

RISCALDAMENTO AD INDUZIONE DI BILLETTE DI ALLUMINIO TRAMITE UNMAGNETE A SELLA SUPERCONDUTTIVO IN REGIME QUASI-STAZIONARIO

Massimo Fabbri, Antonio Morandi, Pier Luigi Ribani

Dipartimento di Ingegneria Elettrica
Università di Bologna
viale Risorgimento 2, 40136 Bologna

Il riscaldamento ad induzione è largamente utilizzato nei processi di lavorazione dell'alluminio per pre-riscaldare le billette semilavorate prima della fase di estrusione. Per evitare fratture o fusioni locali durante l'estrusione è essenziale che la temperatura della billetta sia uniforme [1]: su un valore tipico di 500°C è ammessa una variazione del $\pm 2.5\%$. Per i riscaldatori ad induzione in AC convenzionali, a causa dell'elevata conducibilità dell'alluminio, il rendimento è nell'ordine del 50-60%. Per incrementarne il valore è stata studiata una tecnica innovativa che consiste nel far ruotare la billetta, tramite un motore esterno, nel campo magnetico stazionario prodotto da un magnete in DC superconduttore [2]: la f.e.m. indotta causa la circolazione di correnti nella billetta che, interagendo con il campo del magnete, generano una coppia frenante e dissipano potenza per effetto Joule. Poiché in regime stazionario le perdite nel superconduttore sono nulle, la potenza meccanica fornita dal motore si converte completamente in potenza termica ed il rendimento del processo coincide col rendimento del motore stesso, che nel range del MW supera il 90 %.

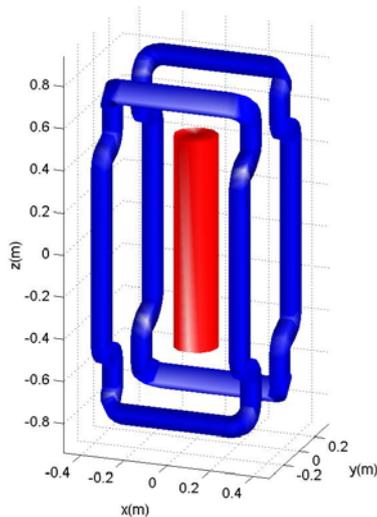


Figura 1. Geometria della Sella

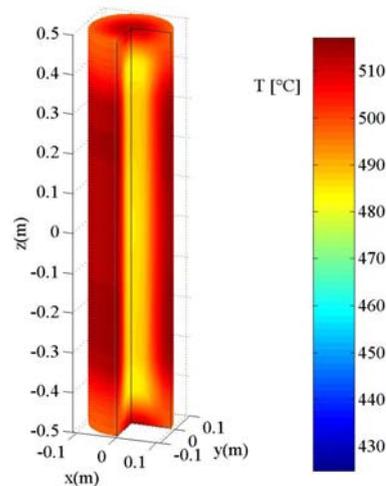


Figura 2. Distribuzione di temperatura nella billetta alla fine del processo di riscaldamento.

Al fine di studiare il processo di riscaldamento, si è sviluppato un modello numerico basato sul metodo della rete elettrica equivalente i cui parametri dipendono dalla temperatura [2]. Il modello è stato validato tramite confronto con codici commerciali e soluzioni analitiche. La simulazione mostra che una distribuzione di temperatura appropriata si può ottenere esponendo la billetta (lunghezza 1m, diametro 0.2 m) ad un campo uniforme di 0.7 T nella zona centrale e di 0.87 T sulle testate. La Figura 1 mostra la geometria del magnete che consente di ottenere tale profilo di campo. Tale magnete a sella, ottimizzato tramite un algoritmo evolutivo, ha una sezione trasversale di $60 \times 100 \text{ mm}^2$, è percorso da una corrente totale di 467 kA pari a una densità di

corrente di 77.8 A/mm^2 . L'autocampo massimo è 2.8 T . Il dimensionamento con un cavo superconduttore commerciale di sezione $1.95 \times 1.37 \text{ mm}^2$ [3] richiede 2250 spire per singolo coil, con una corrente nel cavo pari a 194.6 A , ben inferiore alla corrente critica di 550 A@4T . Il coefficiente di autoinduzione del magnete è pari a 25.3 H .

La Figura 2 mostra la distribuzione di temperatura nella billetta alla fine del processo di riscaldamento (300s). Il valore del coefficiente di scambio termico utilizzato è stato dedotto tramite relazioni semi-empiriche verificate sperimentalmente. La Figura 3 mostra gli andamenti della velocità angolare della billetta e delle temperature, massima e minima, durante il processo di riscaldamento. Le correnti indotte nella billetta producono un campo di reazione sul magnete (max 22 mT) trascurabile rispetto all'autocampo. La Figura 4 mostra l'evoluzione temporale della f.e.m. indotta e della corrente nell'avvolgimento del magnete, supponendo che quest'ultimo sia cortocircuitato. Le perdite associate a tale deviazione dal regime stazionario sono ritenute sufficientemente piccole da consentire il funzionamento del magnete in modalità persistente, evitando la necessità dei discendenti di corrente.

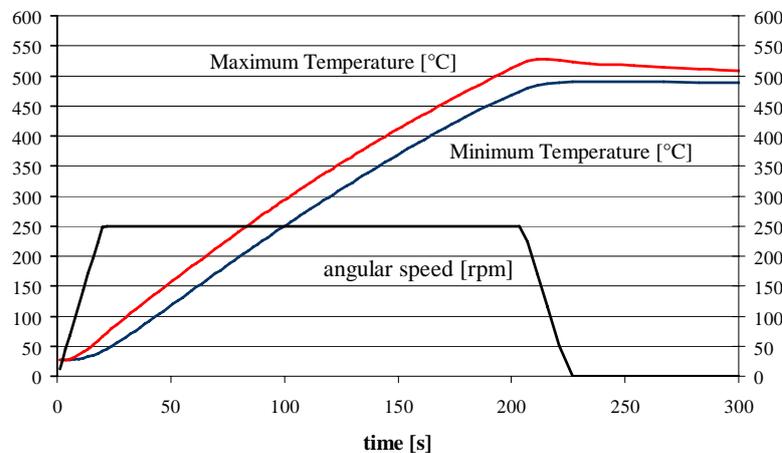


Figura 3. Temperature massima e minima durante il processo di riscaldamento.

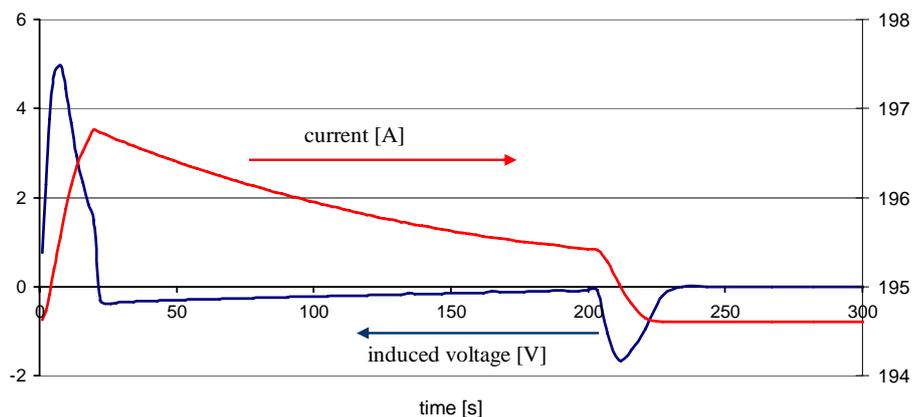


Figura 4. F.e.m. indotta e corrente nell'avvolgimento del magnete (cortocircuitato).

- [1] J.M.C. Mol, J. van de Langkruis, J.H.W. de Wit, S. van der Zwaag, "An integrated study on the effect of pre- and post-extrusion heat treatments and surface treatment on the filiform corrosion properties of an aluminium extrusion alloy", *Corrosion Science*, Vol. 47, N. 11, 2005.
- [2] M. Fabbri, A. Morandi, F. Negrini, "Temperature distribution in aluminum billets heated by rotation in static magnetic field produced by superconducting magnets", *COMPEL*, Vol. 24, N. 1, 2005.
- [3] http://www.oxford-instruments.com/wps/wcm/resources/file/eb00970feab6952/Wire_in_Channel_0602.pdf