspetto economico è da rilevare l'elevato costo delle materie prime, vale a dire le polveri metalliche, che sono d'analisi chimica specifica, granulometria extrafine e fabbricate da pochi produttori, inoltre va considerata l'incidenza degli stampi, che debbono essere necessariamente realizzati con adatte leghe di acciaio ed eseguiti con molta cura; per tali ragioni economiche il procedimento MIM, che si inserisce come già accennato, nel campo della piccola componentistica, è particolarmente adatto e soprattutto competitivo rispetto ad altri procedimenti realizzativi, quando è necessario produrre elevate quantità di pezzi.

> **Prof. Alfonso Galvani**
Coordinatore Scientifico
MECFORPACK

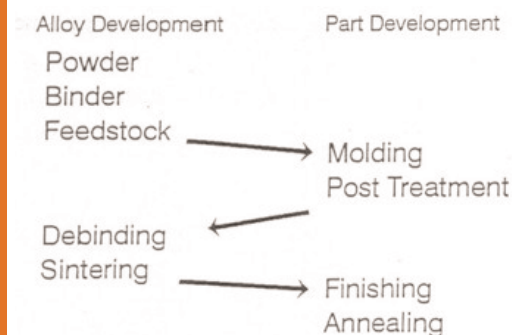


Fig. 4 Deveolepent of MIN Parts