



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

252183
(11) (B1)

(51) Int. Cl.⁴
C 21 D 8/12

(22) Přihlášeno 10 10 84
(21) (PV 7672-84)

(40) Zveřejněno 15 01 87

(45) Vydáno 15 11 88

(75)

Autor vynálezu

ŽÍDEK ARTUR ing., PÁCL PETR ing., ČECH DRAHOMÍR ing.,
FRÝDEK-MÍSTEK

(54) Způsob výroby orientovaných transformátorových plechů

1

2

Způsobu výroby orientovaných transformátorových plechů z výchozího pásu o hmotnostním obsahu 2,7 až 3,4 % křemíku, 0,05 až 0,20 % manganu, 0,02 až 0,05 % uhlíku, 0,002 až 0,020 % síry, 0,02 až 0,30 proc. mědi, maximálně 0,015 % v kyselinách rozpustného hliníku, 0,005 až 0,012 % dusíku, maximálně 0,005 % kyslíku a další nezbytné nečistoty, zbytek železo, kterýžto pás se válcuje za tepla z bram ohřátých na teplotu 1 240 až 1 340 °C, při kterémžto válcování při dosažení tloušťky 15 až 40 milimetrů poklesne teplota předvalku maximálně na 1 060 °C a při dosažení konečné tloušťky 1,8 až 3,0 mm poklesne teplota pásu maximálně na 800 °C, načež se pás svine za teploty 500 až 700 °C a dále se pás žihá, moří, válcuje za studena ve dvou stupních s mezižiháním na konečnou tloušťku 0,2 až 0,4 mm, oduhličuje, pokrývá vodní suspenzí kysličníku hořčíku MgO a vysokoteplotně žihá na teplotu 1 100 až 1 200 stupňů Celsia v suchém vodíku, odstraňuje se zbytky kysličníku hořčíku z obou povrchů pásu a podrobuje se rovnacímu žihání s nanášením elektrotechnické izolace, přičemž podstata řešení spočívá v optimalizaci podmínek vstupního žihání, válcování za studena, mezižihání, dalšího válcování za studena, oduhličování a žihání.

Vynález se týká způsobu výroby orientovaných transformátorových plechů z křemíkové oceli s tzv. Gossovou texturou, vyjádřenou Milerovými indexy {110}/001/.

Je známo, že výchozí ocel obsahuje zpravidla 2,0 až 4,0 hmotnostních % křemíku, 0,02 až 0,08 hmotnostního % uhlíku, 0,02 až 0,20 hmotnostního % manganu, 0,002 až 0,100 hmotnostního % síry, selenu nebo telluru a další nečistoty jako hliník, dusík, kyslík a jiné nečistoty a zbytek železo. Ocel se odlévá do kokil nebo kontinuálně, válcuje za tepla na pás, žihá a moří a válcuje za studena na tloušťku 0,1 až 0,5 mm v jednom stupni nebo ve více stupních s mezižiháním, oduhličuje a konečně žihá vysokoteplotně nad 1 000 °C pro dosažení požadované textury. U konečného výrobku se požadují co nejnižší ztráty při přemagnetování při co nejvyšší magnetické indukci, což se využívá v jádrech transformátorů, skládaných nebo vinutých z těchto pásů.

Je známo několik modifikovaných výrobních postupů, které vyvinuli různí světoví výrobci. Tyto postupy se liší nejen složením výchozí oceli, zejména obsahem manganu, uhlíku, hliníku, síry, dusíku a nezbytných nečistot, ale v návaznosti také parametry jednotlivých technologických operací celého zpracování, jako režimem válcování za tepla, redukcemi při válcování za studena, teplotami, výdržemi a atmosférami při žihání apod.

Jedině při určité optimální kombinaci všech technologických parametrů celého postupu se dosahuje nejlepších konečných magnetických vlastností orientovaného transformátorového pásu.

Tento vynález se týká způsobu výroby, kdy výchozí ocel obsahuje v hmotnostních proc. 2,5 až 3,5 % křemíku, 0,05 až 0,20 % manganu, 0,02 až 0,05 % uhlíku, 0,02 až 0,03 proc. mědi, 0,002 až 0,020 % síry, méně než 0,015 % v kyselinách rozpustného hliníku a další nezbytné nečistoty, zbytek železo, přičemž poměr obsahu manganu a síry je 5 až 40; tato ocel se odlévá do kokil nebo kontinuálně, válcuje za tepla z teplot 1 240 až 1 360 °C na pás tloušťky 1,8 až 3,0 mm, žihá, moří, válcuje za studena ve dvou stupních s mezižiháním na konečnou tloušťku 0,2 až 0,4 mm s celkovou redukcí ve druhém stupni 50 až 60 %, oduhličuje a konečně žihá vysokoteplotně v ochranné atmosféře vodíku nad 1 000 °C pro dosažení požadované textury, přičemž ohřev v teplotní oblasti 800 až 1 000 °C se provádí rychlostí okolo 30 °C za hodinu.

Nevýhodou tohoto postupu je skutečnost, že jím lze dosáhnout pouze průměrné magnetické vlastnosti hotového výrobku, neboť maximální dosažené hodnoty magnetické indukce při intenzitě magnetického pole 1 000 A · m⁻¹ činí 1,70 až 1,75 Tesla a měrné ztráty P_{1,5} při indukci 1,5 Tesla jsou větší než 1,2 W/kg. Kromě toho se

projevuje obtížná technologická zpracovatelnost a tvařitelnost pásu a velmi kolísající jakost daná kolísající strukturou pásu.

Tuto nevýhodu odstraňuje způsob výroby orientovaných transformátorových plechů z výchozího pásu o hmotnostním obsahu 2,7 až 3,4 % křemíku, 0,05 až 0,20 % manganu, 0,02 až 0,05 % uhlíku, 0,002 až 0,020 % síry, 0,02 až 0,3 % mědi, maximálně 0,015 % v kyselinách rozpustného hliníku, 0,005 až 0,012 % dusíku, maximálně 0,005 % kyslíku a další nezbytné nečistoty, zbytek železo, kterýžto pás se válcuje za tepla z bram ohřátých na teplotu 1 240 až 1 340 °C, při kterémžto válcování při dosažení tloušťky 15 až 40 mm poklesne teplota předvátku maximálně na 1 600 °C a při dosažení konečné tloušťky 1,8 až 3,0 mm poklesne teplota pásu maximálně na 800 °C, načež se pás svine za teploty 500 až 700 °C a dále se pás žihá, moří, válcuje za studena ve dvou stupních s mezižiháním na konečnou tloušťku 0,2 až 0,4 mm, oduhličuje, pokrývá vodní suspenzí kysličníku hořčíku a vysokoteplotně žihá na teplotu 1 100 až 1 200 stupňů Celsia v suchém vodíku, odstraňují se zbytky kysličníku hořčíku z obou povrchů pásu a podrobuje se rovnacímu žihání s nanášením elektrotechnické izolace, podle vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že vstupní žihání se provádí na teplotu 900 až 1 000 °C po dobu 30 až 120 sec s ochlazením na teplotu 400 až 600 °C za dobu 1 až 10 min a dále až na teplotu 20 až 100 °C rychlostí 300 až 1 000 °C za min, načež po ochlazení a omoření nejpozději však do 8 týdnů se pás ohřívá na teplotu 60 až 200 °C a válcuje za studena v prvním stupni na tloušťku 0,6 až 1,0 mm s celkovou redukcí 55 až 80 %, přičemž první úběr činí 35 až 50 %, potom, nejpozději však za 48 hod, se provede mezižihání s oduhličením na méně než 0,02 hmotnostních % při teplotě 850 až 950 °C po dobu 30 až 120 sec v atmosféře vodíko-dusíkové vlhčené na rosný bod +20 až +50 °C, při kterémžto mezižihání se udržuje prodloužení pásu 0,1 až 0,5 %, načež se pás válcuje za studena na konečnou tloušťku 0,25 až 0,35 mm s celkovou deformací 52 až 75 %, přičemž první úběr činí 35 až 50 %, poté se pás oduhličí na 0,001 až 0,006 % hmotnostního uhlíku při teplotě 780 až 850 °C po dobu 120 až 240 sec ve vodíko-dusíkové atmosféře vlhčené na rosný bod +20 až +50 °C, při kterémžto oduhličení se udržuje prodloužení pásu 0,1 až 0,5 %, pás se pokryje vodní suspenzí kysličníku hořečnatého a poté, nejpozději však do 4 týdnů se svitky vysokoteplotně žihají, přičemž se ohřívají na teplotu 550 až 650 °C s výdrží na této teplotě po dobu 5 až 20 hod, následuje ohřev na teplotu 1 150 až 1 200 °C za dobu 20 až 40 hod s výdrží na této teplotě po dobu 20 až 40 hod a poté se svitky ochlazují na teplotu okolí, přičemž po celou dobu ohřevu až do teploty 1 150 až 1 200

stupňů Celsia a po dobu ochlazování je do pece vháněna sušená vodíko-dusíková atmosféra s rosným bodem -30 až -80 °C, zatímco po dobu výdrže na teplotě 1150 až 1200 °C je do pece vháněna sušená vodíková atmosféra s rosným bodem -30 až -80 stupňů Celsia, přičemž atmosféra při ochlazování je prostá nerozštěpeného čpavku nebo obsahuje nejvíce $0,1$ % objemových nerozštěpeného čpavku a po odstranění zbytků kysličníku hořečnatého z obou povrchů pásu se provádí rovnací žíhání na teplotu 780 až 840 °C po dobu 30 až 120 sec, při kterém se udržuje prodloužení $0,1$ až $0,4$ %.

Výše uvedeným postupem podle vynálezu se získají hodnoty magnetické indukce B_{1000} minimálně $1,80$ Tesla a velmi nízké hodnoty měrných ztrát, což nelze dosáhnout v případě změny kteréhokoliv parametru zpracování mimo uvedené optimální rozmezí. Neprojevují se obtíže se zpracovatelností pásu, struktura pásu je rovnoměrná a v důsledku toho se dosáhnou rovnoměrné magnetické vlastnosti po délce pásu.

V příkladném provedení byl zpracován za tepla válcovaný pás tloušťky $2,5$ mm o složení v hmotnostních % $3,0$ % křemíku, $0,15$ procent manganu, $0,03$ % uhlíku, $0,012$ % síry, $0,04$ % mědi, $0,008$ % v kyselinách rozpustného hliníku, $0,008$ % dusíku a $0,003$ % kyslíku, zbytek železo a nečistoty. Pás byl vyroben válcováním za tepla z teploty 1320 stupňů Celsia postupným ztenčováním na tloušťku 25 mm za poklesu teploty do 1070 stupňů Celsia a dále na konečnou tloušťku $2,4$ mm za poklesu teploty do 870 °C, načež byl pás svinut za teploty 630 °C. Takto vyrobený pás se žihá za teploty 950 °C po dobu 60 sec v atmosféře spalín, načež se ochlazuje do teploty 500 °C za dobu 90 sec a dále se ochlazuje na teplotu 50 °C rychlostí 450 stupňů Celsia. Poté se pás moří a za jeden týden se válcuje za studena na tloušťku $0,7$ milimetrů s celkovou redukcí 72 % a redukcí při prvním úběru 40 %, přičemž před válcováním se svitek ohřeje na teplotu 80 °C

ve vařící vodě. Za 16 hodin se pás žihá na teplotu 900 °C po dobu 16 sec v atmosféře obsahující objemově 25 % dusíku a 75 % vodíku s rosným bodem $+40$ °C tak, že dojde k prodloužení pásu 4 mm na délce 1 metru. Pak se pás válcuje za studena na tloušťku $0,3$ mm s celkovou redukcí 57 % a redukcí při prvním úběru 40 %, následuje oduhličování pásu za teploty 820 °C po dobu 150 sec v atmosféře obsahující objemově 25 % dusíku a 75 % vodíku s rosným bodem $+40$ stupňů Celsia, při kterém se sníží obsah uhlíku na $0,003$ hmotnostního % a prodloužení pásu je 3 mm na délce jednoho metru, načež se pás pokryje vodní suspenzí kysličníku hořečnického a povlak se za tepla vysuší. Za jeden týden se pás žihá vysokoteplotně ve svitku, a to tak, že se provede ohřev na teplotu 600 °C, výdrž na teplotě 10 hod, ohřev na teplotu 1150 °C za 30 hod a výdrž na teplotě 25 hod a poté se svitky ochlazují na teplotu okolí, přičemž po celou dobu ohřevu do teploty 800 °C a po celou dobu ochlazování z teploty 1150 °C je do pece vháněna ochranná atmosféra vodíko-dusíková s rosným bodem -60 °C a po dobu ohřevu z teploty 800 °C na teplotu 1150 °C a po dobu výdrže na této teplotě je do pece vháněna ochranná atmosféra vodíku s rosným bodem -60 °C, přičemž atmosféra při ochlazování z teploty 1150 °C obsahuje $0,02$ % objemových % nerozštěpeného čpavku. Po ukončení vysokoteplotního žíhání se odstraní z povrchu pásu zbytky kysličníku hořečnického, nanesou se elektrotechnická izolace a provede se rovnací žíhání za teploty 800 °C po dobu 60 sec, přičemž se pás prodlouží o $0,02$ %.

Vyroběný pás má magnetickou indukci $B_{1000}=1,82$ Tesla a měrné ztráty při indukci $1,5$ Tesla $P_{1,5}=0,92$ W/kg, přičemž v důsledku rovnoměrné struktury pásu kolísají měrné ztráty po délce pásu pouze o $\pm 0,02$ W/kg. V průběhu zpracování se pás dobře tváří a neprojevuje se mezioperační křehkost pásu.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

Způsob výroby orientovaných transformátorových plechů z výchozího pásu o hmotnostním obsahu $2,7$ až $3,4$ % křemíku, $0,05$ až $0,20$ % manganu, $0,02$ až $0,05$ % uhlíku, $0,002$ až $0,020$ % síry, $0,02$ až $0,3$ % mědi, maximálně $0,015$ % v kyselinách rozpustného hliníku, $0,005$ až $0,012$ % dusíku, maximálně $0,005$ % kyslíku a dalších nezbytné nečistoty, zbytek železo, kterýžto pás se válcuje za tepla z bran ohřátých na teplotu 1240 až 1340 °C, při kterémžto válcování při dosažení tloušťky 15 až 40 mm poklesne teplota předvalku maximálně na 1060 °C a při dosažení konečné tloušťky $1,8$ až $3,0$ mm poklesne teplota pásu maximálně na 800 °C, načež se pás svine za teploty 500 až 700 °C a dále se pás žihá, moří, válcuje za stude-

na ve dvou stupních s mezižíháním na konečnou tloušťku $0,2$ až $0,4$ mm, oduhličuje, pokrývá vodní suspenzí kysličníku hořečnického a vysokoteplotně žihá na teplotu 1100 až 1200 °C v suchém vodíku, odstraňují se zbytky kysličníku hořečnického z obou povrchů pásu a podrobuje se rovnacímu žíhání s nanášením elektrotechnické izolace, vyznačující se tím, že vstupní žíhání se provádí na teplotu 900 až 1000 °C po dobu 30 až 120 sec s ochlazováním na teplotu 400 až 600 °C za dobu 1 až 10 min a dále až na teplotu 20 až 100 °C rychlostí 300 až 1000 °C za minutu, načež po ochlazení a moření nejpozději však do 8 týdnů se pás ohřívá na teplotu 60 až 200 °C a válcuje za studena v prvním

stupni na tloušťku 0,6 až 1,0 mm s celkovou redukcí 55 až 80 %, přičemž první úběr činí 35 až 50 %, potom, nejpozději však za 48 hodin, se provede mezižihání s oduhličením na méně než 0,02 hmotnostních uhlíku při teplotě 850 až 950 °C po dobu 30 až 120 sec v atmosféře vodíku-dusíkové, vlhčené na rosný bod +20 až +50 °C, při kterémžto mezižihání se udržuje prodloužení pásu 0,1 až 0,5 %, načež se pás válcuje za studena na konečnou tloušťku 0,25 až 0,35 mm s celkovou deformací 52 až 75 %, přičemž první úběr činí 35 až 50 %, poté se pás oduhličí na 0,011 až 0,006 % hmotnostního uhlíku při teplotě 780 až 850 °C po dobu 120 až 240 sec ve vodíko-dusíkové atmosféře, vlhčené na rosný bod +20 až +50 °C, při kterémžto oduhličení se udržuje prodloužení pásu 0,1 až 0,5 %, pás se pokryje vodní suspenzí kyslíčnicku hořečnatého a poté, nejpozději však do 4 týdnů se svitky vysokoteplotně žíhají,

přičemž se ohřívají na teplotu 550 až 650 °C s výdrží na této teplotě po dobu 5 až 20 hod, následuje ohřev na teplotu 1 150 až 1 200 °C za dobu 20 až 40 hodin s výdrží na této teplotě po dobu 20 až 40 hodin a poté se svitky ochlazují na teplotu okolí, přičemž po celou dobu ohřevu až do teploty 1 150 až 1 200 °C a po dobu ochlazování je do pece vháněna sušená vodíková nebo vodíko-dusíková atmosféra s rosným bodem -30 až -80 °C, zatímco po dobu výdrže na teplotě 1 150 až 1 200 °C je do pece vháněna sušená vodíková atmosféra s rosným bodem -30 až -80 °C, přičemž atmosféra při ochlazování je prostá nerozštěpeného čpavku nebo obsahuje nejvíce 0,1 % objemových nerozštěpeného čpavku a po odstranění zbytků kyslíčnicku hořečnatého z obou povrchů pásu se provádí rovnací žíhání na teplotu 780 až 840 °C po dobu 30 až 120 sec, při kterém se udržuje prodloužení 0,1 až 0,4 %.