

La capacità di formatura dell'acciaio inossidabile



Euro Inox

Euro Inox è l'associazione europea per lo sviluppo del mercato dell'acciaio inossidabile.

I soci di Euro Inox sono:

- Produttori europei di acciaio inossidabile
- Associazioni nazionali di sviluppo dell'acciaio inossidabile
- Associazioni per lo sviluppo delle industrie produttrici di elementi di lega.

Gli obiettivi principali che Euro Inox persegue sono: diffondere la conoscenza sulle proprietà uniche degli acciai inossidabili e incentivarne l'impiego nelle odierne applicazioni e nei nuovi mercati. Per raggiungere questi obiettivi Euro Inox organizza conferenze e seminari e pubblica guide in formato elettronico e cartaceo rivolte a progettisti, prescrittori, costruttori e utenti finali perché approfondiscano le conoscenze su questo materiale. Euro Inox sostiene anche la ricerca tecnica e di mercato.

ISBN 978-2-87997-213-8

978-2-87997-211-4	versione inglese
978-2-87997-212-1	versione francese
978-2-87997-214-5	versione spagnola
978-2-87997-215-2	versione finlandese
978-2-87997-216-9	versione svedese
978-2-87997-217-6	versione olandese
978-2-87997-218-3	versione tedesca
978-2-87997-219-0	versione polacca
978-2-87997-220-6	versione ceca
978-2-87997-221-3	versione turca

Membri ordinari

Acerinox

www.acerinox.es

ArcelorMittal Stainless Belgium

ArcelorMittal Stainless France

www.arcelormittal.com

Outokumpu

www.outokumpu.com

ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni

www.acciaiterni.it

ThyssenKrupp Nirosta

www.nirosta.de

Membri associati

Acroni

www.acroni.si

British Stainless Steel Association (BSSA)

www.bssa.org.uk

Cedinox

www.cedinox.es

Centro Inox

www.centroinox.it

Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

www.edelstahl-rostoffrei.de

Institut de Développement de l'Inox (I.D.-Inox)

www.idinox.com

International Chromium Development Association (ICDA)

www.icdachromium.com

International Molybdenum Association (IMOA)

www.imoa.info

Nickel Institute

www.nickelinstitute.org

Paslanmaz Çelik Derneği (PASDER)

www.turkpasder.com

Polska Unia Dystrybutorów Stali (PUDS)

www.puds.pl

SWISS INOX

www.swissinox.ch

La capacità di formatura dell'acciaio inossidabile
 Prima Edizione 2008
 (Serie "Materiali ed Applicazioni", Volume 8)
 © Euro Inox 2008

Editore

Euro Inox
 Sede legale:
 241 route d'Arlon, 1150 Lussemburgo
 Granducato di Lussemburgo
 Tel.: +352 261 03 050 / Fax: +352 261 03 051
 Ufficio esecutivo:
 Diamant Building, Bd. A. Reyers 80
 1030 Bruxelles, Belgio
 Tel.: +32 2 706 82 67 / Fax: +32 2 706 82 69
 info@euro-inox.org
 www.euro-inox.org

Autore

Benoît Van Hecke, Hasselt (B)

Traduzione

Angela Carnicelli, Terni (I)

Crediti

Foto di copertina:

- HDE Solutions, Menden (D)
- ThyssenKrupp Nirosta, Krefeld (D)
- Alessi, Crusinallo (I)

Declino di responsabilità

Le informazioni tecniche contenute nella presente pubblicazione sono state attentamente curate da Euro Inox, la quale si è impegnata per assicurarne la correttezza. Tuttavia, si informa il lettore che il materiale ivi contenuto è di carattere puramente informativo e generale. Euro Inox, i suoi soci, il personale e i consulenti declinano qualsiasi responsabilità per perdite, danni o lesioni derivanti dall'uso delle informazioni contenute nel presente documento.

Indice

1. Introduzione	3
2. Proprietà meccaniche	4
3. Capacità di formatura	5
4. Finitura superficiale	5
5. Nodi idroformati per telai automobilistici	6
6. Igienicità assicurata da superfici senza saldature	8
7. Pompe più efficienti grazie alle carcasse idroformate	10
8. Imbutitura al tornio per un design esclusivo	12
9. Cerchi per auto ottenuti con imbutitura al tornio	14
10. Profili laminati a freddo per un'eccellente resistenza	16
11. Piastre corrugate per esplosione	18
12. Dadi autobloccanti imbutiti per i cerchi d'auto	20
13. Maggiore capacità di carico con la lamiera ondulata	22
14. Bibliografia	24

Copyright

Il presente documento è protetto da copyright. Euro Inox si riserva tutti i diritti di traduzione in qualsiasi lingua, ristampa, riutilizzo delle illustrazioni, divulgazione e diffusione. È vietata la riproduzione, l'archiviazione in un sistema di reperimento dati o la trasmissione, anche parziale, in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo, sia questo elettronico o meccanico, nonché la duplicazione, registrazione o altro, senza previa autorizzazione scritta di Euro Inox (Lussemburgo) in quanto titolare del diritto d'autore. Tutte le violazioni saranno perseguite legalmente e i trasgressori saranno soggetti al risarcimento danni e al pagamento dei costi e delle spese di giudizio secondo quanto stabilito dalla legge lussemburghese in materia di diritti d'autore e dalle relative normative dell'Unione Europea.

Gli acciai inossidabili

Gli acciai inossidabili sono leghe di ferro con un contenuto minimo di cromo pari al 10,5% (di massa) ed un contenuto massimo di carbonio in ragione dell'1,2%, necessario a formare uno strato di ossido autorigenerante noto come strato passivo, che garantisce la resistenza della lega alla corrosione. Questa è la definizione di acciai inossidabili della norma EN 10088-1.

La composizione degli elementi di lega ha una grande influenza sulla struttura metallurgica dell'acciaio inossidabile ed individua quattro grandi famiglie di acciai inossidabili, ciascuna con proprietà meccaniche, fisiche e chimiche tipiche:

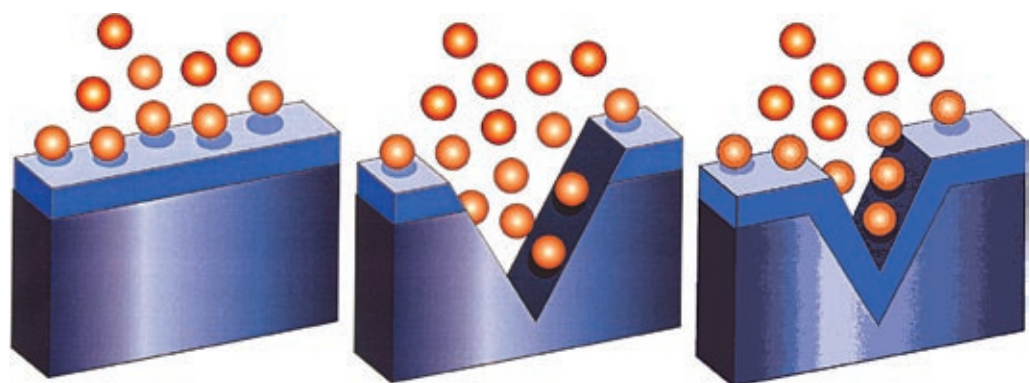
- Acciai austenitici: Fe-Cr-Ni, $C < 0.1\%$ (non magnetici)
- Acciai ferritici: Fe-Cr ($> 10.5\%$), $C < 0.1\%$ (magnetici)
- Acciai duplex: Fe-Cr-Ni, struttura mista austeno-ferritica (magnetici)
- Acciai martensitici: Fe-Cr, $C > 0.1\%$ (magnetici e incrudibili)

Queste famiglie comprendono altri tipi di acciai contenenti elementi diversi come molibdeno, titanio, niobio e azoto. Gli acciai austenitici rappresentano circa i due terzi del consumo mondiale di acciaio inossidabile.

I tipi austenitici EN 1.4301/1.4307 (AISI 304/304L) e EN 1.4401/1.4404 (AISI 316/316L), il tipo ferritico EN 1.4016 (AISI 430) con le loro varianti costituiscono gli acciai inossidabili più comuni e largamente commercializzati.

Le proprietà principali dell'acciaio inossidabile possono essere riassunte come segue:

- resistenza alla corrosione
- aspetto estetico accattivante
- resistenza al calore
- basso costo di manutenzione
- completa riciclabilità
- neutralità biologica
- facilità di fabbricazione
- alto rapporto resistenza-peso



Se la superficie dell'acciaio inossidabile viene lavorata o subisce un danno accidentale, lo strato passivo si riforma subito in presenza dell'ossigeno contenuto nell'aria o nell'acqua.

¹ Per maggiori informazioni sulle proprietà chimiche, meccaniche e fisiche degli acciai inossidabili, si rimanda al sito www.euroinox.org/technical_tables (database interattivo) oppure alla brochure *Tables of Technical Properties* (Serie Materiali e Applicazioni, Volume 5), 2a ed., Lussemburgo: Euro Inox, 2007.

1 Introduzione

L'acciaio inossidabile presenta una grande capacità di formatura grazie all'interessante gamma delle proprietà meccaniche che lo caratterizzano. L'alto rapporto resistenza-peso e le proprietà di allungamento ed incrudimento del materiale gli permettono di rispondere alle sfide poste dalla produzione di modelli complessi, tridimensionali e senza saldature.

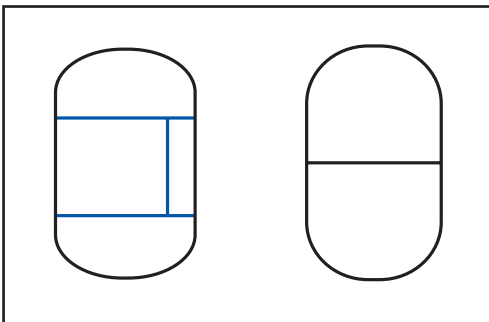
Poiché queste applicazioni non diminuiscono le note qualità di resistenza alla corrosione, resistenza al calore ed aspetto estetico dell'acciaio inossidabile, esso rap-

presenta spesso il materiale ottimale sia per i prodotti industriali che per quelli di consumo.

Il costo di produzione è la somma di

- costo del materiale
- costo di trasformazione

Anche la scelta dell'acciaio inossidabile non è sempre la più economica, le semplificazioni di produzione e di processo compensano largamente il maggiore costo del materiale, per esempio riducendo il numero delle fasi di imbutitura o di trattamento termico.



I barili per il trasporto di birra e bevande (generalmente da 20-70 l) possono essere prodotti in diversi modi, grazie alla versatilità delle proprietà meccaniche dell'acciaio inossidabile. Una possibilità è rappresentata da un modello in tre parti (esempio a sinistra), dove si utilizzano due dischi sagomati per le estremità ed una lamiera in acciaio inossidabile deformata a freddo per la parte centrale. La deformazione a freddo dei laminati piani ne migliora le proprietà meccaniche. L'uso della lamiera nella parte centrale aumenta la resistenza del barile oppure permette di diminuire lo spessore delle sue pareti a parità di resistenza. Questo modello è preferibile quando il criterio di scelta è un peso più leggero.



In alternativa, la formabilità dell'acciaio inox permette di costruire modelli in due parti (esempio a destra), in cui sono utilizzate due metà identiche ottenute per imbutitura. Questo modello è preferibile quando il criterio di scelta è il minor numero di saldature. Oltre all'elevata capacità di formatura, l'acciaio inossidabile è spesso il materiale di scelta per stare a contatto con il cibo, in quanto soddisfa facilmente le norme europee in materia di sicurezza alimentare.

Confronto fra modello in tre parti e modello in due parti. Foto: AEB, Vimercate (I)

2 Proprietà meccaniche

Per valutare la capacità di formatura di un materiale, è necessario conoscerne le proprietà meccaniche. I criteri di valutazione più comuni sono:

Resistenza: grado di resistenza di un materiale alla deformazione. Partendo da considerazioni strutturali, la deformazione può essere definita come:

- “snervamento” o deformazione plastica permanente (da cui “limite di snervamento” R_p), oppure
- “rottura” (da cui “resistenza a rottura” R_m)

Durezza: grado di resistenza alla penetrazione da parte di un carico applicato.

Tenacità: capacità di assorbimento dell'energia di deformazione prima della frattura.

Duttilità: capacità di deformazione plastica senza rottura.

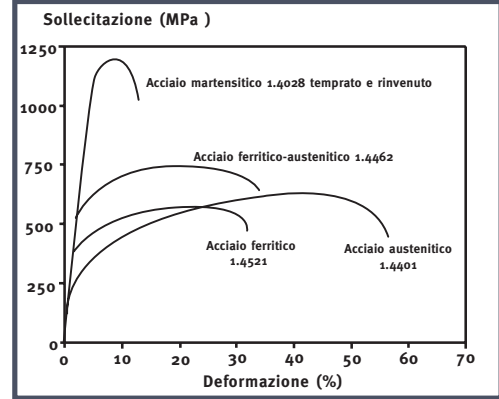
I concetti “resistente” e “debole”, “duro” e “tenero”, “tenace” e “fragile” definiscono i diversi aspetti delle proprietà meccaniche di un materiale e non devono essere confusi. Per misurare alcune di queste proprietà si può eseguire una prova a trazione. Un diagramma tipico che si ottiene dopo la prova a trazione sui diversi acciai inossidabili esprime la sollecitazione (relativa alla “resistenza”) rispetto alla quantità di deformazione applicata.

La punta finale della curva corrisponde al grado di allungamento a rottura ed è una misura della duttilità del materiale.

L'area al di sotto della curva indica quanta energia è stata assorbita dal materiale prima di rompersi e dà la misura della tenacità.

Mentre gli acciai inossidabili martensitici hanno una resistenza elevata ed una dut-

Curva sollecitazione-deformazione per i diversi tipi di acciaio inossidabile.



tilità (o formabilità) abbastanza bassa, gli acciai austenitici evidenziano una minore resistenza e una maggiore duttilità. I gradi ferritici-austenitici (o duplex) e ferritici occupano una posizione intermedia. La resistenza a rottura dei tipi ferritici è generalmente maggiore rispetto agli austenitici, mentre la resistenza a rottura del duplex è molto più alta sia rispetto ai ferritici che agli austenitici. Gli acciai inossidabili ferritici e duplex hanno una duttilità simile².

Fatta eccezione per gli acciai inossidabili martensitici, le relazioni tipiche indicate dal grafico sono valide allo stato ricotto, condizione alla quale vengono normalmente forniti gli acciai inossidabili. Per maggiore completezza e per afferrare appieno la capacità di formatura dell'acciaio inossidabile, va notato che le proprietà meccaniche del materiale dipendono dai seguenti fattori:

- composizione chimica
- trattamento termico (martensitici)
- deformazione a freddo (austenitici e duplex)

Quest'ultima proprietà si riferisce al fatto che la deformazione a freddo permette di ottenere alti livelli di resistenza degli acciai

² Per maggiori informazioni sulle specifiche prove di durezza e tenacità (o di “resistenza all'impatto”) degli acciai inossidabili cfr.: CUNAT, Pierre-Jean, *Working with Stainless Steel* (Serie Materiali e Lavorazioni, Volume 2), Parigi: Sirpe, 1998.

inossidabili. Infatti, questo comportamento di “incrudimento” contraddistingue gli acciai inossidabili dalla maggior parte dei materiali metallici.

Dopo la deformazione a freddo, i tipi austenitici e duplex offrono generalmente un'interessante combinazione di resistenza e formabilità in termini di peso più leggero.

3 Capacità di formatura

Per spiegare la capacità di formatura dell'acciaio inossidabile, presentiamo lo studio di nove casi di applicazioni domestiche ed industriali dell'acciaio inox. Ciascun caso descrive brevemente:

- i principi delle operazioni di formatura
- i requisiti materiali del prodotto da realizzare
- le proprietà che determinano la scelta dell'acciaio inossidabile
- la fabbricazione del prodotto in acciaio inossidabile³

4 Finitura superficiale

La norma europea EN 10088-2 fornisce indicazioni sulle possibili finiture (e la relativa terminologia) dell'acciaio inossidabile⁴. Le finiture e gli spessori tipici dei prodotti ottenuti per formatura sono i seguenti:

- laminato a freddo leggermente riflettente 2B (0.40 – 8.00 mm)
- laminato a freddo molto riflettente (ricottura brillante) 2R (< 3.00 mm)
- laminato a freddo lucidato (2G) o spazzolato (2J)

Inoltre, sono usate anche delle finiture per il laminato a caldo (1D; > 2.00 mm) e il lavorato a freddo (2H; < 6.00 mm).

In generale, una forte deformazione danneggia l'aspetto estetico superficiale. Nel

caso dell'acciaio inossidabile, però, si possono ottenere forme relativamente complesse senza bisogno di lavorazione post-fabbricazione (finitura meccanica).

Per esempio, laveli di tipo economico in acciaio inossidabile sono prodotti direttamente dalla lamiera finita con ricottura brillante (2R) senza ulteriore lucidatura. Il fatto che la finitura superficiale riesca a sopravvivere all'operazione di formatura giustifica dal punto di vista economico la combinazione materiale/processo di formatura.

Finiture tipiche adatte alla formatura: 2B, 2R e 2G/2J.



³ L'intento della presente pubblicazione è quello di indicare alcuni processi che sfruttano in modo ottimale la capacità di formatura dell'acciaio inossidabile. Per informazioni sulle società in grado di realizzarli, si rimanda a Euro Inox o alle sue consociate.

⁴ Vedi Allegato B della Guida alle *finiture superficiali degli acciai inossidabili* (Serie Edilizia, Volume 1), seconda ed., Lussemburgo: Euro Inox, 2002.

5 Nodi idroformati per telai automobilistici

L'idroformatura permette di creare forme complesse a partire dai tubi e si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

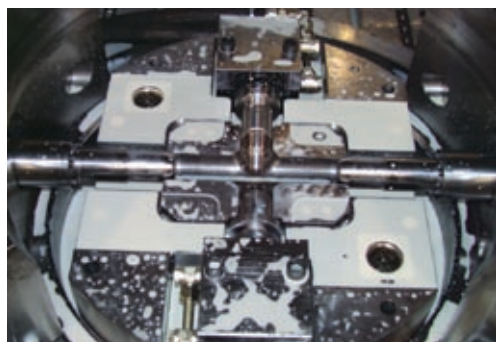
- inserimento di un tubo in acciaio inossidabile nello stampo
- chiusura ermetica delle estremità del tubo
- riempimento del tubo con liquido (di solito acqua o olio)
- deformazione dell'acciaio per l'effetto combinato della pressione (radiale) del liquido e della compressione (assiale) delle estremità del tubo.

Il processo, che può essere usato per ottenere quasi tutte le forme complesse, comporta i seguenti vantaggi rispetto alle tecniche tradizionali:

- superficie del pezzo intatta (nessun danno superficiale causato dal punzone né macchie dovute ai lubrificanti)
- tolleranze di forma più severe

La produzione di nodi per telai automobilistici

Una soluzione applicata alla costruzione di carrozzerie è rappresentata dalla "struttura tridimensionale aperta" (foto in alto a sinistra). In realtà, questo principio viene appli-



Utensile per idroformatura e foto: ArcelorMittal Center Auto-Applications, Montataire (F)

cato da anni dai costruttori di autobus con un telaio composto da tubi saldati in acciaio inossidabile. Tradizionalmente, questo sistema richiede l'uso di giunti realizzati mediante piegatura, taglio e saldatura (foto in alto a destra).

L'impiego di nodi idroformati offre i seguenti vantaggi:

- sostituzione della tradizionale saldatura di tubi tagliati dalle forme complesse
- separazione del cordolo di saldatura dall'area di taglio (lavorazione metalurgica e lavorazione meccanica in zone distinte).

Fra i benefici si possono considerare:

- standardizzazione della produzione
- soluzioni modulari
- peso più leggero grazie a maggiore stabilità e resistenza
- riduzione dei costi

Modello: P-J Cunat, Joinville-le-Pont (F)

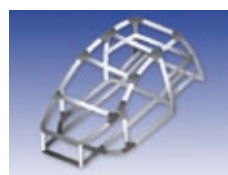


Foto: HDE Solutions, Menden (D)



Parti della nuova struttura tridimensionale aperta con nodi idroformati Foto: ArcelorMittal Stainless Europe, La Plaine Saint-Denis (F)

Il comportamento alla deformazione dell'acciaio inossidabile durante l'idroformatura

Durante l'idroformatura, alcune zone subiscono una forte deformazione con conseguente "incrudimento" del metallo. Questa ulteriore caratteristica dell'acciaio inossidabile aumenta le proprietà meccaniche del pezzo, migliorando sia il comportamento statico che la resistenza a fatica.

Le zone deformate dove la tensione è massima si trovano lontano dalle saldature, esattamente l'opposto di quanto avviene nei processi tradizionali, dove le zone saldate sono anche quelle più critiche.



*Nodo idroformato
Foto: HDE Solutions,
Menden (D)*

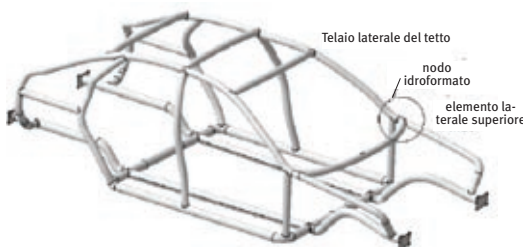
Vantaggi del nodo idroformato in acciaio inossidabile

La combinazione fra idroformatura e acciaio inossidabile offre i seguenti vantaggi:

- migliore allineamento assiale
- eccellente perpendicolarità (nessun rischio di deformazione termica dopo la saldatura)
- possibilità di saldatura automatica (sul nodo piuttosto che dentro al nodo)

- migliore spessore/precisione geometrica
- migliore distribuzione delle tensioni

Risultato: meno parti, meno rottami, meno stampi e meno materiale, uguale: riduzione dei costi.



*Modello e foto: ArcelorMittal Stainless Europe,
La Plaine Saint-Denis (F)*

6 Igienicità assicurata da superfici senza saldature

La produzione di utensili di cucina che andranno a contatto con il cibo impone alcuni requisiti:

- superfici igieniche e di facile pulitura
- efficace distribuzione termica (per la cottura) e impugnature isolanti
- resistenza all'urto e all'usura

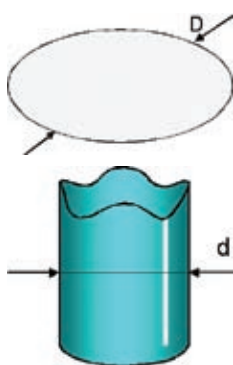
Oltre agli aspetti tecnici, esistono delle considerazioni che attengono allo stile di vita e che impongono requisiti di finitura e forma. Il processo di fabbricazione di una pentola di design, come quella illustrata, spiega perché l'acciaio inossidabile sia da anni il materiale di elezione per rispondere a tali requisiti.

Trasformazione di un disco metallico in un corpo cavo



È sorprendente che la fabbricazione di questo elegante contenitore sia partita da un disco piatto da 1 mm di spessore e circa 400 mm di diametro. Il tipo EN 1.4301 laminato a freddo con finitura 2B (condizione di fornitura) è in grado di assorbire l'elevata deformazione applicata dalla pressa. Nel corso del processo, il diametro del disco viene ridotto della metà, raggiungendo più o meno il limite di formabilità del materiale⁵.

L'acciaio inossidabile permette di ottenere forme più profonde, purché sia ripristinata l'originale deformabilità plastica. A questo scopo, si applica un trattamento termico intermedio (ricottura) sopra ai 1000 °C, temperatura alla quale la superficie d'acciaio inossidabile si ossida. Poiché la superficie annerita potrebbe contaminare tutta la lavorazione meccanica a valle della pressa e complicare la fase di lucidatura, si esegue un trattamento chimico superficiale per rimuovere l'ossido e ripristinare lo strato passivo superficiale. La forma cilindrica può essere quindi sottoposta ad imbutitura profonda per ottenere lunghezze maggiori.



Rapporto limite di imbutitura (LDR – Limiting Drawing Ratio) = D/d .
Valori tipici di LDR per acciaio inox fra 1.8 e 2.



⁵ il rapporto limite di imbutitura (LDR – Limiting Drawing Ratio) rappresenta il quoziente fra il diametro massimo del disco di partenza (D) che può essere imbutito a cilindro in una sola fase e il diametro (d) del cilindro finale

Da elemento sbizzato a oggetto di design

Il fondo della pentola, che deve riscaldarsi per induzione, viene accoppiato ad un disco in acciaio inossidabile ferritico (Cr). Questo materiale è magnetico, a differenza dell'acciaio inossidabile austenitico (Cr-Ni) di cui è fatto il corpo della pentola.

Per ottenere una distribuzione ottimale del calore, fra i due elementi viene inserito un disco in alluminio e le tre parti sono



fissate insieme mediante un'operazione di punzonatura e brasatura.

Sebbene l'aspetto opaco del disco di partenza non abbia l'attraente lucentezza delle pentole di design, la sua ruvidità superficiale è sufficientemente bassa da consentire una finitura post-saldatura soddisfacente.

Completate le fasi principali di assemblaggio, il corpo della pentola viene mola-



La formatura dell'acciaio inossidabile non si limita alle forme cilindriche. Si può imporre al cilindro (a destra nella foto) un profilo curvo più complesso (a sinistra) utilizzando uno stampo metallico in due parti aventi la forma finale richiesta ed un punzone (al centro), realizzato con una serie di dischi in polimero duro aventi diverse proprietà.

to e lucidato con diversi sistemi abrasivi, dai cuscinetti Scotch-Brite™ alla pasta per lucidatura (finitura finale).

Un materiale versatile per prodotti igienici

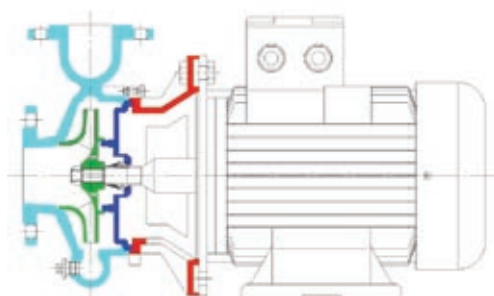
Grazie alle proprietà di saldatura, formatura e finitura, l'acciaio inossidabile soddisfa facilmente i requisiti degli utensili da cucina e cioè: niente saldature (igienicità), superfici non ruvide, rigidità per lungo tempo, attitudine al riscaldamento per induzione, ecc. Queste forme sono usate oltre che per gli utensili da cucina, nei prodotti che richiedono elevata igienicità.



I manici, ottenuti da una barra tonda o piatta, sono saldati al corpo della pentola. Una minima superficie di contatto e l'uso di acciaio austenitico (minore conduttività termica rispetto agli altri acciai) assicurano sicurezza e protezione contro il calore.

7 Pompe più efficienti grazie alla carcasse idroformate

Parti principali di una tipica pompa centrifuga



La pompa centrifuga serve ad aumentare l'energia (generata dal motore) di un liquido, provocandone il movimento e alzando la sua pressione. Le parti principali di una pompa sono:

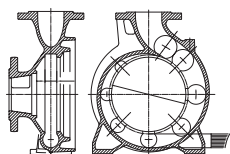
- motore elettrico ed albero
- carcassa fissa (blu chiaro)
- girante (verde)
- guarnizione (blu) e supporto (rosso)

La girante trasforma l'energia del motore in energia del liquido (somma di pressione, energia cinetica e energia potenziale).

Dal punto di vista idraulico, lo scopo della carcassa è guidare il liquido all'interno della girante dal lato dell'entrata, separare la zona a bassa pressione da quella ad alta pressione e portare il liquido dalla girante verso l'uscita, aumentando ulteriormente la pressione attraverso la diminuzione della velocità. Dal punto di vista meccanico, la carcassa deve poter resistere alla pressione d'esercizio, sostenere la pompa (secondo i modelli) e assorbire le deformazioni trasmesse dalla tubatura collegata.

Il ruolo dell'involucro a spirale

Per aumentare ancora la pressione del liquido in uscita dalle lame della girante, l'involucro presenta una caratteristica forma eliocidale che aumenta di sezione man mano



Involucro a spirale

che si sviluppa la spirale. Questa forma fa diminuire la velocità del liquido (per aumentare la pressione) e riduce al minimo la perdita per attrito. La fabbricazione di un involucro a spirale che rispetti tutti questi principi di progettazione pone grosse sfide.

Dal getto in ghisa alla carcassa imbutita

La carcassa tradizionale è fabbricata da getto in ghisa, acciaio o bronzo. Di recente, sono state sviluppate delle carcasse in acciaio inossidabile imbutito che combinano l'alto rapporto resistenza-peso con l'ottima formabilità del materiale, per produrre un manufatto leggero di grande resistenza meccanica.



Carcassa in ghisa



Carcassa inox con imbutitura

I vantaggi dell'acciaio inossidabile

Le carcasse in acciaio inossidabile garantiscono:



Pompa centrifuga con carcassa in acciaio inossidabile

- assenza di contaminazione (p.e. per l'acqua potabile) da parte del materiale della carcassa
- resistenza alla corrosione in numerosi ambienti mediamente aggressivi
- alleggerimento grazie alle migliori proprietà meccaniche (pompe compatte, di facile gestione)
- aspetto esteriore attraente e facilità di manutenzione



Carcassa di pompa ottenuta da un disco in acciaio inossidabile mediante imbutitura profonda. L'entrata è nella parte frontale e il liquido esce attraverso un'apertura idroformata sulla parte superiore.

- maggiore efficienza della pompa grazie ad una superficie senza asperità

I vantaggi dell'idroformatura

I modelli di carcassa possono avere forme da molto semplici (sezione circolare) a molto complicate (contenenti l'involucro a spirale). Queste ultime, fabbricate generalmente saldando insieme due metà, garanti-



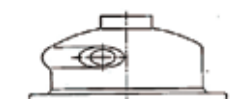
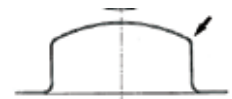
L'involucro a spirale è integrato per idroformatura all'interno della carcassa della pompa. L'apertura esterna ha una finitura accurata, per migliorare l'efficienza di esercizio.

scono una maggiore efficacia della pompa. L'idroformatura permette comunque di integrare in un solo pezzo l'involucro a spirale nella carcassa in acciaio inossidabile, senza bisogno di saldature e con minor rischio di corrosione.

Fabbricazione per idroformatura di carcassa in acciaio inossidabile

La carcassa viene fabbricata a partire da un disco in acciaio inossidabile (da 1.5 a 3 mm di spessore, a seconda del modello), attraverso le seguenti operazioni:

- imbutitura profonda, per ottenere la geometria della carcassa prevista
- idroformatura dell'involucro a spirale con una pressione dell'acqua >1000 bar
- trapanatura e molatura delle aperture
- saldatura dei raccordi e del supporto con l'esterno



Fasi di produzione della carcassa: imbutitura profonda, idroformatura, trapanatura e molatura, montaggio raccordi

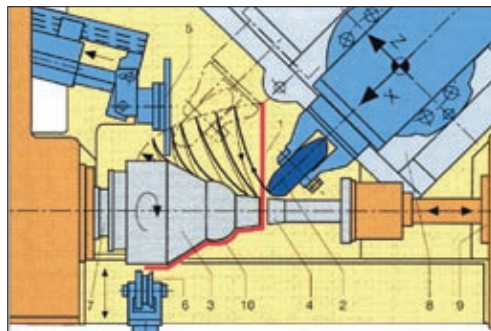
8 Imbutitura al tornio per un design esclusivo

L'imbutitura al tornio di un materiale metallico è un processo di formatura senza perdita di materiale, che richiede:

- un disco di partenza piano o parzialmente imbutito
- un rullo per imbutitura al tornio
- uno stampo a simmetria circolare montato su tornio

Il disco viene stirato sullo stampo in fasi successive, mentre lo stampo e il disco girano sul tornio. A causa delle alte pressioni in gioco, è importante assicurare la giusta lubrificazione per evitare che il manufatto si incollì allo stampo con conseguente danneggiamento della superficie.

Questo processo di imbutitura al tornio generalmente richiede un minore investimento iniziale, costi minori di attrezzaggio, avviamento e "switching" e minore consumo energetico rispetto al processo di imbutitura alla pressa. Tuttavia, poiché la produttività è bassa, il processo è più adatto alla produzione di prototipi e alle lavorazioni in serie

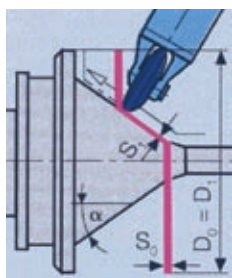


Schema: Leifeld Metal Spinning, Ahlen (D)

limitate. Il processo viene eseguito senza assottigliamento del metallo.

In alternativa, si possono realizzare forme coniche in una sola fase, purché l'angolo minimo di apertura sia di almeno 12° circa (o anche meno, ma in più fasi). Poiché il diametro dell'estremità aperta del cono corrisponde al diametro iniziale del disco, ciò significa che si verifica un certo assottigliamento della parete (a seconda dell'angolo). Questo processo è chiamato "Imbutitura al tornio per laminazione" o "fluotornitura".

Schema: Leifeld Metal Spinning, Ahlen (D)



In alternativa ai tradizionali processi di formatura come l'imbutitura profonda o lo stiramento, l'imbutitura al tornio è ideale con le forme coniche o cilindriche, come quelle che si usano per gli articoli domestici di uso quotidiano ed anche per l'industria. Un semplice disco bidimensionale in acciaio inossidabile permette di ottenere alti rapporti altezza-diametro.

Foto: ThyssenKrupp Nirosta, Krefeld (D)



Imbutitura al tornio dell'acciaio inossidabile

La forza esercitata dall'utensile provoca delle sollecitazioni di compressione sul disco di partenza in acciaio inossidabile, che generano un rapido incrudimento del materiale e ne diminuiscono la formabilità. Di conseguenza, l'imbutitura al tornio è utilizzata principalmente sugli spessori limitati. Teoricamente il processo è adatto per i tipi di acciaio a basso indice di snervamento e di incrudimento, come i gradi ferritici (come l'EN 1.4016) e alcuni gradi austenitici (anche detti austenitici "stabili") che incrudiscono lentamente, come l'EN 1.4301 o, ancor più, l'EN 1.4303.

Con l'imbutitura al tornio si ottengono prodotti in acciaio inossidabile con un elevato livello di simmetria circolare, che rende più economica la lucidatura successiva alla fabbricazione.

Uno sgabello di design in acciaio inox

Lo sgabello da bar presenta un'elevata simmetria circolare. Poiché il piedistallo deve essere abbastanza pesante da garantire stabilità, si preferisce utilizzare metalli ferrosi (acciaio dolce o inossidabile) piuttosto che alluminio, il quale ha una densità di appena un terzo rispetto alle leghe d'acciaio. Inoltre, il piedistallo deve essere pulito regolarmente e quindi la scelta di lamiere verniciate non garantisce un risultato durevole, in quanto l'uso costante di detergenti provoca l'usura della vernice, compromettendo l'estetica di un arredo da design.

La realizzazione per imbutitura al tornio del piedistallo in acciaio si è dimostrata un'eccellente soluzione a questo problema. L'elevata simmetria circolare dei prodotti imbutiti in acciaio inossidabile facilita la lucidatura o la successiva pulitura, come si vede dal piedistallo illustrato nella foto.

La finitura della superficie liscia di un laminato a freddo non è un'operazione costosa.



Lo sgabello da bar presenta un'elevata simmetria circolare. Il piedistallo in acciaio inossidabile resiste contro l'aggressione dei detergenti.

Foto: Thate, Preetz (D)



Foto: Thate, Preetz (D)

9 Cerchi per auto ottenuti per imbutitura al tornio

I proprietari di autovetture con il gusto per l'esclusività cercano sempre di personalizzare il proprio veicolo secondo il gusto individuale. I cerchi per auto di design sono solo un'espressione di questa tendenza. Considerando che l'imbutitura al tornio si adatta bene alle produzioni in serie limitate, i cerchi in acciaio inossidabile realizzati con questa tecnica offrono i seguenti vantaggi:

- alto rapporto resistenza-peso (uso di strutture leggere)
- maggiore resistenza (deformazione a freddo)



- facilità di lucidatura (superficie liscia)
- maggiore resistenza alla corrosione dei metalli tradizionali
- assenza di verniciatura (nessun rischio di distacco)



Montaggio di un tipico cerchio di design

I cerchi per auto possono essere formati da due o tre parti, a seconda del modello. Un modello a tre elementi prevede:

- un mozzo a stella (generalmente in getto di alluminio)
- un cerchio interno (generalmente in getto di alluminio)
- un cerchio esterno (potenzialmente in acciaio inossidabile)

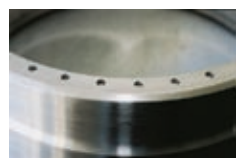
Il mozzo a stella è fissato sul cerchio interno passando attraverso il cerchio esterno, mediante bulloni in lega speciale per evitare la corrosione galvanica.



Montaggio del mozzo a stella sul cerchio interno attraverso il cerchio esterno.

L'anello esterno in acciaio inossidabile è realizzato per imbutitura al tornio e poi lucidatura automatica. Oltre a migliorare l'aspetto superficiale, la lucidatura aumenta la resistenza del pezzo alla corrosione, per tenere conto delle diverse condizioni atmosferiche di esposizione e persino della nebbia salina.

L'impiego di acciaio inossidabile evita al costruttore di sottoporre il cerchio esterno ad un inquinante trattamento superficiale.



Cerchio per auto composto da tre parti: mozzo a stella (in alto), cerchio interno (al centro) e cerchio esterno (in basso). Quest'ultimo è realizzato in acciaio inossidabile, che combina elevata resistenza, peso più leggero e levigatezza superficiale.

Imbutitura al tornio dei cerchi esterni in acciaio inossidabile

Il cerchio esterno è realizzato a partire da un disco in acciaio inossidabile, reperibile come tale sul mercato, oppure ritagliato da un elemento quadrato.

Per facilità di fabbricazione, i fori di montaggio sono prodotti prima dell'imbutitura. Il disco di partenza viene montato sul tornio affacciato ad uno stampo circolare. Il rullo di formatura esercita una pressione sul disco, che acquista progressivamente la forma dello stampo. Quindi vengono montati altri anelli sul tornio e il disco acquista

progressivamente la forma desiderata. È necessario l'uso di adeguati lubrificanti.

Durante la formatura a freddo, la resistenza dell'acciaio inossidabile aumenta (un fenomeno noto come incrudimento). Se da un canto l'incrudimento eccessivo renderebbe più difficile l'imbutitura, dall'altro, e più di qualsiasi altra proprietà, esso aumenta la resistenza del cerchio esterno, rendendolo adatto ad assorbire l'impatto di ostacoli inattesi durante la guida.



Imbutitura al tornio del cerchio esterno in acciaio inossidabile. La resistenza dell'acciaio inossidabile aumenta durante la formatura, offrendo un' interessante capacità di assorbimento degli urti

Eccellente resistenza dei cerchi in acciaio inossidabile

Gli acciai inossidabili austenitici presentano interessanti proprietà meccaniche. Oltre a possedere un'intrinseca resistenza a trazione (R_m), i processi di formatura a freddo come l'imbutitura al tornio, insieme alla sagomatura del bordo del cerchio esterno,

conferiscono al pezzo una maggiore resistenza meccanica. Oltre a proteggere il cerchione contro i danni provocati dagli schizzi di ghiaia, l'acciaio inossidabile è il materiale adatto per un oggetto di design esposto al contatto accidentale con il pietrisco della pavimentazione.



10 Profili laminati a freddo, per un'eccellente resistenza



La profilatura è un noto sistema di produzione per ottenere elementi metallici lunghi, a volte di forma complessa, a partire da nastri di acciaio. Se il processo è già previsto in fase di progettazione, è possibile ridurre i costi di produzione, per esempio evitando la saldatura di più elementi per creare profili a C o ad U.

La profilatura è un sistema che riesce a combinare diverse funzioni in un solo pezzo: trasporto del cavo, raffreddamento, fissaggio, ecc.

La profilatura offre da sempre soluzioni per l'edilizia (serramenti), i trasporti (camion, bus e tram), l'engineering e l'industria dei mobili per ufficio, ma stanno emergendo anche altri settori (come l'industria automobilistica) grazie alla notevole capacità di aggiungere valore, integrando diverse funzioni in un singolo elemento strutturale.

La profilatura dei nastri in acciaio inossidabile

La profilatura è abbastanza simile alla fabbricazione di tubi. La linea di fabbricazione (consistente in rulli rigidi, ciascuno con



una forma propria ottenuta per lavorazione meccanica) trasforma il nastro di metallo (di solito in larghezze < 1000 mm) in un profilato, che può essere saldato aperto o chiuso. In questo modo, l'acciaio inossidabile può venire sagomato in spessori che variano da 0.40 a 8 mm, per sfruttare gradualmente l'eccezionale capacità di assorbimento della deformazione plastica. Questa sagomatura graduale aumenta le proprietà meccaniche dell'acciaio inossidabile e permette di realizzare profilati con resistenza superiore e forme complesse.

Maggiore è il numero di passaggi, più graduale l'assorbimento della deformazione plastica e minori le tensioni interne del materiale. In questo modo è più facile rispettare le tolleranze dimensionali durante il montaggio.

Valore aggiunto per una varietà di usi finali

Per aggiungere valore ad un profilato, il processo di laminazione può prevedere le seguenti ulteriori operazioni:

- foratura a sagoma
- saldatura di supporti
- piegatura o allungamento per produrre profili tridimensionali



Profilati in acciaio inossidabile per le carrozzerie dei vagoni passeggeri

I vagoni passeggeri consistono tradizionalmente in un telaio ed una carrozzeria. La carrozzeria è realizzata in materiali come acciaio al carbonio, alluminio o acciaio inossidabile verniciato. I componenti in acciaio inossidabile possono essere profilati a partire dai nastri forniti dal laminatoio in spessori da 0,40 ad oltre 6 mm.

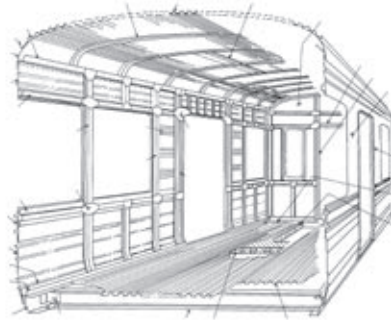


Illustrazione: Nickel Institute, Toronto (CDN)

Alleggerimento dei vagoni passeggeri grazie all'acciaio inossidabile

Trova applicazione il tipo 1.4301, ma il 1.4318 (con aggiunta di azoto e meno nichel) presenta proprietà meccaniche iniziali superiori. Inoltre, le proprietà meccaniche di questo tipo aumentano se i nastri in acciaio inossidabile sono rinforzati (mediante deformazione a freddo) direttamente in fabbrica prima della profilatura⁶. L'impiego del tipo 1.4318 per la profilatura permette per la prima volta un peso più leggero a montanti, travi e telai del materiale ferroviario.

Ovviamente, una carrozzeria più leggera consuma meno energia in fase di accelerazione e decelerazione, con ovvi benefici soprattutto per i treni locali che si fermano e ripartono a brevi intervalli di tempo.

Una possibilità di alleggerimento del peso è data dall'uso combinato di:

- acciaio inossidabile (al posto dell'acciaio al carbonio)
- tipo 1.4318 (maggiore resistenza dovuta all'incrudimento)
- profilatura



Foto: ArcelorMittal Stainless Belgium, Genk (B)

Altri vantaggi dell'uso dell'acciaio inossidabile per le carrozzerie dei vagoni passeggeri sono:

- poca manutenzione (verniciatura non necessaria)
- durata del ciclo vitale (nessuna usura dello spessore a lungo termine)
- maggiore sicurezza contro il fuoco rispetto ad altri metalli (a parità di peso)
- maggiore resistenza alla collisione (grazie alle proprietà meccaniche)



Foto: Outokumpu, Espoo (FIN)

⁶ Per maggiori informazioni si rimanda al CD-ROM Euro Inox, *Stainless Steel for Structural Automotive Applications – Properties and Case Studies* (Automotive Series, Volume 1, ed. 3), Lussemburgo: 2006

11 Piastre corrugate per esplosione



La formatura per esplosione sfrutta l'elevata pressione dinamica di un'onda d'urto per imprimere ad alta velocità la forma di uno stampo alla lastra metallica. Il processo normalmente viene eseguito con una carica esplosiva in acqua, ad una opportuna distanza dall'elemento da sagomare. L'onda d'urto agisce come un punzone.

Rispetto ai metodi di formatura più tradizionali, la formatura per esplosione permette di:

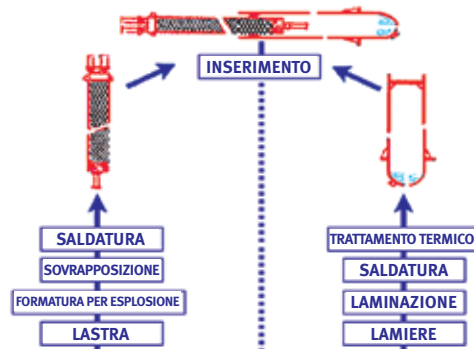
- lavorare lamiere più larghe (grazie all'uso degli esplosivi)
- lavorare lamiere più spesse (> 10 mm nel caso delle leghe di Ni)
- realizzare forme elaborate (riducendo operazioni come saldatura e trattamento termico)
- ottenere prodotti ad elevata resistenza meccanica
- ottenere dimensioni accurate

Scambiatori di calore a piastra larga



Gli scambiatori di calore a piastra larga sono utilizzati normalmente nelle raffinerie di petrolio e in generale nell'industria petrolchimica, dove i severi requisiti di scambio termico impongono l'uso di superfici di contatto estese e di un efficace trasferimento di calore alle alte temperature. Se la superficie di contatto supera diverse migliaia di metri quadri, l'utilizzo di un solo scambiatore di questo tipo si dimostrerà più efficiente rispetto ad una serie di scambiatori singoli a fascio tubiero.

I scambiatori a piastra larga consistono generalmente in centinaia di lastre in acciaio inossidabile sagomate per esplosione, con spessori



da 0,8 a 1,5 mm e larghezze da 2 m fino a 15 m. Dopo la formatura per esplosione, le singole lastre sono impilate e saldate insieme a formare un pacco. Le ondulazioni a zig-zag provocano il flusso turbolento dei liquidi all'interno, che assicura un elevato scambio termico.



Il pacco è contenuto in un recipiente a pressione secondo le norme di costruzione in vigore. Il collegamento fra il pacco e il recipiente avviene mediante giunti ad espansione.

Vantaggi dell'uso dell'acciaio inossidabile

Il materiale offre diversi benefici:

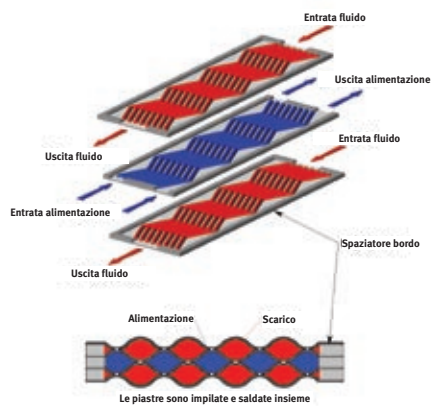
- le temperature tipiche di lavorazione di un tale scambiatore variano da 300 a 550 °C (con un picco a 650 °C), che non costituiscono problema per materiali come l'EN 1.4541 (AISI 321)
- gli acciai inossidabili resistono alle tipiche pressioni di lavoro fino a 120 bar e a differenziali di pressione entrata-uscita di 40 bar
- l'uso di velocità di formatura elevate (fino a 120 m/s) nel caso della formatura per esplosione ha un ulteriore effetto di incrudimento sulle lamiere ondulate in acciaio inossidabile
- le ondulazioni (che provocano un flusso turbolento) insieme alla bassa rugosità superficiale (non compromessa dalla formatura) limitano il rischio di intasamento ("incrostazioni") e di basso scambio termico
- la scelta del tipo adatto di acciaio riduce il rischio di corrosione provocato per esempio da frazioni di prodotti petroliferi contenenti zolfo
- la tenuta della pila di lamiere ondulate può essere assicurata mediante le tradizionali tecniche di saldatura.



Un'efficace combinazione

Né la formatura per esplosione né lo stesso acciaio inossidabile rappresentano delle innovazioni, ma lo sviluppo di scambiatori di calore a piastra larga che sfruttano appieno le dimensioni e proprietà dell'acciaio inossidabile insieme al processo di formatura per esplosione, contribuiscono a diminuire notevolmente il costo giornaliero di una raffineria o di un impianto petrolchimico o di trattamento del gas.

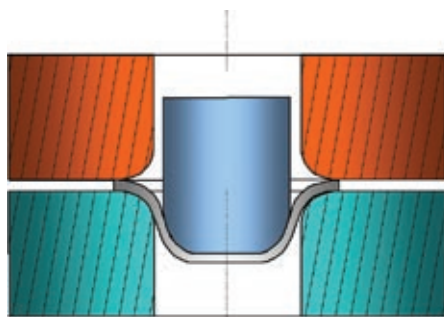
Questa soluzione è vantaggiosa sia per i nuovi investimenti che nel revamping di processi esistenti.



12 Dadi autobloccanti imbutiti per i cerchi d'auto

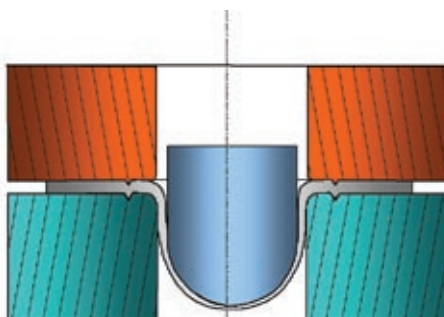
In generale, gli acciai inossidabili presentano proprietà eccellenti di formatura. Gli acciai inossidabili austenitici (Cr-Ni) si prestano meglio all'imbutitura, ma anche i tipi ferritici (Cr) si rivelano adatti per alcune operazioni di formatura, purché la lamiera non sia semplicemente stirata. Vediamo qual è la differenza fra imbutitura (profonda) e stiramento.

Imbutitura



- il metallo fluisce liberamente all'interno dello stampo
- la deformazione di un disco largo in un cilindro stretto avviene sulla larghezza e non sullo spessore (= alta anisotropia "r")

Stiramento



- il metallo è trattenuto dal prelamiera
- si verifica una notevole riduzione dello spessore
- è necessario un forte allungamento (A%) ed incrudimento (n)

In pratica, l'imbutitura prevede una combinazione di allungamento e formatura e questo spiega l'uso frequente degli acciai inossidabili austenitici.

Imbutibilità dei tipi ferritici

I tipi ferritici presentano dei valori di LDR (vedi pag. 8) appena più alti degli austenitici e ciò li rende particolarmente adatti all'imbutitura. "Roping" (l'apparizione di striature nel senso della laminazione durante lo stiramento) è un fenomeno tipico degli acciai ferritici. Esistono comunque particolari tipi ferritici al titanio o niobio, prodotti in condizioni particolari di laminazione e ricottura, in grado di evitare le striature e migliorare le proprietà di imbutitura.



Cilindro imbutito in acciaio ferritico standard EN 1.4016 (sopra), che evidenzia il fenomeno del "Roping" (striature), e in acciaio austenitico EN 1.4301 (sotto). Le striature sono un effetto antiestetico che richiede una ulteriore finitura. Esse possono essere evitate impiegando un acciaio ferritico "stabilizzato" (al Ti o Nb) ed un severo controllo dei parametri di processo.



Imbutitura dei dadi autobloccanti per cerchi d'auto in acciaio inossidabile ferritico

Fra tutte le parti utilizzate per le carrozzerie di automobili e camion, il copridado per i cerchi (a destra) costituisce una delle sfide più interessanti dell'imbutitura. La sua forma evidenzia un alto grado di imbutitura imposta al pezzo, eseguita, in questo caso, per fasi successive.

L'acciaio inossidabile non soltanto soddisfa i requisiti estetici, ma offre anche un'elevata resistenza ed un design semplice. Infatti, l'elemento può essere prodotto in un solo pezzo, senza saldature né adesivi. Tradizionalmente questi pezzi sono prodotti con acciai inossidabili austenitici tipo EN 1.4301 (AISI 304); tuttavia le proprietà di imbutitura degli acciai ferritici sono tali da permetterne la fabbricazione con un tipo ferritico particolare (EN 1.4526 – AISI 436) al cromo, molibdeno e niobio:

- Questo tipo è adatto all'imbutitura (anisotropia, lavorazione)
- Gli acciai ferritici presentano una combinazione generale di lucentezza e colore che piace ai produttori di carrozzerie.
- Il molibdeno aumenta la resistenza alla corrosione per vaiolatura (dovuta ai sali antigelo e all'umidità atmosferica).
- Il niobio permette di eliminare le striature (riducendo la successiva lucidatura).

Grazie alle piccole dimensioni, questi pezzi sono molto adatti alla lucidatura in massa per barilatura, un sistema che conferisce all'acciaio inossidabile un'estrema brillantezza.

I dadi autobloccanti in acciaio inossidabile possono essere incollati, brasati o saldati e sono più resistenti degli elementi ottenuti con altri materiali. Le versioni in acciaio inossidabile richiedono minori trattamenti post-fabbricazione (come verniciatura o rivestimento) e sono completamente riciclabili alla fine del ciclo di vita sull'autovettura.



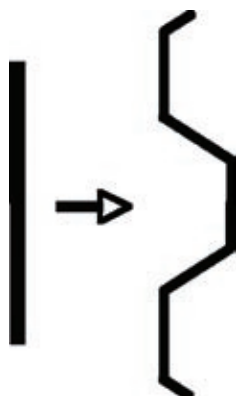
13 Maggiore capacità di carico con la lamiera ondulata



Foto: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

Le navi cisterna trasportano una grande varietà di prodotti chimici. I carichi più comuni sono rappresentati dai prodotti dell'industria chimica, petrolchimica e alimentare, come l'acido fosforico e solforico, il petrolio, gli oli vegetali e la melassa. Nel porto di carico, il prodotto viene pompato direttamente all'interno delle cisterne della nave, che possono contenere migliaia di metri cubi di prodotto. Generalmente una nave cisterna è composta da diversi compartimenti, così da poter trasportare carichi multipli.

La lamiera ondulata migliora la stabilità



La stabilità di un componente strutturale è proporzionale al suo momento di inerzia, che può si aumentare spostando quanta più massa possibile dal centro di gravità. In questo modo, una sottile lamiera ondulata diventa un elemento strutturale più efficace di una lastra metallica di grande spessore. Per fare un esempio, la stabilità di una nave può migliorare realizzando una serie di compartimenti molto grandi realizzati con pareti in lamiera ondulata ("paratie").

Inoltre, le paratie in lamiera ondulata sono più facili da ripulire dopo il trasporto

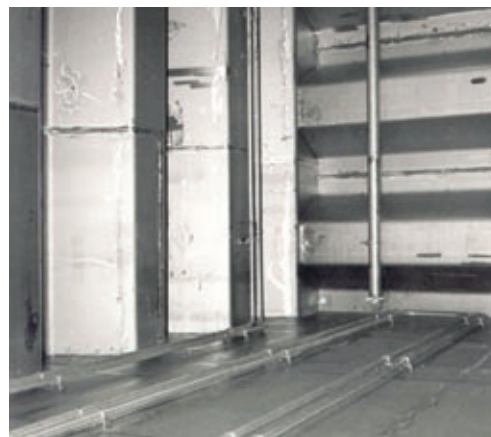
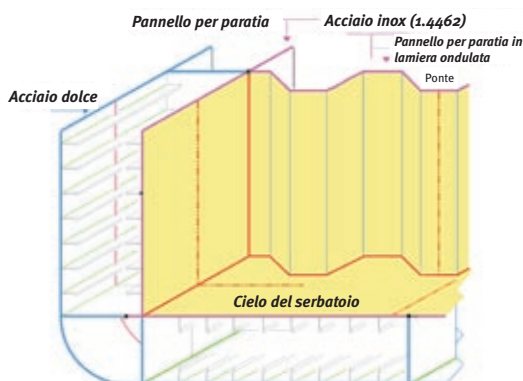


Foto: Outokumpu, Degerfors (S)

dei diversi carichi, rispetto ai sistemi tradizionali che usano elementi interni di rinforzo.

Liquidi corrosivi

Poiché le navi rappresentano un ingente investimento, devono assicurare la maggiore versatilità possibile. I gradi austenitici EN 1.4406 (AISI 316LN), EN 1.4434 (AISI 317LN) o il duplex EN 1.4462 sono utilizzati comunemente per contenere prodotti chimici aggressivi, come quelli già indicati. Questi acciai al Cr-Ni-Mo non soltanto resistono ad un maggior numero di prodotti corrosivi rispetto agli acciai ai Cr-Ni, ma permettono anche di raggiungere delle temperature di esercizio più elevate, migliorando il confort operativo della nave durante le operazioni di carico e/o scarico.



Disegno: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

Integrità strutturale

La rigidità e la resistenza alla corrosione sono proprietà fondamentali, ma da sole non riescono a soddisfare i requisiti costruttivi di una nave cisterna da 35 milioni di dollari. Il deposito e il trasporto di prodotti chimici sono soggetti a severe normative in materia di costruzioni navali. Per esempio, i criteri di rottura del fasciame dipendono soprattutto dal modo di rottura per snervamento e questo significa che il limite di snervamento ($R_{p0.2}$) del materiale da costruzione è un importante criterio di selezione.

Gli acciai inossidabili duplex hanno un limite di snervamento molto più alto dei tipi austenitici e pertanto sono i più adatti alla costruzione di paratie. Questi acciai alleggeriscono le strutture aumentando la capacità di carico della nave, una considerazione vitale per il trasporto di merci.

Vantaggi multipli con gli acciai duplex

Innanzitutto, gli acciai duplex possiedono in grande misura le stesse proprietà di



Foto: Cantiere Navale De Poli, Venezia (I)

formatura degli acciai austenitici, caratteristiche assolutamente adatte alla costruzione delle strutture ondulate che aumentano la stabilità dei compartimenti di una nave. Inoltre, l'elevato snervamento degli acciai inossidabili duplex rende possibile un peso più leggero, in quanto si può ridurre lo spessore delle pareti pur rispettando i requisiti strutturali di costruzione della nave.

Infine, la combinazione di cromo, molibdeno e azoto aumenta la resistenza di questi tipi di acciaio alla corrosione localizzata, come la corrosione alveolare o interstiziale, aumentando il numero di prodotti chimici (alle varie temperature previste) trasportabili dalla nave e allargando la rosa dei potenziali clienti per questo tipo di bene d'investimento.

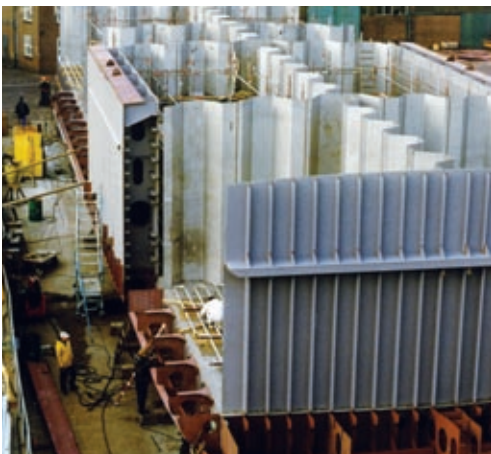


Foto: Lincoln Smitweld BV, Nijmegen (NL)

14 Bibliografia

- [1] DE MEESTER, Paul, *Kwaliteitscontrole en mechanische eigenschappen van materialen*, ed.2, Lovanio: Acco, 1988
- [2] LAGNEBORG, Rune, “Not only stainless but also an interesting structural material”, *Stainless steel for structural automotive applications – Properties and case studies* (Automotive Series, Volume 1, CD-ROM), ed.3, Lussemburgo: Euro Inox, 2006
- [3] *Stainless steel for structural automotive applications – Properties and case studies* (Automotive Series, Volume 1, CD-ROM), ed.3, Lussemburgo: Euro Inox, 2006, capitolo “Forming”
- [4] “Deformazione plastica a freddo dell'acciaio inossidabile”, *Inossidabile 154*, Milano: Centro Inox, 2003
- [5] *Handbook “Spinning and shear forming”*, ed.2, Ahlen: Leifeld Metal Spinning, 2002
- [6] *Thate gedrückte Präzision*, Preetz: Thate, 2005
- [7] “Rolvormprofilieren (koudwalsen)”, *Roestvast Staal 3/2005*, Leiden: TCM, 2005
- [8] NEESSEN, Fred; BANDSMA, Piet, “Tankers – A composition in duplex stainless”, *Welding Innovation, Volume XVIII, No. 3*, Cleveland: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 2001
- [9] “Visit to De Poli shipyard in Venice, Italy”, *IMOA Newsletter January 2001*, Londra: International Molybdenum Association, 2001

ISBN 978-2-87997-213-8