

CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DEL GRADO DI COMPLICAZIONE DELLE FORME DEI COMPONENTI SINTERIZZATI

G. F. Bocchini

Per agevolare la comprensione dei criteri in base ai quali classificare le difficoltà di forma di componenti meccanici sinterizzati si premettono delle indicazioni di base sulla formatura mediante pressatura entro stampi rigidi di miscele di polveri metalliche. L'aumento di densità apparente, dal valore tipico della polvere in riempitura, versata per gravità nella cavità dello stampo, a quello raggiunto alla fine dell'addensamento, consente di ottenere corpi coerenti di forma definita. Poiché il comportamento delle polveri sottoposte a pressione differisce sostanzialmente da quello dei liquidi, nel caso di particolari che presentano spessori diversi nel senso della pressatura è necessario suddividere idealmente le forme in prismi, ognuno individuato da una determinata altezza. Per ogni prisma così individuato lo stampo deve idealmente presentare una coppia di punzoni. In ogni prisma, inoltre l'addensamento deve tendenzialmente essere bilaterale, simmetrico e simultaneo. Il numero di spessori in senso assiale, pertanto, costituisce un elemento di base per la classificazione delle difficoltà di forma. Al contrario, a differenza delle lavorazioni competitive, le caratteristiche dei profili dei pezzi in pianta non hanno peso significativo sulla valutazione delle complicazioni di forma: un ingranaggio con foro scanalato ed una semplice bussola cilindrica appartengono alla stessa categoria. Si presenta poi una serie di pezzi, suddivisi per grado di difficoltà. L'immissione sul mercato di presse multiplastrata 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.

PAROLE CHIAVE: metallurgia delle polveri, processi, produzione, proprietà, sinterizzazione

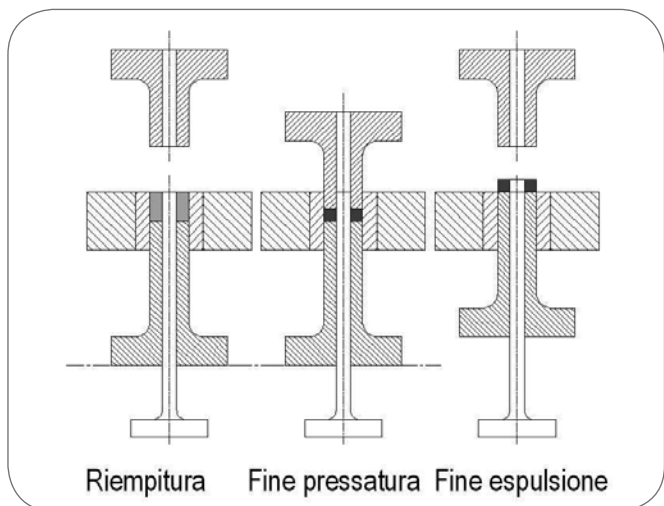
INTRODUZIONE - INDICAZIONI DI BASE SULLA PRESSATURA DELLE POLVERI

Secondo un'affermazione piuttosto comune, la facilità di produzione di particolari di forma complicata e di buona precisione è uno dei principali punti di forza della metallurgia delle polveri. Come si può capire, però, la valutazione della complicazione di forma richiede delle considerazioni specifiche sulla tecnica di formatura. Forme di particolari anche notevolmente complicate, ottenute senza necessità di lavorazioni per asportazione di truciolo, corrispondono ad un altissimo grado di utilizzazione del materiale. La modestissima entità degli sfridi è un altro dei punti di forza della metallurgia delle polveri. In questa tecnologia i

cicli produttivi possono essere più o meno complessi, a seconda dell'insieme delle esigenze funzionali delle applicazioni. La pressatura di miscele di polveri entro stampi rigidi, prevalentemente senza apporto di calore dall'esterno, è il metodo usuale di formatura dei particolari. Il comportamento delle polveri metalliche sotto pressione differisce sostanzialmente da quello dei liquidi: il valore locale della pressione, infatti, non segue la legge di Pascal, ed i flussi e gli scorrimenti di polvere non avvengono in modo uniforme secondo direzioni diverse. È per questo motivo che gli stampi di formatura debbono essere progettati in base al numero degli spessori del pezzo, contati secondo l'asse di pressatura. Nel caso di un solo spessore, per esempio, due punzoni sono necessari e sufficienti. Uno schema semplificato di stampo di formatura di polveri è illustrato in Fig. 1. Questa soluzione, con addensamento unilaterale, non simmetrico, è ammissibile solo per particolari di piccolo spessore in senso assiale. Se questa dimensione non è piccola (dell'ordine di pochissimi millimetri), per effetto degli attriti fra polvere e pareti dello stampo si creano dei gradienti di densità incompatibili con la maggior parte delle possibili applicazioni. I

Gian Filippo Bocchini

Consulente in metallurgia delle polveri, Rapallo (Genova)
bocchini.mp@virgilio.it



▲
Fig. 1

Schema semplificato delle sequenze di formatura mediante pressatura unidirezionale di polveri entro stampi rigidi. Matrice fissa; anima, o spina, fissa; punzone superiore mobile; punzone inferiore mobile solo per l'estrazione. In grigio chiaro: polvere non addensata; in nero: pezzo pressato.

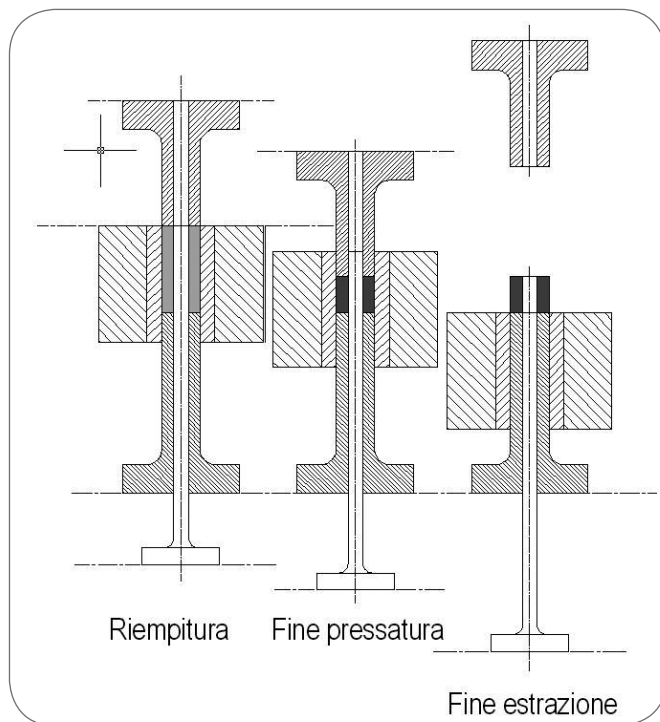
Simplified scheme of the sequences of forming through unidirectional compaction of powders within rigid dies. Fixed die; core-rod, or pin, fixed; mobile upper punch; lower punch; lower punch, mobile only for part ejection (red). Loose powder, light grey; thickened powder; or compacted part, black.

gradienti di densità generano gradienti di proprietà meccaniche dopo sinterizzazione.

In generale, anche per pressati ad un solo spessore assiale si impiegano presse che consentono movimenti della matrice o del punzone inferiore, oltre al moto di discesa del punzone superiore, in modo da ottenere un addensamento simmetrico della polvere rispetto al suo piano mediano iniziale, come indicato in Fig. 2.

Per confronto, in Fig. 3 si riporta uno schema di stampo, destinato ancora alla formatura di un particolare ad un solo spessore in senso assiale, ma con montaggio su una pressa del tipo ad espulsione, cioè con matrice fissa. Dal punto di vista delle caratteristiche dei prodotti, i due sistemi si equivalgono. Tuttavia, nel corso di decenni, Nord America, Giappone ed Europa hanno dimostrato di preferire l'uno o l'altro dei due sistemi. Le differenze sono sostanzialmente scomparse con l'introduzione delle presse multiplastrata a controllo numerico.

Nelle Fig. 4 e 5 sono schematizzate due diverse soluzioni di stampo per la pressatura di un pezzo flangiato. La scelta fra le due soluzioni dipende da diverse considerazioni, relative alle proprietà di resistenza meccanica sia dei materiali solo pressati che di quelle dei sinterizzati. Queste, infatti, dipendono dalle dimensioni del particolare (estensione radiale della flangia) e dalla distribuzione di densità. Nelle due figure sono rappresentate le soluzioni tipiche delle presse cosiddette "a estrazione" (withdrawal nella terminologia anglosassone). Su queste presse le matrici, opportunamente sostenute per resistere alla spinta verso il basso durante la pressatura, possono comunque muoversi verso il basso, sia durante l'addensamento che nella fase successiva, per permettere l'estrazione dei pezzi pressati. Il punzone "inferiore", che poggia sul piano inferiore della macchina, è costantemente fisso, mentre l'anima, o



▲
Fig. 2

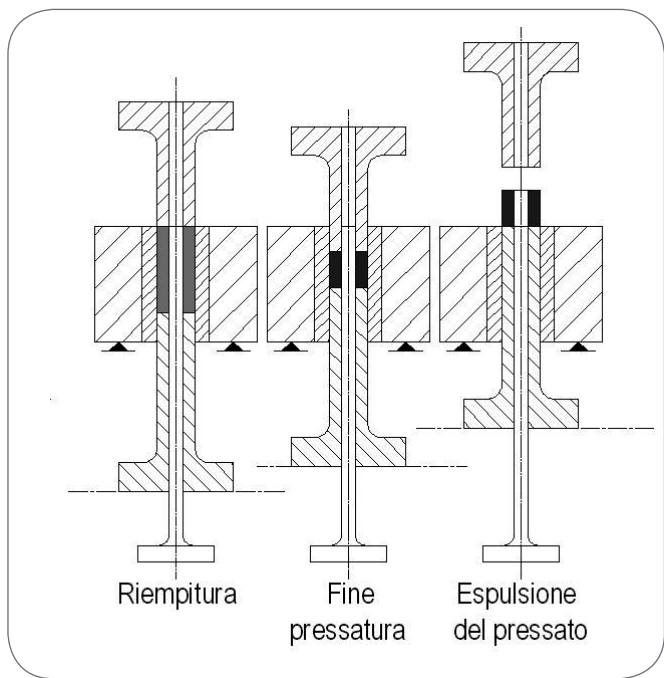
Schema semplificato delle sequenze di formatura mediante pressatura bidirezionale di polveri entro stampi rigidi. Stampo ad estrazione, con matrice mobile; anima, o spina, mobile; punzone inferiore sempre fisso. In grigio chiaro: polvere non addensata; in nero: pezzo pressato.

Simplified scheme of the sequences of forming through bidirectional compaction of powders within rigid dies. Withdrawal type tool, with mobile die; core-rod, or pin, mobile; always fixed lower punch. Loose powder, light grey; thickened powder; or compacted part, black.

spina, può muoversi verticalmente durante le diverse fasi del ciclo di formatura. Se si impiegano altre macchine, del tipo cosiddetto "a espulsione" (ejection nella terminologia anglosassone), le matrici sono fisse, ma i punzoni inferiori sono mobili verso l'alto, sia in addensamento che dopo formatura, per ottenere l'espulsione dalle matrici dei pezzi pressati.

Nella Fig. 6 si riporta lo schema di uno stampo ad estrazione per la pressatura di un particolare caratterizzato da tre spessori in senso assiale. In questo caso i punzoni inferiori sono tre. I movimenti in verticale di quelli mobili sono opportunamente controllati, specialmente nelle macchine più moderne, in modo da avvicinarsi il più possibile alla condizione ideale di pressatura bilaterale, simmetrica e simultanea di ogni porzione del pezzo caratterizzata da una determinata altezza. In tutti gli esempi fin qui riportati il punzone superiore è unico, poiché la faccia superiore del pezzo è piana (o, eventualmente, presenta modeste variazioni di altezza, ad esempio piccoli mozzi o ribassi). In questi casi, cioè quando la faccia superiore è piana ed orizzontale, la configurazione della polvere in riempitura non subisce modifiche prima dell'inizio dell'addensamento. Sono però frequenti altre forme di pezzi caratterizzate da faccia superiore non piana, con dislivelli non trascurabili.

Se la faccia superiore non è piana ed unica, ma presenta variazioni di livello molto modeste, trascurabili per gli effetti sulle variazioni di densità, per ottenere il corretto addensamento, con differenze



▲
Fig. 3

Schema semplificato delle sequenze di formatura mediante pressatura bidirezionale di polveri entro stampi rigidi. Stampo ad espulsione, con matrice sempre fissa; anima, o spina, fissa; punzone inferiore mobile, sia in addensamento che per l'estrazione del pezzo pressato dallo stampo.

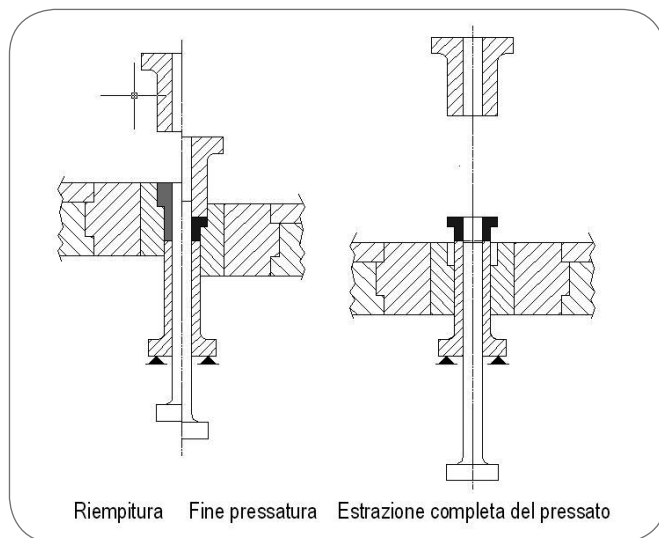
In grigio chiaro: polvere non addensata; in nero: pezzo pressato.

Simplified scheme of the sequences of forming through bidirectional compaction of powders within rigid dies.

Ejection type tool, with always fixed die; fixed core rod, or pin; mobile lower punch, on thickening and for ejecting the part from the tool. Loose powder, light grey; thickened powder; or compacted part, black.

contenute della densità finale fra zone diverse, è necessario impiegare punzoni diversi anche nella parte superiore dello stampo. I punzoni superiori, inoltre, analogamente a quelli inferiori, debbono essere dotati di moto relativo, sia in addensamento che durante la fase di distacco dal pressato. Un esempio di questa situazione più complessa è illustrato in Fig. 8, nella quale si riporta lo schema di stampo di pressatura di un particolare di forma comune, a tre spessori. Questa tipologia di forma si incontra frequentemente, specialmente nel caso di pulegge ed ingranaggi.

Nella figura 8 si può notare una fase intermedia fra la riempitura e l'addensamento: si tratta della cosiddetta fase di trasferimento della riempitura, nella quale prismi (o cilindri) diversi di polvere vengono spostati (o trasferiti) verticalmente, in modo da ottenere la corretta distribuzione spaziale della polvere da addensare poi mediante pressatura. Durante la fase di trasferimento, se questa è effettuata correttamente, le altezze di ogni prisma non cambiano, mentre le variazioni di densità apparente della polvere sono trascurabili (teoricamente nulle). Al contrario, se in qualche zona la polvere viene addensata sensibilmente, per effetto di non simultaneità dei movimenti di trasferimento, si possono creare i presupposti per la comparsa di lesioni interne (zone di separazione, cioè scarso collegamento) fra zone del pezzo che vengono addensate in tempi diversi.

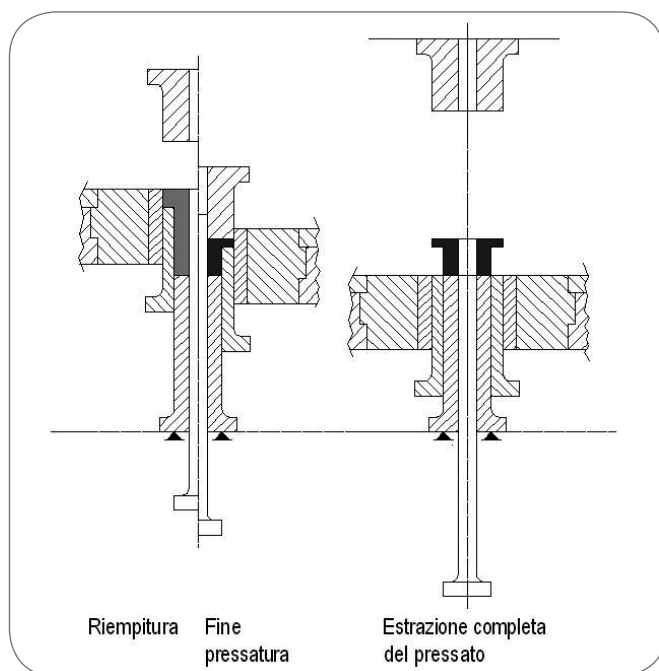


▲
Fig. 4

Schema semplificato della pressatura di un pezzo flangiato, con flangia formata in matrice. Stampo (pressa) ad abbassamento di matrice e punzone inferiore fisso.

Simplified scheme of the compaction of a flanged part, with flange formed only by the die.

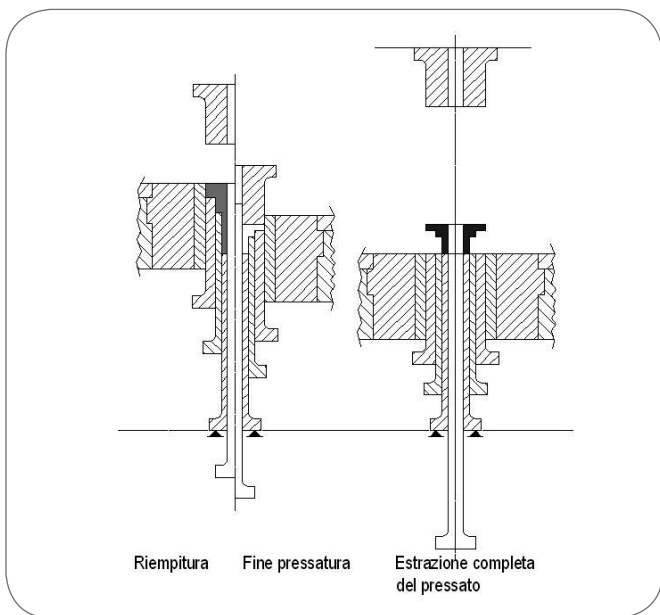
Withdrawal type tool (and press), with moving die and fixed lower punch.



▲
Fig. 5

Schema semplificato della pressatura di un pezzo flangiato. Stampo (pressa) ad abbassamento matrice, con due punzoni inferiori; punzone inferiore fisso.

Simplified scheme of the compaction of a flanged part, with flange formed by the lower outer punch (and by the die, on the side). Withdrawal type tool (and press), with two lower punches. Fixed inner lower punch.



▲
Fig. 6

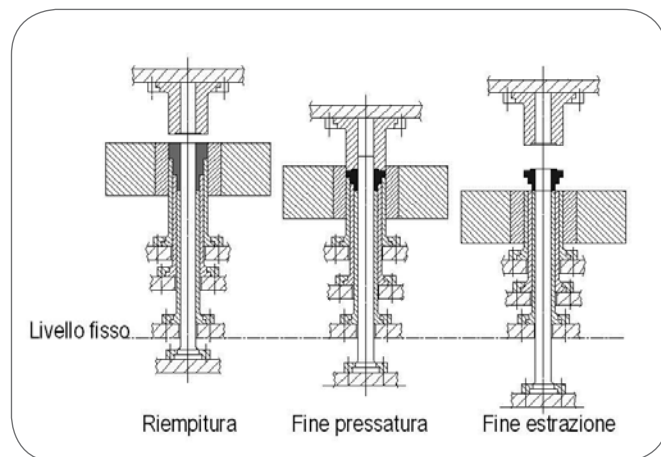
Schema semplificato della pressatura di un pezzo a doppia flangia, cioè con 3 spessori misurati in senso assiale. Stampo (pressa) ad abbassamento matrice, con tre punzoni inferiori, di cui quello interno (più lungo) è sempre fisso.

Simplified scheme of the compaction of a twice-flanged part, characterized by 3 thickness measured in axial sense. Withdrawal type tool (and press), with three lower punches. The inner one, which is the longest, is always fixed.

Dai vari esempi finora illustrati si ricava che, nel caso di particolari aventi n spessori, misurati secondo l'asse di pressatura, sono necessari almeno $n + 1$ punzoni, se il pezzo presenta una faccia di estremità completamente piana, mentre occorrono almeno $2n$ punzoni se entrambe le facce sono a gradini. In altri termini, quando si progetta uno stampo di pressatura, la forma del pezzo deve essere idealmente suddivisa in tanti prismi elementari. Ogni singolo prisma deve essere individuato da un determinato spessore, possibilmente costante, misurato secondo l'asse di pressatura. Per ogni spessore occorre una coppia di punzoni, ma un singolo punzone può agire su più prismi elementari. Per evitare problemi di integrità sui pressati la pressatura ideale, per ogni prisma di altezza definita, dovrebbe rispondere a tre condizioni vincolanti: bilateralità, simmetria, simultaneità. Nella pratica le situazioni sono a volte diverse, poiché alcune presse di pressatura non consentono il rispetto pieno delle tre condizioni vincolanti per la pressatura ideale. In particolare, il divario fra le condizioni ideali e la realtà produttiva è frequente quando il numero degli spessori è di tre o più. In linea di principio, solo le presse a camme, ormai in disuso, e le presse dell'ultima generazione, attrezzate con sistemi di controllo, mediante calcolatore, delle funzioni, delle corse, delle forze e delle battute, sono idonee alla pressatura "ideale".

CLASSIFICAZIONE DELLE DIFFICOLTÀ DI FORMA

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 pre-



▲
Fig. 7

Schema semplificato della pressatura di un pezzo a doppia flangia, cioè con 3 spessori misurati in senso assiale, ma con modesto rilievo, sporgente verso l'alto, sulla faccia superiore. Data la piccola dimensione assiale della sporgenza non è necessario un punzone specifico. Stampo (pressa) ad abbassamento matrice, con tre punzoni inferiori, di cui quello interno sempre fisso.

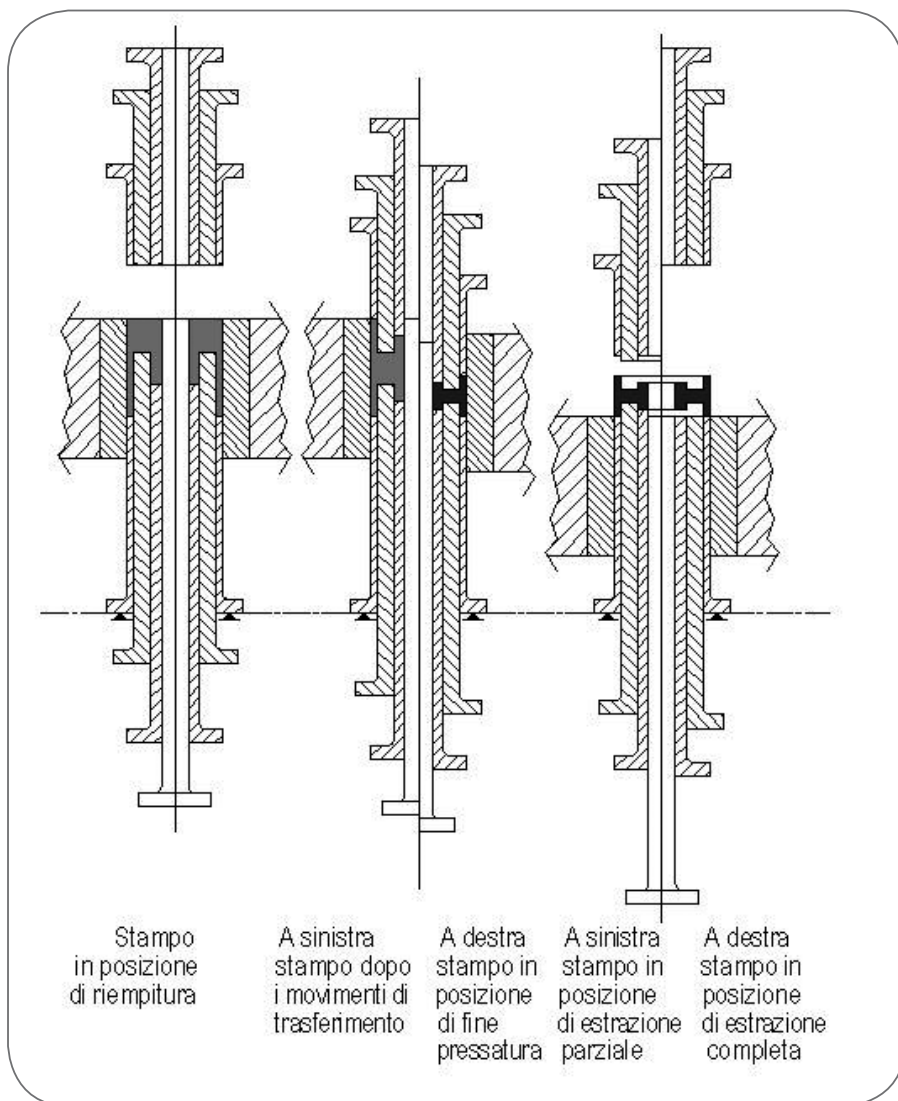
Simplified scheme of the compaction of a twice-flanged part, characterized by 3 thickness measured in axial sense and having a modest relief, protruding upwards. Withdrawal type tool (and press), with three lower punches. The inner lower punch is always fixed. The small axial dimension of the prominence doesn't require a specific "dedicated" upper punch.

cisare 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 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 pianta, 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,

▲
Fig. 8

Schema di stampo di pressatura, su pressa multiplastrata, di un particolare a tre spessori, con diversi livelli anche nella parte superiore. Ogni prisma (o cilindro) di polvere presenta la stessa determinata altezza sia in riempitura che dopo i movimenti di trasferimento. Se questa condizione viene rispettata, ogni prisma "ideale" di polvere viene addensato secondo lo stesso rapporto.

Simplified scheme of the compaction on a multiplaten press of three-thickness part, with important protruding boss on the upper face. Each prism (or cylinder) of powder presents the same determined height, both on filling and after filling transfer movements. If this condition is fulfilled, each "ideal" prism of powder is thickened by the same ratio.



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 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 Fig. 9. Il peso relativo di ogni fattore 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, 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

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 redistribuzione della polvere in verticale	elevata	scarsa	elevata	scarsa
Possibilità di redistribuzione della polvere in orizzontale	elevata	scarsa	media	scarsa
Effetti dell'attrito su matrice e anime sulla densità	modesti	modesti	forti	elevati
Effetti dell'attrito sui punzoni sulla densità	modesti	forti	modesti	modesti
Densità risultante sui pressati	media	bassa	bassa	bassa

▲
Fig. 9

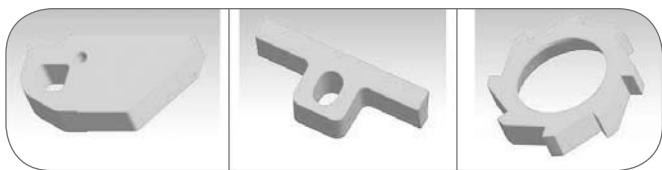
Indicazione qualitativa degli effetti della geometria e degli attriti sulla densità di pressatura.
Qualitative indications of the effects of part geometry and friction on compaction density.



▲
Fig. 10

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.

Parts of extremely simple shape. Only one-thickness parts, without holes or passing cavities. Possible thickness differences, if lower than 10% maximum, can be considered negligible.



▲
Fig. 11

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.

Parts of very simple shape. Only one-thickness parts, with holes or passing cavities. Possible thickness differences on the extremity faces, if lower than 10% maximum, can be considered negligible.



▲
Fig. 12

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.

Parts of simple shape. Two-thickness parts, without holes or passing cavities. Possible thickness differences on the extremity faces, if lower than 10% maximum, can be considered negligible.

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 teorica, 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. Questa schematizzazione di massima è stata raccolta nelle figure 10, 11,

12, 13, 14, 15, 16.

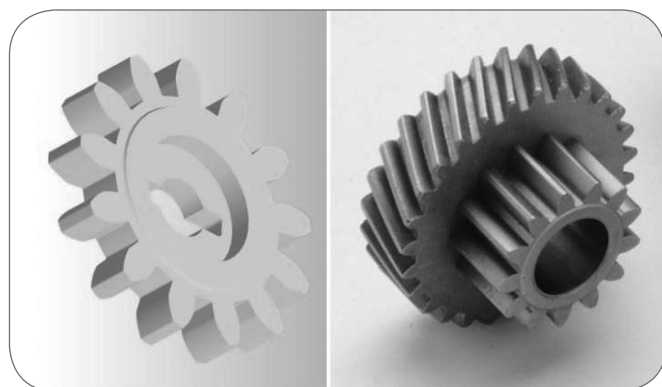
La sequenza delle figure caratterizza, nell'ordine:

- forme semplicissime, caratterizzate da un solo spessore, senza fori o cavità passanti (Fig. 10),
- forme molto semplici, caratterizzate da un solo spessore, con fori o cavità passanti (Fig. 11),
- forme molto semplici, caratterizzate da due spessori, senza fori o cavità passanti (Fig. 12),
- forme semplici, caratterizzate da due spessori, con fori o cavità passanti (Fig. 13 e 14),
- forme moderatamente complicate, caratterizzate da tre spessori, senza fori o cavità passanti (Fig. 15),
- forme complicate, caratterizzate da tre spessori, con fori o cavità passanti (Fig. 16),
- 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 (Fig. 17).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

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:

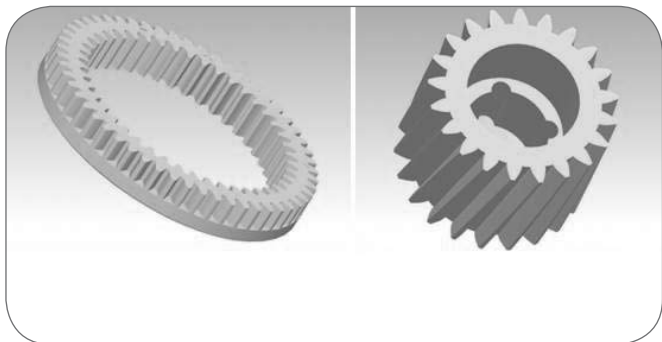
- riempimento della cavità definita dalle pareti della matrice, dalle estremità superiori dei punzoni inferiori, dalle anime (o spine) eventualmente presenti e dal piano superiore della matrice, con una determinata quantità di polvere. La riempitura avviene a volume costante, mentre la massa del pezzo 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



▲
Fig. 13

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.

Parts of moderately complicated shape; two-thickness, with holes or passing cavities. Possible thickness differences on the extremity faces, if lower than 10% maximum, can be considered negligible.



▲
Fig. 14

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.

Parts of moderately complicated shape; two-thickness, with holes or passing cavities.

Possible thickness differences on the extremity faces, if lower than 10% maximum, can be considered negligible.

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;

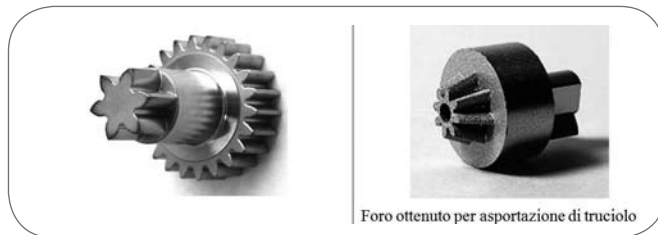
- traslazione del pezzo pressato nella matrice, verso l'uscita superiore, per effetto di movimenti verso il basso della matrice e delle anime eventuali, oppure per effetto di movimenti verso l'alto di uno o più punzoni inferiori, nel caso di matrice fissa;

- uscita del pezzo pressato dalla matrice. Al cessare dell'azione di contenimento trasversale esercitata 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 nella prima parte del rapporto, può rendere più familiari, ai tecnici progettisti, gli aspetti della forma dei particolari che ne rendono più o meno problematica l'esecuzione.

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



Foro ottenuto per asportazione di truciolo

▲
Fig. 15

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.

Parts of complicated shape. Three-thickness parts, without holes or passing cavities.

Possible thickness differences on the extremity faces, if lower than 10% maximum, can be considered negligible.



▲
Fig. 16

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.

Parts of complicated shape. Three-thickness parts, with holes or passing cavities. Possible thickness differences on the extremity faces, if lower than 10% maximum, can be considered negligible.

Possible thickness differences on the extremity faces, if lower than 10% maximum, can be considered negligible.



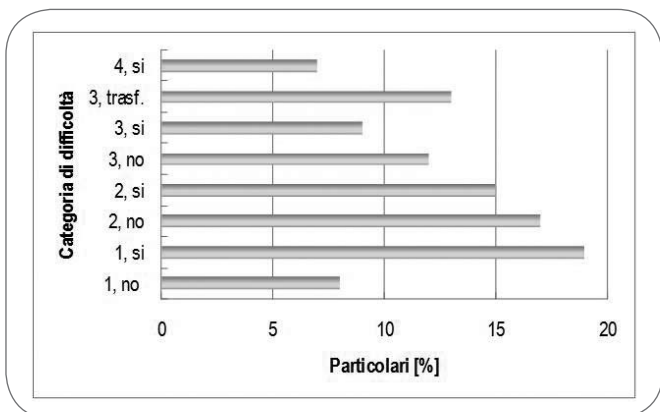
▲
Fig. 17

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.

Parts of complicated shape. Three-thickness parts, with holes or passing cavities. The phase of filling transfer is needed.

Possible thickness differences on the extremity faces, if lower than 10% maximum, can be considered negligible.

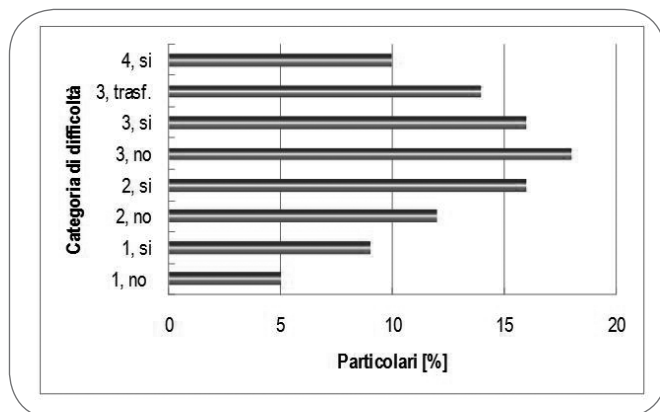
anni fa ha fatto invece constatare una distribuzione sostanzialmente diversa come indicato in Fig. 18. La ripartizione per gradi di difficoltà, infatti, portò ad una rappresentazione grafica del tipo diagrammato, cioè ad una curva effettivamente inqua-



▲
Fig. 18

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.
Indicative distribution, by degree of shape difficulty, of PM parts in production in Italy in the second half of the nineties. The number on the ordinates points out the thicknesses, while no or si indicates absence or presence of holes or passing cavities. trasf. indicates the need of a transfer phase after filling and before the beginning of densification.

drabile 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 Fig. 19, che si potrebbe definire di tipo probabilistico. Il cambiamento di situazione, da quello corrispondente alla Fig. 18 a quello corrispondente alla Fig. 19 può significare non trascurabili riduzioni di costo per gli utilizzatori, grazie all'incremento di valore aggiunto che una progettazione specifica (o orientata alla metallurgia delle polveri) spesso consente.



▲
Fig. 19

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.

Most favorable distribution, by degree of shape difficulty, of PM parts, in case of specific design, expressly oriented to PM. The number on the ordinates points out the thicknesses, while no or si indicates absence or presence of holes or passing cavities. trasf. indicates the need of a transfer phase after filling and before the beginning of densification.

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 Tecsinter), San Bernardo d'Ivrea,
- mG miniGears, Padova,
- Sinteris, Bologna
- Stame, Arosio.

ABSTRACT

CRITERIA TO CLASSIFY THE DEGREE OF SHAPE COMPLICATION OF PM PARTS

Keywords: powder metallurgy, processes production, properties, sintering

To facilitate the understanding of the criteria to be utilized for classifying shape difficulties of mechanical components manufactured by powder metallurgy (PM) a brief description of forming through compaction within rigid dies of metal powder mixes is given. The increase of apparent density, from the value typical of the powder in the filling stage (or "loose"), poured by gravity into the tool cavity, to that reached at thickening (or "densification") end, allows to get coherent bodies of defined form. Since the behavior of powders submitted to pressure substantially differs from that of liquids, in the case of part shapes that have different thickness in the compaction

direction it is necessary to ideally divide the forms in prisms, each individualized by one determined height. For every prism so individualized the tool ideally should have a couple of punches. In every prism, moreover the density increase should be bilateral, symmetrical and simultaneous. The number of thickness in axial sense, therefore, constitutes a basic element for the classification of the shape difficulties. On the contrary, unlike the competitive manufacturing techniques, the characteristics of the profiles of the parts in plant don't have significant importance on the evaluation of shape complications: a gear with grooved hole and a simple cylindrical bushing belong to the same shape category. Then, a series of parts is presented, which are grouped according to their degree of difficulty. The introduction on the market of NC multiplaten presses has made the forming of parts of complicated geometry easier and controllable, with constant physical-geometric characteristics. In this way, also the mechanical properties of sintered materials fulfill the necessary quality needs.