

Ottimizzare il processo di stampaggio



I - Piano cottura.

Il continuo progresso e sviluppo industriale ha portato a una crescita esponenziale dell'utilizzo di lamiere in ogni settore. La tendenza è quella di ottenere dai processi pezzi finiti con ottime caratteristiche in termini di qualità, unitamente a una riduzione degli scarti per rottura, difettosità superficiale o per il superamento dei limiti di tolleranza geometrica.

Un esempio interessante è relativo a un piano di cottura di cucina monoblocco (figura 1) dalle dimensioni di 595 × 576 × 47 mm, formato da due macroaree. La prima, in rosso, è la vasca centrale, con una profondità totale di 38,2 mm ottenuta con doppia imbutitura: una di 17,0 mm e l'altra, interna, di 21,2 mm che arriva sino alla base del piano cottura sulla quale sono presenti le bugne dove verranno posizionati i quat-

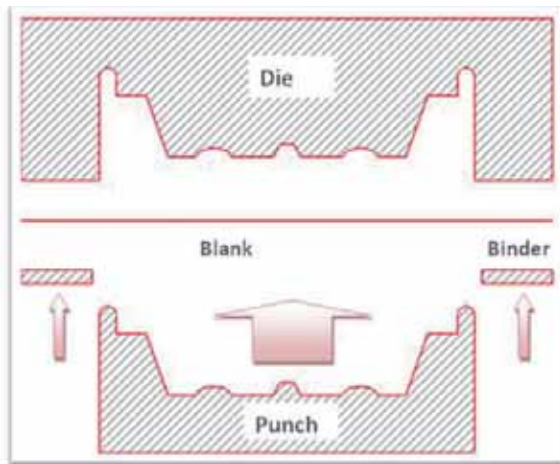
tro fuochi divisi da un cordone centrale che serve a separare le griglie reggi pentole. La seconda area, in giallo, riguarda invece la parte perimetrale del piano cottura ed è caratterizzata dalle bugne laterali, dalla zona frontale dove sono allocate le manopole di accensione dei fuochi e dalle tre aperture sul retro, necessarie per il forno della cucina monoblocco.

È da sottolineare la presenza su tutto il perimetro di risbordature che però, insieme alle tranciature e alle forature, non verranno prese in esame nello studio.

Problematiche relative allo stampaggio del componente

Il primo problema, relativo alla complessa geometria del pezzo, è quello dell'accen-

Dalla creazione di un modello numerico per il processo produttivo di sheet metal forming del piano-cottura all'analisi dei risultati ottenuti per differenti processi di stampaggio. Le prove numeriche, studiate attraverso l'utilizzo dei diagrammi Fld, danno risultati confrontabili con quelli ottenuti in fase di realizzazione del componente, mostrando con precisione tutte quelle difettosità e anomalie riscontrabili a occhio nudo



2 - Passata unica.

In questo caso, dovendo realizzare tutta la forma in un'unica fase, la matrice e il punzone sono stati ottenuti dalla medesima forma del pezzo finito (figura 2).

Il prelamiera è stato realizzato semplicemente andando a copiare il perimetro esterno della matrice, realizzando così una tenuta della lamiera sul fuori figura.

Stampaggio in due fasi

L'evoluzione che ha seguito lo stampaggio in un'unica fase è quella della suddivisione del processo in due fasi, che ha portato a risultati migliori rispetto al precedente layout.

tuata profondità della vasca centrale.

La lamiera, partendo da uno stato iniziale indeformato, dovrà raggiungere a fine formatura il profilo rosso andando così a ricoprire una superficie di gran lunga superiore a quella iniziale.

Sarà quindi necessario, al fine di evitare un eccessivo stretching del materiale, cercare di facilitare in corrispondenza della vasca, lo scorrimento della lamiera verso il centro della matrice, in modo che la deformazione finale voluta si ottenga non tanto per stiramento, quanto per il flusso della parte esterna di lamiera verso l'interno.

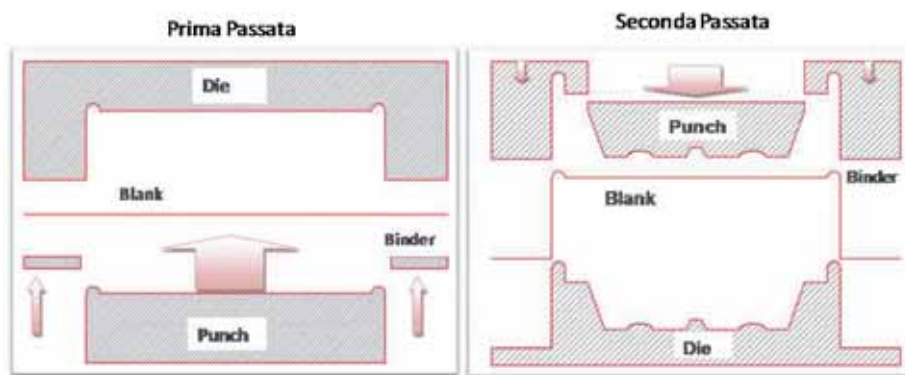
In contrapposizione con quanto detto c'è però da sottolineare che, per ottenere sul pezzo una buona precisione di forma, e quindi assenza di grinze e ondulazioni, bisogna controllare adeguatamente il flusso di materiale, ovvero stirare sufficientemente la lamiera.

Il soddisfacimento di queste due esigenze contrastanti è di difficile soluzione, poiché se si agisce aumentando la forza di chiusura sul premi lamiera o si aggiungono drawbead più severi, si guadagna in termini di precisione dimensionale, ma si peggiora in termini di eccessivo assottigliamento, aumentando notevolmente il rischio di rotture.

Ottimizzazione del processo di stampaggio

L'ottimizzazione e il raffinamento del processo produttivo è passato attraverso lo studio e l'analisi di tre differenti alternative.

3 - Doppia passata.



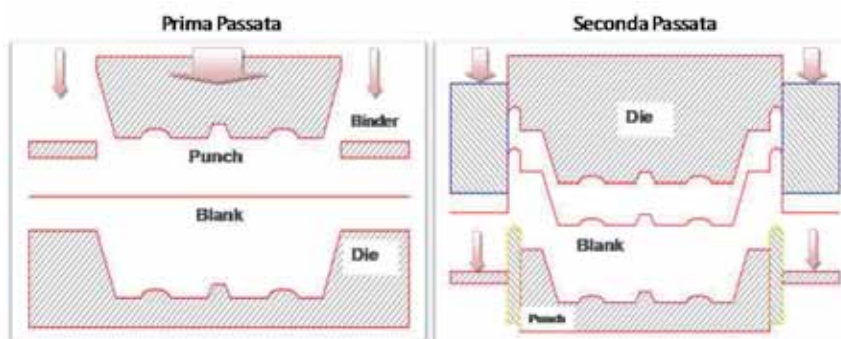
Stampaggio in un'unica passata

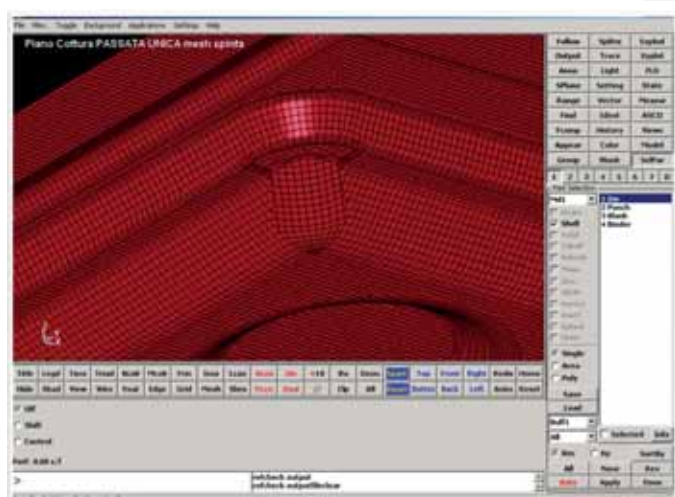
Il punto di partenza, essendo il più immediato da immaginare, è stato quello di poter realizzare l'intero piano cottura in un'unica passata. Sono stati quindi disegnati, a partire dal pezzo 3D, tutti i tool necessari al processo che comprendono: die, punch, blank, binder.

Nella prima delle due fasi sulla lamiera indeformata è realizzata tutta l'imbutitura delle pareti esterne e sono formate le bugne laterali. In questa fase, a differenza della passata unica, la matrice e il punzone avranno la forma del piano cottura completo senza la presenza della vasca centrale (figura 3).

Nella seconda passata, la lamiera di partenza non è più indeformata, ma sarà proprio quella stampata nella prima fase, sulla quale si andrà a ricavare l'imbutitura della vasca centrale e dei fuochi.

4 - Stampo a doppio effetto.





5 - Particolare della mesh del die.

Il binder in questo caso non è più una semplice superficie piana presente nel fuori figura, ma sarà identica al die della prima passata, privato della zona centrale dove sarà ricavata una apertura per permettere il passaggio del punch. In questa seconda fase, si realizza una inversione della direzione di stampaggio: infatti il punch si muoverà dall'alto verso il basso.

Stampaggio in due fasi: stampo a doppio effetto

Con l'obiettivo di ottimizzare ulteriormente il flusso della lamiera e raggiungere un buon compromesso tra spessore e stiramento, è stato necessario il ricorso a una tipologia di processo molto più complessa delle precedenti, facendo uso, per la seconda fase, di uno stampo a doppio effetto (figura 4).

In questo caso nella prima fase si è provveduto allo stampaggio solamente della vasca interna con il prelamiera posizionato nel fuori figura.

Nella seconda fase, invece, entra in gioco lo stampo a doppio effetto. La loro struttura permette la suddivisione di punzone e matrice in due parti libere di muoversi di moto relativo al momento opportuno.

Una volta posizionato il pezzo, il binder e il punch salgono e vanno a chiudere lo stampo tenendo fissa la vasca in modo che non sia permesso alcuno scorrimento della lamiera già stampata. Successivamente entra in funzione il doppio effetto del punch: la parte di esso contornata in giallo inizia a salire e va a formare le due bugne laterali, rimanendo poi ferma a fine

corsa; in seguito la parte contornata in blu del die scende verso il basso con il binder, e insieme vanno a formare l'imbutitura delle pareti esterne, cioè quelle che in parte andranno tranciate ed in parte utilizzate per la risbordatura sul fondo.

Stampaggio in due fasi: doppio effetto con drawbead

Quest'ultimo processo di ottimizzazione non necessita di una descrizione molto dettagliata, infatti è identico al precedente, con la sola variante della presenza dei drawbead.

Ne sono stati inseriti quattro nella prima passata, posizionati agli spigoli a formare una "L", in modo da ridurre alcuni difetti nella forma del prodotto finito.

Per quanto riguarda il loro funzionamento, entrano in gioco non appena si realizza la chiusura del binder (prima passata), il quale presenta delle asole che permettono la discesa dei rompi grinzia prima dell'inizio dello stampaggio della vasca

Modello Fem del processo di stampaggio

La costruzione del modello in un codice agli elementi finiti è la parte più importante di tutta la simulazione. La costruzione del modello Fem nel nostro caso è stata realizzata con il modulo LS-PREPOST di LS-DYNA.

Per tutte le parti interessate nel processo si è scelto di utilizzare come elemento costitutivo della mesh un elemento shell; questo è di tipo

quadrangolare ed è caratterizzato da quattro nodi, uno per ogni angolo ai quali è possibile assegnare uno spessore in tre modalità: linea mediana, upper surface oppure lower surface.

La scelta della mesh (figura 5) nasce da un compromesso tra le esigenze di precisione e di affidabilità dei risultati da una parte e i tempi dell'elaborazione dall'altra.

L'utilizzo dell'elemento shell per la discretizzazione della lamiera è giustificato dalle dimensioni caratteristiche della stessa, essendo per definizione caratterizzata da uno spessore trascurabile rispetto alle altre due dimensioni; l'elemento shell introduce infatti l'ipotesi di spessore trascurabile, dunque un basso valore del gradiente di tensione lungo la direzione dello spessore.

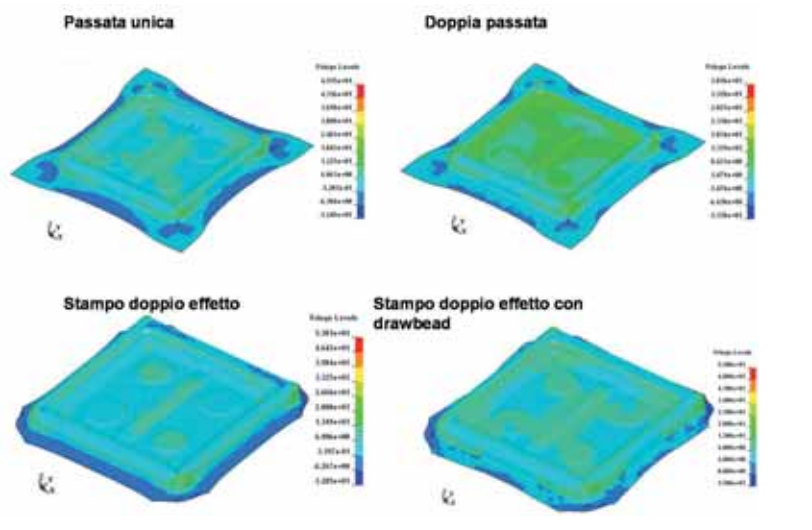
Per quanto riguarda invece il punzone, la matrice e il prelamiera, la scelta dello shell non deriva dalla necessità di costruire un modello di tali oggetti fisici vicino alla realtà, ma semplicemente per alleggerire la simulazione sfruttando l'ipotesi di componente indeformabile. Le caratteristiche del materiale sono state immesse mediante la curva di flusso plastico ed il coefficiente di anisotropia.

Fra le tante tipologie di modelli di materiali messi a disposizione dal software, è stato scelto il "MAT TRASVERSELY ANISOTROPIC ELASTIC PLASTIC", adatto per simulazioni di sheet forming. Inoltre di questo materiale sono state utilizzate le curve Fld (Forming Limit Diagram) in sede di analisi dei risultati. Un discorso a parte va fatto invece per il materiale utilizzato nelle restanti parti del modello. Esse infatti possono essere considerate indeformabili; per questo motivo la scelta è ricaduta in quello che in Dyna è il "MAT_RIGID".

La legge di discesa del punzone

Il punch è stato controllato, come avviene nella realtà, in velocità imponendo una legge di corsa in funzione del tempo che verificasse un andamento della stessa, pari a zero negli istanti iniziale e finale, raggiungendo e mantenendo un massimo nella fase centrale.

Si è ritenuto lecito imporre una velocità massima del punzone nettamente superiore a quella effettiva (3,4 m/s simulati contro 0,16 m/s reali). In questo modo si sono ridotti i tempi di simulazione, poiché il time step di calcolo di-



6 - Distribuzione degli spessori nei vari processi.

pende fortemente dalle dimensioni degli elementi, puntualizzando che comunque non è stata introdotta una rilevante fonte di errore, dato che il materiale trattato non ha un'elevata sensibilità alla velocità di deformazione nel campo di strain rate scelto.

I carichi

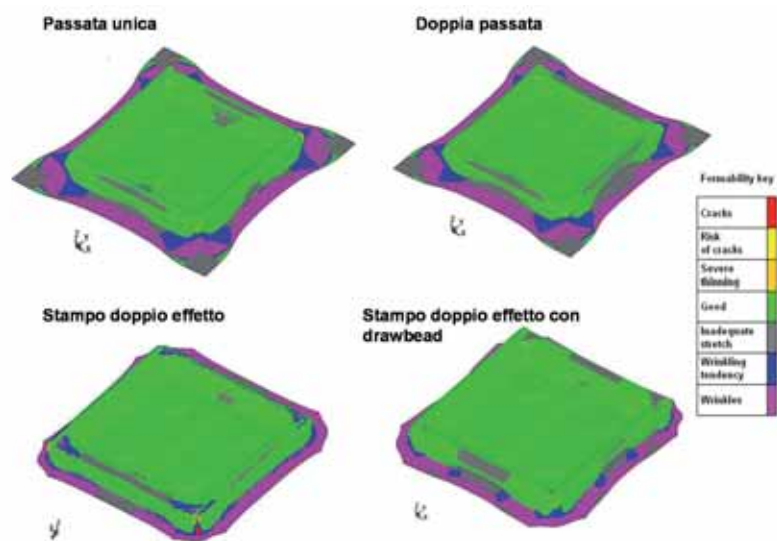
Il binder ha il compito di trattenere la lamiera e regolare così il flusso di materiale; per questo è necessario che esso conferisca una pressione al blank presente nel fuori figura. È stato quindi assegnato un carico sul binder attraverso la card "LOAD_RIGID_BODY", che permette di

controllare il componente in forza. La scelta del carico da applicare è stata consigliata dall'azienda che dovrà produrre il pezzo, sulla base della loro lunga esperienza in questo campo.

Modello del Restart

Escludendo lo stampaggio in un'unica passata per tutte le altre simulazioni si è fatto uso del restart per ottimizzare il processo. In Ls-Dyna è possibile realizzare due file distinte per le due passate. L'unica differenza fra i due file risiede nel fatto che nel primo il blank è allo stato vergine, mentre nel modello del restart la lamiera è quella in output dalla prima passata. Il pezzo

7 - Analisi Fld.



così deformato viene immesso nel modello grazie ad una specifica card, la "STRESS_INITIALIZATION" che permette di inizializzare il blank con il medesimo stato di deformazione e di tensione registrato al termine della prima fase, permettendo così di iniziare l'ultima fase con gli stampi della forma del piano cottura completo.

Analisi dei risultati

Attraverso l'analisi dei risultati sono stati valutati i processi descritti nei paragrafi precedenti. L'interpretazione dei dati ottenuti prende in considerazione due aspetti fondamentali dello stampaggio di lamiera: la distribuzione degli spessori e l'analisi Fld.

Per quanto concerne gli spessori dell'intero pezzo è importante, oltre all'assottigliamento assoluto, mantenere una certa omogeneità sull'intero componente in modo da limitare il problema di un ritorno elastico differenziale che può portare a distorsioni macroscopiche del prodotto finito.

La figura 6 mette al confronto la distribuzione degli spessori dei quattro processi simulati. Nella passata unica si può osservare la presenza di zone di compressione con ispessimento della lamiera intorno allo $0,12 \div 6,30\%$ lungo i lati, fino a un massimo di circa $12,5\%$ sui quattro angoli. Questo ispessimento si verifica laddove si verificano forti distribuzioni di forze di compressione: è proprio in queste zone che si avrà la massima tendenza alla formazione delle grinze. Inoltre in corrispondenza degli spigoli superiori presenti sul retro del pezzo vi è una zona critica di massimo assottigliamento. Qui si va da un assottigliamento $30 \div 37\%$ sino al 49% dovuto alla presenza di spigoli molto severi. Nel processo a doppia passata sono visibili zone di compressione con ispessimento del blank di $1,48 \div 6,43\%$, che arriva ad un massimo dell' $11,38\%$ sui quattro angoli. Sul retro è presente, in prossimità dell'angolo superiore esterno, una zona di assottigliamento localizzato compreso tra il 23% ed un massimo del 38% dello spessore iniziale.

In riferimento allo stampo a doppio effetto, si nota come l'intera vasca presenti una ottima uniformità di spessore compreso tra $0,3\%$ e $6,9\%$, con l'eccezione dei due fuochi più alti e della bugna centrale che raggiungono un massimo del $13,5\%$. Sul retro si può notare un i-

spessimento locale che arriva al 6,2%. Lo spigolo posteriore in questo caso subisce un assottigliamento ancora più gravoso rispetto ai processi precedenti: questo perché, nella seconda fase, rimane poco materiale da stirare per formare il pezzo.

In presenza di drawbead, lo stiramento è aumentato e l'assottigliamento locale oscilla tra 0% e 3%. L'imbutitura della vasca ha un'ottima omogeneità dello spessore, compreso tra 3% e 8,7% con zone che raggiungono il 14% (in prossimità dei due fuochi più alti, della bugna centrale e degli spigoli). Ancora rilevante è l'assottigliamento dello spigolo posteriore, che rimane la parte più critica dell'intero piano cottura. Passando all'analisi Fld, è possibile vedere nella legenda di fianco alle figure, i vari colori che indicano la qualità delle diverse aree colorate. L'immagine relativa alla doppia passata mostra la vasca centrale ben formata: infatti, essendo realizzata nella seconda fase, non c'è flusso di materiale dall'esterno (a causa del serraggio dei bordi), di conseguenza tutta la zona sarà sottoposta a puro stretching. I bordi e l'imbutitura esterna invece, presentano vaste zone con presenza di difetto di piatto, ovvero le zone in grigio (inadequate stretch).

Come era possibile immaginare dalle valutazioni fatte sugli spessori, nello stampo a doppio effetto si ha una formazione di grinze ed una zona di tendenza alla formazione di grinze, dovute allo stato di compressione locale nel processo di formazione della vasca. Sono inoltre presenti delle zone di cracks (figura 7). La presenza dei drawbead ha portato alla eliminazione delle grinze nelle quattro zone agli angoli della vasca. Lo spigolo superiore è migliorato sia a livello di elementi a rischio cricche sia per quelli con sicure cricche. Per ciò che concerne la parte bassa abbiamo ancora una estesa zona rosa, ma questa fa parte del materiale di scarto.

Anche le regioni di inadequate stretch si sono ridotte e rimangono localizzate al centro dei lati a causa dell'accentuato ritiro in queste zone.

Dall'analisi degli spessori, il secondo processo sembrerebbe dare buoni risultati ma, analizzando i diagrammi Fld ci si rende conto che, lungo i quattro lati sono presenti ampie zone in grigio che indicano un difetto di piatto, ov-

vero zone dove non è stata raggiunta sufficiente plasticizzazione: di conseguenza potranno insorgere problemi di ritorno elastico. Un ottimo livello di omogeneità degli spessori è stato raggiunto con l'utilizzo dello stampo a doppio effetto, che consiste nella formatura prima della vasca e successivamente dell'imbutitura esterna. Dal confronto delle Fld dello stampaggio a doppio effetto senza e con drawbead è chiaro il beneficio di quest'ultimi. Le zone di ispessimento trovano riscontro nella Fld con la manifestazione locale di grinze.

Questi difetti vengono però eliminati completamente in presenza dei rompi grinza, dove restano solamente piccole zone di inadequate stretch che, vista la loro limitata estensione, possono ritenersi accettabili.

*S. Papalini, G. Capriotti, G. Causeruccio,
Università Politecnica delle Marche,
Dipartimento di Meccanica, Ancona.*

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare Indesit Company, nelle persone dell'ing. Faraldi, dell'ing. Biancospino e del sig. Siro Ferretti per il contributo di esperienza, indispensabile per lo svolgimento di questo lavoro.

readerservice.it n. 51

Bibliografia

- [1] Roger Pearce, *Sheet Metal Forming, The Adam Hilger Series on New Manufacturing Processes and Materials.*
- [2] F. Gabrielli, R. Ippolito, F. Micari, *Analisi e Tecnologia delle Lavorazioni Meccaniche, Mc Graw-Hill, 2008*
- [3] Z. Marciniak, J. Duncan, *Mechanics of Sheet Metal Forming, Edward Arnold, 1992.*
- [4] Kurt Lange, *Handbook of Metal Forming, Mc Graw-Hill Book Company, 1985.*
- [5] V. Ariosi, C. Marzi, *Stampi e Lavorazioni della Lamiera, Ulrico Hoepli, Milano, 1987.*
- [6] LS-DYNA Theory Manual, March 2006.
- [7] LS-DYNA Keyword User's manual, May 2007, Version 9.71.
- [8] LS-INGRID Example Manual for Modeling and Mesh Generation, August 1998.

electrohydraulics for naval & marine

- steering
- propulsion
- stabilizers
- board auxiliaries



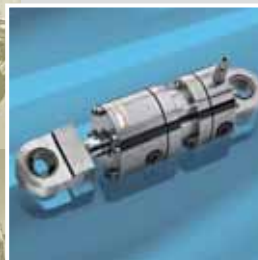
high-performance proportional valves with integral digital drivers



stainless steel ex-proof valves, also suitable for water hydraulics



intrinsically safe solenoid valves for hazardous atmospheres



stainless steel hydraulic cylinders for marine use



Atos electrohydraulics is successfully operating worldwide in thousands applications with full reliability

atos® 
www.atos.com
info@atos.com

readerservice.it n.23503