

COME FUNZIONA IL RISCALDAMENTO A INDUZIONE?

Quando un filo è attraversato da corrente elettrica attorno al filo si crea un campo magnetico secondo la *regola della mano destra di Fleming* (inserire immagine se possibile) come possiamo vedere nell'Esperimento di Oersted del 1820 e nei conseguenti esperimenti di Ampère sempre del 1820 e di Faraday del 1821.

Nel caso in cui la corrente sia alternata (AC), quando la corrente cambia direzione lo stesso avviene per il campo magnetico che si azzerava per poi ricrearsi nella direzione opposta. Se mettiamo un secondo filo all'interno del campo magnetico, in questo filo viene generata corrente alternata. La corrente circolante nel secondo filo è proporzionale alla corrente del primo e inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra i due.

Se si sostituisce il filo con una bobina e il secondo filo con il pezzo da scaldare, la corrente circolante nella bobina consente di avere un campo magnetico di intensità maggiore all'interno della bobina stessa con un ri-orientamento del campo magnetico. Il pezzo da scaldare che si trova all'interno di questo campo magnetico viene quindi percorso da una corrente alternata indotta. Il calore che si genera nel pezzo è dovuto alla resistività del materiale e alla corrente che lo attraversa. Nello specifico queste perdite sono I^2R dove I è la corrente e R la resistività del materiale.

Queste correnti circolanti sono chiamate "correnti parassite" ("eddy currents" o correnti di Foucault). E' proprio la variazione del campo magnetico a generare queste correnti (Foucault, 1851).

L'induzione crea un campo elettromagnetico in una bobina (induttore), per trasferire energia al pezzo da scaldare

La potenza necessaria è determinata dalla massa che deve essere scaldata, dalla differenza di temperatura richiesta, dal tempo in cui si vuole scaldare oltre che dalle caratteristiche (calore specifico) del materiale da scaldare.

Fissati i parametri (masse, temperature...) un materiale più resistivo come il ferro si scalderà più facilmente rispetto ad un materiale meno resistivo come rame o alluminio che hanno una resistività più bassa. Come visto, un materiale ferromagnetico avrà un contributo aggiuntivo dato dall'isteresi magnetica che ne aumenterà l'efficienza.

La frequenza è un parametro da tenere in considerazione così come le perdite di energia.

Un pezzo può perdere energia per conduzione, per convezione o irraggiamento.

Quindi se scaldiamo solo una parte del pezzo e non tutto, oppure se il pezzo è a contatto con altro, vanno tenute in considerazione le perdite per conduzione che si presenteranno. Se un pezzo è esposto in aria avremo la convezione naturale che lo raffredderà. Se al suo interno scorre un fluido ovviamente questo sottrarrà calore al pezzo stesso.

L'irraggiamento infine è trascurabile a temperature relativamente basse, ma crescendo con la quarta potenza della temperatura, più saliremo in temperatura, più le sue perdite saranno significative se non predominanti.

In determinati casi si potrà intervenire con schermi o protezioni isolanti per ridurre queste perdite.

ISTERESI MAGNETICA E PUNTO DI CURIE

Quando si scalda un pezzo ferromagnetico oltre al riscaldamento dovuto alle correnti parassite, si aggiunge anche il cosiddetto effetto di “isteresi magnetica”.

In cosa consiste? Un pezzo ferromagnetico immerso in un campo magnetico subisce un orientamento dei dipoli magnetici conseguente al campo a cui è sottoposto. Se questo campo è generato da una corrente alternata che cambia continuamente verso anche i dipoli magnetici subiranno continuamente un ri-orientamento cambiando la polarità del pezzo stesso e contribuendo quindi ad aumentare l'effetto di riscaldamento del pezzo.

Questa isteresi vale fino a quando la permeabilità magnetica del pezzo si riduce a 1, ossia quando il pezzo raggiunge il “Punto di Curie” ovvero la temperatura alla quale il materiale perde le sue caratteristiche magnetiche. Ad esempio per il ferro è di 770°C. Superato questo punto il materiale si comporta similmente a un materiale paramagnetico, perdendo il contributo dato dall'isteresi magnetica. Questo è il motivo per cui il riscaldamento di materiali ferromagnetici si dice che abbia una “maggiore efficienza” ed è il motivo per cui, ad esempio, le pentole per i fornelli a induzione richiedono un fondo speciale (ferromagnetico appunto) e non possono essere utilizzate pentole in acciaio inox o in rame.

RISONANZA E FREQUENZA

RISONANZA

L'“impedenza” è per un circuito a corrente alternata quello che la “resistenza” rappresenta in un circuito a corrente continua. Nel riscaldamento a induzione si parla spesso di “circuito LC”, ossia determinato da un'induttanza L (l'induttore) e una capacità C (i condensatori) invece che del più generico “circuito RLC” dove compare anche la R (resistenza). Questo perché il circuito viene costruito con materiali dalla bassa resistività

(tipicamente rame) per ridurre al minimo le perdite resistive. Il contributo di R è quindi solitamente trascurabile rispetto a quello di C e L.

Teniamo comunque presente anche R. L'impedenza è la forza che si oppone al passaggio di una corrente alternata. E' costituita quindi da tre elementi, la resistenza, la reattanza capacitiva e la reattanza induttiva.

$$Z = R + j(X_L + X_C)$$

Z → impedenza

R → resistenza

X_L → reattanza induttiva

X_C → reattanza capacitiva

La frequenza di risonanza è la frequenza alla quale il circuito oscillante incontra meno opposizione al passaggio di corrente. Questo avviene quando la reattanza capacitiva X_C e quella induttiva X_L si equivalgono, lasciando il solo contributo R della resistenza che nel nostro caso è quasi trascurabile.

Senza entrare nel dettaglio dei conti, il valore di frequenza che ne deriva è:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

dove L è l'induttanza della bobina e C la capacità totale del banco di condensatori.

I riscaldatori a induzione "puramente risonanti" come i nostri sono progettati per poter scansionare la gamma di frequenze del generatore stesso e identificare la frequenza di risonanza in modo da lavorare alla frequenza che presenta le minori perdite.

FREQUENZA

Ma a cosa serve poter lavorare a frequenze di risonanza diverse? Per capirlo meglio introduciamo il concetto di "effetto pelle" ("skin effect" o "skin depth").

La corrente che viene indotta nel pezzo dal campo magnetico, scorrerà principalmente sulla superficie del pezzo stesso. Più la frequenza operativa è alta, più la profondità di penetrazione della corrente è superficiale; più la frequenza è bassa, più la corrente

scorrerà in profondità nel pezzo. Questa “profondità di penetrazione” oltre che dalla frequenza dipende dalla resistività del materiale e dalla sua permeabilità magnetica (ed entrambe possono variare con la temperatura)

Quindi, nel momento in cui il nostro interesse è di scaldare un pezzo superficialmente saremo agevolati dall'utilizzo di frequenze più elevate. Ad esempio un'applicazione di tempra superficiale richiederà generalmente frequenze piuttosto elevate. Se vogliamo scaldare un pezzo a cuore, opteremo per frequenze più basse. Ad esempio i grossi forni fusori o il riscaldamento di grosse billette massive utilizzano frequenza molto basse per avere un riscaldamento più profondo.

Oltre alla profondità di riscaldamento la frequenza definirà anche il limite applicativo di un riscaldatore. Se voglio scaldare un filo o una barra molto sottile e utilizzerò una frequenza troppo bassa, la profondità di circolazione della corrente sarà superiore allo spessore del pezzo da scaldare facendo crollare drasticamente l'efficienza e spesso facendo sì che il pezzo non si scaldi nemmeno per le cosiddette “cancellazioni”.