

Classificazione delle difficoltà di forma

Forme elementari



	cilindro	disco	bussola	anello
Superficie di pressatura	elevata	elevata	piccola	piccola
Superficie di attrito sulle pareti laterali	media	piccola	elevata	media
Attrito sulle facce dei punzoni	elevato	elevato	piccolo	piccolo
Attrito sulle pareti laterali	medio	basso	elevato	medio
Possibilità di distribuzione della polvere in verticale	elevata	scarsa	elevata	scarsa
Possibilità di distribuzione della polvere in orizzontale	elevata	scarsa	media	scarsa
Effetti dell'attrito su matrici e anelli sulla densità	modesti	molto modesti	forti	elevati
Effetti dell'attrito sui punzoni sulla densità	modesti	forti	modesti	modesti
Densità risultante sui pressati	media	bassa	bassa	bassa

I. Indicazione qualitativa degli effetti
della geometria e degli attriti sulla densità di pressatura.

I criteri di valutazione delle difficoltà di forma usuali per le più comuni tecnologie di formatura (con particolare riguardo alle lavorazioni per asportazione di truciolo) non possono essere trasferiti direttamente alla metallurgia delle polveri. Si deve poi precisare che, per altre lavorazioni "più comuni", specialmente nel caso di serie produttive elevate, la difficoltà di forma può essere abbastanza correttamente individuata dai tempi unitari di lavorazione del singolo pezzo, dall'entità degli investimenti in macchinario specifico, dall'incidenza dei costi di manodopera. Nella metallurgia delle polveri, invece, le difficoltà di forma dei particolari si traducono in complicazioni di progetto e in

costi maggiori degli stampi. Tuttavia, una volta superata la fase di messa a punto delle attrezzature di formatura, anche se queste sono complicate, in modo da assicurare la ripetitività dei movimenti nelle varie fasi, le differenze fra tempi unitari di fabbricazione di pezzi di geometria semplice e pezzi di geometria complessa risultano generalmente modeste. Anche le differenze nei costi di fabbricazione degli stampi, per quanto forti, incidono in misura contenuta sui costi di fabbricazione di serie elevate. Da un punto di vista generale, pertanto, si può affermare che le difficoltà di esecuzione dei particolari sinterizzati non sono legate in misura significativa alle geometrie dei profili in pian-

L'immissione sul mercato di presse multiplastro a controllo numerico ha reso più agevole e controllabile la formatura di pezzi di geometria complicata con caratteristiche fisico-geometriche costanti. In questo modo anche le proprietà meccaniche dei sinterizzati rispettano le necessarie esigenze di qualità



2. Particolari di forma semplicissima.
Pezzi ad un solo spessore, senza fori o cavità passanti. Eventuali differenze di spessore, dell'ordine del 10% massimo, si ritengono trascurabili.

3. Particolari di forma molto semplice.
Pezzi ad un solo spessore, con fori o cavità passanti. Eventuali differenze di spessore sulle facce dell'ordine del 10% massimo si ritengono trascurabili.



ta, ma dipendono dal numero di spessori in senso assiale e dal profilo della sezione del pezzo. È però evidente che le caratteristiche dei profili debbono essere compatibili con le dimensioni delle particelle di polvere, con il comportamento "naturale" della materia prima, con le esigenze di robustezza degli stampi. Le semplici considerazioni sulla corretta pressatura sopra riportate fanno quindi comprendere che il grado di difficoltà di forma dei componenti sinterizzati è collegato al numero degli spessori del pezzo nel senso dell'asse di pressatura. La forza esercitata da ogni punzone sul prisma di polvere corrispondente dipende dalle caratteristiche della miscela utilizzata, dalla densità da raggiungere sulle varie zone del pezzo, dagli effetti degli attriti, sia fra polvere e pareti dello stampo sia all'interno della massa di polvere. Come è facile intuire, la scelta della densità è legata alle specifiche relative al materiale finito e deve tener conto degli eventuali effetti della sinterizzazione. Per comprendere meglio l'influenza della geometria sulla massa volumica di pressatura è utile un'analisi, almeno qualitativa, dei principali fattori che influiscono sugli aumenti della densità generati dalle spinte esercitate dai punzoni su forme elementari semplici. I fattori da cui dipende la massa volumica ottenuta quando una miscela di una certa polvere metallica viene pressata ad una data pressione sono numerosi. Tuttavia, se



4. Particolari di forma semplice.
Pezzi a due spessori, senza fori o cavità passanti. Eventuali differenze di spessore sulle facce estreme, dell'ordine del 10% massimo, si ritengono trascurabili.

prescindiamo dalle proprietà distintive della polvere base e della miscela, si può ritenere che l'elenco dei fattori significativi, per forme elementari, sia limitato a quelli indicati nella prima colonna della figura 1. Il peso relativo di ogni fat-

tore dipende dalla geometria del pressato. Se si cerca di graduare la diversa incidenza relativa, prendendo in considerazione le varie possibili forme dei pezzi, si arriva alle indicazioni qualitative raccolte nella stessa figura. A parità di altre condizioni, la densità raggiunta ad una data pressione di pressatura sarà il risultato dell'interazione ponderata dei vari fattori elencati. Anche se si deve tener conto delle limitazioni implicite nell'approccio qualitativo molto semplificato, si può osservare che la densità dopo pressatura, a parità di pressione applicata, dipende anche, in misura significativa, dalla forma del pressato: anche se questa è semplice, per effetto degli attriti si possono riscontrare escursioni notevoli della densità stessa, da alta a media o addirittura molto bassa. In altri termini, una forma che è relativamente semplice a media o bassa densità, può risultare non altrettanto semplice se la densità richiesta è elevata o molto elevata. Le precedenti considerazioni sulla formatura di polveri mostrano che, in linea puramente teo-

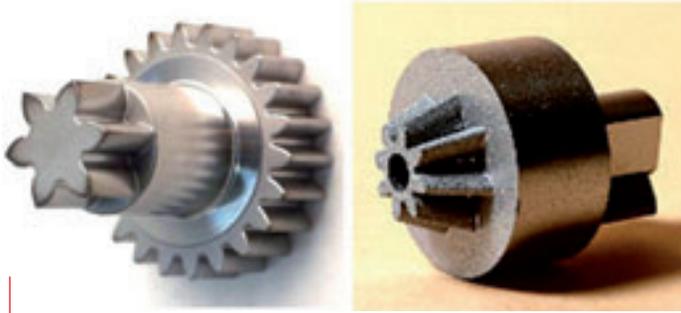
rica, per poter formare un pezzo avente n spessori in senso assiale occorrono almeno $n + 1$ punzoni, i quali debbono muoversi in modo coordinato e controllato durante l'addensamento e durante l'estrazione. Per caratterizzare con maggior chiarezza i vari gradi di difficoltà può essere utile riportare delle figure di pezzi diversi, raggruppati però in classi di forma. La sequenza delle figure caratterizza, nell'ordine:



5. Particolari di forma moderatamente complicata.
Pezzi a due spessori, con fori o cavità passanti. Eventuali differenze di spessore sulle facce estreme, dell'ordine del 10% massimo, si ritengono trascurabili.

6. Particolari di forma moderatamente complicata.

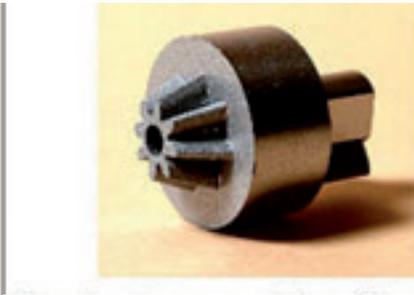
Pezzi a due spessori, con fori o cavità passanti. Eventuali differenze di spessore sulle facce estreme, dell'ordine del 10% massimo, si ritengono trascurabili.



- forme semplicissime, caratterizzate da un solo spessore, senza fori o cavità passanti (figura 2),
- forme molto semplici, caratterizzate da un solo spessore, con fori o cavità passanti (figura 3),
- forme molto semplici, caratterizzate da due spessori, senza fori o cavità passanti (figura 4),

7. Particolari di forma complicata.

Pezzi a tre spessori, senza fori o cavità passanti. Eventuali differenze di spessore sulle facce estreme, dell'ordine del 10% massimo, si ritengono trascurabili.



- forme semplici, caratterizzate da due spessori, con fori o cavità passanti (figure 5 e 6),
- forme moderatamente complicate, caratterizzate da tre spessori, senza fori o cavità passanti (figura 7),
- forme complicate, caratterizzate da tre spessori, con fori o cavità passanti (figura 8),
- forme molto complicate, caratterizzate da tre o più spessori, che richiedono forti trasferimenti di polvere dalla fase di riempitura a quella di inizio dell'addensamento (figura 9).

8. Particolari di forma complicata.

Pezzi a tre spessori, con fori o cavità passanti. Eventuali differenze di spessore sulle facce estreme, dell'ordine del 10% massimo, si ritengono trascurabili.



9. Particolari di forma molto complicata.

Pezzi a tre spessori, con fori o cavità passanti, per i quali è necessaria la fase di trasferimento della riempitura. Eventuali differenze di spessore sulle facce estreme, dell'ordine del 10% massimo, si ritengono trascurabili.

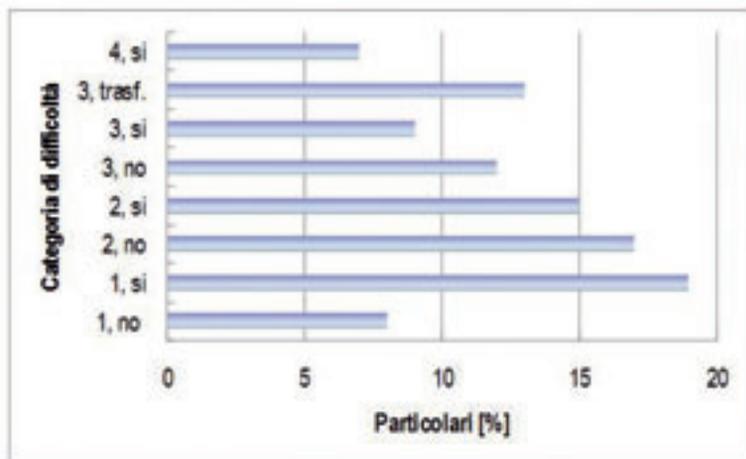


L'operazione di formatura

Per facilitare la valutazione orientativa delle difficoltà di forma che caratterizzano i componenti sinterizzati può essere utile elencare le fasi tipiche dell'operazione di formatura mediante pressatura di polveri entro stampi rigidi. Sostanzialmente, questa operazione avviene attraverso le fasi seguenti:

- riempimento della cavità definita dalle pareti della matrice, dalle estremità superiori dei punzoni inferiori, dalle anime (o spine) eventualmente presenti e dal piano superiore della matrice, con una determinata quantità di polvere. La riempitura avviene a volume costante, mentre la massa del pezzo pressato potrà presentare variazioni, in genere piccole, legate ad escursioni della massa volumica apparente ed alla scorrevolezza della miscela impiegata;
- discesa del punzone superiore (o dei punzoni superiori) dal punto morto superiore, penetrazione graduale in matrice, eventuale trasferimento controllato di determinati volumi di polvere, con addensamento nullo o molto modesto;
- compressione ed addensamento della massa di polvere contenuta nello stampo, per effetto del movimento coordinato della matrice, dei punzoni e delle anime, fino al grado e alle quote stabiliti;
- distacco del punzone superiore (o dei punzoni superiori) dalla faccia superiore (o dalle facce superiori) del pezzo pressato, e spostamento verso l'alto, fino all'uscita dalla matrice e al ritorno al punto morto superiore;

- traslazione del pezzo pressato nella matrice, verso l'uscita superiore, per effetto di movimenti verso il basso della matrice e delle anime eventuali, oppure per effetto di movimenti verso l'alto di uno o più punzoni inferiori, nel caso di matrice fissa;
- uscita del pezzo pressato dalla matrice. Al cessare dell'azione di contenimento trasversale e-



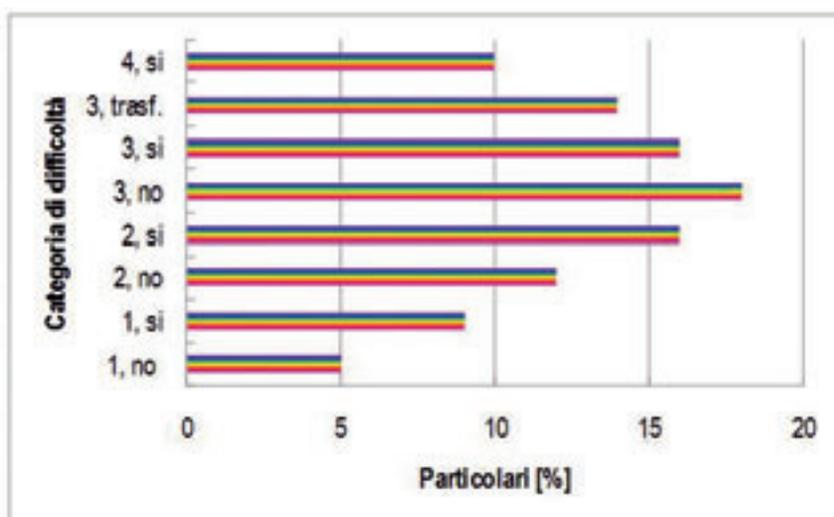
10. Ripartizione indicativa, per grado di difficoltà di forma, dei particolari in produzione in Italia nella seconda metà degli anni Novanta. Il numero sulle ordinate indica gli spessori, mentre no o si indica l'assenza o la presenza di fori o cavità passanti; trasf. indica la necessità di una fase di trasferimento dopo riempitura e prima dell'inizio dell'addensamento.

11. Ripartizione indicativa più favorevole, per grado di difficoltà di forma, dei particolari in produzione nel caso di una progettazione specifica, espressamente orientata alla metallurgia delle polveri. Il numero sulle ordinate indica gli spessori, mentre no o si indica l'assenza o la presenza di fori o cavità passanti; trasf. indica la necessità di una fase di trasferimento dopo riempitura e prima dell'inizio dell'addensamento.

sercitata dalla matrice "rigida", il pezzo che esce dallo stampo si espande per effetto del rilascio delle tensioni;

-allontanamento del pezzo pressato dallo stampo e trasferimento nei contenitori previsti per la sinterizzazione o per il trasporto ai nastri dei forni. Ritorno della matrice e dei punzoni, superiori ed inferiori, nella posizione di riempitura.

Ogni fase può influire in misura significativa sui risultati. L'esposizione di indicazioni di base sulla concezione degli stampi, riportata a grandi linee nell'articolo pubblicato sul numero di luglio/agosto di *Progettare*, può rendere più familiari, ai tecnici progettisti, gli aspetti della forma dei particolari che ne rendono più o meno problematica l'esecuzione. Questo argomento è trattato in maniera più completa in diverse pubblicazioni specialistiche. In ogni caso, gli esperti del settore sono in genere disponibili a fornire indicazioni valide per una definizione ottimale delle forme. Per concludere questa presentazione può essere utile fornire un quadro della situazione attuale. Se si cerca di suddividere i particolari sinterizzati correntemente in produzione si può avere un'idea del grado di difficoltà tipico che caratterizza la familiarità degli attuali utilizzatori con la progettazione orientata alla metallurgia delle polveri. La ripartizione per gradi di difficoltà, idealmente, dovrebbe seguire un andamento di tipo probabilistico. Un grado di conoscenza ottimale dovrebbe tradursi in una curva del tipo delle cosiddette "curve di Pareto", con il valore modale decisamente spostato verso i gradi di difficoltà elevata. Un'analisi del genere, fatta in Italia circa dieci anni fa, ha fatto invece constatare una distribuzione sostanzialmente diver-



sa, come indicato in figura 10. La ripartizione per gradi di difficoltà, infatti, portò ad una rappresentazione grafica del tipo diagrammato, cioè ad una curva effettivamente inquadrabile negli schemi previsti da Pareto, ma con il valore modale abbastanza chiaramente spostato verso i bassi gradi di difficoltà. Quel risultato, che presumibilmente è applicabile anche alla situazione attuale, e non solo nel nostro paese, dimostra ancora una volta l'importanza fondamentale e la necessità primaria della diffusione delle conoscenze sulla metallurgia delle polveri. L'obiettivo, ovviamente, è quello di arrivare ad una situazione del tipo schematizzato in figura 11, che si potrebbe definire di tipo probabilistico. Il cambiamento di situazione, da quello corrispondente alla figura 10 a quello corrispondente alla figura 11 può significare non trascurabili riduzioni di

costo per gli utilizzatori, grazie all'incremento di valore aggiunto che una progettazione specifica, vale a dire orientata alla metallurgia delle polveri, spesso consente.

G.F. Bocchini, consulente in metallurgia delle polveri, Rapallo (Genova).

Ringraziamenti

L'autore desidera ringraziare sentitamente le aziende che hanno fornito disegni e foto dei particolari sinterizzati riportati nella presente relazione.

Le aziende, elencate in ordine alfabetico, sono:

GKN Sinter Metals, Brunico, Gruppo GM (ex Tecinter), San Bernardo d'Ivrea, mG miniGears, Padova, Sinteris, Bologna Stame, Arosio.