

COME MIGLIORARE LA LAVORAZIONE PRIMA DELL'INDURIMENTO SUPERFICIALE A BASSA TEMPERATURA

RISULTATI RIPRODUCIBILI

MAGGIORE DUREZZA SUPERFICIALE

MASSIMA RESISTENZA ALLA
CORROSIONE

MIGLIORE PROFONDITÀ DI
DIFFUSIONE





RIDURRE AL MINIMO L'INFLUENZA DELLA LAVORAZIONE PER RISULTATI OTTIMALI

Bodycote S³P, con i processi proprietari Kolsterising® e S³P ADM, sono un gruppo di processi di indurimento superficiale a bassa temperatura (LTSH) disponibili in commercio. Con questi processi è possibile ottenere una superficie dura (> 1 000 HV0.05) e resistente all'usura su componenti in acciaio inossidabile, mantenendo al contempo proprietà anticorrosione ottimali. L'indurimento superficiale viene solitamente eseguito dopo la fase finale di lavorazione ed è una delle ultime fasi di produzione prima che un componente sia messo al servizio di un'applicazione.

Risultati ottimali in termini di durezza, profondità di diffusione e resistenza alla corrosione sono ottenibili solo con una corretta scelta dei parametri di lavorazione, una finitura superficiale opzionale e/o un trattamento termico prima dei processi di indurimento superficiale a bassa temperatura. Questa panoramica fornisce indicazioni sulla lavorabilità per asportazione di truciolo degli acciai inossidabili e considerazioni sui parametri di lavorazione ottimali per i gradi di acciaio inossidabile.



Lavorabilità per asportazione di truciolo degli acciai inossidabili

La lavorabilità per asportazione di truciolo è valutata in base al tempo totale di lavorazione, alla durata dell'utensile e alla finitura superficiale del prodotto. È compito dell'officina meccanica trovare i parametri corretti per ottenere una finitura superficiale uniforme e riproducibile a costi ragionevoli (durata e tempo utensile). Per gli acciai inossidabili in particolare, la finitura superficiale influisce molto sulle proprietà anti-corrosione. Una superficie liscia e uniforme senza fessure o graffi è considerata ottimale. La lavorabilità per asportazione di truciolo degli acciai inossidabili è notevolmente diversa da quella degli acciai dolci. Gli acciai inossidabili austenitici e duplex, in particolare, sono noti per essere difficili da lavorare. La lavorabilità per asportazione di truciolo è influenzata negativamente dalla tendenza all'incrudimento, dalla scarsa conducibilità termica, dall'elevata tenacità e dal comportamento di saldatura a freddo.

Martensite da deformazione

In particolare, la tendenza all'incrudimento porta alla formazione di martensite da deformazione sulle superfici lavorate. In generale, forze di taglio più elevate portano ad una maggior martensite da deformazione. Inoltre, i processi di formatura possono portare ad un'eccessiva formazione di martensite da deformazione. Le superfici deformate hanno un'influenza negativa sui processi di diffusione quali Kolsterising® e S³P. Profondità di diffusione e durezza possono essere inferiori. Inoltre, può verificarsi una ridotta resistenza alla corrosione.

L'acciaio inossidabile austenitico può diventare magnetico, un effetto collaterale indesiderato per molte applicazioni. È possibile misurare direttamente la quantità di martensite da deformazione con specifici strumenti di misura della ferrite. La quantità di martensite da deformazione indesiderata può essere ridotta da alcune tecniche di trattamento termico e di modifica della superficie, presentate in questo documento.

Le leghe contenenti solfuro non sono un'opzione praticabile quando si necessita di un'elevata resistenza alla corrosione

Al fine di migliorare la lavorabilità per asportazione di truciolo, una certa quantità di zolfo può essere legata agli acciai inossidabili, tuttavia questa misura non è raccomandata, in quanto lo zolfo forma filoncelli di solfuro di manganese nel materiale. Questi ultimi sono un punto debole non solo per i trucioli, ma anche per gli attacchi corrosivi. Se uno strato di solfuro è presente sulla superficie di un pezzo lavorato, in quest'area sarà ostacolata la formazione di uno strato passivato protettivo. L'attacco corrosivo è più probabile in un ambiente corrosivo. La resistenza alla corrosione di questi gradi di lavorazione è notevolmente inferiore alla resistenza delle leghe austenitiche standard. Pertanto, tali gradi non sono adatti per applicazioni in ambienti corrosivi. Ulteriori informazioni sull'influenza dello zolfo sulla resistenza alla corrosione sono fornite in un apposito focus, (S³P: Considerazioni sullo zolfo negli acciai resistenti alla corrosione).

I processi di lavorazione influenzano i risultati dell'indurimento superficiale a bassa temperatura

Le pagine seguenti riassumono l'influenza dei diversi processi di lavorazione sui risultati delle tecniche di indurimento superficiale a bassa temperatura, come i processi S³P di Bodycote (Kolsterising® e S³P AMD). Per ottenere risultati ottimali, vanno prese in considerazione leghe a basso tenore di zolfo e parametri di lavorazione ottimizzati. Gli utensili utilizzati per la lavorazione di acciai non legati non devono essere utilizzati per la lavorazione di acciai inossidabili, in quanto non è possibile evitarne la contaminazione. Ulteriori metodi di post-lavorazione sono applicabili quando necessario.



LAVORAZIONE CON TAGLIENTE GEOMETRICAMENTE DEFINITO

Tornitura e fresatura

Gli acciai inossidabili, in particolare gli acciai austenitici e duplex, tendono a formare un tagliente di riporto durante la lavorazione. A causa della scarsa conducibilità termica degli acciai inossidabili, si prevede un ulteriore accumulo di calore. Per ottenere risultati ottimali dopo l'indurimento superficiale a bassa temperatura, è necessario considerare i seguenti punti*:

- Rispetto agli acciai al carbonio, per la lavorazione degli acciai inossidabili sono necessarie forze maggiori. Pertanto la macchina deve essere progettata con requisiti sufficienti per la lavorazione di gradi di acciaio inossidabile.
- Le attrezzature e i dispositivi devono essere il più possibile rigidi, onde evitare vibrazioni che produrrebbero una finitura superficiale irregolare.
- Una velocità di avanzamento positiva dovrebbe essere mantenuta durante l'intero ciclo di lavorazione, al fine di evitare un'eccessiva lavorazione a freddo.
- Una profondità di taglio inferiore porterà ad una riduzione dell'effetto di lavorazione a freddo sulla superficie.
- È necessario prendere in considerazione velocità di taglio più basse, in quanto velocità eccessive portano ad una maggiore usura dell'utensile, ad una finitura superficiale più scadente e alla sostituzione anticipata dell'utensile.
- Gli utensili devono essere mantenuti affilati per ridurre al minimo l'attrito tra utensile e truciolo. Un tagliente affilato produce una finitura superficiale ottimale.
- Si raccomanda l'uso di fluidi da taglio appositamente progettati per gli acciai inossidabili. Poiché gli acciai inossidabili sono un cattivo conduttore termico, è necessario il raffreddamento.

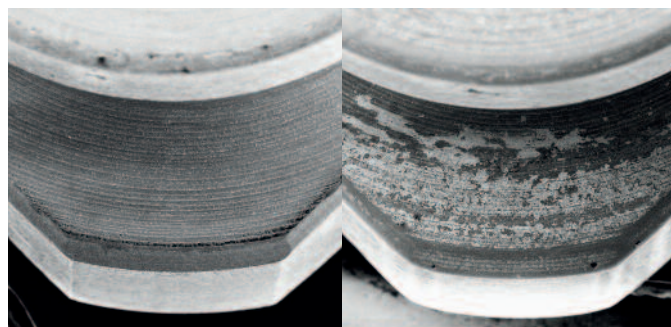


Fig. 1: Superficie in acciaio inossidabile tornito. A sinistra: l'utensile affilato e i parametri di lavorazione regolati portano ad una finitura superficiale regolare. A destra: un utensile usurato ed elevate forze di taglio portano a spalmare la superficie e a una finitura irregolare con ridotta resistenza alla corrosione, a un rischio di sfogliatura e a un cattivo comportamento di diffusione.

Tenendo conto di questi fatti, è possibile ottenere una buona finitura superficiale e minimizzare la lavorazione a freddo (martensite da deformazione), che alla fine produrrà:

- Maggiore profondità di diffusione, con un aumento della vita utile
- Durezza superficiale più elevata (poiché può essere disciolto più carbonio/azoto)
- Mantenimento o addirittura miglioramento della resistenza alla corrosione

Se una buona pratica di lavorazione non porta a risultati sufficienti dopo l'indurimento superficiale a bassa temperatura (LTSH), prima del trattamento si dovrebbe prendere in considerazione un'ulteriore post-lavorazione, come la ricottura in soluzione e/o l'elettrolucidatura. La Fig. 1 mostra l'influenza dell'usura dell'utensile sui risultati di un processo di indurimento superficiale a bassa temperatura.

* Source: Thyssen Krupp VDM "Verarbeitungshinweise für austenitische Edelstähle und Nickelbasislegierungen"

POST-LAVORAZIONE DOPO LA LAVORAZIONE

I residui di processi precedenti, così come una superficie influenzata, rendono necessaria l'applicazione di alcuni metodi di post-lavorazione dopo la lavorazione e prima dell'indurimento superficiale. Non tutte queste misure sono obbligatorie, ma molte sono raccomandate.

Pulizia chimica, sgrassaggio, decapaggio

La pulizia chimica e lo sgrassaggio rappresentano una fase di processo obbligatoria dopo tutti i processi di lavorazione e prima di qualsiasi operazione di trattamento termico (incluso l'indurimento superficiale a bassa temperatura). Poter contare su superfici pulite e lisce è un fattore chiave per la diffusione senza impedimenti di carbonio e/o azoto nella superficie del pezzo.

- I residui delle fasi di produzione precedenti possono agire come inibitori di diffusione, abbassando la profondità di diffusione e la durezza superficiale.
- Inoltre, i residui possono portare a macchie in seguito al trattamento, che non possono essere rimosse in tutti i casi.
- Le particelle di ferro possono portare ad un attacco corrosivo localizzato (ruggine immediata)

Un ulteriore decapaggio, decalcificazione e/o passivazione può essere necessario per migliorare ulteriormente le proprietà anti-corrosione dei pezzi lavorati. Con il decapaggio, ad esempio, è possibile rimuovere la martensite da deformazione che si sia formata nelle fasi di lavorazione precedenti.



Superficie liscia per i migliori risultati in seguito a indurimento superficiale a bassa temperatura

Trattamento termico

A seconda dei gradi di acciaio inossidabile e dell'applicazione prevista, può rendersi necessario un processo di trattamento termico prima dell'indurimento superficiale a bassa temperatura:

- Un'ulteriore ricottura in soluzione di leghe austenitiche e a base di Ni può essere un'opzione per migliorare il comportamento alla corrosione delle parti con superficie indurita.
- I gradi martensitici e di indurimento per precipitazione (PH) dovrebbero essere trattati termicamente (invecchiato o indurito).

Finitura in massa

I processi di finitura in massa possono includere la finitura a tamburo o la vibrofinitura. Entrambi sono metodi economici per la pulizia, l'asciugatura, la sbavatura o la lucidatura di parti della macchina. Poiché gli acciai inossidabili sono relativamente morbidi, i parametri dovrebbero essere adattati a questi materiali al fine di ottenere una buona finitura superficiale e una bassa formazione di martensite da deformazione. L'influenza dei parametri di vibrofinitura sulla superficie delle parti in acciaio inossidabile è mostrata in Fig. 2.

- In generale, il tempo di finitura dovrebbe essere breve.
- Le mescole e/o gli abrasivi utilizzati devono essere piuttosto morbidi.
- Macchine dedicate e additivi sono raccomandati per la lavorazione di acciai inossidabili, onde evitare contaminazioni ferritiche, abbassando così la resistenza alla corrosione.
- Dopo la finitura, va presa in considerazione una pulizia e asciugatura corretta al fine di mantenere le proprietà di corrosione.
Residui di processi di finitura o di essiccazione quali composti, abrasivi o materiali organici, inibiscono ulteriormente la diffusione durante i processi a bassa temperatura.

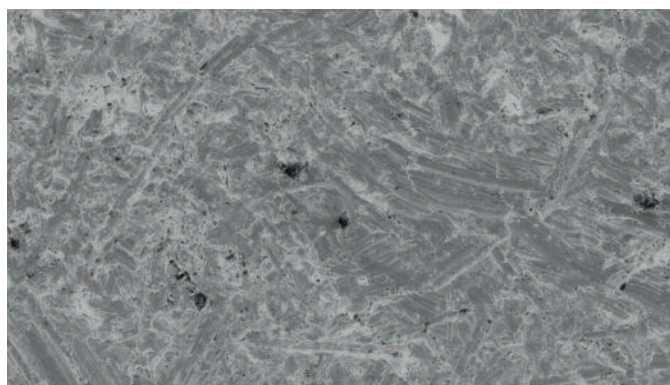
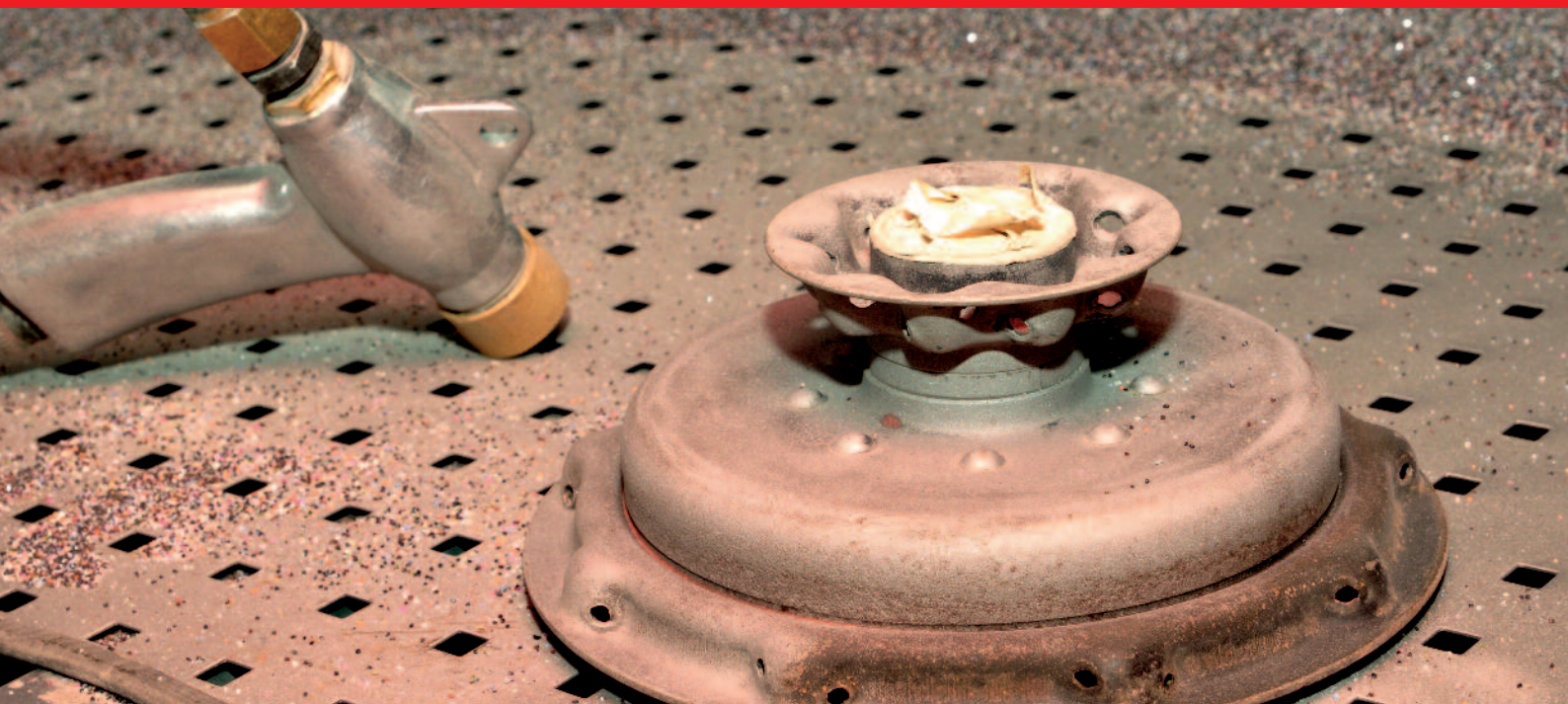


Fig. 2: Superficie in acciaio inossidabile dopo la vibrofinitura. A sinistra: superficie liscia (Ra 0.17) con piccoli difetti, ottenuta con parametri regolati e abrasivi morbidi. A destra: finitura superficiale grossolana (Ra 0.56), inclusioni abrasive ed eccessiva formazione di martensite da deformazione, che porta ad un cattivo comportamento alla corrosione e alla diffusione.



Elettrolucidatura

L'elettrolucidatura come fase finale precedente ai processi di diffusione a bassa temperatura può migliorare significativamente la finitura superficiale dei pezzi lavorati.

- Micro picchi e valli sulla superficie vengono levigati.
- È possibile rimuovere aree superficiali altamente influenzate (up to 50 μm), il che porta ad una diffusione senza impedimenti di carbonio e/o atomi di azoto in superficie. Possono essere aumentate la durezza superficiale e le profondità di diffusione.
- Il risultato è di solito una maggiore resistenza alla corrosione e un aspetto ottico più accattivante.

Soffiatura

La soffiatura, in particolare la sabbiatura, non è raccomandata per i componenti in acciaio inossidabile quando si necessita della massima resistenza alla corrosione. La Fig. 3 mostra l'influenza sulla qualità superficiale e sul risultato di diffusione della soffiatura e dell'elettrolucidatura di un AISI 316L prima dell'indurimento superficiale a bassa temperatura.

- Dopo la soffiatura, la rugosità superficiale è significativamente più elevata, il che porta ad una più alta probabilità di attacco in un ambiente corrosivo, ad esempio i cloruri possono aggregarsi nell'ambiente in cui si sono formati pozzi e scanalature.
- Gli abrasivi residui possono rimanere bloccati in queste scanalature, favorendo ulteriormente l'attacco corrosivo.
- L'applicazione di forze elevate durante questi tipi di processi portano ad una eccessiva formazione di martensite da deformazione sulla superficie, portando a risultati di diffusione non uniformi.

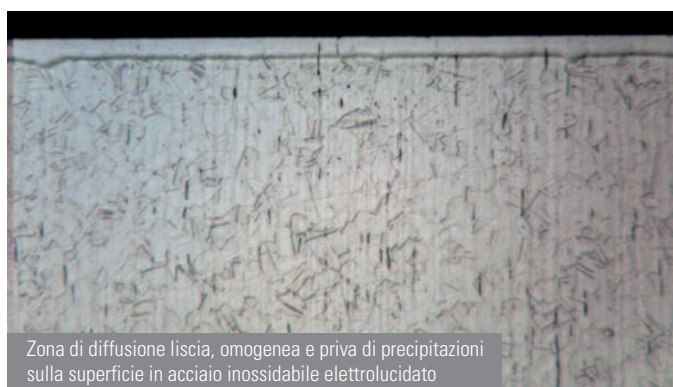


Fig. 3: Confronto dei risultati dell'indurimento superficiale a bassa temperatura per AISI 316L in seguito a elettrolucidatura (a sinistra) e sabbiatura (a destra). La sabbiatura porta a deformazioni locali elevate con eccessiva formazione di martensite da deformazione. La diffusione è ostacolata e la resistenza alla corrosione è ridotta. A confronto, le superfici elettrolucidate creano una zona di diffusione omogenea e priva di difetti.



LAVORAZIONE MECCANICA FINE

Molatura e levigatura

La necessità di una lavorazione meccanica fine deriva dalle strette tolleranze che sono richieste in alcune applicazioni tecniche. La molatura e la levigatura sono metodi di lavorazione con un tagliente geometricamente indefinito. L'asportazione di materiale è generata da abrasivi, ad es. Al_2O_3 o SiC , legati rispettivamente in una mola o in una pietra abrasiva. Con i giusti parametri di processo e i giusti abrasivi si possono ottenere finiture superficiali fini. La finitura superficiale ha un'elevata influenza sulle proprietà anticorrosione e sul comportamento di diffusione. Con forze elevate si forma una maggior martensite da deformazione, che ostacola i risultati di diffusione sulle parti rettificate e levigate. Come risultato, la resistenza alla corrosione può essere notevolmente ridotta. Pertanto, è molto importante regolare i parametri di molatura e levigatura degli acciai inossidabili, specialmente se è necessario un indurimento superficiale dopo la lavorazione.

- Le pressioni e le forze di taglio devono essere le più basse possibili al fine di abbassare la formazione di martensite da deformazione e ridurre l'eccessivo riscaldamento della superficie. Data la bassa conducibilità termica degli acciai inossidabili, è necessario un raffreddamento adeguato.
- Gli utensili devono essere privi di ferro e cloruri.
- È sempre necessario utilizzare utensili affilati. In caso contrario, la parte lavorata si surriscalerà e la superficie verrà spinta e spalmata invece che tagliata, aumentando così il rischio di abbassare la resistenza alla corrosione. Può verificarsi anche la delaminazione dell'area di superficie ampiamente deformata.
- Per ottenere risultati ottimali, andrebbe presa in considerazione una post-lavorazione ulteriore (ad es. elettrolucidatura) e/o una ricottura prima del processo S³P.



Fig. 4: Superficie in acciaio inossidabile levigato. A destra: Forze di taglio elevate e un utensile usurato hanno come conseguenza una superficie piuttosto deformata che non tagliata. A sinistra: forze basse e un utensile affilato hanno come conseguenza un modello di affilatura ben definito, che è la condizione naturale per operazioni di levigatura corrette. Una minor deformazione, un minor apporto di calore e una minor spalmatura portano a un miglior comportamento di diffusione e ad una miglior resistenza alla corrosione.

FORMATURA E TAGLIO

Stampaggio e disegno

Le lamiere di acciaio inossidabile sono spesso formate tramite operazioni di imbutitura profonda o di stampaggio. A causa della tendenza alla lavorazione a freddo, gli alti gradi di deformazione portano ad una maggiore resistenza a trazione e durezza del materiale. Se i tassi di deformazione sono troppo elevati, sono necessarie una o più fasi di ricottura per scaricare le sollecitazioni indotte. In caso contrario, le lamiere deformate possono rompersi. Inoltre, elevate velocità di deformazione portano ad un'eccessiva martensite da deformazione sulla superficie, compromettendo il comportamento di diffusione e influenzando negativamente le proprietà anticorrosione in seguito all'indurimento superficiale a bassa temperatura. Per ottenere risultati ottimali dopo l'indurimento superficiale a bassa temperatura, per le parti trafilate o stampate è necessario tenere conto delle seguenti linee guida:

- La ricottura è consigliata quando non sia necessaria una maggior resistenza a trazione a causa della deformazione.
- A causa dell'indurimento di lavoro degli acciai inossidabili, sono necessarie pressioni più elevate per la trafilatura e lo stampaggio.
- A causa della tendenza al grippaggio dell'acciaio inossidabile, l'attrito deve essere il più basso possibile durante le operazioni di formatura. Ciò può essere ottenuto mediante una corretta lubrificazione e un corretto rivestimento dello stampo.

Tranciatura e punzonatura

Al posto di lunghe lavorazioni meccaniche, la punzonatura e la tranciatura possono essere un metodo rapido ed economico per produrre pezzi geometricamente semplici di dimensioni specifiche, soprattutto nella produzione di massa.

- A seconda del metodo scelto, potrebbero rendersi necessarie la post-lavorazione e la sbavatura. Le bave e le irregolarità superficiali si verificano nella cosiddetta zona di frattura. In quest'area il materiale viene scrostato e spalmato piuttosto che tagliato. Gli acciai inossidabili presentano delle limitazioni di cui va tenuto conto.
- La tendenza al grippaggio richiede il rivestimento dell'utensile e un'adeguata lubrificazione. A causa della lavorazione a freddo, le forze di taglio e di punzonatura sono significativamente più elevate rispetto a quelle necessarie per gli acciai al carbonio.
- L'elevata tenacità degli acciai inossidabili può portare a spalmatura e sovrapposizione di materiale nella zona di taglio. Ciò provoca non solo un'eccessiva formazione di martensite da deformazione, ma anche fessure che possono rappresentare un punto debole per la corrosione.
- Un'opzione per migliorare la qualità delle superfici dopo la tranciatura è la tranciatura fine. Questo metodo migliora la qualità delle superfici. La post-lavorazione potrebbe essere saltata, il che può compensare i costi più elevati degli utensili.

La Fig. 5 mostra la zona di frattura dopo la punzonatura e il successivo indurimento superficiale a bassa temperatura (sinistra). L'elevata deformazione e la scarsa qualità delle superfici nella zona di frattura portano a una minore profondità di diffusione.



Fig. 5: Componente in acciaio inossidabile con superficie indurita. A sinistra: Superficie punzonata. Superficie irregolare e fortemente deformata (aree scure). Profondità di diffusione ridotta e proprietà anticorrosione compromesse in questa zona. A destra: stessa parte forata invece che punzonata. Una minor deformazione e una finitura superficiale regolare garantiscono una maggior profondità di diffusione e migliori proprietà di corrosione.



PROCESSI DI COLATA E PROCESSI A BASE DI POLVERE

Colata

Diversi metodi di colata come la colata in sabbia e la pressofusione possono essere utilizzati per formare parti complesse, con dimensioni interne complesse, in un'unica fase di processo. Tuttavia, la qualità delle superfici come da colata spesso non è sufficiente per le applicazioni tecniche e si rende necessaria una post-lavorazione.

- Le impurità nella superficie o nella massa dopo la colata possono diminuire la corrosione e le proprietà meccaniche rispetto a un materiale forgiato dalla composizione comparabile. Anche eventuali inclusioni di scorie o sabbia sulla superficie possono influenzare negativamente la resistenza alla corrosione.
- A causa del raffreddamento piuttosto lento è possibile la formazione di una struttura parzialmente ferritica (δ -ferrite). Se il contenuto di δ -ferrite supera il valore di 3 vol %, si prevede un'influenza negativa sul comportamento di diffusione e sulla resistenza alla corrosione. È possibile ridurre il contenuto di δ -ferrite dopo la colata con un ulteriore trattamento termico, se necessario.

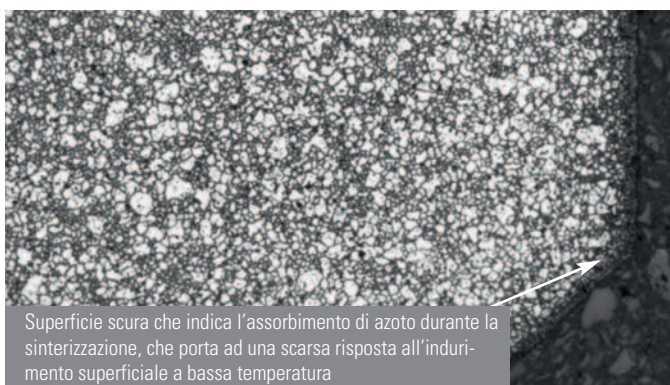


Metodi di produzione additiva

I metodi di produzione additiva (AM), come lo stampaggio ad iniezione di metalli (MIM) e la fusione laser selettiva (SLM) sono metodi di produzione relativamente nuovi, basati sulla metallurgia delle polveri. Tutti i processi di questo gruppo sono in linea di principio adatti alla lavorazione degli acciai inossidabili. Mentre i processi MIM sono adatti per lotti di grandi dimensioni, i processi basati su SLM sono adatti per la produzione di pezzi con lotti di dimensione uno.

I processi MIM sono paragonabili ai processi di stampaggio ad iniezione di polimeri. La polvere metallica viene miscelata con un legante polimerico e formata con macchine per lo stampaggio a iniezione. Dopo il processo di stampaggio, il legante deve essere rimosso e la polvere metallica deve essere legata mediante sinterizzazione in un forno sotto vuoto o gas di protezione.

- Il gas di protezione utilizzato può avere un'influenza sui risultati se un componente MIM deve essere Kolsterizzato.
- I gas tipici sono una miscela di idrogeno e azoto (H_2/N_2) che formano un'atmosfera riducente per prevenire l'ossidazione. In alcuni casi, l'azoto potrebbe diffondersi nella superficie della parte sinterizzata, impedendone l'ulteriore diffusione durante l'indurimento superficiale.



- Se la sinterizzazione dell'azoto è problematica, deve essere considerata un'atmosfera sotto vuoto.

La Fig. 6 mostra una parte sinterizzata con una superficie influenzata dalla diffusione dell'azoto in un'atmosfera H_2/N_2 . Una successiva operazione di foratura (figura a destra) ha rimosso la superficie influenzata. In quest'area è possibile una diffusione senza ostacoli.

I processi laser selettivi sono un gruppo di processi per produrre pezzi da un letto di polvere con un raggio laser. I pezzi sono costruiti strato per strato, il che non comporta quasi nessun vincolo geometrico. Un aspetto negativo è la qualità delle superfici relativamente scadente, che rende necessaria una post-elaborazione. Inoltre, è necessario trovare parametri di processo ottimali per una bassa porosità.

- I pori possono ridurre le proprietà meccaniche e la resistenza alla corrosione, in quanto agiscono come fessure.
- La porosità esterna e le imperfezioni superficiali possono essere ridotte mediante una post-lavorazione regolata.
- Le porosità interne possono essere chiuse mediante pressatura isostatica a caldo (HIP). Con tali processi la resistenza a trazione meccanica è ulteriormente aumentata.



Fig. 6: Sezione trasversale sinterizzata, parti MIM in acciaio inossidabile. La diffusione dell'azoto (area di superficie scura) impedisce la diffusione senza impedimenti e l'elevata durezza superficiale dopo l'indurimento superficiale a bassa temperatura. Una successiva foratura (a destra) rimuove parzialmente la zona di diffusione dell'azoto. Una successiva operazione di foratura (a destra) rimuove parzialmente la zona di diffusione dell'azoto. In quest'area è possibile una diffusione senza ostacoli.

www.bodycote.com

