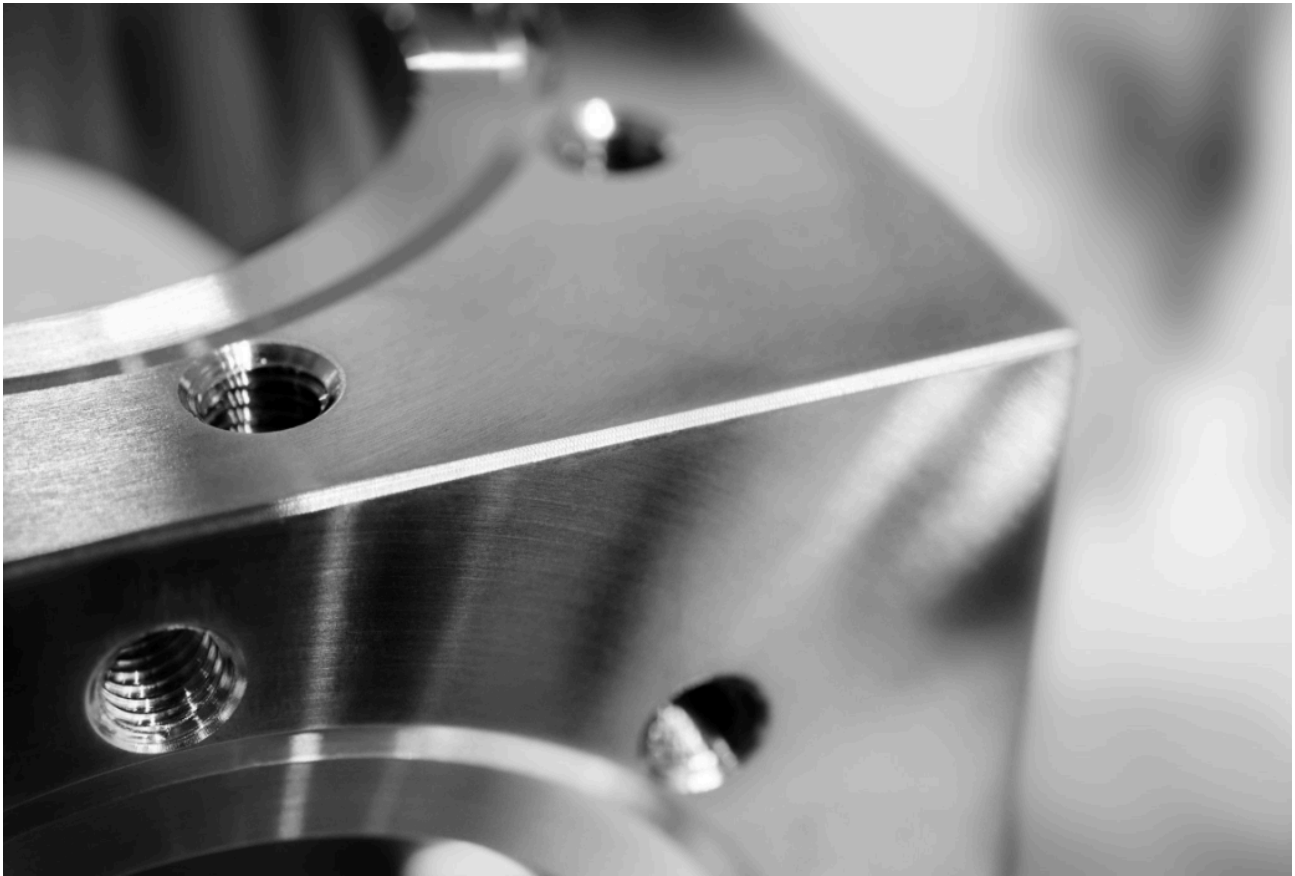


Lavorazione dell'acciaio inossidabile

 xometry.pro/it/articoli/lavorazione-acciaio-inox-guida-definitiva

Atman Aksin



Indice

- [Cosa rende difficile la lavorazione dell'acciaio inox?](#)
- [Indice di lavorabilità e classificazioni per famiglie](#)
- [Scegliere il grado giusto](#)
- [Regole di progettazione per componenti in acciaio inossidabile lavorati meccanicamente](#)
- [Lavorazione dell'acciaio inossidabile](#)
- [Trattamenti post-lavorazione](#)
- [Alternative all'acciaio inossidabile](#)
- [Abbinare le specifiche ai requisiti](#)

Sebbene l'acciaio inox offra una resistenza chimica superiore, un'eccezionale resistenza allo snervamento e resistenza alla pulizia rispetto all'acciaio al carbonio o alle leghe di alluminio, le sue proprietà meccaniche presentano una importante resistenza agli utensili da taglio.

L'ottimizzazione della scelta degli utensili, delle tolleranze dei pezzi e dei parametri di taglio è fondamentale per stabilire cicli di produzione prevedibili e prevenire problemi importanti agli utensili.

Cosa rende difficile la lavorazione dell'acciaio inox?

Quattro distinti meccanismi metallurgici determinano un aumento delle forze di taglio, dell'accumulo termico e del rischio strutturale durante le operazioni di lavorazione.

Indurimento da lavoro

L'[indurimento](#) da lavoro è il processo mediante il quale un materiale si indurisce dopo una deformazione permanente. Piegare una graffetta dimostra direttamente questo effetto: la piegatura in sé è facile, ma raddrizzarla richiede più forza perché il metallo si è irrigidito nel punto di deformazione.

Gli acciai inossidabili austenitici sono tra i metalli più soggetti all'indurimento. Ogni passata che non riesce a tagliare a sufficienza lascia uno strato superficiale indurito, e la passata successiva deve tagliare un materiale che è più duro del metallo base. L'elevata durezza aumenta la resistenza al taglio e accelera l'usura dell'utensile, aggravando il problema ad ogni passata successiva.

Bassa conduttività termica

L'acciaio inox conduce il calore ad una velocità di 15-30 W/m·K, ben al di sotto dell'acciaio al carbonio (30-60 W/m·K) e dell'alluminio (237 W/m·K). Il calore generato sul tagliente non ha modo di dissiparsi, quindi rimane concentrato nella zona di taglio anziché disperdersi attraverso il pezzo in lavorazione. L'elevata temperatura di taglio riduce il carico di snervamento e la durezza dell'utensile, causando scheggiature premature o addirittura la rottura dell'utensile stesso.



Forze di taglio e vibrazioni elevate

La resistenza e la duttilità dell'acciaio inossidabile richiedono forze di taglio superiori rispetto agli acciai lavorabili o all'alluminio, e questa combinazione rende il materiale soggetto a vibrazioni. Le vibrazioni degradano la finitura superficiale, scheggiano gli inserti degli utensili e riducono la durata del mandrino nel tempo.

Problemi di usura rapida degli utensili e di controllo dei trucioli.

L'indurimento, la ritenzione del calore e le elevate forze di taglio si combinano per accelerare l'usura dell'utensile e complicare il controllo dei trucioli. L'acciaio inox produce trucioli lunghi e filamentosi a causa della sua resistenza e duttilità. Questi trucioli sfregano contro la superficie dell'utensile, intensificando la concentrazione di calore e la forza di taglio, e interferiscono con il processo danneggiando sia la superficie lavorata che l'utensile stesso.



Indice di lavorabilità e classificazioni per famiglie

La scelta dell'acciaio inox più adatto ad una specifica applicazione può fare la differenza tra una produzione efficiente e costi alle stelle.

L'industria manifatturiera confronta la relativa facilità di taglio del metallo rispetto all'acciaio da lavorazione al carbonio [AISI 1112](#), a cui viene assegnato un valore di riferimento del 100%. Un grado con un indice di lavorabilità del 50% richiede una riduzione del 50% della velocità di taglio lineare per ottenere una durata equivalente dell'utensile rispetto all'acciaio di riferimento.

Classificazione di lavorabilità delle leghe standard di acciaio inossidabile

Grado del- l'acciaio inox	Indice di lavorabilità	Famiglia metallurgica	Caratteristica di lega primaria
Grado 303	78%	Austenitico	Elevato contenuto di zolfo per la frammentazione dei trucioli
Grado 304	45%	Austenitico	Linea di base standard cromo-nichel
Grado 316	40%	Austenitico	Aggiunta di molibdeno per la resistenza ai cloruri
Grado 430	60%	Ferritico	Composizione a basso contenuto di carbonio e cromo puro
Grado 416	85%	Martensitico	Lavorazione a macchina libera, temprabile mediante trattamento termico
Grado 2205	Dal 20% al 30%	Duplex	Struttura cristallina mista austenitica-ferritica
Grado 630 (17-4 PH)	30%	Indurimento da precipitazione	Trattamento di invecchiamento per precipitati di leghe di rame.



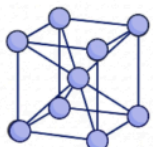
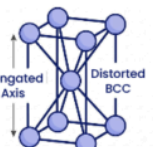
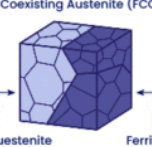
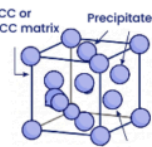
Scegliere il grado giusto

Esistono più di 100 leghe di acciaio inossidabile, la maggior parte delle quali rientra in cinque categorie principali: austenitiche, ferritiche, martensitiche, duplex e a indurimento per precipitazione. Queste categorie riflettono le differenze nella struttura atomica e negli elementi di lega, che a loro volta determinano le proprietà e l'utilizzo finale di ciascun tipo di acciaio.

Il grado giusto per una determinata applicazione è quello che soddisfa le richieste di carico e ambiente di servizio combinato al minor costo di approvvigionamento e di [lavorazione](#).

Grado	Ideale per	Evitare quando
303	Produzione automatizzata ad alto volume di elementi di fissaggio, boccole e ingranaggi.	Esposizione marina o chimica, assemblaggi saldati, formatura pesante
304	Componenti generici, pentole, pannelli architettonici, accessori per esterni	Ambienti di acqua salata o acidi, calore elevato prolungato, cicli ad alto volume
316	Componenti per il settore nautico, per la manipolazione di sostanze chimiche, per uso alimentare e chirurgico.	Lavori ad alto volume con vincoli di budget, applicazioni che richiedono resistenza ottenuta tramite trattamento termico.
416	Ingranaggi, alberi, componenti di valvole, parti di macchine a vite che necessitano di velocità	Assemblaggi saldati, parti piegate, esposizione ad ambienti marini o cloruri
630 (17-4 PH)	Pale per mixer, stampi, valvole che richiedono elevata resistenza all'usura	Temperature superiori a 315 °C, servizio a temperature sotto zero, budget ristretti
2205 (duplex)	Recipienti a pressione, rischio di tensocorrosione, riduzione del peso	Lavorazioni complesse ad alto volume, piegature estreme, budget ristretti

TYPES OF STAINLESS STEEL

	Austenitic	Ferritic	Martensitic	Duplex	Precipitation-Hardening
Unit Cell Model	 <p>Face-Centered Cubic (FCC) Structure</p>	 <p>Body-Centered Cubic (BCC) Structure</p>	 <p>Body-Centered Tetragonal (BCT) Structure</p>	 <p>Coexisting Austenite (FCC) & Ferrite (BCC) Grains</p>	 <p>FCC or BCC matrix with Precipitates</p>
Typical Hardness Range	~150–190 HB (Brinell)	~150–210 HB	Annealed: 155–225 HB; Hardened & Tempered: 45–55 HRC (Rockwell C)	220–300 HB	Annealed: 280–340 HB
Properties	<ul style="list-style-type: none"> ★ FCC crystal structure; ★ High corrosion resistance; ★ Formable, weldable; ★ Non-magnetic 	<ul style="list-style-type: none"> ★ BCC crystal structure; ★ Good corrosion resistance; ★ Magnetic 	<ul style="list-style-type: none"> ★ BCT crystal structure; ★ High strength & hardness; ★ Hardenable; ★ Magnetic 	<ul style="list-style-type: none"> ★ Coexisting FCC and BCC grains; ★ Very high strength; ★ Excellent SCC (Stress Corrosion Cracking) resistance; ★ Magnetic 	<ul style="list-style-type: none"> ★ Austenitic or Martensitic matrix; ★ Precipitate strengthened; ★ High strength
Representative Grades	Grade 304, 316	Grade 409, 430	Grade 410, 420	Grade 2205	Grade 17–4 PH

Tipi di acciaio inossidabile

Grado 303

L'acciaio inossidabile 303 è un acciaio inossidabile austenitico apprezzato per le sua facilità di lavorazione, sebbene tale lavorabilità comporti una minore resistenza alla corrosione, saldabilità e resistenza meccanica rispetto ad altri tipi di acciaio austenitico.

L'acciaio inossidabile 303 è adatto alla produzione automatizzata ad alto volume di componenti complessi e delicati. Le applicazioni tipiche includono raccordi, boccole, elementi di fissaggio, ingranaggi e alberi per aeromobili. La sua minore resistenza alla corrosione ne limita l'utilizzo in ambienti aggressivi come quelli marini, costieri o chimici. È sconsigliato l'impiego del 303 in assemblaggi saldati, poiché tende a fessurarsi a caldo, e in componenti che richiedono piegature significative o formatura a freddo.



Grado 304

L'acciaio inossidabile di grado 304 è il più utilizzato per impieghi generali, apprezzato per la sua formabilità, la resistenza alla corrosione e il prezzo accessibile.

Lavelli, frigoriferi, forni, mobili e pannelli architettonici sono comunemente in acciaio inox 304 per il suo aspetto e la sua resistenza all'ossidazione. Si presta bene anche a piegature intense e alla formatura a freddo, risultando adatto per pentole e padelle. L'acciaio inox 304 supera il 303 in termini di saldabilità e resiste agli agenti atmosferici, estendendone l'utilizzo a strutture, tubature e componenti esposti a pioggia e acqua dolce.

L'acciaio inossidabile 304 non è raccomandato per ambienti con acqua salata, acidi o con sostanze chimiche aggressive, né per un utilizzo prolungato ad alte temperature, dove tende a incrostarsi e a perdere resistenza. Inoltre, è duro e gommoso al taglio, il che ne limita l'efficienza nella produzione su larga scala.

L'acciaio inossidabile 304 fornisce un punto di riferimento pratico in termini di costi per la scelta della qualità. Quando i requisiti di un'applicazione rientrano nel suo ambito, il 304 offre resistenza generica e una finitura lucidabile a un costo ragionevole. Passare al 316 per l'esposizione ai cloruri, al 17-4 PH per una maggiore resistenza o al 303 per una lavorazione più semplice solo quando il 304 non è in grado di soddisfare l'ambiente di esercizio, il carico di lavoro o i requisiti di fabbricazione.

Grado 316

L'acciaio inossidabile di grado 316 è il migliore per applicazioni marine, progettato per resistere all'acqua di mare, alle sostanze chimiche e ai solventi industriali.

L'inox 316 è la scelta ideale per componenti nautici e costieri, accessori per imbarcazioni e componenti architettonici esposti all'aria salmastra. È inoltre adatto per serbatoi di stoccaggio, tubazioni e sistemi di movimentazione di sostanze chimiche corrosive, acidi e cloruri. La sua superficie non porosa e lo strato di cromo autoriparante resistono alla proliferazione batterica, facilitando la sterilizzazione e rendendolo particolarmente adatto ad applicazioni nel settore alimentare, medico e chirurgico.



L'acciaio inossidabile 316 non è temprabile tramite trattamento termico, quindi è sconsigliato utilizzarlo in applicazioni che richiedono un'estrema resistenza strutturale o all'usura. Come il 304, è duro e gommoso al taglio, il che ne limita l'utilizzo nella produzione di grandi volumi. Il costo di mercato del 316 è superiore del 10-30% rispetto al 304 e la sua lavorazione richiede più tempo, quindi è opportuno riservare il 316 ad applicazioni che giustificano il costo aggiuntivo.

Grado 416

L'acciaio inossidabile 416 è un acciaio inossidabile martensitico a lavorabilità migliorata ed è il tipo di acciaio inox più facile da tagliare. Il suo indice di lavorabilità dell'85% è il più alto tra tutti gli acciai inossidabili, superando persino il 303, fermo al 78%. Lo zolfo aggiunto per ottenere questo risultato permette di frammentare i trucioli in modo netto e consente velocità di taglio e avanzamento superiori a quelle permesse da qualsiasi acciaio inossidabile austenitico.

A differenza del 303, il 416 è temprabile tramite trattamento termico, il che lo rende un'ottima opzione quando un componente necessita sia di facilità di lavorazione che di elevata resistenza meccanica o all'usura. Gli impieghi tipici includono ingranaggi, alberi,

viti, prigionieri, componenti per valvole, alberi per pompe e componenti per macchine automatiche a vite prodotte in grandi volumi.

Lo stesso zolfo che conferisce all'acciaio 416 una buona capacità di taglio ne limita le prestazioni in altri contesti. La resistenza alla corrosione è al massimo moderata, inferiore sia a quella del 304 che a quella del suo predecessore 410, pertanto il 416 è inadatto all'esposizione a cloruri o all'ambiente marino. È inoltre magnetico e si presta male alla saldatura e alla formatura a freddo, poiché lo zolfo favorisce la formazione di cricche a caldo. Evitare l'utilizzo del 416 per assemblaggi saldati o componenti che richiedono piegatura.

Scegliere l'acciaio 416 quando il costo di lavorazione è il fattore determinante e l'ambiente di esercizio è moderato. Optare per il 304 per una maggiore resistenza alla corrosione oppure rimanete con il 303, una lega a lavorabilità migliorata che tollera meglio l'esposizione a sali o acidi.

Grado 630 (17-4 PH)

L'acciaio di grado 630 è un acciaio martensitico indurito per precipitazione, noto per la sua elevata resistenza. La sua durezza lo rende adatto ad apparecchiature che devono resistere all'usura, ai graffi e all'erosione, come pale di mixer, stampi e valvole.

Nonostante la sua resistenza, la metallurgia dell'acciaio inossidabile 17-4 PH lo rende fragile in determinate condizioni di temperatura e chimiche. Non è adatto a temperature superiori a 315 °C, all'impiego a temperature sotto zero o all'immersione permanente in ambiente marino.

L'acciaio inossidabile 17-4 PH non è un'opzione economica. Richiede uno specifico processo di invecchiamento per raggiungere la massima resistenza, con conseguente aumento dei costi di materiale e di lavorazione. Quando la resistenza standard è sufficiente a soddisfare i requisiti dell'applicazione, l'acciaio inossidabile di grado 304 rappresenta la scelta migliore.

Grado 2205

L'acciaio inossidabile di grado 2205 è un acciaio duplex che combina la resistenza dell'acciaio ferritico con la resistenza alla corrosione dell'acciaio austenitico, offrendo una resistenza circa doppia rispetto al normale acciaio inossidabile della serie 300.

Tale resistenza si adatta ad applicazioni ad alto stress come recipienti a pressione, serbatoi di stoccaggio e componenti strutturali, e consente la realizzazione di progetti con peso ridotto, poiché la stessa resistenza può essere ottenuta con una struttura più leggera. La resistenza dell'acciaio 2205 a sostanze chimiche aggressive, cloruri e altri sali ne estende l'utilizzo in ambienti marini e in altri contesti esigenti.

Come l'acciaio inossidabile 17-4 PH, anche il 2205 può diventare fragile a temperature estremamente elevate o sotto zero, in componenti soggetti a piegature estreme o nella produzione in serie di geometrie complesse. Il 2205 costa circa il 20% in più del 316 e il 50% in più del 304, quindi non dovrebbe essere scelto se il 304 o il 316 soddisfano ancora i requisiti. Tuttavia, laddove il rischio di tensocorrosione è elevato, il 2205 è l'unica scelta corretta, poiché il 304 e il 316 si danneggerebbero immediatamente in tali condizioni.

Casi d'uso di ingegneria della produzione

Materiale	Opera- zione	Parametro	Problema evitato	Risultato
Acciaio austenitico di grado 316	Fresatura frontale planare	Leggero impegno radiale, ben al di sotto del diametro massimo della fresa.	Usura prematura del cratere	Riduzione dell'accumulo di calore e maggiore durata dell'utensile grazie alla formazione di trucioli più sottili.
Grado martensitico 416	Tornitura automatizzata in stile svizzero	Elevate velocità di lavorazione senza zolfo	Accumulo di schegge lunghe e filamentose	Eccellente evacuazione volumetrica dei trucioli e tempi ciclo economici ridotti.
Grado duplex 2205	Realizzazione di fori ciechi profondi	Liquido refrigerante sintetico ad alta pressione per iniezione	Addolcimento termico localizzato della zona	Controllo preciso della temperatura per prevenire l'immediata rottura del bordo dell'inserto.

Regole di progettazione per componenti in acciaio inossidabile lavorati meccanicamente

Come già accennato, la fase di progettazione è quella in cui vengono stabiliti la maggior parte dei costi di lavorazione. Di conseguenza, osservare queste [regole di progettazione per la lavorazione meccanica](#) è essenziale per l'efficacia in termini di costi.

Linee guida per l'ottimizzazione DfM dell'acciaio inossidabile

Caratteristica di destinazione della progettazione	Vincolo di processo associato	Possibile sanzione per pratiche di approvvigionamento scorrette	Regola di prevalenza DfM principale
Angolo interno della tasca	Il raccordo deve corrispondere al raggio della fresa	Costi per utensili di profilatura personalizzati	Dimensionare il raggio degli angoli in modo che corrisponda o superi leggermente il raggio di un utensile standard per evitare l'utilizzo di frese personalizzate e favorire il flusso dei trucioli.
Profilo del fondo del foro	La punta standard lascia un angolo di 118°	Profondità del profilo della filettatura incompleta	Aggiungere un margine di scarico della filettatura di 2-3 passi oltre la profondità di filettatura richiesta su tutti i disegni dei fori ciechi.
Produzione di filettature	La coppia di serraggio strutturale provoca la rottura	Manodopera di estrazione EDM estesa	Passare alla fresatura con filettatura elicoidale per rimuovere i trucioli in sicurezza.
Dimensione delle coordinate aperte	Risoluzione di traslazione dell'asse macchina	Cicli di esecuzione estesi e controlli	Applicare le tolleranze aperte di Classe m tramite la configurazione del cartiglio.
Dimensione della parete parziale	Estrema flessibilità sotto la forza di taglio	Parte del muro incurvato e scheggiature	Passare al duplex 2205 per tagliare lo spessore della sezione trasversale in sicurezza.

1. Non sovradimensionare i componenti

Con l'acciaio inossidabile, è facile sovradimensionare i componenti a causa dell'ampia gamma di leghe disponibili. I progettisti potrebbero scegliere il 316L (la L sta per basso tenore di carbonio) per sicurezza, quando il 304 potrebbe essere sufficiente. È fondamentale selezionare sempre la lega corretta per l'applicazione specifica. La scelta della lega sbagliata incide non solo sui costi di approvvigionamento, ma anche su quelli di

lavorazione e post-lavorazione. [Evitare tolleranze di lavorazione più strette](#) a meno che non siano necessario per il funzionamento.

2. Abbinare la finitura alla funzionalità

[Specificare la finitura corretta](#) può fare la differenza tra rispettare e sfiorare il budget.

Applicazione di una specifica di profilo ultra-liscia (**Ra < 0,4 µm**) su superfici non sigillanti o non igieniche impone l'aggiunta di rettifica cilindrica secondaria, lappatura o passaggi multipli di elettrolucidatura. Mantenere la finitura standard da lavorazione (**Ra 3,2 µm**) come limite predefinito ovunque le prestazioni meccaniche lo consentano.

3. Progettazione per lavorazioni CNC

Evitare o modificare le caratteristiche che non possono essere realizzate in modo affidabile con macchine CNC. Scegliere leghe adatte alle macchine CNC. Ad esempio, per i pezzi che non richiedono un'estrema resistenza alla corrosione e la saldatura post-lavorazione, la lega 303 è preferibile rispetto a leghe più difficili da lavorare. Gli acciai inossidabili duplex possono ridurre lo spessore del pezzo della metà rispetto alle leghe austenitiche standard. Il risparmio sui costi si estende a più fasi, dall'approvvigionamento al trattamento post-lavorazione.

L'acciaio inossidabile premia un approccio ponderato alla scelta degli utensili, alla velocità di lavorazione e al raffreddamento.

Pratica	Raccomandazione	Perché è importante
Materiale per utensili	Carburo rivestito, grana sub-micro-nica per una maggiore tenacità; rivestimento in TiAlN o AlTiN per produzioni ad alto volume.	Gli strumenti standard si rompono a causa del calore e accumulo di materiale sul accumulo di materiale sul bordo
Velocità di taglio	Moderata	L'alta velocità aumenta la temperatura di taglio e riduce la durata dell'utensile.
Velocità di alimentazione	Aggressivo, con alimentazione costante	Le basse velocità di avanzamento causano attrito, che a sua volta provoca incrudimento del materiale.
Profondità del taglio	Abbastanza profondo da tagliare lo strato indurito dal lavoro ad ogni passata	Una passata di finitura superficiale incide il materiale indurito anziché il metallo vergine.
Raffreddamento	Liquido refrigerante a base d'acqua per operazioni ad alta velocità; puro olio da taglio per maschiatura e filettatura	L'accumulo di calore compromette la durata degli utensili più dell'attrito.
Configurazione della macchina	Rigido, con elevata forza di serraggio e sporgenza dell'utensile ridotta.	La flessione provoca vibrazioni, incrudimento del materiale e rottura dell'utensile.

Per l'acciaio inox, la fresatura della filettatura è generalmente la scelta migliore rispetto alla maschiatura, poiché riduce l'attrito e le sollecitazioni dell'utensile su un materiale già soggetto a incrudimento.

Gli ingegneri che dimensionano le filettature interne per entrambi i metodi possono verificare le dimensioni delle punte con il [Calcolatore per la dimensione di punte per filettatura e maschiatura](#) prima di impegnarsi in una strategia di maschiatura.



Trattamenti post-lavorazione

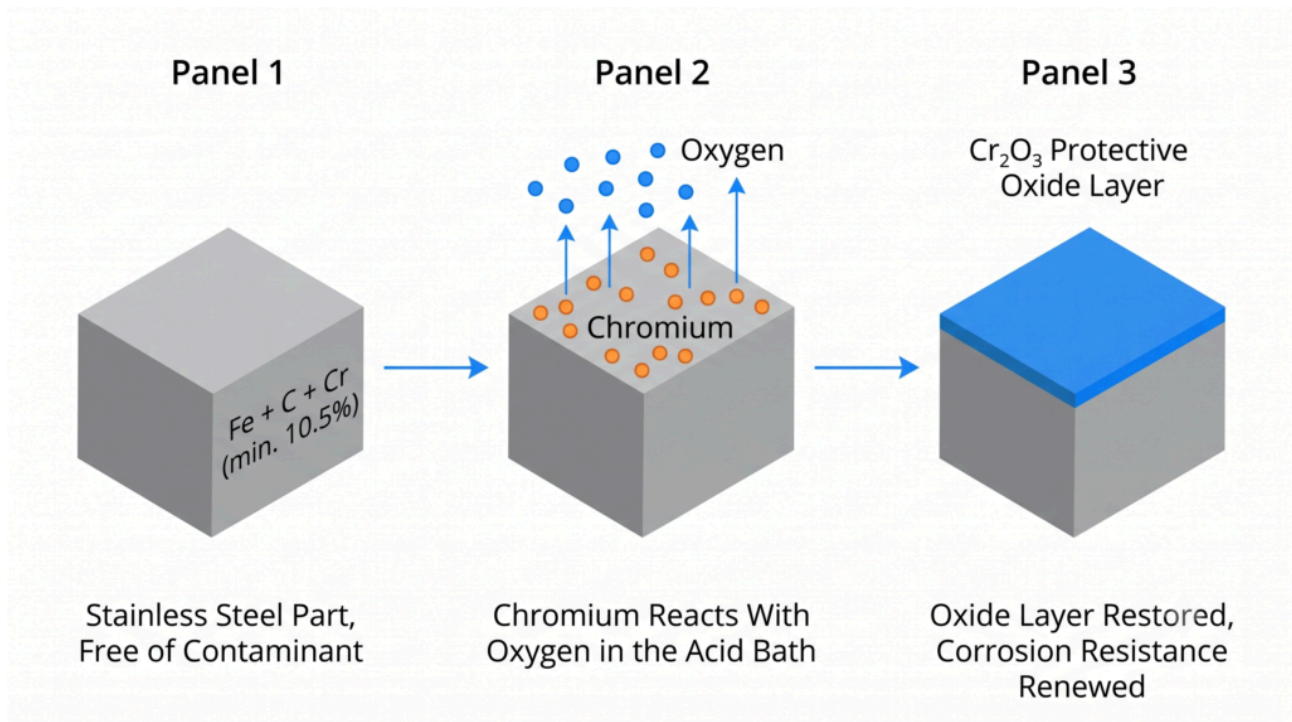
La lavorazione meccanica lascia dietro di sé contaminazioni superficiali, rischio di ruggine e usura precoce, e la lavorazione secondaria risolve ciascuno di questi problemi prima che un componente in acciaio inossidabile venga spedito.

Pulizia e sgrassaggio

I pezzi lavorati necessitano di una pulizia per rimuovere fluidi da taglio, oli e trucioli, in genere tramite pulizia alcalina o sgrassaggio con solventi. Questa fase è necessaria prima della passivazione, poiché i residui sulla superficie impediscono al bagno acido di agire correttamente.

Passazione

La passivazione è un trattamento chimico dell'acciaio inossidabile con acido nitrico o citrico, che rimuove il ferro libero lasciato dall'utensile da taglio, il quale altrimenti fungerebbe da punto di innesco per la corrosione. Il processo ripristina lo strato uniforme di ossido di cromo responsabile della resistenza alla corrosione del materiale.



Elettrolucidatura

L'elettrolucidatura è un processo elettrochimico che rimuove un sottile strato superficiale, levigando le micro-asperità e producendo una superficie pulita, a basso attrito e altamente resistente alla corrosione. Viene tipicamente utilizzata in applicazioni mediche, farmaceutiche, dei semiconduttori e nell'industria alimentare.

Alternative all'acciaio inossidabile

L'acciaio inossidabile è la scelta preferita quando un'applicazione richiede **massima resistenza alla corrosione, funzionamento ad alte temperature, aspetto estetico gradevole e rigorose proprietà igieniche.**

Quando la difficoltà di lavorazione supera il vantaggio, altri materiali potrebbero essere più adatti all'applicazione.

Alternativa	Scegliere quando
Acciaio forgiato	Il budget è limitato e i componenti possono essere verniciati o rivestiti per proteggerli dalla corrosione.
Alluminio	Il peso e la conduttività termica contano più della resistenza o della resistenza alla corrosione.
Ottone	La lavorabilità e la moderata resistenza alla corrosione sono prioritarie, con benefici antimicrobici
Plastica o composito	L'isolamento elettrico, il peso e il costo superano le esigenze di resistenza meccanica.

Abbinare le specifiche ai requisiti

L'acciaio inossidabile offre resistenza alla corrosione e durata che pochi materiali eguagliano, ma ognuna di queste proprietà aggiunge attrito alla macchina. Selezione del grado, disciplina di [tolleranza](#), scelta degli utensili e post-elaborazione convergono tutti nella stessa direzione: far corrispondere le specifiche ai requisiti di servizio effettivi, non a quelli che sembrano più sicuri.