



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

195092

(11)

(B1)

(51) Int. Cl.³
C 22 C 38/02

/22/ Přihlášeno 28 07 77
/21/ /PV 5008-77/

(10) Zveřejněno 28 04 79

(45) Vydáno 15 04 82

(75)

Autor vynálezu

PÁČL PETR ing., FRÝDEK-MÍSTEK, HANZL PAVEL ing., OSTRAVA,
BENDA PETR ing., FRÝDEK-MÍSTEK, URBANEC MILAN ing., TRINEC,
SZLAUER JIŘÍ ing., TRINEC a PRIBULA PAVEL ing., KOŠICE

(54) Způsob výroby orientovaných transformátorových pásů

1

Vynález se týká způsobu výroby za studena válcovaných pásů z křemíkové oceli.

Je známo, že výchozí ocel obsahuje zpravidla 2,0 až 4,0 % hmot. křemíku, 0,02 až 0,08 % hmot. uhlíku, 0,003 až 0,100 % hmot. síry nebo selenu nebo teluru nebo kombinace těchto prvků, 0,03 až 0,20 % hmot. manganu a zbytek je tvořen železem a nečistotami. Ocel se odlévá do kokil nebo kontinuálně, válcuje se za tepla, po omoření se válcuje za studena na konečnou tloušťku 0,1 až 0,5 mm ve dvou etapách s mezižiháním, oduhlíkuje a žihá vysokoteplotně nad 1000 °C pro dosažení požadované textury. U konečného výrobku se požadují co nejnížší ztráty při přemagnetování, což se využívá v jádrech transformátorů, skládaných nebo vinutých z těchto pásů. Kromě toho je nutné, aby pás byl dobře zpracovatelný, tj. měl vyhovující mechanické vlastnosti, které se obvykle hodnotí počtem střídivých ohybů. Vzhledem k vysokému stupni textury, velkému zrna a vysokému obsahu křemíku není dosažení vyhovujících mechanických vlastností jednoduché a v průmyslových podmínkách často bývá část výroby zmetkována pro křehkost pásu, respektive nevyhovující mechanické vlastnosti.

Technologie výroby za studena válcovaných křemíkových pásů s Gossovou texturou byla dosud koncipována s cílem dosáhnout co nejlepších magnetických vlastností výrobku, tj. orientovaného pásu. Vynikající magnetické vlastnosti se dosahují pomocí ve struktuře jemně rozptýlených precipitátů, které v průběhu válcování za studena a žihání ovlivňují texturotvorné procesy v ma-

2

teriálu a vznik Gossovy textury při konečném žihání.

Od podání původního patentu N. P. Gosse v roce 1934 č. 1 965 559 se technologie neustále zlepšovala s cílem dosáhnout co nejlepších magnetických vlastností. U původní technologie se využívá pro řízení texturotvorných procesů sulfidů manganu.

Podle jiné technologie se pro dosažení vynikajících magnetických vlastností doporučuje přidávek hliníku do oceli. Pro řízení texturotvorných procesů se využívá v tomto případě společného účinku sulfidů a nitrů hliníku, což si žádá odlišný způsob válcování a žihání proti technologii, využívající pouze účinku sulfidů. Kromě toho v těchto patentech se požaduje obsah hliníku nad 0,010 % hmot.

Malý přidávek hliníku do 0,005 % hmot. do oceli se doporučuje v některých případech také u technologie, využívající účinku sulfidů, avšak přidávek hliníku jako desoxidantů se váže na množství kyslíku v oceli. Cílem desoxidace hliníku je dosažení příznivého poměru $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ v kyslíčnickových vměstcích, a tím odstranění obtíží s rozpouštěním sulfidů v bramách před jejich následující precipitací v účinné formě v průběhu válcování za tepla.

U odběratelů orientovaného transformátorového pásu, tj. především u výrobců transformátorů, se pás podélně dělí, stříhá, popřípadě se z něj razí různé tvary, které se potom skládají a tvoří magnetický obvod transformátoru, tzv. jádra. U všech těchto operací je důležité, aby pás nepraskal a nelámал se, tj. měl zaručenou nějakou mini-

mální odolnost vůči mechanickému namáhání. Tato odolnost se posuzuje zpravidla tzv. zkouškou střídavým ohybem.

Mnoholetá výrobní zkušenost potvrzuje, že ne vždy se daří tuto podmínku splnit. Často se vyskytují případy, že orientovaný pás nevyhovuje dohodnutým kritériím, tj. při zkoušce střídavým ohybem se nedosáhne alespoň minimálního počtu ohybů, například 3 ohyby. Takový pás, přestože má vynikající magnetické vlastnosti, je nezpracovatelný, a tedy neupotřebitelný.

Uvedené nevýhody odstraňuje způsob výroby orientovaných transformátorových pásů z ocelových bram, jejich vyválcováním na pás, mořením, válcováním za studena s mezižiháním, oduhličením a vysokoteplotním žiháním při teplotě 1000 °C až 1200 °C, podle vynálezu. Podstata vynálezu spočívá v tom, že ocelové pásy, obsahující kromě železa a nečistot 0,02 až 0,08 % hmot. uhlíku, 2,0 až 4,0 % hmot. křemíku, 0,02 až 0,2 % hmot. manganu, 0,003 až 0,1 % hmot. síry, selenu, teluru jednotlivě nebo ve vzájemné kombinaci a 0,002 až 0,01 % hmot. hliníku, titanu, zirkonu a vanadu jednotlivě nebo v kombinaci, a to ve formě nevázané nebo ve formě vázané na dusík, se po vysokoteplotním žihání ochlazují nejméně do teploty 550 °C v prostředí vakua nebo ochranné atmosféry. Podle výhodného provedení konečné vysokoteplotní žihání a ochlazování do teploty 600 až 800 °C se provádí v atmosféře čistého vodíku s rosným bodem -20 až -80 °C.

Vzorky orientovaného pásu s malým počtem střídavých ohybů /v dalším křehký materiál/, se zkušebně podrobily různému tepelnému zpracování a stanovil se vliv tohoto zpracování na počet ohybů. Zjistilo se, že k výraznému zvýšení počtu ohybů došlo v těch případech, kdy materiál se žihál na teplotu nad 900 °C, s výhodou nad 1000 °C a rychle ochlazoval, například rychlostí 300 °C za minutu na teplotu alespoň 400 °C. V tomto případě se zvýšil počet ohybů v průměru o jeden řád, například z původních 0 až 3 ohyby na 15 až 30 ohybů. Podrobným studiem mikrostruktury pásu před a po tomto žihání se zjistilo, že u křehkých vzorků před žiháním se nachází na hranicích zrn jemný precipitát, pravděpodobně nitrid křemíku. Po žihání a rychlém ochlazení precipitát nitrid křemíku mizí, tj. rozpouští se a přechází do tuhého roztoku a hranice zrn jsou čisté.

Další zkoušky prokázaly, že precipitát vzniká již v průběhu výroby orientovaného pásu, a to v etapě ochlazování po konečném žihání svítky pásu na teploty nad 1000 °C. Pokus o úpravu režimu chlazení tak, aby bylo tvorbě precipitátu zcela zabráněno, se ukázal jako málo úspěšný, protože velká hmotnost svítky neumožňuje jednoduchým způsobem zvýšit rychlost ochlazení. Zjistilo se však, že tvorbě precipitátu nitrid křemíku lze prakticky zcela zamezit malým přídavkem hliníku nebo jiného nitridotvorného prvku, jako například vanadu, zirkonu, titanu apod., který má větší nebo alespoň stejnou afinitu k dusíku jako křemík. Předpokládá se, že nitridotvorný prvek váže na sebe prakticky veškerý dusík zbylý v oceli po rafinační výdrži při konečném vysokoteplotním žihání a zamezuje tak tvorbě nitridu křemíku po hranicích zrn při ochlazování. Způsob přidávání tohoto prvku do oceli není rozhodující, ale je nutné vytvořit přitom takové podmínky, aby alespoň malé množství tohoto prvku bylo schopno vázat na sebe dusík. Tato podmínka bude splněna tehdy, jestliže alespoň malé množství těchto prvků nebude vázáno na kyslík,

protože takto vzniklé kysličníky jsou stabilní do vysokých teplot a nitridotvorný prvek v nich obsažený není účinný pro vázání dusíku. V případě přídavku hliníku je vhodné přidávat jej po desoxidaci a legování oceli ferrosiliciem, a to tak, že množství přidaného hliníku činí 0,2 až 1,0 kg hliníku na 1 tunu tekuté oceli. Jiná možnost je dodávat do oceli hliník ve formě ferrosilicia s vyšším obsahem hliníku, například 1 až 4 % hmot. V obou případech je však s ohledem na magnetické vlastnosti nutné, aby množství v kyselinách rozpustného hliníku v oceli nepřekročilo 0,010 % hmot. V opačném případě může dojít ke zhoršení magnetických vlastností u technologie založené na účincích sulfidů, protože obsah hliníku rozpustného nad 0,010 % hmot. je typický pro značně odlišnou technologii výroby, založenou na společných účincích sulfidů a nitridů na texturotvorné procesy při zpracování. Na druhé straně, je-li obsah hliníku rozpustného v oceli nižší než 0,002 % hmot., potom se účinek podle vynálezu neprojeví.

Nejmenší nutné množství nitridotvorných prvků ze skupiny hliník, vanad, zirkon, titan ve formě nevázané na kyslík závisí na obsahu dusíku, zbylého v pásu po rafinaci, ke které dochází při výdrži nad 1000 °C při konečném vysokoteplotním žihání pro vývin textury. Proto je účelné vytvořit při tomto žihání takové podmínky, aby byl obsah dusíku snížen co nejvíce, což je také požadováno s ohledem na negativní vliv dusíku na magnetické stárnutí. Proto se zpravidla provádí toto žihání v hlubokém vakuu, anebo v čistém vodíku a je vhodné provádět v této atmosféře i ochlazování. V případě vodíkové atmosféry je vhodné použít tzv. sušený vodík, tj. atmosféru s velmi nízkým rosným bodem, zpravidla pod -20 °C, aby bylo zabráněno oxidaci materiálu. Dusík neobsahující atmosféru při ochlazování brání nadusičení materiálu, ke kterému může docházet za teplot nad 600 °C. Nízký rosný bod atmosféry brání oxidaci materiálu, která může působit rovněž negativně na křehkost v případě, že vedle oxidace železa dojde i k oxidaci nitridotvorných prvků v oceli, a tím je zabráněno tomu, aby tyto prvky byly schopné vázat na sebe dusík. Bylo zjištěno, že jestliže se provede ochlazování v atmosféře obsahující dusík, potom je nutno udržovat obsah nitridotvorných prvků v oceli na horní hranici doporučeného rozmezí 0,002 až 0,010 % hmot. ve formě nevázané na kyslík. Z uvedeného vyplývá, že ochlazování má probíhat v prostředí prostém kyslíku a dusíku.

Hlavní výhoda vynálezu se projevuje v zamezení tvorby precipitátu po hranicích zrn, který způsobuje křehkost orientovaných transformátorových pásů, tj. snižování počtu střídavých ohybů. Vynález tedy řeší podstatně zlepšení zpracovatelnosti tohoto materiálu.

Příklady provedení

P ř í k l a d 1

Desoxidovaná tekutá ocel, o složení 3,0 % hmot. křemíku, 0,030 % hmot. uhlíku, 0,06 % hmot. manganu a 0,025 % hmot. síry se v pánvi leguje kusovým hliníkem v množství 0,4 kg/t oceli. Obsah hliníku rozpustného v oceli činí 0,004 % hmot. Ocel se zpracovává běžným způsobem, tj. odlíje do kokíl, odválcuje za tepla na bramy a dále na pás tloušťky 2,5 mm. Pás se žihá, moří a potom válcuje za studena ve dvou etapách s rekrytalizačním mezižiháním na konečnou

tloušťku 0,30 mm. Dále se pás žihá při teplotě 800 °C s výdrží 2 min. ve vlhkém vodíku pro oduhličení a nakonec se žihá ve svítku na teplotu 1180 °C s výdrží 20 hodin v sušeném vodíku. Svitek po tomto žihání se ochlazuje běžnou rychlostí, tj. v tomto případě cca 15 °C za hodinu v atmosféře čistého vodíku s nízkým rosným bodem.

Potom se na pás nanese elektrotechnická izolace a provede se tzv. rovnací žihání při teplotě 800 °C s výdrží 1 min. Ve struktuře pásu po vysokoteplotním žihání ani po následujícím rovnacím žihání se na hranicích zrn nezjistí žádné precipitáty. Při zkoušce střídavým ohybem na poloměru čelisti $R = 5$ mm se dosáhne průměrně 20 až 50 střídavých ohybů.

P ř í k l a d 2

Tekutá ocel se desoxiduje ferrosiliciem s obsahem 2 % hliníku. Složení oceli je 3,0 % hmot. křemíku, 0,10 % hmot. manganu, 0,010 % hmot. síry a 0,002 % hmot. rozpustného hliníku. Kromě toho obsahuje ocel 0,002 % hmot. titanu a 0,002 % hmot. zirkonu vázaných na dusík. Ocel se zpracuje stejným způsobem jako v příkladě 1. Zejména je důležité, že žihání pro vývin textury se provede ve vodíku s rosným bodem -40 °C a tato atmosféra se dodává do pece i po dobu chlazení do teploty 650 °C. Rovněž v tomto případě nedojde k precipitaci po hranicích zrn a při zkoušce střídavým ohybem se dosáhne v každém místě pásu počet ohybů přesahující číslo 20.

P Ř E D M Ě T V Y N Á L E Z U

1. Způsob výroby orientovaných transformátorových pásů z ocelových bram, jejich vyválnování na pás, moření, válcování za studena s mezižiháním, oduhličením a vysokoteplotním žiháním při teplotě 1000 až 1200 °C, vyznačený tím, že ocelové pásy, obsahující kromě železa a nečistot 0,02 až 0,08 % hmot. uhlíku, 2,0 až 4,0 % hmot. křemíku, 0,02 až 0,2 % hmot. manganu, 0,003 až 0,1 % hmot. síry, selenu, teluru jednotlivě nebo ve vzájemné kombinaci

a 0,002 až 0,01 % hmot. hliníku, titanu, zirkonu a vanadu jednotlivě nebo v kombinaci, a to ve formě nevázané nebo ve formě vázané na dusík, se po vysokoteplotním žihání ochlazuje v prostředí vakua nebo ochranné atmosféry.

2. Způsob podle bodu 1, vyznačený tím, že konečné vysokoteplotní žihání a ochlazení do teploty 550 až 800 °C se provádí v atmosféře čistého vodíku s rosným bodem -20 až -80 °C.