



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETÀ INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

UIBM

DOMANDA NUMERO	101995900471864
Data Deposito	17/10/1995
Data Pubblicazione	17/04/1997

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
C	21	B		

Titolo

PROCESSO DI PRODUZIONE DI ACCIAIO MAGNETICO A GRANO ORIENTATO DA BRAMMA
SOTTILE

RM 95 A 000689

TAS.005

Notarbartolo & Gervasi S.r.l.

DESCRIZIONE

della domanda di brevetto per Invenzione Industriale dal titolo:
" Nuovo processo di produzione di acciaio magnetico a grano orientato da bramma sottile"

A nome Acciai Speciali Terni S.p.A.

con sede in Viale Benedetto Brin, 218 - 05100 TERNI

Inventori: Laura APPOLLONI; Giuseppe ABBRUZZESE; Romeo CAPOTOSTI; Giancarlo DI SCHINO

depositata il con il n.

Campo dell'invenzione

La presente invenzione si riferisce a un nuovo processo di produzione di acciaio magnetico a grano orientato da bramma sottile e, più precisamente, si riferisce a un processo che sfrutta particolari composizioni dell'acciaio in relazione di combinazione con specifici parametri di colaggio in continuo in bramma sottile allo scopo di consentire un abbassamento delle temperature di trattamento e una forte decriticizzazione dell'intero processo di trasformazione, avvicinandolo ai processi di trattamento dei normali acciai al carbonio.

Ambito dell'invenzione

Prima di descrivere lo stato della tecnica relativo a questo tipo di prodotti, è opportuno ricordarne le basi scientifiche e tecniche.

L'acciaio al silicio è composto da cristalli, o grani, distinti

tra loro, ciascuno dei quali possiede un reticolo cubico a corpo centrato, in cui gli assi corrispondenti agli spigoli del cubo, cristallograficamente designati con $\langle 100 \rangle$, costituiscono direzioni di più facile magnetizzazione.

Dati la costituzione dei nuclei delle macchine elettriche, per esempio dei trasformatori, costituiti da pacchi di strisce di nastro di acciaio al silicio tagliate parallelamente alla lunghezza del nastro laminato e chiusi a forma di toro, e lo schema di funzionamento dei trasformatori, in cui un campo magnetico genera nel nucleo un flusso magnetico prevalentemente diretto secondo le direzioni di facile magnetizzazione del materiale costituente il nucleo stesso, ne risulta che gli assi $\langle 100 \rangle$ devono essere paralleli alla direzione di laminazione del nastro, e quindi alla sua lunghezza.

Inoltre è necessario che i reticoli dei grani siano orientati allo stesso modo con il minor grado di disorientamento possibile tra loro.

Ancora, è necessario che il numero e le dimensioni di tali grani siano mantenuti entro certi limiti, ben noti agli esperti.

Solo con l'osservazione di tali condizioni generali si ottiene un materiale provvisto di buone caratteristiche di permeabilità magnetica, espresse come densità di flusso magnetico provocata nel nucleo da un campo magnetico di valore dato, e come dissipazione di energia nel funzionamento, usualmente indicata come perdite nel nucleo a date permeabilità e frequenza ed

espressa in W/kg.

Le dimensioni finali ottimali e il corretto orientamento dei grani nel prodotto finale vengono ottenute durante un trattamento termico detto ricottura di ricristallizzazione secondaria, in cui si riesce a far sviluppare solo i cristalli originariamente dotati della voluta orientazione. Il numero e le dimensioni dei grani finali sono in qualche modo dipendenti dai corrispondenti valori iniziali.

Quando l'acciaio viene riscaldato, giunti a una certa temperatura inizia il processo di crescita dei grani, nel quale quelli di maggiori dimensioni, o quelli per ragioni cinetiche o energetiche più caricati degli altri, cominciano a crescere a spese dei cristalli adiacenti. Durante la ricottura finale di ricristallizzazione, sono proprio i cristalli aventi l'asse <001> parallelo alla superficie del lamierino e alla direzione di laminazione dell'acciaio che si attivano a una temperatura minore di quella degli altri cristalli, raggiungendo quindi prima le dimensioni critiche che permettono loro di predominare nella crescita.

Tuttavia, come è noto, il processo di produzione di lamierino di acciaio prevede numerosi riscaldamenti a elevata temperatura, alcuni dei quali potrebbero innescare un processo di crescita dei grani che, avvenendo in modo e in tempi non opportuni, non consentirebbe di ottenere i risultati finali voluti.

La ricristallizzazione secondaria viene controllata da alcuni

composti, quali solfuro di manganese, seleniuro di manganese, nitruro di alluminio ecc., che opportunamente precipitati nell'acciaio, inibiscono la crescita dei grani fino a che non vengono solubilizzati, permettendo l'inizio della ricristallizzazione secondaria.

Per quanto riguarda l'aspetto tecnologico, la moderna produzione di lamierini al silicio a grano orientato prevede la preparazione di un acciaio fuso di composizione controllata, in particolare per quanto riguarda il contenuto di silicio, carbonio, ossigeno, manganese, zolfo, alluminio, azoto, la sua colata in continuo in bramme aventi uno spessore generalmente compreso tra 15 e 25 cm, una larghezza attorno al metro e una lunghezza di alcuni metri.

Tali bramme vengono trasportate a caldo, a temperatura non inferiore a 300 °C, e quindi di nuovo riscaldate (eventualmente sottoponendole a prelaminazione intermedia con riduzione minore del 25% a 1100-1200 °C) a elevata temperatura, tradizionalmente attorno a 1300-1400 °C, laminate a caldo, eventualmente ricotte, laminate a freddo allo spessore finale, generalmente compreso tra 0,18 e 0,35 mm, e sottoposte a una serie di trattamenti finali a elevata temperatura tendenti a ridurre drasticamente il contenuto di carbonio (ricottura di decarburazione), zolfo e azoto, a indurre le volute caratteristiche magnetiche (ricottura di ricristallizzazione), a produrre sulla superficie del lamierino dei rivestimenti isolanti inorganici, per esempio a

base di fosfati di magnesio e silice.

Ciascuna delle fasi precedenti è determinante nell'ottenimento delle caratteristiche finali del prodotto, e pertanto deve essere opportunamente seguita e controllata.

Per esempio, la colata continua richiede un veloce raffreddamento iniziale del metallo colato in lingottiera, per consentire una rapida estrazione dalla stessa di una bramma costituita da una pelle solida, da una zona intermedia pastosa e, al centro, da acciaio liquido, che solidificherà in seguito, più lentamente. Già da questi fatti iniziali derivano conseguenze che richiedono un opportuno, accurato controllo. Infatti, il metallo che ha subito due radicalmente diverse velocità di raffreddamento, dapprima molto rapida in superficie e in seguito più lenta, viene solidificato in due diverse strutture, in superficie a cristalli molto piccoli, detti equiassici, e all'interno con cristalli grandi e allungati, detti colonnari. Questa diversità di dimensioni del grano iniziale porta, dopo riscaldamento ad alta temperatura, se non corretta, a una struttura disomogenea del prodotto finale, a detrimento della qualità.

Inoltre, la velocità di solidificazione relativamente lenta della massa del colato induce da un lato alla segregazione di alcuni elementi e all'addensamento di composti quali ad esempio il solfuro di manganese in masse concentrate che non si disciolgono facilmente alle temperature di riscaldamento, che non

possono essere riprecipitate come particelle finemente disperse e che quindi non possono esercitare la loro funzione di inibitori della crescita dei grani. Dall'altro lato, si ha in seguito la crescita abnorme della frazione di grani colonnari rispetto alla frazione di grani equiassici.

Fin dall'inizio del processo di produzione è, quindi, necessario operare, per esempio con la prelaminazione delle bramme prima del riscaldamento ad alta temperatura, allo scopo di controllare accuratamente le diverse variabili, allo scopo di evitare una eccessiva eterogeneità di dimensione dei grani, e per ottenere una distribuzione sufficientemente fine e omogenea dei precipitati inibitori. A questo scopo, le bramme vengono portate a elevata temperatura, tipicamente sopra i 1330 °C, allo scopo di solubilizzare i composti inizialmente precipitati in ammassi di notevoli dimensioni e di farli diffondere più omogeneamente in seno al metallo.

Tale elevata temperatura di riscaldamento è ottenibile solo con forni che inducono alcuni inconvenienti, tra cui importanti sono le forti differenze di temperatura che si hanno tra superficie e centro delle bramme e il forte surriscaldamento della superficie necessario perché al centro si raggiunga in tempi accettabili la temperatura voluta, fattori che comportano crescite indesiderate dei grani, e il fatto che sulla superficie delle bramme si ha formazione di scoria liquida.

Durante la laminazione a caldo, il metallo subisce una riduzione

di spessore in condizioni di temperatura e con tassi di deformazione tali da ottenere grani di dimensioni accettabili e di far precipitare i composti di cui sopra, come per esempio il solfuro di manganese, in forma fine. Per l'ottenimento delle opportune dimensioni dei grani, usualmente si applica la pratica del prerolling, che consiste in una prima passata di laminazione a caldo, prima che si raggiunga la temperatura massima di riscaldamento prima indicata; ciò ovviamente impone ulteriori aggravii, essenzialmente per il fatto che le bramme debbono essere sfornate, laminate e quindi reinfornate.

Fin d'ora è quindi possibile comprendere quanto sia complessa e costosa la produzione di un buon lamierino di acciaio al silicio a grano orientato, per la quale si devono applicare in modo particolarmente accorto tutte le tecniche possibili per consentire la riduzione dei costi di produzione.

E' quindi evidente come sia altamente desiderabile semplificare il processo di produzione di questi tipi di acciaio eliminando, o per lo meno riducendo, alcuni suoi passi critici.

Come sopra accennato, le condizioni di solidificazione dell'acciaio fuso hanno grande importanza nella determinazione della struttura cristallina dell'acciaio; ricordiamo che nella colata continua di bramme spesse, si hanno alte velocità di raffreddamento in pelle, con cristalli molto piccoli, e basse velocità al cuore, con cristalli molto allungati e grandi. Ciò è causa di disomogeneità di comportamento tra le diverse zone

durante i riscaldamenti a elevata temperatura e, in definitiva, provoca deterioramento delle qualità magnetiche del prodotto finale nel caso non si riesca a dominare la situazione o, nel migliore dei casi, un aggravio dei costi di produzione.

Per altri motivi e per altri acciai, in particolare per gli acciai comuni al carbonio, sono stati ideati nuovi metodi di colata continua a basso spessore, in particolare la colata di nastro, in cui il prodotto colato ha tipicamente uno spessore inferiore a 15 mm, e la colata si bramma sottile, in cui il colato ha uno spessore di alcune decine di millimetri, tipicamente 40-100 mm.

L'esperienza accumulata con gli acciai comuni, indica come la colata di bramma sottile non risolve il problema della diversità di dimensioni dei grani in pelle e al cuore, per cui il pensiero comune è che tale tecnologia non è vantaggiosa per la fabbricazione degli acciai al silicio per impieghi magnetici, perché mantiene le complessità del processo classico di produzione di tali acciai e introduce la necessità di un nuovo tipo di macchina, la cui gestione non è peraltro particolarmente semplice.

L'attenzione della maggioranza dei produttori di acciaio si è quindi diretta verso la colata continua di nastro, in cui sono praticamente eliminati i problemi connessi a diverse strutture di solidificazione. Tuttavia anche questa tecnologia non ha ancora trovato la via per una realizzazione industriale; una

delle ragioni può essere che la qualità superficiale del nastro colato non è soddisfacente e la rugosità iniziale non appare eliminabile con i modesti tassi di riduzione possibili nel passaggio da qualche mm a qualche decimo di mm.

Altri tentativi di semplificazione sono stati effettuati eliminando la fase di prelaminazione e riducendo le temperature di riscaldamento delle bramme prima della laminazione a caldo, quest'ultima fase essendo in particolare molto costosa, essenzialmente a causa delle elevate temperature da raggiungere, del lungo tempo di trattamento necessario, viste le grandi dimensioni delle bramme stesse, e della necessità di utilizzare forni particolari, come già accennato.

A questo riguardo, poiché la temperatura di dissoluzione del solfuro di manganese nell'acciaio dipende da numerosi fattori, tra cui il contenuto di ossigeno (e quindi lo stato di ossidazione interna dell'acciaio), di zolfo e di manganese, controllando questi ultimi opportunamente è possibile ridurre di molte decine di gradi la temperatura di riscaldamento.

Un'altra fase critica è rappresentata dalle ricotture finali, allo scopo di eliminare dal lamierino alcuni elementi, come il carbonio (ricottura continua) e lo zolfo (ricottura statica), che hanno una influenza negativa sulla qualità. Tali ricotture debbono essere accuratamente controllate perché sono sede di reazioni gas-solido e perché non avvengano fenomeni, per esempio di crescita del grano con orientazione casuale, notoriamente

negativi.

Infine appare opportuno notare che esistono diverse qualità di lamierini magnetici, distinti nelle categorie a orientazione normale, o convenzionale, dei grani, che, per spessore di 0,30 mm, hanno permeabilità superiore a 1,78 T perdite a 50 Hz e 1,7 T ($P_{1,7}$) inferiori a 1,11 W/kg, e con superiorientazione dei grani, con permeabilità superiore a 1,88 Tesla e perdite inferiori a 1,11 W/kg, ciascun tipo avendo le sue specifiche caratteristiche di processo, assolutamente indipendenti da quelle degli altri tipi.

Così, per esempio, nei lamierini a grano orientato convenzionale, non si impiega l'alluminio, che anzi è considerato elemento dannoso per le caratteristiche magnetiche perché forma indesiderati precipitati di ossidi, mentre in quelli superiorientati l'alluminio è utilizzato, in ridotta quantità, essenzialmente per formare, assieme a quantità specifiche di azoto, nitruro di alluminio, che serve come inibitore della crescita del grano a temperature superiori a quella di solubilizzazione del solfuro di manganese; quindi due composizioni apparentemente simili, i quantitativi di alluminio, di azoto e di ossigeno coinvolti essendo in effetti molto bassi, portano a prodotti di caratteristiche fortemente diverse.

Gli sforzi finora effettuati hanno consentito di ottenere buoni risultati, non tali però da eliminare alcune forti complessità di processo.

In definitiva, a fronte di un notevole impegno industriale e di ricerca, la produzione di lamierino di acciaio al silicio per impieghi magnetici rimane un processo complesso e costoso, ricco di punti critici che devono essere accuratamente controllati, per evitare perdite di qualità e conseguenti onerosi declassamenti.

Stato della tecnica

Finora, non risultano informazioni specifiche alla colata continua in bramma sottile di acciai al silicio a grano orientato; per quanto riguarda la colata in bramma sottile, la documentazione esistente è dedicata agli acciai al carbonio convenzionali, mentre per quanto riguarda gli acciai al silicio, sono state trovate informazioni riferite alla colata continua di nastri (spessore inferiore a 10 mm).

Comunque, alcuni dati riferiti alla colata classica in bramme spesse sono riportati qui di seguito.

La domanda pubblicata DE 4 311 151 riguarda un acciaio comprendente, in percento in peso, 0,02-0,10 C, 2,5-5 Si, 0,04-0,15 Mn, 0,010 S, 0,010-0,035 Al, 0,0045-0,0120 N, 0,020-0,300 Cu, il restante essendo essenzialmente ferro; bramme di tale acciaio vengono riscaldate a una temperatura insufficiente per la solubilizzazione del solfuro di manganese, ma sufficiente alla solubilizzazione del solfuro di rame; le bramme vengono quindi laminate a caldo a temperature finali comprese tra 880 e 1000 °C a uno spessore tra 1,5 e 7 mm e il laminato viene

ricotto a 880-1150 °C per 100-600 s e quindi raffreddato con una velocità di 15 °K/s. In tal modo, il meccanismo della ricristallizzazione secondaria viene affidato al solfuro di rame, finemente precipitato.

In JP 04 301 035-A e 05 295 442-A, si controlla la velocità di raffreddamento all'uscita dall'ultima gabbia di laminazione a caldo.

In JP 04 289121-A, prima della laminazione a freddo il nastro subisce una riduzione del 0,5-15% in una gabbia i cui cilindri hanno un diametro 50 volte lo spessore del nastro, e quindi viene ricotto a 700-1100 °C.

In EP-393508, si descrive un processo di trattamento di un acciaio al Si comprendente, in % in peso, 0,021-0,100 C, 2,5-4,5 Si, uno o più elementi inibitori della crescita del grano, quali Al, N, Mn, S, Se, Sb, B, Cu, Bi, Nb, Cr, Sn e Ti. Il nastro laminato a caldo viene avvolto a una temperatura compresa tra 500 e 700 °C e il coil, del peso di 5-20 t, viene raffreddato in aria o preferibilmente in acqua. Seguono, come consueto, laminazione a freddo e ricotture.

In JP 02 133525-A, la laminazione a caldo viene terminata a una temperatura di almeno 900 °C e il nastro viene raffreddato con una velocità di almeno 40 °C/s e avvolto a una temperatura di 300-500 °C.

JP 61 186456 descrive un acciaio comprendente, in % in peso, 0,01-0,06 C, 3,1-4,5 Si, 0,01-0,2 Mn, 0,003-0,1 Mo, 0,005-0,2

TAS.005

Notarbartolo & Gervasi S.r.l.

Sb, 0,005-0,1 S e/o Se, e almeno uno tra 0,01-0,03 Cr, 0,01-0,5 Cu, 0,005-0,2 Sn.

JP 61 79722-A descrive un acciaio comprendente, in % in peso, meno dello 0,085 C, 2-4 Si, 0,03-0,1 Mn, 0,01-0,05 Al solubile in acido, e in aggiunta 0,03-0,5 Sn e 0,02-0,3 Cu; si specifica che lo Sn contribuisce ad affinare i grani nella ricristallizzazione secondaria mentre Cu migliora l'aderenza dei rivestimenti finali vetrosi; entrambi questi elementi fungono da inibitori di crescita del grano.

In BE 894039 si descrive un acciaio comprendente Sn e Cu in rapporto tra 0,5:1 e 1:1. Il nastro laminato a caldo subisce una ricottura di precipitazione a 950-1200 °C per 0,5-30 min e quindi è raffreddato rapidamente per precipitare AlN.

BE 894038 descrive un processo di trasformazione di un acciaio al Si comprendente, in % in peso, lo 0,02-0,2 Cu, in cui la temperatura di ingresso del nastro nell'ultima gabbia di laminazione a caldo è di 1100-1250 °C mentre quella di uscita è 900-1050 °C per la parte superiore del nastro, mentre è di 950-1100 °C per le parti centrale e inferiore.

JP 01 309924-A descrive un processo di trattamento di acciaio al Si in cui la bramma viene riscaldata a una temperatura al massimo pari a 1270 °C, laminata a caldo con una temperatura di uscita di 700-900 °C e avvolta a meno di 600 °C.

JP 02 101120-A descrive un processo che consente di eliminare la ricottura di precipitazione pur consentendo di ottenere

eccellenti caratteristiche magnetiche. Il processo comprende terminare la laminazione a caldo a una temperatura superiore a 900 °C, con la temperatura di testa e di coda del nastro, entro il 10% della sua intera lunghezza, più alta di 50-200 °C che quella del resto del nastro che viene avvolto a più di 700 °C, mantenuto in temperatura per 5-60 min e quindi raffreddato in acqua.

Descrizione dell'invenzione

E' quindi evidente come si avverta la necessità di una semplificazione e di un abbassamento di costo dei processi di produzione di lamierino in acciaio al silicio per impieghi magnetici.

La presente invenzione si propone di semplificare il processo di produzione di acciai al silicio a grano orientato, identificando le condizioni di composizione e di processo che consentono di utilizzare la colata continua di bramma sottile e di sfruttarne al meglio le caratteristiche positive, in particolare consentendo di abbassare notevolmente la segregazione e di utilizzare un minor livello di inibizione.

Secondo la presente invenzione, scegliendo accuratamente la composizione dell'acciaio, in particolare limitando fortemente il contenuto di alcuni elementi entro limiti specifici, è possibile diminuire drasticamente la temperatura di alcuni degli stadi importanti di processo, e ridurre anche l'influenza sulla qualità finale della struttura di solidificazione in colata continua.

Per quanto riguarda la composizione, il contenuto di carbonio deve essere contenuto nell'intervallo 50-350 ppm, preferibilmente 80-200 ppm, quello di zolfo nell'intervallo 50-220 ppm, preferibilmente 90-170 ppm, quello di alluminio solubile in acido tra 30 e 100 ppm, preferibilmente inferiore a 80 ppm, quello di azoto al di sotto di 60 ppm, preferibilmente tra 40 e 60 ppm.

La composizione chimica dell'acciaio, espressa in % in peso a meno di diversa indicazione, viene quindi scelta secondo la seguente specifica:

C 50-350 ppm; Si 2,5-4,0%; Mn 0,03-0,10%; S 50-220 ppm; Cu 0,1-0,4%; P < 0,1%; Sn 0,05-0,20%; Al_{sol} 30-100 ppm; N ≤ 60 ppm; il rimanente essendo essenzialmente ferro e impurezze minori. Come formatori di inibitori di crescita del grano si possono utilizzare Nb, Ti e V assieme agli o i sostituzione degli elementi classicamente utilizzati a questo scopo.

Tale intervallo compositivo appare particolarmente idoneo al colaggio in continuo in bramme sottili, di spessore inferiore a 100 mm, preferibilmente compreso tra 40 e 70 mm. La velocità di estrazione della bramma dalla lingottiera deve essere compresa tra 3,0 e 6,0 m/min, mentre l'acciaio deve avere una temperatura superiore alla temperatura di liquidus (inizio solidificazione) dell'acciaio di al massimo 40 °C, preferibilmente di 20 e 30 °C superiore a tale temperatura. D'ora in poi, per semplicità, ci si riferirà a tale temperatura come alla temperatura di

solidificazione dell'acciaio e alla prescritta differenza di temperatura coma al surriscaldamento. Da parte sua, il raffreddamento va regolato in modo che la bramma sottile venga completamente solidificata in un tempo inferiore a 120 s, preferibilmente compreso tra 40 e 100 s.

L'acciaio in uscita dalla lingottiera potrà essere sottoposto a una laminazione a caldo in continuo con il colaggio, ovvero potrà essere tagliato in bramme che saranno portate a una temperatura compresa tra 1100 e 1250 °C per un tempo compreso tra 1 e 15 minuti; la temperatura dovrà essere mantenuta uniforme lungo tutta la bramma, con variazioni comprese entro un intervallo di 25 °C.

In ogni caso, all'ingresso del treno di laminazione, la temperatura dell'acciaio sarà compresa tra 950 e 1100 °C, e sarà mantenuta entro un intervallo di 30 °C; si produce così un nastro di spessore inferiore a 3 mm, preferibilmente compreso tra 2 e 2,5 mm, con una temperatura di uscita dal treno finitore compresa tra 900 e 1050 °C. Dopo un tempo compreso tra 5 e 10 s si inizia un raffreddamento forzato del nastro laminato a caldo, preferibilmente in acqua, e il nastro viene avvolto in bobine a una temperatura compresa tra 500 e 800 °C.

Successivamente, le bobine vengono svolte e il nastro a caldo è ricotto a una temperatura compresa tra 900 e 1150 °C, successivamente raffreddato a 850-1000 °C, con una sosta a tale temperatura e quindi raffreddato rapidamente, preferibilmente in

acqua e vapore, a partire da una temperatura di 750-850 °C.

In almeno una delle zone del forno in cui il nastro rimane a temperatura costante, l'atmosfera del forno stesso è del tipo ossidante, in modo da assicurare una decarburazione del nastro fino a una profondità compresa tra il 10 e il 35% dello spessore del nastro, preferibilmente tra 20 e il 30 %.

Il nastro viene quindi laminato a freddo, curando che l'ultimo stadio di laminazione produca una riduzione di spessore compresa tra il 60 e l'80%.

Infine, durante la ricottura di ricristallizzazione e di decarburazione, si adottano le accortezze standard per questi materiali. Tuttavia, la composizione di partenza consente di mantenere, nella ricottura di decarburazione, le temperature di trattamento, tra 800 e 900 °C, preferibilmente tra 830 e 880 °C; la velocità di riscaldamento del nastro prevede il raggiungimento di 750 °C in un tempo compreso tra 10 e 80 s, preferibilmente tra 40 e 60 s.

La presente invenzione sarà ora illustrata con maggior precisione in relazione ad alcuni esempi pratici di attuazione, esclusivamente didascalici e che non intendono limitare in alcun modo l'ampiezza dell'invenzione stessa.

ESEMPIO 1

Sono state utilizzate le seguenti composizioni:

TAS.005

Notarbartolo & Gervasi S.r.l.

ELEMENTO	COMPOSIZIONE						
	A	B	C	D	E	F	G
Si, %	3,50	3,80	3,35	3,30	3,25	3,18	3,30
C, ppm	200	90	190	630	330	300	150
Mn, ppm	630	750	700	690	730	690	680
S, ppm	240	100	180	230	260	260	150
Cu, %	0,09	0,23	0,02	0,15	0,10	0,07	0,19
Sn, %	0,08	0,01	0,009	0,015	0,008	0,003	0,08
Al _s , ppm	70	80	50	250	20	30	70
N, ppm	60	50	40	80	40	50	50

Le composizioni B, C, G rientrano nel campo dell'invenzione, la A ne usciva per il contenuto di S, la composizione D è una composizione tipica dei lamierini al silicio a elevata permeabilità magnetica (qualità superiore a quella degli acciai della presente invenzione), le composizioni E e F si riferiscono a tipi classici di lamierini a grano orientato convenzionali. Le composizioni F e G sono state lavorate, a partire dal colaggio, secondo il ciclo tradizionale del grano orientato convenzionale, ben noto agli esperti.

Le composizioni A, B, C, D, E sono state lavorate secondo il seguente ciclo:

COLAGGIO

Colaggio in bramme di spessore pari a 60 mm, con una temperatura del colato maggiore di quella di inizio solidificazione (surriscaldamento) di 25 °C e una velocità di estrazione della bramma

di 4,8 m/min. Il tempo di solidificazione è stato mantenuto in 55-60 s.

Le bramme sottili sono state quindi portate a una temperatura di 1170-1180 °C e quindi laminate a caldo, con una temperatura di ingresso al finitore di 1040 °C; tale temperatura è stata mantenuta entro un intervallo di 20 °C. La temperatura di uscita dal finitore era compresa tra 990 e 1010 °C. Lo spessore ottenuto era di 2,5 mm.

Per le composizioni B,C,D,E il raffreddamento del nastro è stato iniziato 9 s dopo la sua uscita dal finitore, mentre la composizione A ha subito un raffreddamento immediato.

La temperatura di avvolgimento era compresa tra i 550 e i 600 °C.

I nastri a caldo così ottenuti sono stati ricotti in continuo in accordo alle seguenti modalità:

riscaldamento a 1000 °C in atmosfera umida, successivo raffreddamento a 850 °C e quindi tempra in acqua bollente (100 °C).

I nastri sono stati quindi laminati a freddo a due spessori intermedi, di 1,2 mm (per spessore finale di 0,30 mm) e 0,85 mm (per spessore finale di 0,23 mm).

I nastri di spessore intermedio sono stati ricotti a 980 °C per 60 s.

La ricottura di decarburazione è avvenuta a 850 °C con velocità di riscaldamento fino a 750 °C di 15 °C/s.

I trattamenti finali di creazione del glass film, di termo-

spianatura e di deposizione del rivestimento isolante, sono stati effettuati in modo convenzionale.

Le caratteristiche magnetiche ottenute, espresse come permeabilità magnetica in un campo di 800 amperspira/metro, in Tesla (T), e di perdite al nucleo a 1,5 e 1,7 Tesla e a 50 Hz, in W/kg, sono riportate in tabella:

SPESSORE 0,30 mm

CARATTERISTICHE MAGNETICHE	COMPOSIZIONI						
	A	B	C	D	E	F	G
B(800), T	1,720	1,840	1,860	1,575	1,625	1,830	1,675
P 1,7, W/kg	1,68	1,16	1,18	2,19	2,15	1,22	2,08
P 1,5, W/kg	0,94	0,76	0,78	1,42	1,40	0,84	1,39

SPESSORE 0,23 mm

CARATTERISTICHE MAGNETICHE	COMPOSIZIONI						
	A	B	C	D	E	F	G
B(800), T	1,780	1,840	1,850	1,568	1,574	1,840	1,590
P 1,7, W/kg	1,48	1,08	1,09	2,40	2,12	1,18	2,05
P 1,5, W/kg	0,90	0,63	0,65	1,35	1,39	0,72	1,36

Si vede come il trattamento secondo la presente invenzione permetta di ottenere un prodotto di qualità analoga a quella di un buon grano orientato, pur consentendo notevoli vantaggi dal punto di vista del risparmio energetico e della semplificazione del ciclo.

ESEMPIO 2

E' stato preparato un acciaio della seguente composizione (le percentuali sono in peso): Si 3,34%; C 290 ppm; Mn 700 ppm; S 180 pm; Cu 0,08%; Sn 0,010%; Al_s 70 ppm; N 60 ppm.

Il trattamento è stato corrispondente a quello dell'Esempio 1, tranne che le bramme sono state riscaldate a 1150 °C e lo spessore del nastro a caldo era di 2,1 mm.

I nastri sono stati quindi laminati agli spessori intermedi riportati nella seguente tabella, e per ciascuno spessore intermedio è stato applicato un tasso di riduzione finale opportuno, per raggiungere lo spessore finale di 0,29 mm.

I nastri intermedi sono stati ricotti a 1000 °C.

In tabella, sono anche riportate le permeabilità magnetiche ottenute, B₈₀₀, in Tesla.

SPESSORE									
INTERM. (mm)	1,8	1,7	1,5	1,3	1,1	0,9	0,7	0,5	
2° RIDUZ. (%)	84	83	81	78	74	68	58	42	
B ₈₀₀ , T	1,77	1,79	1,84	1,86	1,87	1,86	1,83	1,75	

Si vede chiaramente come solo mantenendo il tasso finale di laminazione a freddo nell'intervallo secondo l'invenzione si riescono a ottenere qualità finali congrue con il tipo di prodotto voluto.

ESEMPIO 3

E' stato preparato un acciaio avente la seguente composizione (le percentuali sono espresse in peso): Si 3,4 %; C 150 ppm; Mn 730 ppm; S 150 ppm; Cu 0,20 %; Sn 0,008 %; Al_s 80 ppm; N 50 ppm.

TAS.005

Notarbartolo & Gervasi S.r.l.

Tale acciaio è stato colato in bramma sottile come nell'esempio 1, tranne che parte dell'acciaio è stato colato con un surriscaldamento di 50 °C (condizione A), anziché di 25 °C (condizione B); tutti gli altri parametri di processo sono stati mantenuti simili all'esempio 1.

Nella seguente tabella sono riportate le caratteristiche magnetiche ottenute per spessori finali di nastro a caldo di 0,30 e 0,23 mm:

CARATTERISTICHE MAGNETICHE	CONDIZIONE A		CONDIZIONE B	
	0,30 mm	0,23 mm	0,30 mm	0,23 mm
B ₈₀₀ , T	1,805	1,610	1,850	1,855
P _{1,7} , W/kg	1,21	2,05	1,12	1,06
P _{1,5} , W/kg	0,83	1,38	0,75	0,65

Anche in questo caso, si nota l'importanza di seguire la presente invenzione e la criticità delle condizioni di colata, che consentono di ottenere buoni valori di caratteristiche magnetiche, allineati con quelli dei migliori prodotti presenti sul mercato.

Altri esperimenti, effettuati esplorando le forcelle sopra indicate per i parametri compositivi e di processo secondo l'invenzione, hanno dato risultati analoghi a quelli già riportati.

/GM

Roma, li

16 OTT. 1995

per ACCIAI SPECIALI TERNI S.p.A.
Il Mandatario
Dr. G. Mariani
della NOTARBARTOLO & GERVASI S.r.l.



TAS.005

Notarbartolo & Gervasi S.r.l.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per la preparazione di nastri di acciaio al silicio a grano orientato, in cui un acciaio di composizione voluta viene prodotto allo stato fuso, colato in continuo in forma di bramme sottili, queste vengono inviate alla stazione di laminazione a caldo per ottenere un nastro di spessore voluto, il nastro viene avvolto in bobine che in seguito vengono svolte e laminate a freddo allo spessore finale voluto, il nastro a freddo così prodotto subendo infine i trattamenti finali, tra cui la ricottura di decarburazione e quella di ricristallizzazione, caratterizzato dal fatto di prevedere la combinazione in relazione di cooperazione delle operazioni di:

a) scegliere una composizione di acciaio comprendente, in % in peso, da 0,0050 a 0,0350% di C, dal 2,5 al 4,0 % di Si, dallo 0,03 allo 0,1 % di Mn, dallo 0,0050 allo 0,022 % di S, dallo 0,1 allo 0,4 % di Cu, dallo 0,05 allo 0,20 % di Sn, dallo 0,0030 allo 0,010 % di Al_s , meno di 0,0060 % di N, meno dello 0,1 % di P, il restante essendo ferro e impurezze minori;

b) colare in continuo detto acciaio in bramme di spessore inferiore a 100 mm, utilizzando una velocità di estrazione dalla lingottiera compresa tra 3,0 e 6,0 m/s, e con la temperatura dell'acciaio liquido colato in lingottiera maggiore della temperatura di inizio solidificazione dell'acciaio di non più di 40 °C, e raffreddando in modo da ottenere una completa solidificazione dell'acciaio in un tempo inferiore a 120 s;

c) laminare a caldo le bramme, mantenendo all'ingresso al treno finitore una temperatura compresa tra 950 e 1100 °C, entro un intervallo totale di 30 °C, per tutta la lunghezza dello sbozzato, mentre in uscita dal treno finitore la temperatura è mantenuta tra 900 e 1050 °C;

d) raffreddare il nastro in uscita dal finitore fino a una temperatura di avvolgimento compresa tra 500 e 800 °C, curando di iniziare il raffreddamento dopo un tempo, dall'uscita dal finitore, compreso tra 5 e 10 s;

e) ricuocere il nastro a caldo a una temperatura compresa tra 900 e 1150 °C in atmosfera ossidante controllata, raffreddarlo fino a una temperatura di 850-1000 °C e raffreddarlo rapidamente a partire da una temperatura compresa tra 750 e 850 °C;

f) laminare a freddo fino allo spessore finale in almeno due passate di riduzione;

g) eseguire i consueti trattamenti finali, curando che la temperatura di riscaldamento del nastro a freddo durante la ricottura di decarburazione consenta di raggiungere i 750 °C in un tempo compreso tra 10 e 80 s.

2. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che l'acciaio contiene dallo 0,008 allo 0,020 % di C.

3. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che l'acciaio contiene dallo 0,0090 allo 0,0170 % di S.

4. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che il contenuto di azoto è preferibilmente compreso tra

lo 0,0040 e lo 0,0060 %.

5. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che il contenuto di alluminio solubile in acido è minore di 0,0080%.

6. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che la temperatura dell'acciaio liquido è maggiore di 20-30 °C alla temperatura di inizio solidificazione.

7. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che l'acciaio subisce la completa solidificazione in un tempo compreso tra 40 e 100 s.

8. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che l'acciaio solidificato in uscita dalla lingottiera viene tagliato in bramme che sono mantenute per un tempo compreso tra 1 e 15 minuti a una temperatura compresa tra 1100 e 1250 °C, con una costanza di temperatura nelle bramme entro i 25 °C.

9. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che durante la ricottura del nastro a caldo prima della laminazione a freddo, il nastro stesso subisce una decarburazione avente una profondità compresa tra il 10 e il 35 % dello spessore del nastro.

10. Procedimento secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che nella ricottura di ricristallizzazione e decarburazione la temperatura di trattamento è compresa tra 800 e 900 °C, mentre durante il riscaldamento la temperatura di 750

TAS.005

Notarbartolo & Gervasi S.r.l.

°C viene raggiunta in un tempo compreso tra 10 e 80 S.

11. Procedimento secondo la rivendicazione 10, caratterizzato dal fatto che la temperatura di trattamento è compresa tra 830 e 880 °C, mentre durante il riscaldamento la temperatura di 750 °C viene raggiunta in un tempo compreso tra 40 e 60 s.

/GM

Roma, li **16 OTT. 1995**

per ACCIAI SPECIALI TERNI S.p.A.

Il Mandatario

Dr. G. Mariani

della NOTARBARTOLO & GERVASI S.r.l.

