

GRANDI DEFORMAZIONI

Giornata di Studio
organizzata dal Centro di Studio Metallurgia Fisica e Scienza dei Materiali
dell' Associazione Italiana di Metallurgia

**La simulazione fisica come strumento di progettazione di prodotto e
di processo nella tecnologia dello stampaggio massivo**
P.F.Bariani, G.Berti, L.D'Angelo, R.Guggia

Milano, martedì 15 Ottobre 1996
Sede: Piazzale Rodolfo Morandi 2



**ASSOCIAZIONE
ITALIANA DI
METALLURGIA**

La Simulazione Fisica come Strumento di Progettazione di Prodotto e di Processo nella Tecnologia dello Stampaggio Massivo

P.F. Bariani, G. Berti, L.D'Angelo, R. Guggia
DIMEG, Dipartimento di Innovazione Meccanica e Gestionale
Università di Padova

Sommario

La competitività tecnologica di un'azienda di forgiatura si misura oggi sulla capacità di avviare in tempi assai brevi la produzione di componenti nuovi dalla geometria complessa e di qualità elevata sia per l'accuratezza dimensionale e morfologica che per le caratteristiche meccaniche.

L'articolo illustra il ruolo, oggi spesso insostituibile, che la simulazione fisica, anche integrata con quella numerica, ha nell'assistere la progettazione del processo di fucinatura di un nuovo componente.

Dopo una rassegna delle diverse tecniche di simulazione fisica oggi disponibili, sia quelle basate sull'impiego di materiali modello che quelle applicate ai materiali reali, vengono presentate le applicazioni più significative nelle aree :

- della qualificazione dei materiali (caratteristiche reologiche e di lavorabilità) e delle condizioni di interfaccia (attrito e scambio termico)
- dell'analisi delle modalità di riempimento delle cavità e dell'ottimizzazione della sequenza delle preforme e
- dell'analisi e ottimizzazione dei parametri termici e meccanici nell'ambito dell'intero ciclo produttivo.

Nel presentare le applicazioni si fa riferimento a casi reali di aziende italiane di fucinatura.

1. Introduzione

Nella tecnologia dello stampaggio massivo la messa a punto dei parametri termici e meccanici del processo è una fase fondamentale per garantire al prodotto finito sia la massima economia di produzione, sia le migliori proprietà meccaniche. Oggigiorno il progettista ha a disposizione differenti tecniche per valutare e confrontare, in fase preliminare, tutte le diverse alternative di progetto.

L'approccio tradizionale si basa sulla esperienza del progettista e sul lancio di produzioni limitate, finalizzate alla verifica della validità delle scelte progettuali. La necessità di realizzare prototipi delle attrezzature, di utilizzare il materiale reale e le macchine di produzione richiede tempi lunghi per la messa a punto del ciclo produttivo e quindi costi elevati, che crescono drammaticamente nel caso in cui siano richieste significative modifiche alle attrezzature.

In alternativa, oggi, sono disponibili tecniche di simulazione numerica e fisica che possono assistere il progettista nella fase di messa a punto del processo di formatura di un nuovo componente.

2. Tecniche di Simulazione Fisica

Le tecniche di simulazione numerica e fisica possono essere riassunte in:

- simulazioni numeriche (FEM, Upper Bound, Slip Line, ecc.),
- simulazioni fisiche con materiali modello,
- caratterizzazione dei materiali e delle condizioni di interfaccia e
- simulazioni termo-meccaniche del processo su campioni di materiale reale.

E' opportuno sottolineare che i migliori risultati si ottengono combinando tali tecniche [1].

Nel caso di forme tridimensionali complesse l'approccio numerico risulta in generale improponibile in quanto richiede tempi di messa a punto del modello e di elaborazione non compatibili con le esigenze del progettista. In questo caso risultano efficaci le tecniche di simulazione fisica con materiali modello.

Quando si vogliono mettere a punto parametri di un ciclo produttivo (temperature, velocità di riscaldamento/raffreddamento, entità della deformazione, velocità di deformazione) in funzione delle caratteristiche meccaniche e metallurgiche del prodotto, è possibile condurre una simulazione dell'intero processo su campioni di materiale con geometria semplice. L'analisi dei campioni consente quindi di determinarne la disposizione delle fibre, le caratteristiche meccaniche e metallurgiche.

Simulazione fisica con materiali modello. Lo scopo principale è lo studio delle modalità di flusso plastico durante i processi deformativi. Questa tecnica [2] è basata sull'utilizzo di materiali che, durante i processi di deformazione plastica, manifestano a temperatura ambiente comportamenti simili a quelli dei metalli in temperatura. L'indagine viene condotta su attrezzature geometricamente simili a quelle reali, talvolta riprodotte in differente scala, utilizzando materiali di solito più economici e facilmente lavorabili; le simulazioni vengono condotte su piccole presse tradizionali opportunamente attrezzate con sensori di forza e spostamento.

La gamma dei materiali modello comprende metalli bassofondenti, il piombo ad esempio, che già a temperatura ambiente si trovano al di sopra della temperatura di ricristallizzazione, e cere o plastiline.

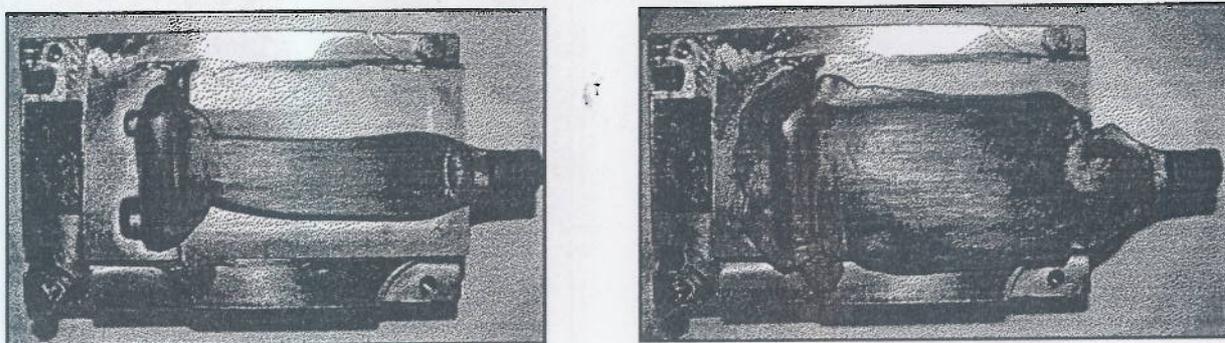


Fig.1 Simulazione con materiali modello della sbozzatura e pre-finitura di una pala

Simulazione termomeccanica Per studiare l'influenza dei parametri termo-meccanici sulle caratteristiche meccaniche e metallurgiche dei componenti si utilizzano tecniche di simulazione [3, 4] in cui i materiali utilizzati in produzione vengono sottoposti alle medesime sollecitazioni previste nel processo reale. Quest'ultimo viene riprodotto fedelmente per quanto riguarda il ciclo termo-meccanico, mentre la geometria di prova risulta semplificata (cilindrica o prismatica). Grandezze che è possibile monitorare sono forza, corsa, temperatura di prova, deformazione e velocità di deformazione.

In questo caso le simulazioni vengono condotte su macchine di prova opportunamente strumentate e integrate con sistemi di riscaldamento dei campioni o su veri e propri simulatori termo-meccanici asserviti da calcolatore, come nel caso del sistema Gleeble 2000.

3. I casi Industriali

3.1 Studio del ciclo di stampaggio di una pala per turbina

Sono state simulate le condizioni operative di una sequenza completa di stampaggio a caldo per una pala di turbina a gas [5]; il test ha permesso di valutare la risposta del materiale, una superlega di Nickel, ad un'operazione di formatura realizzata mediante piccole deformazioni plastiche a diverse velocità di deformazione.

In particolare, le diverse tecniche di simulazione sono state applicate per ciascuna delle diverse fasi di formatura allo scopo di valutare :

- l'andamento del flusso del materiale all'interno dello stampo (cfr. fig. 1 e 3)
- il comportamento termomeccanico del materiale e le relative curve di flusso plastico (fig. 2)
- le forze massime richieste per le diverse fasi di stampaggio ;
- le spinte laterali ed i momenti, risultanti dalla particolare geometria del pezzo ;

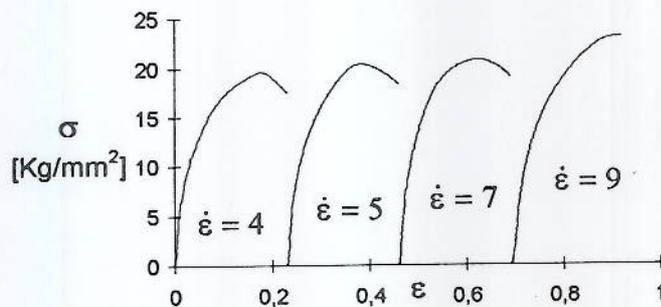


Fig.2 Il ciclo completo in quattro steps

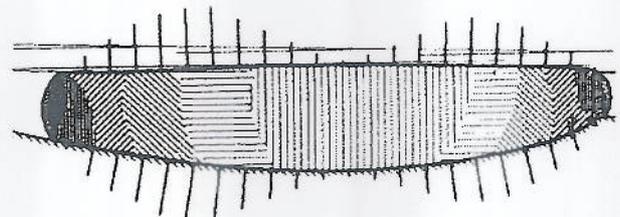


Fig.3 Simulazione FEM di una sezione intermedia

Per lo studio del flusso plastico mediante il metodo agli elementi finiti sono stati utilizzati i dati sul materiali ricavati dalle simulazioni reali, nelle stesse condizioni operative del normale ciclo di produzione.

3.2 Studio del ciclo di forgiatura per una maglia di cingolo

L'indagine è stata condotta su una sequenza di stampaggio a caldo di una maglia per cingoli di macchine movimento terra; tale maglia, di nuova progettazione e grandi dimensioni (es. in Fig.4), ha richiesto uno studio preliminare per valutare la correttezza della progettazione (riempimento stampi, sviluppo della bava, presenza di forze laterali e momenti di ribaltamento) e per verificarne la messa in produzione sulle presse disponibili in azienda.

La simulazione fisica con materiali modello ha richiesto:

- la realizzazione di stampi in resina in scala 1 : 2,
- la scelta di una cera con caratteristiche reologiche simili a quelle del materiale reale (Fig. 5).

L'apparecchiatura utilizzata per condurre l'indagine consiste in una pressa idraulica da 200 Tons nella quale viene inserito un portastampi a 3 piatti strumentato con 3 celle di carico piezo

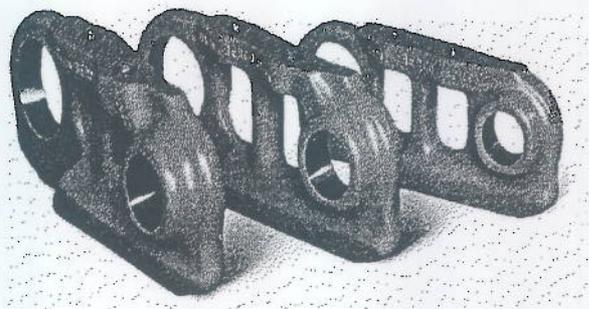


Fig. 4 Diverse tipologie di maglia per cingoli

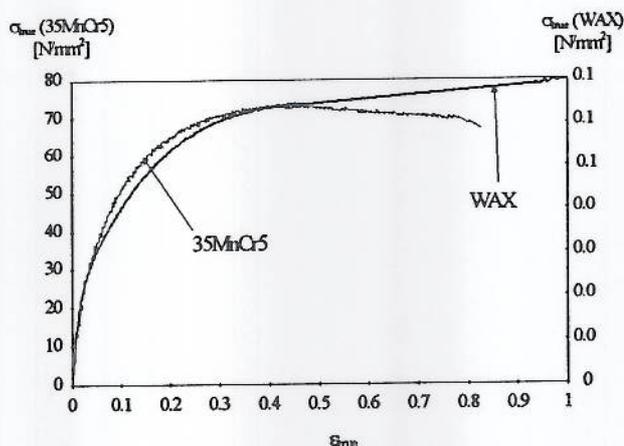


Fig. 5 Confronto tra curve di flusso del materiale reale e cera

elettriche triassiali collegate ad un sistema di acquisizione. Tale sistema ricostruisce durante tutta la deformazione l'andamento della forza, del momento risultante e delle relative componenti (Fig. 6). E' inoltre possibile determinare nel tempo (o nella corsa) la posizione, proiettata nel piano xy, del punto di applicazione delle forze risultante. [6]

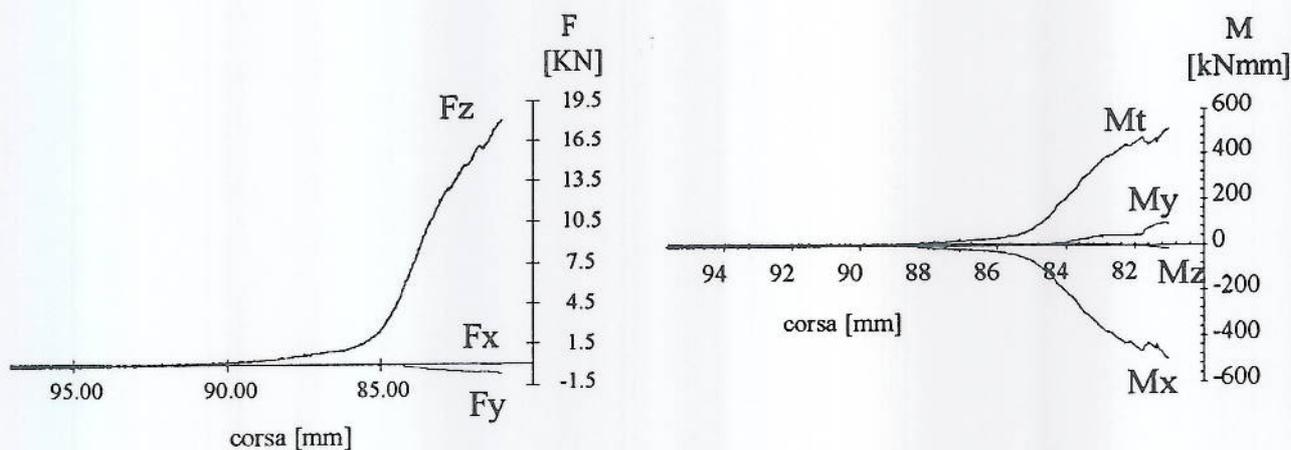


Fig 6 Andamento delle forze e dei momenti nello stampo finitore

3.3 Studio del campo termico nella forgiatura di semirulli

E' stata condotta l'analisi del campo termico in uno stampo finitore per semirulli. Tale analisi è stata estesa a tutte le fasi del ciclo di forgiatura, partendo dalla lubrorefrigerazione dello stampo, all'appoggio del semilavorato sull'attrezzatura, per finire con l'espulsione.

Sei termocoppie sono state inserite in prossimità delle zone maggiormente sollecitate dello stampo (Fig. 7), per ottenere l'andamento sperimentale delle temperature durante il ciclo di forgiatura.

Per le varie condizioni operative i valori del coefficiente di scambio termico sono stati misurati sia mediante compressione di provini cilindrici [7-8], sia in prove di plane-strain eseguite sul sistema Gleeble. Le condizioni di contatto nelle prove sono state scelte in modo da riprodurre quelle previste dalle simulazioni FEM. La procedura di valutazione è basata su una tecnica di analisi inversa [9] in cui il confronto tra dati sperimentali e simulazioni numeriche è usato per migliorare l'accuratezza delle previsioni - cfr. Fig. 8 -.

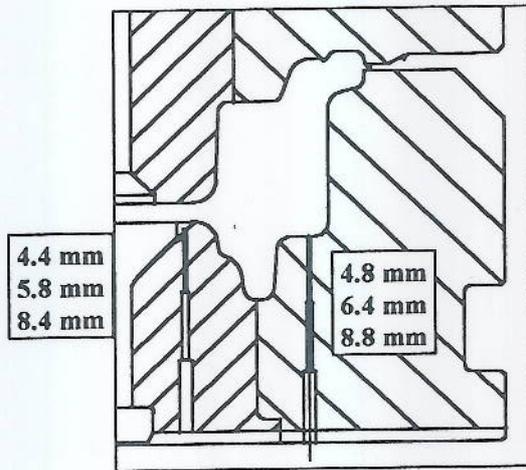


Fig. 7 Posizione delle termocoppie nello stampo

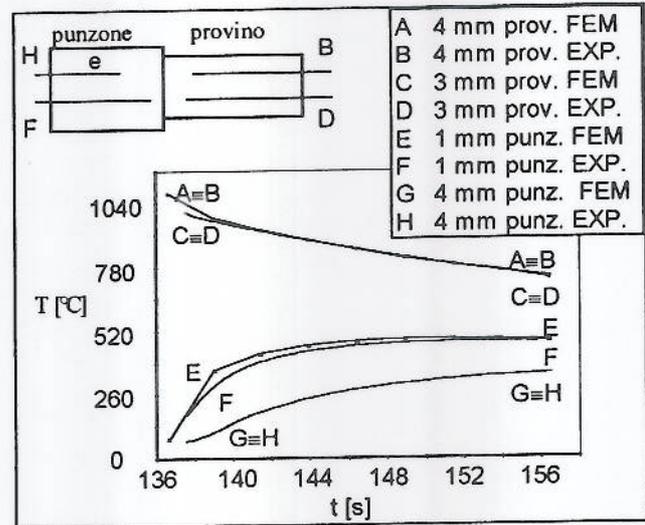


Fig. 8 Confronto tra dati numerici e sperimentali nella compressione di provini cilindrici

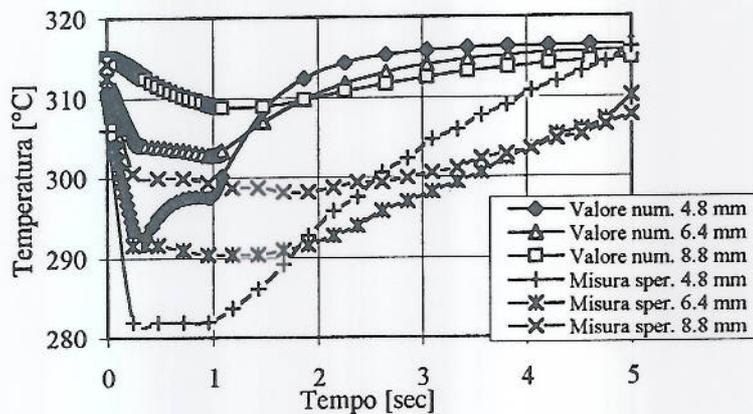


Fig. 9 Andamenti sperimentali e numerici nel caso illustrato in Fig. 7

Il campo termico durante le varie fasi del ciclo è stato ricostruito mediante simulazioni FEM sulla base delle informazioni ottenute dalle sei termocoppie ed utilizzando i coefficienti di scambio termico determinati con la procedura appena descritta. Il confronto tra dati numerici e sperimentali è mostrato in Fig. 9.

4. Conclusioni

L'indagine su operazioni di forgiatura a caldo può essere condotta mediante tecniche numeriche e fisiche, che risultano essere strumenti validi ed efficaci per la progettazione del prodotto e del processo, in alternativa alle tecniche tradizionali abitualmente utilizzate. Con la presentazione dei tre casi industriali sono state esplorate le differenti tecniche recentemente rese disponibili presso il laboratorio del DIMEG. In particolare sono state applicate due tipologie di simulazione fisica. La prima, finalizzata allo studio del flusso plastico e del sistema di forze agenti, è basata sull'utilizzo di materiali modello; la seconda consente la replicazione del ciclo termomeccanico sul materiale reale. La combinazione di tali tecniche con la simulazione numerica e con le tecniche di analisi inversa permette di aumentare la quantità e la qualità delle informazioni sul processo, migliorando nel contempo l'affidabilità delle previsioni.

Ringraziamenti

Si ringraziano le società Pietro Rosa TBM e BERCO S.p.A. per la collaborazione e la disponibilità nel fornire informazioni, dati, componenti e le attrezzature per la simulazione mediante cere.

Bibliografia

- [1] Bariani, P.F., Berti, G., D'Angelo, L., et al. Some Progress in Physical Simulation of Forging Operations, II AITEM Nat.1 Conf., Padova, September 1995.
- [2] Wanheim, T., Physical Modelling of Metalprocessing, Procesteknisk Institut, Laboratoriet for Mekaniske Materialeprocesser, Danmarks Teknisk Højskole, Denmark, 1988.
- [3] Altan, T. and Lahoti, G.D, Limitations, Applicability and Usefulness of Different Methods in Analysing Forming Problems, Trans. of ASME, May 1970.
- [4] Ferguson, H.F., Fundamentals of Physical Simulation, DELFT Symposium, December 1992.
- [5] Bariani, P.F., Berti, G., D'Angelo, L. and Guggia, R., Investigation on the Behaviour of Titanium and Nickel Alloys in Hot Forging Conditions, Proc. IV Int. Conf. on AMST, Udine, September 1996.
- [6] Bariani, P.F., Berti, G. and Meneghello, R., Monitoring the Force-and-Moment History in Forging Complex Parts, DIMEG Internal Report (in Italian), March 1996.
- [7] Burte, P.R., Altan, T., Measurement and Analysis of Heat Transfer and Friction During Hot Forging, ASME, 332/Vol. 112, 1990.
- [8] Bariani, P.F., Berti, G., D'Angelo, L. and Guggia, R., Determination of the Heat Transfer Coefficient in the Die-Billet Zone for Non-isothermal Upset Forging Conditions, Proc. IV Int. Conf. on AMST, Udine, September 1996.
- [9] Kubo, S., Inverse Problem related to the Mechanics and Fracture of Solids and Structures, JSME International Journal, series I 31, 1988.