



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K PATENTU

216515
(11) (21)

(51) Int. Cl.³
C 21 D 1/28

(22) Přihlášeno 17. 06. 77

(21) (PV 4019-77)

(32) (31) (33) Právo přednosti od 17. 06. 76
(696984) Spojené státy americké

(40) Zveřejněno 28. 11. 80

(45) Vydáno 15. 12. 84

(72)

Autor vynálezu

DATTA AMITAVA, PITTSBURGH (Sp. st. a.)

(73)

Majitel patentu

ALLEGHENY LUDLUM STEEL CORPORATION, PITTSBURGH (Sp. st. a.)

(54) Způsob výroby elektromagnetické křemíkové oceli

1

2

Způsob výroby elektromagnetické křemíkové oceli mající orientaci krychle na hranu a permeabilitu nejméně $2,350 \cdot 10^{-3} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$ při $795 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$. Z taveniny obsahující uhlík, bor, dusík, hliník a křemík se odlije ocel, jež se válcuje za tepla, pak za studena na tloušťku do 0,5 mm, oduhličí se, nanese se žáruvzdorný kysličníkový základní povlak a žihá se na konečnou strukturu.

Podstatá způsobu spočívá v tom, že ocel se normalizuje při teplotě od 843 do 1093 °C, výhodně od 871 do 1037 °C v atmosféře obsahující vodík, po válcování za studena na konečnou tloušťku a ještě před nanesením žáruvzdorného kysličníkového základního povlaku, pro rekrytalizaci oceli.

Vynález se týká výroby elektromagnetické křemíkové oceli s orientovanými zrny a permeabilitou nejméně $2,350 \cdot 10^{-3} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$ při $\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$. Způsob, který se vynálezem zdokonaluje, sestává z přípravy taveniny křemíkové oceli obsahující v hmotnostní koncentraci 0,02 až 0,06 % uhlíku, od 0,0006 až 0,0080 procent boru, do 0,0100 % dusíku, do 0,008 procent hliníku a 2,5 až 4,0 % křemíku, odlévání, válcování oceli, válcování za studena na tloušťku max. 0,5 mm, oduhličení oceli na obsah uhlíku pod 0,005 %, normalizaci oceli při teplotě od 843 do 1093 °C v atmosféře obsahující vodík, nanesení základního žáruvzdorného kysličnickového povlaku a žíhání na konečnou strukturu.

I když patenty US č. 3 873 381, 3 905 842, 3 905 843 a 3 957 546 se týkají jiného způsobu výroby elektromagnetické křemíkové oceli inhibované borem, všechny zahrnují konečnou normalizaci při teplotě od 800 do 815 °C. Předloženým vynálezem se zlepšují způsoby uvedené v těchto patentech. Vzato ze široka, zjistili jsme, že magnetické vlastnosti oceli inhibované borem se zlepšují normalizací za studena válcované oceli na konečnou tloušťku při teplotě 843 až 1093 stupňů Celsia. A protože křemíkové oceli inhibované borem jsou charakterizované způsobem a složením jiným než jiné typy křemíkových ocelí, známý stav techniky zahrnující normalizaci při vysokých teplotách, jak je uveden v belgickém patentu č. 833 649 a US patentech č. 3 159 511 a 3 438 820 není na závadu.

Jak bylo již uvedeno, vztahuje se vynález na křemíkovou ocel, jejíž tavenina obsahuje v hmotnostní koncentraci 0,02 až 0,06 % uhlíku, 0,0006 do 0,0080 % boru, do 0,0100 procent dusíku, do 0,008 % hliníku a 2,5 až 4,0 % křemíku. Ocel se odlíje, válcuje za tepla, nejméně jednou válcuje za studena na tloušťku do 0,5 mm a při použití vícenásobného válcování za studena se mezi jednotlivými průchody normalizuje, oduhličuje na obsah uhlíku pod 0,005 %, nanese se žáruvzdorný kysličnickový základní povlak a žíhá se na konečnou strukturu.

Podstata vynálezu spočívá v tom, že ocel se normalizuje při teplotě od 843 do 1093 °C, výhodně od 871 do 1037 °C, v atmosféře obsahující vodík, po válcování za studena na konečnou tloušťku a ještě před nanesením žáruvzdorného kysličnickového základního povlaku, pro rekrytalizaci oceli.

Způsobem zpracování podle vynálezu se zlepší magnetické vlastnosti oceli, zejména se zvýší magnetická permeabilita a sníží ztráty v jádru. Způsob podle vynálezu má velmi příznivý vliv na vlastnosti oceli, mající orientaci zrn krychle na hranu, jak vy-

svítne z dalšího popisu a zejména z konkrétních příkladů provedení.

Samotný způsob výroby oceli může být jakýkoli známý, například podle některého z US patentů č. 2 867 557 a ostatních shora uvedených. Výraz odlévání zahrnuje i plynulé lití.

Žíhání za tepla válcovaného pásu spadá rovněž do předmětu vynálezu. Je výhodné válcovat pás za studena na tloušťku do 0,5 milimetru bez mezižíhání a to z pásu válcovaného za tepla o tloušťce od 1,2 mm do 3 milimetrů. Bylo zjištěno, že tavenina obsahující v hmotnostní koncentraci 0,02 % až 0,06 % uhlíku, 0,015 % manganu, 0,01 až 0,05 % látky ze skupiny obsahující síru a selen, 0,0006 až 0,0080 % boru, do 0,0100 % dusíku, 2,5 až 4,0 % křemíku, do 1,0 % mědi, do 0,008 % hliníku, zbytek železo je zejména vhodná pro způsob podle vynálezu. Obsah boru je obvykle vyšší než 0,0008 %. Žáruvzdorný kysličnickový základní povlak obvykle obsahuje nejméně 50 % MgO. Ocel zpracovávaná podle vynálezu má permeabilitu nejméně $2,350 \cdot 10^{-3} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$ při 795 A. $\cdot \text{m}^{-1}$. S výhodou má ocel permeabilitu $2,378 \cdot 10^{-3} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$ při 795 A. $\cdot \text{m}^{-1}$ a ztráty v jádru do 1,544 W. $\cdot \text{kg}^{-1}$ při 1,7 T.

Ocel se normalizuje při teplotě od 843 do 1093 °C s výhodou od 871 do 1037 °C, aby se ocel rekrytalizovala. Ohřátí na tento teplotní rozsah se obvykle provádí po dobu kratší než 5 minut, dokonce i než 3 minuty. Atmosféra obsahující vodík může být pouze vodíková a nebo směs vodíku s dusíkem. Plyná směs obvykle obsahuje 80 % dusíku a 20 % vodíku. Rosný bod atmosféry je obvykle od -64 do 65 °C a s výhodou -17,7 až 43 °C. Doba působení této teploty je od 10 sekund do 10 minut.

Aby se pomohlo dalšímu oduhličení může se normalizovaná ocel udržovat v teplotním rozsahu 760 až 843 °C po dobu nejméně 30, ale s výhodou nejméně 60 sekund. Bylo zjištěno, že oduhličení probíhá nejúčinněji při teplotě okolo 801 °C. Atmosféra pro toto zpracování byla popsána shora s ohledem na normalizaci při 843 do 1093 °C. Rosné body jsou -6,6 až 65 °C a obvykle 4 až 43 °C.

Dále je uvedeno několik příkladů konkrétního provedení pro další ujasnění vynálezu.

Příklad I

Čtyři vzorky (vzorek A, B, C a D) křemíkové oceli byly odlity a z tavby se zpracovala křemíková ocel mající orientaci krychle na hranu. Složení je zřejmé z níže uvedené tab. I.

Tabulka I

Složení (hmotnostní koncentrace v %)

C	Mn	S	B	N	Si	Cu	Al	Fe
0,043	0,035	0,020	0,0009	0,0049	3,24	0,34	0,004	Bal

Zpracování vzorků zahrnovalo vyrovnání teploty při zvýšené teplotě po několik hodin, válcování za tepla na jmenovitou tloušťku 2 mm, za tepla válcovaný pás se normalizoval při teplotě 950 °C a válcováním za studena na konečnou tloušťku, načež se provádě-

děla konečná normalizace jak byla shora popsána, nanesení žáruvzdorného kyslíčnickového základního povlaku a žihání na konečnou strukturu při max. teplotě 1175 °C ve vodíku. Podmínky konečné normalizace jsou uvedeny níže v tab. II.

Tabulka II

Vzorek	Teplota (°C)	Atmosféra (%)	Rosný bod (°C)	Čas (Minuty)
A*	801	80N—20H	+10	2
B**	871	80N—20H	+10	5
C**	982	80N—20H	+10	5
D**	1037	80N—20H	+10	5

* doba ohřevu — více než 5 min. na teplotu

** doba ohřevu — asi 2 minuty na teplotu

Vzorky A až D se zkoumaly na permeabilitu a ztráty v jádru. Výsledky jsou uvedeny v tab. III.

Tabulka III

Vzorek	Ztráta v jádru (W . kg ⁻¹)	Permeabilita (· 10 ⁻³ H . m ⁻¹ při 795 A . m ⁻¹)
A	1,660	2,338
B	1,392	2,419
C	1,380	2,422
D	1,400	2,426

Z tab. III je zřejmé, že způsob podle vynálezu vysoce těžší z vlastností křemíkové oceli mající orientaci krychle na hranu. Zdokonalení způsobu je zřejmé jak ze ztráty v jádru tak permeability, jestliže se ocel válcovaná za studena normalizuje při teplotě vyšší než 843 °C. Vzorek A normalizovaný při teplotě 800 °C měl permeabilitu 2,338 · 10⁻³ H . m při 795 A . m⁻¹ zatímco vzorky B, C a D, které byly normalizovány při teplotách 871, 982 a 1037 °C měly permeabilitu vyšší než 2,390 · 10⁻³ H . m⁻¹ při 795 A . m⁻¹. Podobně vzorky B, C a D měly všechny ztráty v jádru menší než 1,544 W . kg⁻¹ při 1,7 T, zatímco ztráty v jádru vzorku A byly 1,660 W . kg⁻¹ při 1,7 T.

Příklad II

Z tab. křemíkové oceli popsané v tab. I

bylo odlito šest vzorků (E, F, G, H, I a J) křemíkové oceli a zpracováno na křemíkovou ocel mající orientaci krychle na hranu. Zpracování zahrnovalo vyrovnání teploty při zvýšené teplotě po několik hodin, válcování za tepla na jmenovitou tloušťku 2 mm, normalizaci za tepla válcovaného pásu při teplotě okolo 950 °C, válcování za studena na konečnou tloušťku, konečnou normalizaci jak bylo shora popsáno, nanesení žáruvzdorného kyslíčnickového základního povlaku a žihání na konečnou strukturu při maximální teplotě 1175 °C ve vodíku. Podmínky konečné normalizace jsou dány níže v tab. IV. Jak je z tab. IV zřejmé, vzorky F, G, H, I a J byly podrobeny dvojité normalizaci.

Obsah uhlíku vzorků byl po normalizaci menší než 0,005 %. Normalizace se prováděla v atmosféře 80 % N₂ a 20 % H₂.

Tabulka IV

Vzorek	První normalizace			Druhá normalizace		
	Teplota (°C)	Rosný bod (°C)	Čas (Min)	Teplota (°C)	Rosný bod (°C)	Čas (Min)
E	801*	+10	2			
F	871**	+10	5	801*	+10	2
G	982**	+10	2	801*	+10	2
H	982**	+10	2	801*	+22	2
I	982**	+10	5	801*	+10	2
J	982**	+10	5	801*	+22	2

* Doba ohřevu — více než 5 min na danou teplotu

** Doba ohřevu — asi 2 min na danou teplotu

Vzorky E až J byly zkoušeny na permeabilitu a ztráty v jádru. Výsledky jsou v tab. V.

Tabulka V

Vzorek	Ztráty v jádru (W . kg ⁻¹ při 1,7 T)		Permeabilita (. 10 ⁻³ H . m ⁻¹ při 795 A . m ⁻¹)	
E	1,635		2,338	
F	1,479		2,386	
G	1,490		2,409	
H	1,440		2,383	
I	1,470		2,405	
J	1,482		2,393	

Z tab. V je opět zřejmé, že zpracování podle vynálezu vysoce zvyšuje vlastnosti křemíkové oceli mající orientaci krychle na hranu. Zlepšení je vidět jak ve ztrátě v jádru a permeabilitě při normalizaci za studena válcované křemíkové oceli při teplotě vyšší než 843 °C. Vzorek E normalizovaný při teplotě 800 °C měl permeabilitu 2,338 . 10⁻³ H . m⁻¹ při 795 A . m⁻¹ zatímco vzorky F až J, které byly normalizovány při teplotě 871 až 982 °C, měly permeabilitu vyšší než 2,378 . 10⁻³ H . m⁻¹ při 795 A . m⁻¹. Podobně vzor-

ky F až J, všechny měly ztrátu v jádru menší než 1,544 W . kg⁻¹ při 1,7 T, zatímco ztráta v jádru vzorku E byla 1,635 W . kg⁻¹ při 1,7 T. Opětná normalizace při 800 °C Celsia zvýšila oduhličení; ale jak je zřejmé z porovnání tab. II a III na jedné straně a IV a V na druhé straně, způsobila některé zhoršení vlastností. Jak bylo shora uvedeno, opěťovaná normalizace při teplotě 760 až 843 °C je zahrnuta v určitých provedeních předmětu vynálezu proto, že oduhličení probíhá nejúčinněji při teplotě okolo 800 °C.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Způsob výroby elektromagnetické křemíkové oceli mající orientaci krychle na hranu a permeabilitu nejméně 2,350 . 10⁻³ H . m⁻¹ při 795 A . m⁻¹ sestávající z přípravy taveniny křemíkové oceli obsahující v hmotnostní koncentraci 0,02 až 0,06 % uhlíku, 0,0006 až 0,0080 % boru, do 0,0100 % dusíku, do 0,008 % hliníku a 2,5 až 4,0 % křemíku a zbytek železo, odlití oceli, válcování za tepla, válcování za studena na tloušťku do 0,5 mililimetru, oduhličení oceli na obsah uhlíku pod 0,005 %, nanesení žáruvzdorného kyslíčnickového základního povlaku a žíhání na konečnou strukturu, vyznačený tím, že ocel se normalizuje při teplotě od 843 do 1093 °C, například od 871 do 1037 °C, v atmosféře obsahující vodík, po válcování za studena na konečnou tloušťku a ještě před nanesením žáruvzdorného kyslíčnickového základního povlaku, pro rekrystalizaci oceli.

2. Způsob podle bodu 1, vyznačený tím, že za studena válcovaná ocel se ohřívá na teplotu v rozsahu normalizačních teplot po dobu kratší než 5 minut, například méně než 3 minuty.

3. Způsob podle bodu 1, vyznačený tím, že ocel se normalizuje v atmosféře obsahující vodík, mající rosný bod od -64 do 65 °C, například od -17,7 do 43 °C.

4. Způsob podle bodů 1 až 3, vyznačený tím, že ocel se normalizuje v atmosféře sestávající z vodíku a dusíku.

5. Způsob podle bodu 1, vyznačený tím, že normalizovaná ocel se udržuje v atmosféře obsahující vodík po dobu nejméně 30 sekund v rozmezí teplot od 760 do 843 °C ke zlepšení oduhličení oceli.

6. Způsob podle bodu 5, vyznačený tím, že normalizovaná ocel se udržuje v atmo-

sféře obsahující vodík a mající rosný bod od $-6,6$ do 65 °C v rozmezí teplot mezi 760 až 843 °C.

7. Způsob podle bodu 6, vyznačený tím, že normalizovaná ocel se udržuje v atmosféře obsahující vodík a dusík při teplotě mezi 760 až 843 °C.

8. Způsob podle bodu 1, vyznačený tím, že

za studena válcovaná ocel se normalizuje při teplotě od 871 do 1037 °C v atmosféře obsahující vodík a mající rosný bod od $-17,7$ do 43 °C a potom se udržuje v atmosféře obsahující vodík a mající rosný bod od 4 až 43 °C po dobu nejméně 30 sekund v teplotním rozsahu mezi 760 až 843 °C.