

Sinterizzazione e finitura

Il materiale compattato diventa resistente con la sinterizzazione e, se necessario, con le successive lavorazioni.

Il materiale in verde viene riscaldato per ottenere le proprietà finali richieste. Nel corso del riscaldamento, si verificano diversi cambiamenti.

Asciugatura

A bassa temperatura i componenti liquidi vengono espulsi. Il tempo di mantenimento richiesto aumenta con lo spessore della parete; il riscaldamento veloce potrebbe causare una vaporizzazione improvvisa e potrebbe provocare la disintegrazione del compattato. Un certo grado di vuoto nel forno accelera l'asciugatura.

Se bisogna bruciare i leganti organici, è necessario disporre di ossigeno sufficiente per la loro combustione.

Sinterizzazione

A temperature superiori (superiori a $0,5T_m$ ma, più tipicamente, a temperature adatte per lavorazioni a caldo, circa $0,7-0,9T_m$) si verifica la sinterizzazione.

La sinterizzazione è resa possibile dall'energia di superficie che viene ridotta unendo le particelle adiacenti.

Molti meccanismi entrano in gioco, tra i quali l'evaporazione e la condensazione, che sono di solito molto meno importanti della diffusa in fase solida.

Per cominciare, si stabiliscono legami interatomici tra superfici adiacenti e le zone di contatto crescono col movimento degli atomi dalla superficie e dalla massa delle particelle verso le zone di contatto.

Possono avvenire anche flusso plastico o viscoso e questi, insieme ad una maggiore diffusione, riducono la dimensione delle porosità. Così, il volume si riduce e la densità aumenta.

Per ottenere la stessa densità del sinterizzato, il ritiro è maggiore nel caso di densità basse in verde.

Se avvengono cambiamenti di fase durante il riscaldamento, il ritiro può essere trascurabile o addirittura può verificarsi una dilatazione.

Di solito è necessario determinare sperimentalmente il ritiro: se le fasi del processo sono strettamente controllate, il ritiro è riproducibile e le parti finite possono essere realizzate con tolleranze strette.

In questa fase, la resistenza aumenta notevolmente e, nei materiali duttili, si verifica un aumento della duttilità, come si vede dal grafico.

La resistenza a fatica si mantiene inferiore rispetto al materiale pieno fino a quando vi sia della porosità.

L'ulteriore riscaldamento non migliora necessariamente la situazione perché i bordi dei grani iniziano a spostarsi, alcuni grani si consumano, aumenta la dimensione media dei grani con una conseguente diminuzione della resistenza e le porosità rimaste (all'interno dei nuovi grani) diventano stabili.

Questi pori, insieme a qualsiasi porosità derivante da gas intrappolati, compromettono le proprietà meccaniche.

Sinterizzazione in fase liquida

Il processo viene accelerato quando uno dei costituenti fonde e avvolge il costituente altofondente.

Un liquido che bagna le particelle solide esercita una pressione capillare che muove e schiaccia le particelle fra loro determinando una maggiore densità finale.

Le fasi che si formano possono essere determinate dai relativi diagrammi di fase; il migliore legame è raggiunto quando esiste mutua solubilità.

Una fase liquida si forma alla superficie delle particelle quando vengono mescolate le polveri dei singoli elementi e le fasi transitorie bassofondenti che si formano prima della diffusione creano una lega omogenea (come nel caso delle leghe di Al, ottoni e bronzi). In questo caso la densità può raggiungere la densità teorica.

Ritiro

Di solito è necessario condurre prove per determinare il valore esatto del ritiro, ma una buona stima può essere ottenuta considerando che il ritiro è uniforme in tutte le direzioni e che non vi è alcuna variazione della massa (a meno che i costituenti volatili siano presenti in quantità significative). Se la massa è costante si calcolano facilmente il ritiro volumetrico e lineare, mostrati nella slide.

Forni di sinterizzazione

Sono di tipo batch o continuo

I forni continui hanno una zona di preriscaldamento (asciugatura o bruciatura), una zona ad alta temperatura (sinterizzazione) e una zona di raffreddamento.

Fatta eccezione per polveri con elevata densità apparente, coperte da ossido protettivo (come l'alluminio), tutte le sinterizzazioni vengono effettuate in un'atmosfera scelta per fornire un ambiente da neutro a non ossidante o riducente. Tra i gas estesamente utilizzati, l'azoto è neutro.

Anche la sinterizzazione in un forno sotto vuoto fornisce un ambiente neutro, ma a temperature elevate favorisce la disossidazione di molti metalli.

L'idrogeno è un agente riducente molto efficace, ma deve essere gestito con cautela per evitare esplosioni.

I gas usati più spesso sono: azoto con 10% di idrogeno e metano; ammoniaca dissociata; e gas idrocarburi parzialmente combustibili (esotermici o endotermici).

Nella sinterizzazione dell'acciaio, anche il contenuto di carbonio è controllato e in alcuni casi gli acciai sono arricchiti di carbonio in un'atmosfera contenente CO.

La porosità di una parte completamente sinterizzata è ancora significativa, compresa tra il 4 e il 15%, a seconda delle caratteristiche della polvere, della pressione di compattazione e della temperatura e del tempo di sinterizzazione.

La densità viene spesso mantenuta intenzionalmente bassa per preservare la porosità interconnessa per cuscinetti, filtri, barriere acustiche e elettrodi di batteria o quando i componenti devono essere infiltrati.

La metallurgia delle polveri offre opportunità uniche per adattare le proprietà alle esigenze: portando diverse zone di un componente a diverse densità, la resistenza e la porosità possono essere regolate localmente.

La porosità residua rende i sinterizzati ruvidi.

La resistenza all'impatto e alla fatica sono inferiori a quelle di un materiale pieno ma possono essere migliorate. Un trattamento termico è una delle possibilità; altri processi sono specifici per i diversi materiali.

1. La coniazione a freddo del sinterizzato aumenta la sua densità e migliora le tolleranze dimensionali. Un ulteriore aumento della densità e un miglioramento della resistenza possono essere ottenuti ricompattando e risinterizzando. Spesso si esegue un trattamento termico. Il grafico confronta la densità teorica, data dalla linea tratteggiata orizzontale in alto, con le densità raggiungibili con una prima sinterizzazione, linea continua inferiore, e una seconda sinterizzazione, linea continua superiore. Una pratica diffusa consiste nell'usare, nel caso di doppia sinterizzazione, la stessa pressione nelle 2 compattazioni.

2. L'impregnazione di un sinterizzato con porosità interconnessa è possibile mediante immersione in olio riscaldato. L'azione capillare distribuisce l'olio; l'applicazione del vuoto aiuta il processo.

3. L'infiltrazione è un'impregnazione con un metallo (ad esempio, Cu per componenti ferrosi), effettuata per immersione nel metallo fuso o collocando il metallo da infiltrare sotto forma di foglio sopra o sotto il compattato in un forno; ancora una volta, l'azione capillare riempie i pori.