

## Compattazione e iniezione

Il metodo scelto per la compattazione, vale a dire per portare il materiale dalla polvere sciolta alla forma richiesta, dipende dal particolato e dalla densità prevista del prodotto.

Le polveri asciutte, che possono essere rivestite con un lubrificante o un legante secco, sono compattate mediante l'applicazione di una pressione per formare un cosiddetto corpo verde (un corpo senza legame permanente).

Per una determinata distribuzione di dimensioni, la densità del compatto aumenta con la pressione applicata. La relazione tra pressione di compattazione e densità risultante è mostrata, per alcuni materiali, nel grafico di destra. Il grafico di sinistra invece mostra che per raggiungere la massima densità serve una ben precisa percentuale di particelle piccole che si inseriscono tra le particelle grandi. La densità è anche funzione della forma delle particelle: una polvere sferica si compatta ad una densità più alta di una forma irregolare.

Durante la pressatura, l'aria tra le particelle viene espulsa e le particelle scivolano l'una contro l'altra e contro la superficie dello strumento di compattazione.

A pressioni superiori, la forza applicata è concentrata nei punti di contatto tra le particelle; le elevate pressioni locali causano deformazioni o fratture locali e il compatto acquisisce una certa resistenza in verde, normalmente espressa come forza di rottura, misurata su campioni sottoposti a prova a flessione su 4 punti.

## Pressatura in stampo

Questa modalità viene applicata soprattutto per parti net-shape (o near net-shape).

Se la forma del pezzo è abbastanza semplice e uno stampo può essere realizzato in acciaio, sono possibili alte pressioni e, se il particolato si può deformare plasticamente, si possono raggiungere densità superiori al 90% della densità teorica.

1. L'efficacia della pressatura con un punzone a singola azione è limitata perché il materiale particolato non trasmette le pressioni come un solido continuo e anche l'attrito sulla parete si oppone alla compattazione. In figura, la variazione di densità è evidente andando verso la parte inferiore nel corpo verde.

La pressione si riduce rapidamente e la densità diminuisce allontanandosi dal punzone, limitando il rapporto massimo tra profondità e diametro.

2. La situazione migliora con un contenitore flottante che viene mosso verso il punzone stazionario dalla forza di attrito tra polvere e contenitore (figura b)

3. Buoni risultati sono ottenuti in presse speciali con due punzoni contrapposti che avanzano dalle due estremità della cavità dello stampo (figura c).

4. Quando lo spessore della parte cambia notevolmente da punto a punto, la densità in verde viene resa più omogenea mediante la costruzione di stampi con punzoni multipli mossi uno dentro l'altro, in modo che lo stesso grado di compattazione possa essere raggiunto ovunque. Le figure mostrano una sequenza di compattazione con punzoni multipli. Le luci tra le parti in movimento devono essere tenute molto piccole (meno di 25 micron) per impedire che le particelle si possano infilare.

Gli stampi sono di solito costruiti in acciaio ad alta resistenza per utensili o, per grandi lotti e condizioni fortemente abrasive, in carburo di tungsteno cementato.

Le pressioni ammissibili sugli stampi sono simili alla forgiatura e all'estrusione a freddo, anche se pressioni moderate (di 100 MPa) sono frequenti, ma possono arrivare a 500 e anche a 900 MPa in alcuni casi.

Gli stampi possono essere riempiti rapidamente e automaticamente usando solo la forza di gravità, con l'eccesso di polvere semplicemente spazzato via.

### Pressatura idrostatica a freddo

Vibrazioni vengono usate per fare in modo che la polvere riempia uno stampo deformabile (in gomma riutilizzabile).

La pressione idrostatica, cioè omnidirezionale, viene applicata mediante un liquido all'interno di un recipiente a pressione, assicurando una densità uniforme. Il fluido è solitamente acqua.

Le limitazioni di forma sono poche nel metodo a sacco umido, mostrato in figura a.

I tempi ciclo più brevi sono raggiunti col metodo del sacco a secco perché il fluido viene introdotto solo nello spazio tra la matrice fissa e lo stampo elastomerico, ma la varietà di forme è un po' più limitata.

In molti casi non sono necessari né lubrificanti né leganti. Pressioni di 300 MPa sono normali e si può arrivare fino a 550 MPa.

### Rullatura

La compattazione per rullatura, seguita da sinterizzazione e talvolta rirullatura, è un metodo importante per la produzione di strisce in Ni e viene utilizzata anche per rivestire un metallo pieno.

La compattazione ad impatto su magli veloci o con l'ausilio di cariche esplosive produce parti ad alta densità.

### Gravità

Spesso assistita da vibrazioni, il riempimento di uno stampo per gravità dà un compattato a bassa densità e poco resistente.

Solo con un'attenta manipolazione può essere convertito in un prodotto sinterizzato poroso; più spesso, lo stampo stesso sarà riscaldato per almeno iniziare la sinterizzazione o per reticolare il legante secco.

In una variante la polvere è completamente sinterizzata nello stampo di compattazione per produrre filtri porosi.

Elementi di forma che non possono essere prodotti direttamente possono essere generati lavorando alla macchina utensile il materiale in verde; la compattazione a media temperatura dà maggiore resistenza all'oggetto delicato.

Quando la percentuale di legante o di altro liquido è abbastanza elevata per consentire lo spostamento relativo delle singole particelle all'interno di una matrice liquida, la miscela acquisisce proprietà reologiche adatte per la lavorazione mediante tecniche di formatura delle plastiche.

Le miscele si comportano solitamente come fluidi di Bingham, il cui grafico è dato dalla curva D. Il materiale comincia a scorrere solo oltre una tensione tangenziale di soglia. In altri casi acquisisce comportamento pseudoplastico (curva C). In questi casi le polveri possono essere processate con la pressocolata o con tecniche utilizzate anche nella lavorazione dei polimeri.

Lo stampaggio ad iniezione di polveri fini (<20 micron) è utilizzabile per parti con pareti piuttosto sottili (0,5-5 mm).

La polvere è combinata con 25-45% di cera o di polimero termoplastico e iniettata a 135-200 °C, a pressioni di 100-140 MPa, negli stampi in macchine standard per lo stampaggio ad iniezione.

Il raffreddamento nello stampo stabilizza la forma. Il ritiro è grande, fino al 20% lineare.

Nonostante il ritiro, forme complesse, tra cui fori trasversali, possono essere prodotte in tutti i materiali, comprese le leghe metalliche refrattarie.

Il polimero deve essere rimosso riscaldando in atmosfera protettiva; questo può richiedere molto tempo e il rammollimento causa una certa perdita di forma. Una migliore conservazione della forma è assicurata da un legante che possa essere decomposto chimicamente a bassa temperatura.

Ulteriori significativi progressi sono rappresentati dallo stampaggio ad iniezione di precisione della polvere. La polvere è rivestita con una sottile pellicola di polimero termoindurente nella fase B in cui è termoplastico. La polvere rivestita viene mescolata con un legante idrosolubile e iniettata.

Il semilavorato passa attraverso un bagno d'acqua per rimuovere il legante.

La polimerizzazione è completata per via termica, chimica o con luce ultravioletta e il materiale è poi sinterizzato.

Poiché la polvere è legata con un termoindurente, non si avrà alcun rammollimento; alla temperatura di sinterizzazione il polimero si decompone e sfugge come gas. Così, componenti molto accurati possono essere prodotti in una vasta gamma di dimensioni.

Inserendo preventivamente nuclei di plastica negli stampi, sono possibili sottosquadri interni.

Il ritiro è solo del 10%.