

Laboratori Nazionali di Frascati

LNF-55/12 (29. 3. 55)

G. Sacerdoti, G. Diambri: PRECISAZIONI SULLE CARATTERISTICHE  
RICHIESTE PER I LAMIERINI MAGNETICI PER L'ELETTROSINCROTRO  
NE ITALIANO.

Relazione : M 55

29 marzo 1955.

PRECISAZIONI SULLE CARATTERISTICHE RICHIESTE PER I LAMIERINI  
MAGNETICI PER L'ELETTROSINCROTRONE ITALIANO DA 1 BEV. -

INTRODUZIONE

In condizioni ideali il campo magnetico nell'intraferro dell'elettrosincrotrone deve seguire la legge :

$$B(r,t) = B_0(t) \left(\frac{r}{r_0}\right)^{0,61} \quad (1)$$

ove  $B(r,t)$  è il valore dell'induzione magnetica nel piano geometrico mediano dell'intraferro, nei punti a distanza  $r$  del centro di curvatura di ciascuno dei quattro quadranti;

$B_0(t)$  è il valore dell'induzione magnetica lungo il cerchio di raggio  $r = r_0$ ;

la funzione  $B_0(t)$  è del tipo :

$$B_0(t) = B_b - B_a \cos \omega t$$

con  $B_b$ ,  $B_a$ , costanti il cui valore dipenderà dal modo da noi scelto per eccitare il magnete del sincrotrone.

Deviazioni da queste condizioni ideali producono una alterazione delle orbite previste per gli elettroni, con una conseguente diminuzione dell'intensità del fascio fino anche alla completa estinzione dello stesso. Perché l'intensità del fascio alla massima energia prevista si mantenga al di sopra di un certo valore, occorre che le differenze tra la distribuzione reale e quella ideale del campo magnetico non superino certi limiti.

Queste differenze devono essere limitate specie quando il campo magnetico nell'intraferro del magnete del sincrotrone ha valori bassi (20 + 50 gauss). Per ottenere queste precisioni sulla distribuzione del campo magnetico è necessario richiedere severe precisioni nelle dimensioni, nell'impacchettatura, nelle proprietà magnetiche dei lamierini.

## SCELTA DEL LAMIERINO PER IL MAGNETE DEL SINCROTRONE

Le caratteristiche del lamierino che ne determinano la scelta sono le seguenti :

- 1) Induzione magnetica di saturazione.
- 2) Forza coercitiva (per un fissato  $B_{max} = B_{sat}$ ).
- 3) Amperspire negative necessarie al lavaggio <sup>(o)</sup> del campo magnetico nel ferro per un certo traferro e un certo valore massimo dell'induzione nel ferro.
- 4) Modulo di elasticità.
- 5) Tranciabilità.
- 6) Costo.

Il lamierino migliore sarebbe quello che avesse :

- il massimo valore per l'induzione di saturazione : Più alto è il valore dell'induzione di saturazione minori sono le dimensioni geometriche del magnete a parità di intraferro.
- il minimo valore per la forza coercitiva. Per ottenere una certa omogeneità azimutale del campo magnetico a campi bassi, è necessario che lo scarto percentuale del campo residuo nell'intraferro del magnete (che è legato direttamente alla for

---

(o) Spieghiamo brevemente cosa vuol dire "lavare magneticamente il campo magnetico". Consideriamo un ciclo di eccitazione del magnete: il ciclo di isteresi in un punto generico del ferro avrà l'andamento del tipo indicato in fig. 1.-

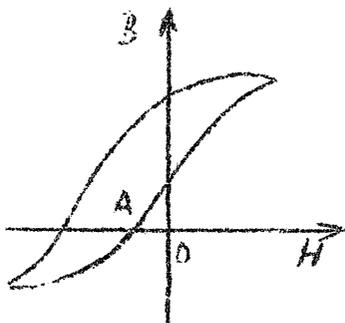


FIG. 1

Fissato il campo massimo nell'intraferro, è possibile con un particolare valore delle amperspire negative di eccitazione far sì che il punto A si sposti in O. Noi diremo che con questo valore delle amperspire negative si è lavato il campo magnetico. Lavando il campo magnetico si riducono gli sfasamenti del campo nell'intraferro del magnete: vi sarà infatti un istante dell'eccitazione, precisamente quando la corrente di eccitazione è nulla, per cui il campo magnetico è nullo in ogni punto dell'intraferro.

In realtà se il punto A passa per O in una regione del ferro, non è detto che in tutto il ferro avvenga lo stesso; ma noi riteniamo comunque che se A coincide con O in quella regione, esso coinciderà con O abbastanza bene ovunque, per cui la definizione precedente di lavaggio è abbastanza valida.

za coercitiva del ferro) da un lamierino all'altro resti entro certi limiti. I valori di tali limiti sono tanto maggiori tanto minore è il valore della forza coercitiva <sup>(°)</sup>.

- Le minime amperspire negative di lavaggio. Per quello che si è spiegato nella nota a pag. 2, sarebbe bene effettuare il lavaggio del campo magnetico per diminuire gli sfasamenti radiali del campo magnetico nell'intraferro. Questi sfasamenti ne alterano la distribuzione radiale quando il campo ha bassi valori. Quanto minori sono le amperspire negative di lavaggio tanto minore è il costo dell'alimentazione del magnete.
- il massimo modulo di elasticità. Maggiore è il modulo di elasticità minori sono le deformazioni dell'intraferro del magnete per gli sforzi magnetici durante l'eccitazione dello stesso.
- la massima tranciabilità. Tanto maggiore è la tranciabilità dei lamierini tanto maggiori sono le precisioni geometriche che nella punzonatura si può pensare di ottenere.
- il minimo costo.

Le caratteristiche elencate non sono, almeno nei lamierini commerciali, indipendenti. A noi risulta ad esempio che, in generale, i lamierini che hanno più bassa forza coercitiva hanno induzione magnetica di saturazione più bassa, modulo di elasticità più alto e costo maggiore.

Naturalmente non è detto che materiali a più basso campo coercitivo abbiano bisogno senz'altro di un minore numero di amperspire negative di lavaggio.

In base a queste considerazioni il progetto del magnete è stato svolto adottando per il C un lamierino aventi caratteristiche analoghe a quelle del D. MAX. 19. 0,29 dell'ARCO (Vedi catalogo dell'ARCO Hot Rolled Steels)<sup>(°°)</sup>

---

(°) Per es. sia B il campo magnetico al cui valore si verifica l'uniformità azimutale del campo; sia il campo magnetico residuo pari a  $B_{res}$ . Sia  $\alpha$  % lo scarto della forza coercitiva tra un lamierino e l'altro: tale scarto nella precisione della forza coercitiva è circa equivalente, agli effetti della deformazione del campo, ad uno scarto dell'intraferro geometrico tra un lamierino e l'altro pari a  $\alpha (B_{res}/B)$  %  
<sup>(°°)</sup>

Se si dovesse cambiare il tipo di ferro per i lamierini sarebbe consigliabile usare tipi a più bassa forza coercitiva quali il D MAX 17 0,29 o D MAX 15 0,29 dell'ARCO.

PRECISIONI RICHIESTE PER I LAMIERINI.

Alle Ditte interessate alla costruzione del magnete abbiamo prescritto le precisioni meccaniche e magnetiche necessarie per la realizzazione del campo magnetico desiderato nell'intraferro.-

Le precisioni geometriche e le precisazioni magnetiche che esigiamo sono state stabilite in base a quanto è stato richiesto ed ottenuto per costruzioni analoghe alla nostra (per le precisioni vedi anche relaz. M 54). Sia le precisioni geometriche che quelle magnetiche si ripercuotono nel valore di B dato nella(1); tenendo conto delle tolleranze geometriche indicate nella relazione M 54, e delle tolleranze sulle grandezze che caratterizzano le proprietà magnetiche che sono indicate alla fine di questa relazione possiamo precisare quanto segue: A campi bassi (nell'intraferro 200 gauss) la maggior causa di perturbazione del campo magnetico è dovuta alla variazione della forza coercitiva da un lamierino all'altro. (v. relazione M 53 di G. Diambrini). A campi medi (tra 200 gauss e 8000 gauss nell'intraferro) le cause maggiori di imprecisione nel campo magnetico sono le imprecisioni geometriche. Per campi alti (nell'intraferro 8000 gauss) le cause maggiori di perturbazione del campo sono da ricercarsi nella non uniformità del valore dell'induzione di saturazione nel ferro.-

Non è detto che le precisioni richieste (sia magnetiche che geometriche) siano sufficienti a garantirci per ogni valore del campo le precisioni nello spazio del campo magnetico quali precisate dal nostro gruppo teorico. Si corregge in tal caso il campo magnetico con le bobine ausiliarie (vedi relaz. M 54) : sarà però bene che tali correzioni, che si fanno con facilità soltanto a campi bassi non debbano essere troppo intense.-

Possiamo precisare le nostre esigenze di precisione nelle proprietà dei lamierini magnetici in questi termini :

Precisioni magnetiche

Il campo coercitivo deve essere costante da un lamierino al

l'altro ( $B_{\max} = 15000$  gauss) entro  $\pm 1\%$ .

-Le amperspire massime di eccitazione a 15000 gauss devono essere costanti da un lamierino all'altro entro  $\pm 1\%$

L'induzione residua deve essere costante da un lamierino all'altro entro  $\pm 1\%$

Le misure si intendono effettuate su provini toroidali realizzati secondo le norme CEI.-

Altre caratteristiche :

I lamierini devono essere lisci e avere faccie piane e parallele per rendere più semplice e più regolare l'impaccaggio.-

Differenze di spessore in uno stesso foglio devono risultare minori del 4% dello spessore del foglio<sup>(°)</sup>.

Il coefficiente di laminazione (rugosità) non deve essere inferiore al 96%<sup>(°)</sup>.

Altre proprietà relative al piegamento e alle tensioni interne saranno precisate dalla Ditta incaricata della punzonatura dei lamierini.

Importanti sono le esigenze di isolamento dei lamierini : queste sono dettate non tanto da questioni di perdite, quanto dalla necessità di evitare le correnti parassite, che se presenti provocherebbero sfasamenti del campo magnetico nel traferro. Noi pensiamo di impaccare i lamierini incollandoli con araldite. L'isolamento dei lamierini, se si rinuncia ad avere alti coefficienti di stipamento, può essere garantito dalla sola araldite. Se invece non vogliamo rinunciare ad alti coefficienti di stipamento sarà necessario affidare il compito di isolamento tra i lamierini e quello di incollatura a materiali diversi: p. es. carlyte (per l'isolamento) e araldite (per l'incollatura). Se ricorriamo a tale soluzione è necessario che la carlyte stabilisca un isolamento maggiore di  $15 \Omega/\text{cm}^2$  lamierino.-

G.C. Sacerdoti

G. Diambrini

---

(°) Le misure si intendono effettuate secondo i criteri delle norme CEI.-