

Piegatura

Molte lamiere vengono piegate. Caratteristica di questo processo è l'allungamento imposto sulla superficie esterna e la compressione sulla superficie interna.

Per uno specifico spessore della lamiera T , le deformazioni di trazione e compressione aumentano al diminuire del raggio di formatura R , più precisamente al diminuire del rapporto R/T , dove h è lo spessore.

Affinché il ritorno elastico sia trascurabile e la lamiera mantenga la forma anche tolto il carico, il rapporto R/T deve essere sufficientemente piccolo da portare gran parte della sezione della lamiera a deformarsi plasticamente.

C'è, come nella piegatura elastica, solo una linea (l'asse neutro) che mantiene la sua lunghezza originale.

Quando si piega con raggi abbastanza grandi, l'asse neutro è al centro. Quando si piega con raggi piccoli, l'asse neutro si sposta verso la parte in compressione, la linea centrale si allunga e la costanza del volume viene preservata dall'assottigliamento della lamiera.

L'aumento della lunghezza della linea centrale viene di solito preso in considerazione per le pieghe in cui $R < 2T$ assumendo che l'asse neutro sia posizionato ad un terzo dello spessore della lamiera.

Quando la lamiera è relativamente stretta ($L/T < 8$, dove L è la larghezza di piega), c'è anche una contrazione in larghezza.

Il raggio minimo di piega (il più piccolo raggio di matrice consentito R_o , più correttamente, il rapporto minimo tra raggio e spessore R/T) può essere definito secondo diversi criteri.

1. La buccia d'arancia può essere esteticamente indesiderabile ma non è un difetto poiché può essere risolto scegliendo un materiale a grana fine.

2. La strizione localizzata provoca un indebolimento strutturale della lamiera piegata.

La strizione avviene quando l'allungamento della fibra esterna supera l'allungamento uniforme del materiale e_u nella prova di trazione. Nella formula R_b è il raggio di piega e h lo spessore della lamiera

Per i materiali il cui comportamento può essere approssimato con legge esponenziale vista, $\epsilon_u = n$ e la deformazione uniforme ingegneristica e_u può essere ottenuta dalla formula nella slide.

La relazione è più affidabile con gli acciai; per la maggior parte degli altri materiali, dovrebbe essere utilizzato l'effettiva e_u misurata nella prova di trazione.

Poiché la deformazione viene redistribuita alle zone adiacenti durante la piega, è generalmente permessa una deformazione un po' più elevata.

Un collare di bava provoca un aumento di tensione e, se sulla superficie esterna (a trazione), porta a frattura molto prima. Pertanto, se possibile, il collare è orientato verso il punzone, dove il materiale è sottoposto a compressione.

3. La frattura rappresenta un limite assoluto. Questa è direttamente correlata alla riduzione dell'area q misurata alla rottura nella prova di trazione.

Il raggio minimo di piega consentito può essere stimato per materiali meno duttili dalla prima formula.

e per i materiali duttili, a causa dello spostamento del raggio neutro nelle pieghe strette, dalla seconda formula.

Di solito un materiale con $q > 0,5$ può essere piegato su se stesso, si parla allora di raggio di piega zero.

4. Con raggi molto piccoli può verificarsi schiacciamento sulla superficie interna e formazione di pieghe.

L'anisotropia, di qualsiasi tipo, influenza la piegatura. Un orientamento preferenziale delle fibre produce una maggiore duttilità nella direzione di laminazione, perciò conviene piegare le lamiere con la linea di piega ortogonale alla direzione di laminazione, come è mostrato nelle figure.

Un materiale con basso valore di r caratterizzato da tessitura si assottiglia facilmente e quindi può essere piegato con raggi più piccoli di un materiale con alto valore di r . Questa è una delle non numerose situazioni in cui convenga avere r piccolo. Ricordo che r è il rapporto tra deformazione nello spessore e rapporto in larghezza nella prova di trazione. La foto mostra cricche sulla superficie di una lamiera piegata e il restringimento ai bordi.

Lo stato tensionale è estremamente complesso nella piegatura.

Partendo dall'asse neutro, il materiale è soggetto a una deformazione crescente fino alle 2 superfici, da una parte in trazione e dall'altra in compressione. Ciò significa che intorno all'asse neutro le deformazioni sono elastiche.

Quando si toglie la forza usata per piegare, il momento dovuto alla parte di materiale deformato solo elasticamente causa il ritorno elastico, e provoca la formazione di una distribuzione di tensioni residue. Il ritorno elastico delle lamiere è chiamato springback.

La figura (a) mostra una distribuzione triangolare. In campo elastico tale distribuzione è rappresentativa sia dello stato tensionale che di quello deformativo perché c'è proporzionalità tra tensione e deformazione. Nella figura (b) la distribuzione ha una forma diversa. Siccome la deformazione aumenta linearmente allontanandosi dall'asse neutro, quella in figura è sicuramente la distribuzione delle tensioni ed è stato superato lo snervamento in parte dello spessore. Nella figura (c), allo stato tensionale mostrato in (b) è stato sovrapposto lo stato tensionale dovuto allo scarico della forza che come si sa, avviene lungo una semiretta nel piano tensione/deformazione, perciò provoca una distribuzione triangolare. La somma delle 2 è mostrata in (d) e rappresenta la distribuzione risultante di tensioni residue.

Lo springback stabilisce un nuovo equilibrio di forze con una distribuzione di tensioni residue caratterizzata da tensioni di compressione all'esterno e di trazione sulla superficie interna.

Lo springback recupera elasticamente parte della deformazione totale; in particolare, aumenta il raggio e riduce l'angolo della parte piegata.

La zona elastica è più ampia per una piega relativamente dolce (grande rapporto R_b/h , dove R_b è il raggio di piega e h lo spessore) e per un materiale con un elevato rapporto tra tensione di snervamento $\sigma_{0.2}$ e modulo elastico E . Lo springback può essere espresso mediante la prima formula;

dove R_b è il raggio della matrice di piegatura e R_f è il raggio ottenuto dopo aver tolto la pressione di formatura.

Poiché la lunghezza dell'asse neutro non cambia, l'angolo dopo lo springback, α_f può essere ottenuto in radianti dalla seconda formula che esprime appunto l'invarianza della lunghezza dell'asse neutro da quando viene applicato il carico alla fase dopo lo scarico.

Diverse tecniche sono utilizzate per combattere lo springback.

1. Se è noto lo springback per un determinato materiale e se il materiale è di qualità e spessore uniforme, è possibile compensare piegando più del voluto. Questa è la forma di piegatura più semplice, in cui non viene applicata alcuna pressione di compressione nella direzione dello spessore della lamiera, si parla di piegatura in aria (figura a).

2. Negli altri casi la soluzione consiste nel fare in modo che tutto il materiale nella zona di piega venga deformato plasticamente. La zona elastica può essere eliminata alla fine della corsa del punzone con due tecniche.

Innanzitutto, le due estremità della lamiera possono essere bloccate prima che il punzone scenda, in modo che la corsa del punzone provochi lo stiramento della lamiera, causando snervamento a trazione nell'intero spessore della lamiera. Nessuna figura riproduce questa soluzione.

Nel secondo metodo il naso del punzone è sagomato per indentare la lamiera, in modo che la compressione plastica avvenga in tutto lo spessore (figure c e d).

3. Se si utilizza un contropunzone con una pressione controllata, le tensioni di compressione vengono mantenute nella zona della piega durante l'intero processo. Poiché questo ha anche l'effetto di imporre una pressione idrostatica sulla zona di curvatura, è possibile flettere il materiale oltre i suoi limiti naturali.

4. I materiali meno duttili possono essere piegati ad una temperatura elevata; poiché la tensione di snervamento è più bassa, anche lo springback è minore.

Forza di piegatura

Una semplice stima della forza di piegatura in piegatura libera a 90° può essere ottenuta dalla formula: (slide)

dove W_b è la larghezza dell'apertura della matrice e w è la larghezza della striscia (la lunghezza della linea su cui si effettua la piegatura).

La macchina utilizzabile per la piegatura dipende dalla dimensione, per lo più dalla larghezza, della lamiera piegata.

1. Le presse meccaniche, viste parlando di forgiatura ed estrusione, possono piegare lamiere strette ad alta velocità.

2. Le presse piegatrici sono presse speciali con supporti molto lunghi. In queste, semplici utensili vengono utilizzati per realizzare forme complesse piegando ripetutamente una lamiera lunga.

I costi di attrezzaggio vengono ridotti quando una lastra in schiuma di poliuretano sostituisce lo stampo femmina.

Una grande varietà di forme può essere prodotta con un numero limitato di utensili

La deflessione elastica dell'attrezzatura (che si apre al centro sotto la forza della pressa) provocherebbe variazioni dell'angolo di piega, pertanto gli stampi devono essere realizzati in modo che pieghino di più al centro.

Questo si ottiene spessorando o, nelle presse moderne, mediante flessione meccanica o idraulica, spesso sulla base di forze di piega calcolate.

Le figure mostrano altre operazioni eseguibili su pressa piegatrice. Le figure da d ad f illustrano una sequenza di piegatura.

In combinazione con alimentatori di lamiera meccanizzati, la pressa è adatta ad essere controllata da computer, compreso un riscontro per rilevare la posizione della lamiera. La compensazione per lo springback è fatta con l'aiuto di tabelle o equazioni empiriche.

Schemi di controllo più sofisticati prendono in considerazione le proprietà del materiale. In un caso, l'angolo di piega viene misurato nella prima corsa; la forza viene quindi rilasciata per ottenere lo springback e viene effettuata una seconda corsa di compensazione.

In altri schemi, la curva elasto-plastica tensione-deformazione è derivata da informazioni ottenute con trasduttori di forza e di spostamento e un algoritmo di controllo calcola l'incremento di piega richiesta.

3. La piegatura con pressa pannellatrice, mostrata in figura a, è un metodo alternativo per piegare. Per stimare la forza di piegatura, W_b può essere considerata come $(2R + h)$. La pressa pannellatrice può piegare solo in prossimità dei bordi della lamiera e, a parità di altri fattori, deve applicare una forza maggiore rispetto alla pressa piegatrice. In compenso il posizionamento della lamiera è più preciso e il tempo ciclo è inferiore.

4. La piegatura con tre rulli impartisce una curvatura uniforme ma regolabile a lamiere, piastre o profili deformando con rulli disposti in modo piramidale. Si tratta di un'importante fase di preparazione per realizzare grandi anelli e strutture saldate. La macchina si chiama calandra e calandratura l'operazione.

5. La formatura a rulli è un metodo di produzione molto veloce. La piegatura è ora fatta progressivamente, passando la striscia tra rulli sagomati, a coppie. Prodotto tipici sono le lamiere ondulate e i guard-rail.

Per molte altre forme, rulli folli sono usati per premere i lati della forma parzialmente deformata.

In questo modo possono essere formati anche tubi da saldare successivamente, profili che sostituiscono sezioni laminate a caldo o estruse, nonché forme complesse (come i telai per porte).

6. La curvatura di profili e tubi è un'importante attività produttiva. Il problema della piegatura libera è legato al fatto che le forme più complesse possono distorcersi e accartocciarsi. Risultati migliori sono ottenuti quando la sezione o il tubo sono avvolti attorno ad una forma rigida, come mostrato nelle figure.

L'adeguamento alla forma è garantito dall'avvolgimento sotto trazione, passando attorno al profilo o al tubo un rullo strisciante (figura a), un blocco fissato al centro curvatura o da una forma rigida rotante (figura b).

Per evitare il collasso dei tubi nella curvatura su raggi stretti, sono disponibili diversi metodi. L'interno è supportato con sabbia, con un metallo a basso punto di fusione o, più economicamente, da un mandrino costituito da singole sezioni o il tubo è tirato su un mandrino fisso (figura c).

Le piegatrici CNC possono essere programmate per realizzare tubi con diverse curve in differenti orientamenti, come richiesto per sistemi idraulici di auto e aerei e scarichi automobilistici.