

Stato di sforzo del mandrino nel processo di laminazione obliqua: studio agli elementi finiti

E. Ceretti, C. Giardini, F. Brisotto, G. Capoferri

La presente ricerca ha lo scopo di verificare, tramite modelli simulativi, lo stato di sollecitazione a cui viene sottoposta la punta del mandrino durante il processo di laminazione obliqua.

Tale ricerca è stata sviluppata in collaborazione con il tubificio Pietra S.p.A.

Il lavoro è suddiviso in due parti.

Inizialmente è stato implementato un modello che riproducesse le condizioni di stress alle quali viene sottoposta la punta durante la laminazione.

Nella seconda fase si è analizzato il processo Mannesmann tramite il software FEM commerciale DEFORM® 3D, con lo scopo di investigare quali fenomeni portano la punta ad usurarsi prematuramente.

I risultati ottenuti sono stati confrontati con i dati sperimentali

Parole chiave: acciaio, laminazione, modellazione

INTRODUZIONE

Nel processo di fabbricazione di tubi in acciaio al carbonio senza saldatura esistono condizioni di lavoro particolarmente gravose per le componenti impiantistiche, a causa delle elevate temperature e potenze in gioco, soprattutto nella fase di laminazione obliqua. Da ciò, nasce l'interesse di un approfondimento della conoscenza sulla materia sia da parte di addetti del settore [1-2-3] che da parte degli enti di ricerca [4]. L'analisi del processo di laminazione obliqua al FEM risulta particolarmente complesso perché si utilizzano diversi perforatori obliqui aventi caratteristiche tecniche, geometriche e con attrezzature diverse.

In questa ricerca si è fatto riferimento al perforatore MDH del Tubificio Pietra S.p.A. Brescia, Italy.

Tale processo ha caratteristiche tecniche tali da rendere difficoltosa la semplificazione dei modelli simulativi. Basti pensare al posizionamento dei rulli laminatori su assi sghembi: solo questo particolare annulla qualsiasi simmetria della configurazione impiantistica.

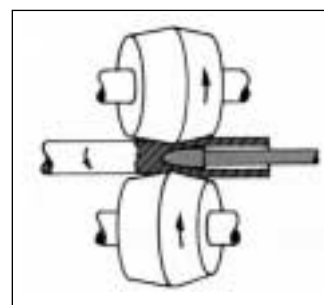
In precedenti pubblicazioni [5-6] si è cercato di avvicinarsi allo studio di tale processo sfruttando modelli bidimensionali per accertare che il software fosse in grado di prevedere l'andamento degli sforzi in maniera corretta evidenziando agli addetti una maggiore conoscenza sull'inizio della formazione del foro della barra tonda calda per effetto Mannesmann. Nella presente ricerca si è passati alla versione tridimensionale, per ridurre al minimo le approssimazioni, anche se questo comporta un considerevole aumento dei tempi di calcolo.

In particolare l'attenzione dello studio è stata focalizzata su due componenti del processo (fig. 1):

1. La barra tonda calda in acciaio al carbonio, dalla quale si otterrà il tubo.

Fig. 1 – Rappresentazione del processo di laminazione obliqua.

Fig. 1 – Sketch of the rotary tube piercing process.



2. La punta dell'asta che calibra il foro durante il processo di laminazione obliqua.

La prima problematica affrontata è stata la realizzazione del modello tridimensionale in grado di riprodurre lo stato di sollecitazioni sulla punta.

Considerando che il mandrino non interviene, in condizioni normali, alla foratura della barra ma lavora per allargare e calibrare il foro, si è riprodotta una geometria della barra "semi-laminata": questo ha permesso di esaminare il processo in una condizione di lavorazione che si può definire a "regime".

La geometria del modello è stata ricavata da prove sperimentali, ed i risultati di queste simulazioni, sono stati confrontati con i risultati delle realtà produttive aziendali.

IL PROCESSO

La macchina utilizzata, in gergo tecnico denominata perforatore (PIERCING), è costituita da due rulli laminatori obliqui con profilo a botte (fig. 1). Questi ultimi vengono posizionati in modo tale da avere i loro assi di simmetria sghembi; questo permette, una volta messi in rotazione, di conferire alla barra un moto di roto-traslatorio.

La barra tonda in acciaio alla temperatura di 1250 °C, viene spinta fino ad essere "presa" dai rulli; il materiale inizia così a ruotare ed avanzare lungo il cono di entrata del foratore, e successivamente inizia la lavorazione di foratura della barra stessa.

Le sollecitazioni evidenziate dai rulli obliqui sull'asse della

E. Ceretti, C. Giardini, F. Brisotto
Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Brescia

G. Capoferri
Pietra S.p.A., Brescia

Memoria pervenuta il 23 gennaio 2004



Fig. 2 – Effetto di un posizionamento non corretto della punta.

Fig. 2 – Plug melting due to not correct process parameters.

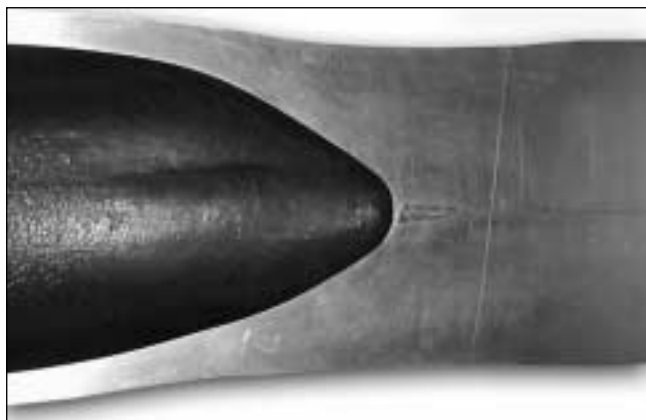


Fig. 3 – Geometria utilizzata per costruire il modello.

Fig. 3 – Actual geometry used in the FE model.



Fig. 4 – Modello utilizzato per le simulazioni.

Fig. 4 – FE model.

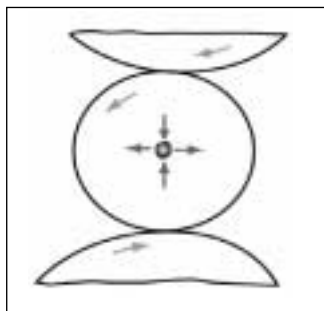


Fig. 5 – Stato di sforzo sulla sezione trasversale della barra.

Fig. 5 – Tube cross section with stress distribution.

barra generano un aumento di temperatura tale da ridurre la resistenza meccanica, provocando una lacerazione proprio sull'asse, e con l'aiuto della punta della asta tende ad allargare e formare il foro avente diametro uguale al diametro della punta stessa.

Risulta quindi evidente come sia il mandrino ad eseguire l'intero lavoro di deformazione plastica di allargatura. Per tale motivo, a volte, agiscono sulla punta sollecitazioni così elevate da deformarla plasticamente e questo è tanto più evidente quanto più l'asta si trova in posizione non ottimale rispetto alla zona di foratura della barra (fig. 2).

Infatti la sola posizione della punta influisce in maniera determinata alla sua stessa vita utile e alla qualità del prodotto finale. Un posizionamento troppo avanzato rispetto alla posizione corretta di laminazione, porta a problemi di eccessiva usura della stessa, mentre una posizionamento troppo arretrato, può causare un cedimento anticipato del materiale della barra, quindi formazione di ossido all'interno della ca-

vità generando, così, difetti sulla superficie interna della barra forata e conseguentemente difetti superficiali interni nei tubi finiti.

La ricerca dall'Università degli Studi di Brescia, condotta in collaborazione con il Tubificio Pietra S.p.A., tende a ricercare quali sono le zone della punta maggiormente critiche per permettere di definire il suo posizionamento più corretto.

Grazie all'utilizzo del software FEM tridimensionale e all'esperienza, in merito, fornita dall'azienda, è stato possibile definire un modello che permettesse di mantenere la ricerca il più possibile vicino alla realtà, rispettando quelle che sono le esigenze della produzione.

DEFINIZIONE E IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO

Per la realizzazione di un modello che permettesse di analizzare lo stato di sforzo sul mandrino durante il processo, si è ricostruita la geometria di un semilaminato proveniente da un fermo macchine aziendale (fig. 3; fig. 4).

Tale soluzione è stata adottata in quanto ad oggi risulta impossibile simulare per intero il processo con il software FEM non essendo questo in grado di simulare il cedimento del materiale e quindi la formazione del foro.

Per la barra tonda in esame si sono utilizzate le leggi di flusso plastico dell'acciaio AISI 1020, trovate in letteratura.

Altre caratteristiche sono: diametro di 150 mm, lunghezza di 1000 mm, temperatura di 1250 °C.

I rulli laminatori sono stati considerati perfettamente rigidi, con una geometria a botte come da impianto reale, e posti in rotazione equiversa su assi sghembi; il fattore di attrito è stato posto pari a $m = 0.9$, in considerazione delle elevate temperature in gioco e della elevata rugosità delle superfici dei rulli.

Per la punta in esame si sono utilizzate le leggi di flusso elastico di un acciaio resistente a caldo, con una temperatura di 400°C; il fattore di attrito tra punta e barra è stato posto pari a $m=0,6$.

Tutti i dati tecnici sopra menzionati relativi al processo variano col variare del prodotto e dell'impianto di foratura.

La posizione del mandrino è stata definita in accordo con l'Azienda in modo da rispettare quelli che sono i reali parametri di produzione.

RISULTATI

Prima di affrontare l'analisi dei risultati si è proceduto ad un'analisi specifica dello stato di sforzo a cui viene sottoposto l'elemento di materiale sull'asse del tondo in fase di laminazione. Infatti, data la dinamica del processo, si evince che lo sforzo che determina il cedimento sia quello di trazione presente nella sezione trasversale del tondo in corrispondenza del suo asse, e che quindi la variabile più significativa da analizzare in questa particolare lavorazione sia lo sforzo principale massimo (fig. 5).

Come prima verifica della validità del modello utilizzato, si è proceduto all'analisi dell'andamento dello sforzo principale massimo e delle deformazioni impresse sulla barra (fig. 6 e 7). L'obiettivo era quello di verificare che l'andamento delle sollecitazioni rispecchiasse l'andamento ottenuto da precedenti modelli simulativi bidimensionali, già validati dal confronto con prove sperimentali [5].

Analizzando la figura 6, nella quale viene visualizzata la deformazione effettiva, si evince come il maggiore lavoro di deformazione lo si abbia nella zona seguente alla penetrazione della punta ed in corrispondenza della sezione minima tra i rulli. Questo comporta una maggiore usura della zona della punta dell'asta interessata, come risulta evidente anche da prove sperimentali (fig. 9).

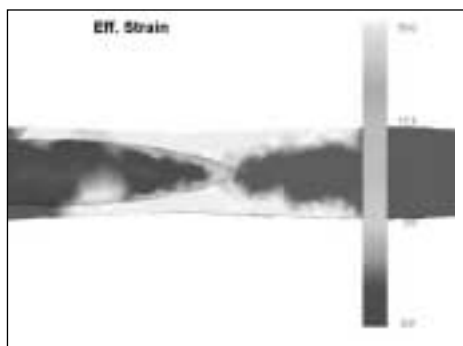


Fig. 6 – Andamento della deformazione effettiva in fase di laminazione [0÷50 MPa].

Fig. 6 – Simulated strain distribution.

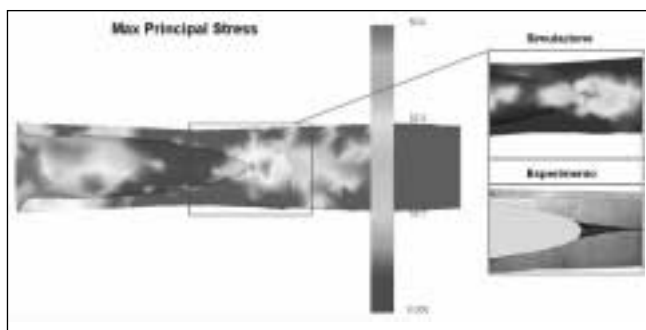


Fig. 7 – Andamento dello sforzo principale massimo in fase di laminazione [0÷50 MPa].

Fig. 7 – Simulated max principal stress distribution [0÷50 MPa].

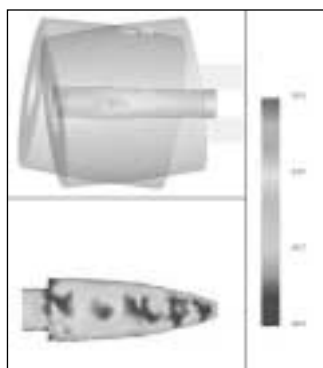


Fig. 8 – Sforzo principale massimo sulla punta in fase di laminazione [-80÷50 MPa].

Fig. 8 – Simulated stress distribution on the plug [-80÷50 MPa].

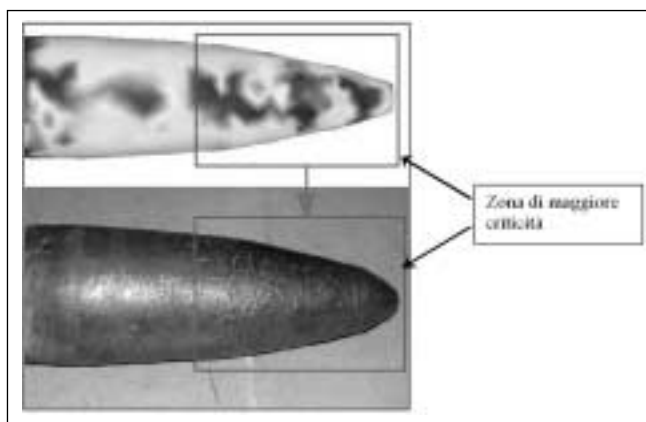


Fig. 9 – Confronto tra i risultati simulativi e gli esperimenti.

Fig. 9 – Simulative and experimental results comparison.

Analizzando la fig. 7, nella quale viene riportato l'andamento dello sforzo principale massimo, risulta evidente come all'interno della sezione longitudinale lo sforzo si concentri nella zona antecedente alla punta sull'asse del tondo. Dal confronto con il risultato sperimentale (sempre in fig. 7), si può verificare come ci sia una buona corrispondenza tra il

foro prodotto (per effetto Mannesmann) nella realtà e la zona in cui si concentrano i valori massimi degli sforzi (modello simulativo).

Questo dato ci permette di considerare il modello sviluppato come rappresentativo del processo reale, e quindi di procedere all'analisi dello stato di sforzo agente sulla punta.

Analizzando la fig. 8, nella quale viene visualizzato lo sforzo principale massimo, si può osservare come la punta subisca una azione di compressione lungo tutta la superficie laterale, proprio laddove viene eseguito il maggiore lavoro di deformazione sulla barra tonda in acciaio.

Tenendo in considerazione questo ed il fatto che nelle simulazioni la punta esegue soltanto un lavoro di allargatura e relativa calibrazione del foro, si può dedurre che una zona di particolare criticità sia la parete laterale della punta. Questo risulta inoltre evidenziato anche dagli esperimenti come rappresentato in figura 9.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

La ricerca ha evidenziato come, nel particolare caso in esame, siano presenti sulla punta dall'asta del foratore, alcune zone dove si possono riscontrare sollecitazioni tali da ridurre la vita utile della punta stessa. Dalle prove sperimentali eseguite, tali zone risultano chiaramente esser soggette ad eccessiva usura. Ci si pone quindi, come obiettivo, quello di valutare su quali variabili impiantistiche agire per cercare di ridurre al minimo tale usura con lo scopo di incrementare la vita utile della punta.

Inoltre, dalla ricerca, si evince come il software FEM [7] è un mezzo promettente per l'analisi del processo di laminazione obliqua anche se richiede ampi tempi di calcolo in ambito 3D.

I risultati ottenuti grazie alla collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Brescia con il Tubificio Pietra S.p.A., conduce a nuove e future analisi di ricerca in questo settore tali da poter elaborare un modello FEM che permetta di ottenere risultati attendibili a supporto del processo di laminazione obliqua.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Voswinckel, G., Developments in the Field of Piercing Billets for Seamless Tubemaking, internal report of Mannesman.
- [2] Montelatici, L., Scartabelli, et alii, 2002. Full-scale experimental determination of the material deformation in a piercing mill on a seamless tubes rolling line, 14th. Rolling conference, I.A.S., San Nicolàs, Argentina, November 2002.
- [3] Cavaliere, M. A., Berazategui, D., Goldschmit, M., Dvorkin, E., Montelatici L., 2002, Modelling of the piercing process: preliminary results, 14a Conferencia de Laminacion, Buenos Aires, Argentina.
- [4] Mori, K., Osakada, K., 1990. Finite Element Simulation of Three-Dimensional Deformation in Shape Rolling, Int.J.Numer.Mech.Eng., 30-8 : 1431-1440.
- [5] Ceretti, E., Giardini, C., Attanasio, A., 2001. Analysis of rotary tube piercing process: simulation and experimental results, AITEM 01 Sept. 2001 Bari.
- [6] Capoferri, G., Ceretti, E., Giardini, C., Attanasio, A., Brisotto, F., 2001. FEM Analysis of rotary tube piercing process, TUBE&PIPE, May/June 2002, pag 55-58.
- [7] Cavaliere, M. A., Goldschmit, Marcela B., Dvorkin, E. N., 2001. Finite element simulation of the steel plates hot rolling process, Int. J. Numerical Methods in Eng., 52, 1411-1430.

**THE PLUG STRESSES DISTRIBUTION
IN THE MANNESMANN PROCESS:
FEM ANALYSIS**

KEY WORDS:
steel , lamination, FE model

The present research concerns the understanding of the phenomena which affect the plug in the rotary piercing process or Mannesmann process with a drill MDH. It has been developed in cooperation with Pietra S.p.A. The work has been divided into two parts. The first corresponds to the model definition and its imple-

mentation, which can analyse the stress conditions of the plug during the Mannesmann process.

So it has been implemented a model, in which the geometry of the bar has been already laminated. During the first phase, it has been carried out a model which could forecast the stress conditions during the process.

During the second phase, it has been analysed the Mannesmann process with FEM (in particular, it has been used the commercial DEFORM 3D software), in order to test the stress phenomena of the mandrel, which cause an accelerated worn plug.

The simulation results are compared with the experimental ones.