



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K PATENTU

218577
(11) (B2)

[51] Int. Cl.³
B 21 B 1/22
B 21 B 3/00

- (22) Přihlášeno 29 09 78
(21) (PV 6318-78)
(32) (31) (33) Právo přednosti od 29 09 77
(837505) a od 09 01 78 (867987)
Spojené státy americké
(40) Zveřejněno **31 12 81**
(45) Vydáno 15 03 85

[72]
Autor vynálezu FIEDLER HOWARD CHARLES, SCHENECTADY, NEW YORK (Sp. st. a.)

[73]
Majitel patentu ALLEGHENY LUDLUM STEEL CORPORATION, PITTSBURGH,
PENNSYLVANIA (Sp. st. a.)

(54) Způsob výroby fólie křemíkové ocele s orientovanými zrny

1

Vynález se týká způsobu výroby křemíkové ocele s orientovanými zrny.

Křemíková ocel, vyrobená podle vynálezu, se obvykle v příslušném oboru označuje jako „Elektrická“ křemíková ocel a obvykle sestává hlavně ze slitiny železa s přibližně 2,2 až 4,5 % křemíku a poměrně menšími množstvími různých nečistot velmi malá množství uhlíku. Tyto ocele mají strukturu tzv. „krychle na hraně“, neboť více než 70 procent jejich krystalové struktury má orientaci [100] [001], při označení Millerovými indexy.

Takové výrobky z křemíkové ocele s orientovanými zrny se běžně vyrábějí sledem operací válcování za tepla, tepelného zpracování, válcování za studena, tepelného zpracování, válcování za studena a potom konečným tepelným zpracováním za účelem oduhličení, odsíření a rekrytalizace. Ingoty se s výhodou tepelně zpracují na pás nebo plech o tloušťce menší než 3,81 mm, což se označuje jako „pás válcovaný za tepla“. Pás válcovaný za tepla se pak válcuje za studena s vhodným mezipopouštěním na hotový plech nebo pás žádané tloušťky, což obvykle znamená alespoň 50% zmenšení tloušťky, a provede se konečné popouštění, které vytváří žádaný sloh.

U těchto křemíkových ocelí obsahujících

2

bor a dusík je silné omezení normálního růstu zrna a tedy posílení sekundární rekrytalizace na přesnou orientaci zrna [100] [001], výsledkem řízení rozsahů uvedených složek. Síra, která je k tomuto účelu účinná, je ta síra, která není kombinována se sirníkotvornými prvky, jako je mangan, což je dnes nevyhnutelná nečistota v železu a oceli. Proto je celkový obsah síry nutně větší než obsah potřebný pro dosažení jejího účinku brzdění růstu zrna.

V příslušném oboru je také obecně známo, že přítomnost vysokého celkového obsahu síry a malého množství boru může vést ke znatelné křehkosti ve svarech prováděných ve slitině křemíkové ocele. V důsledku této křehkosti svaru nebylo prakticky možné svářet dohromady dva za tepla válcované svitky za účelem válcování za studena, což by byla žádoucí pracovní praxe, jelikož snížení obsahu síry za tím účelem by mělo za důsledek zhoršení magnetických vlastností kovu. Při této volbě to obvykle znamená, že se upouští od výhody dobré svařitelnosti.

Vynález zjistil, že v určitých vsázkách křemíkové ocele obsahujících bor a dusík lze splnit požadavek na obsah síry za účelem zbrzdění růstu zrna ve větším nebo menším stupni použitím cínu nebo antimo-

nu. Bylo dále zjištěno, že přísady cínu za tímto účelem nezvyšují křehkost při sváření a že magnetické vlastnosti jsou lepší než u vsázek s vyšším obsahem síry bez cínu nebo antimonu. Jinými slovy bylo zjištěno, jak užitím cínu nebo antimonu lze vyrábět tavby s magnetickými vlastnostmi, které jsou lepší než vlastnosti při vysokém obsahu síry, a se žádoucími svářecími vlastnostmi spojenými s nízkým obsahem síry.

Zejména bylo zjištěno, že shora uvedených nových výsledků lze důsledně dosahovat přidáním až 0,01 procenta cínu nebo antimonu ke slitinám, které obsahují pouze 0,010 procenta síry, přičemž množství cínu nebo antimonu, jehož je zapotřebí, je větší než nižší obsah síry.

Dále vynálezce zjistil, že magnetické vlastnosti mohou být v křemíkové oceli ještě dále zvýšeny, totiž v křemíkové oceli, ke které byl přidán cín nebo antimon tím, že se na za studena válcovaný plech z křemíkové ocele nanese před konečným tepelným zpracováním povlak obsahující bor.

Podobně bylo zjištěno, že teplota počátečního válcování za tepla má znatelný účinek na permeabilitu u těchto slitin křemíku a železa, tj. křemíkové oceli, která má přísadu cínu nebo antimonu. Pásky se shora uvedeným složením, válcované za tepla při teplotě 1200 až 1300 °C, mají tedy důsledně vyšší permeabilitu, než pásy válcované za tepla při teplotě 1100 až 1150 °C.

Podstata způsobu podle vynálezu spočívá tedy v tom, že se tavenina křemíkové ocele, obsahující 2,2 až 4,5 hmot. % křemíku, 0,003 až 0,0035 hmot. % boru, 0,003 až 0,0075 hmot. % dusíku, přičemž poměr boru a dusíku je 1 až 15, 0,02 až 0,05 hmot. % manganu, 0,005 až 0,025 hmot. % síry a cín nebo antimon v množstvích od 0,01 do 0,1 hmot. %, přičemž obsah dusíku, boru, manganu, síry a cínu nebo antimonu při užití maximálních udaných množství činí méně než 0,2 % taveniny, zbytek železo, odlíje, odlitý ingot se válcuje za tepla do protáhleho tělesa, například fólie, které se pak válcuje za studena do plechu nebo fólie o předem stanovené tloušťce a výsledná za studena válcovaná fólie se konečným tepelným zpracováním oduhličuje a rekrystalizuje na sekundární strukturu [100] [001].

Podle výhodného provedení vynálezu se před tepelným zpracováním nanese na za studena válcovaný pás křemíkové ocele elektricky izolující přídavný povlak obsahující 0,0015 hmot. % boru na bázi hmotnosti pásu křemíkové ocele.

Při provádění vynálezu se shora popsaného za studena válcovaného plechového nebo pásového výrobku dosáhne tím, že se připraví tavenina křemíkové oceli, popřípadě křemíku a železa o žádaném složení, načež se odlíje a válcuje za tepla na mezitímní tloušťku. Tavenina při odlévání bude tedy obsahovat 2,2 až 4,5 procenta křemíku, přibližně 3 až 35 miliontin boru a přibližně 30

až 100 miliontin dusíku, v rozsahu poměru k boru jeden až 15 dílů k jednomu, manganu od 0,02 do 0,05 procenta a síru a cín nebo antimon ve shora uvedených rozsazích, přičemž zbytek je železo a malá množství náhodných nečistot. Po popouštění se horký pás válcuje za studena s mezilehlým popouštěním nebo bez něho na konečnou žádanou tloušťku a pak se oduhličí.

Výsledný jemnozrný, primárně rekrystalizovaný pásový nebo válcový výrobek z křemíkové ocele, ať je vyroben jakýmkoliv způsobem, se opatří povlakem hořčíku pro popouštění, které vyvine konečnou strukturu. Povlékání se s výhodou provádí elektrolyticky, jak je popsáno v USA pat. spisů číslo 3 054 732, čímž se na pás nanese rovnoměrný povlak $Mg(OH)_2$ o tloušťce přibližně 0,127 mm. Ve výsledném povlaku může být zahrnut bor v množství a za účelem shora uvedeným tím, že se povlečené pásy ponoří do vodného roztoku kyseliny borité nebo podobně.

Jako poslední krok způsobu podle vynálezu se takto povlečený plech zahřívá ve vodíku, aby se vyvolal sekundární růst zrn, který začíná přibližně při 950 °C. Když se teplota zvýší rychlostí asi 50 °C za hodinu na 1000 °C, je rekrystalizační děj dokončen a může být popřípadě prováděno zahřívání až na 1175 °C pro zajištění úplného odstranění zbytkového uhlíku, síry a dusíku.

Nyní bude uvedeno několik výhodných příkladů provedení pro složení taveniny při provádění způsobu podle vynálezu.

Je výhodné, když tavenina obsahuje asi 0,025 hmot. % manganu, obsah síry v tavenině je asi 0,012 hmot. % a obsah cínu v tavenině je mezi asi 0,010 a 0,050 hmot. %.

Je také výhodné, když tavenina obsahuje mezi asi 0,02 až 0,03 hmot. % manganu, mezi asi 0,009 a 0,014 hmot. % síry a mezi asi 0,020 a 0,050 hmot. % cínu.

Kromě toho může být účelné, když tavenina obsahuje mezi asi 0,030 a 0,040 hmot. procenta manganu, mezi asi 0,013 a 0,019 hmot. % síry a mezi asi 0,020 a 0,050 hmot. procenta cínu.

Ukázalo se, že tavenina může obsahovat asi 0,024 hmot. % manganu, asi 0,008 hmot. procenta síry a asi 0,097 hmot. % cínu, přičemž jako příprava pro koncové tepelné zpracování za studena válcovaného pásu křemíkové ocele se na něj nanese elektricky izolující přilnavý povlak obsahující asi 0,0015 hmot. % boru na bázi hmotnosti pásu křemíkové ocele.

Další množství je, že tavenina obsahuje antimon a obsah dusíku je mezi 0,003 a 0,010 hmot. % v poměru jeden až 15 dílů na jeden díl boru.

Účelné provedení záleží také v tom, když množství manganu v tavenině je asi 0,024 hmot. %, množství síry v tavenině je nejvýše asi 0,006 hmot. % a množství antimonu v tavenině je nejméně asi 0,04 hmot. %.

Obsah manganu v tavenině může být také

asi 0,04 hmot. %, přičemž množství síry v tavenině je nejvýše asi 0,011 hmot. % a množství antimonu v tavenině je nejméně asi 0,04 hmot. %.

Jako příprava pro tepelné zpracování E se oduhličená fólie opatří elektricky izolujícím přílnavým povlakem obsahujícím od asi 0,0012 až asi 0,006 hmot. % boru na bázi hmotnosti fólie.

Je také možné, aby se jako příprava pro tepelné zpracování E oduhličená fólie opatřila elektricky izolujícím přílnavým povlakem obsahujícím nejméně 0,0012 hmot. % boru na bázi hmotnosti fólie.

Další možnost spočívá v tom, že se jako příprava pro tepelné zpracování oduhličená fólie opatří elektricky izolujícím přílnavým povlakem obsahujícím alespoň 0,0012 hmot. % boru na bázi hmotnosti fólie.

Následující ilustrativní, avšak neomezuující příklady nového postupu podle vynálezu,

jak se skutečně provádí za dosažení shora uvedených nových výsledků, mají poskytnout odborníku informaci o povaze a zvláštní užitečnosti vynálezu.

Příklad 1

Čtyři laboratorní tavby byly roztaveny ve vzduchové indukční peci pod argonovým krytem za použití elektrolytického železa a 98 procent ferosilicia, přičemž celek obsahoval 3,1 procenta křemíku, 0,25 procenta manganu, 0,012 procenta síry, 5 až 10 miliontin boru, 45 až 75 miliontin dusíku, 0,10 procenta mědi a 0,035 procenta chromu. Cín byl přidán v různých množstvích k odděleným tavbám, aby se dosáhlo rozmezí obsahu cínu od 0,002 až 0,04 procenta. Složení těchto taveb podle analýzy jsou sestavena v tabulce I.

TABULKA I

Tavba	% Mn	% S	Mn/S	% Sn	ppm N
1	0,025	0,012	2,0	0,002	69
2	0,024	0,012	2,0	0,010	74
3	0,026	0,012	2,1	0,020	46
4	0,025	0,011	2,3	0,045	49

Z ingotů odlitých z těchto tavenin byly odříznuty řízký o tloušťce 4,445 cm a byly válcovány za tepla s teploty 1250 °C v šesti průpíších na tloušťku přibližně 2,286 mm.

Po moření byly vzorky horkého pásu tepelně zpracovány teplem při teplotě 950 °C, přičemž doba mezi 930 a 950 °C byla přibližně tři minuty. Horké pásy byly pak válcovány za studena přímo na konečnou tloušťku asi 2,283 mm. Proužky materiálu válcovaného za studena, které měly Epsteinovu velikost, byly oduhličeny na méně než 0,06 procenta zahříváním po dobu dvou minut při 800 °C ve vodíku s rosným bodem 20 °C. Při 0,10 procenta cínu je úroveň uhlíku po oduhličovacím tepelném zpracování přibližně 0,010 procenta. To vede k vyšším ztrátám, avšak nemá to vliv na permeabilitu. Nižší úroveň uhlíku a nižších ztrát lze dosáhnout použitím popouštěcí atmosféry s vyšším rosným bodem. Oduhličené pruhy byly kartáčovány magnesiovým mlékem až do hmotnostního zisku přibližně 40 miligramů na pruh a k některým pruhům povlečeným hořčíkem byl přidán bor za použití 0,5-procentního roztoku kyseliny borité, což uložilo na povlaku dostatečné množství boru takové, že kdyby byl všechen pohlcen křemíkovou ocelí, zvýšil by se obsah boru v kovu o 12 miliontin. Výsledné povlečené proužky, zahrnující jak proužky kartáčované roztokem kyseliny borité, tak i prouž-

ky, které nebyly takto zpracovány, byly podrobeny konečnému popouštění, které záleželo v zahřívání po 40 °C za hodinu od 800 °C do 1175 °C v suchém vodíku a v udržování na této teplotě po dobu tří hodin.

Účinky cínu na permeabilitu a na ztráty při kmitočtu 60 Hertzů při $17 \cdot 10^{-1}$ T jsou sestaveny na diagramu v obr. 1, na kterém je permeabilita při $(10\,000/4\pi) \cdot \text{Am}^{-1}$ nanesena proti % cínu v tavenině. Křivka A znázorňuje vzorky s povlakem obsahujícím bor, zatímco křivka B představuje vzorky s povlakem prostým boru. Ztráty v miliwatech na 0,454 kg jsou zaneseny v sousedství odpovídajících bodů na každé křivce. Jak je patrné z údajů zakreslených na grafu, vede přítomnost pouze 0,010 procenta cínu, zejména při přidání boru k povlaku, ke značnému zlepšení v magnetických vlastnostech. S těmito slitinami se dosáhne při přítomnosti cínu 0,020 procenta dokonalého výsledku.

Příklad 2

Při jiném pokusu podobném jako v příkladu 1 se dvě laboratorní tavby roztavily ve vzduchové indukční peci za použití elektrolytického železa a 98 procent ferosilicia, přičemž obě obsahovaly 3,1 procenta křemíku, 10 miliontin boru a 40 až 50 miliontin dusíku a jinak měly složení uvedené v tabulce II.

TABULKA II

Tavba	% Mn	% S	% C	% Sn
5	0,028	0,013	0,036	< 0,002
6	0,026	0,013	0,035	0,02

Postup od stadia taveniny až do stavu konečně popuštěného byl stejný jako v příkladu 1 s tím rozdílem, že válcování za tepla bylo prováděno při pěti různých teplotách a obsah boru v povlacích byl větší, neboť byl ekvivalentní 15 miliontinám na bázi materiálu plechu nebo pruhu z křemíkové ocele. Hodnoty permeability pro slitiny 5 a 6 jsou naneseny na obr. 2 po koncovém popouštění bez přísady boru k povlaku, a v obr. 3 s přísadou boru k povlaku. Ztráty v miliwatech na 0,454 kg jsou zaneseny u příslušných bodů na každé z křivek představujících tavby 5, popřípadě 6.

Dokonalost tavby obsahující cín je zřejmá ze srovnání magnetických vlastností, a ze-

jména permeabilit, na obr. 2 a 3. I bez boru v povlaku je permeabilita větší než 1900 nebo těsně u 1900, když se válcuje za tepla v rozmezí 1200 °C a 1250 °C a při obsahu boru v povlaku jsou permeability vyšší než 1900, když se válcuje téměř od nejnižší teploty.

Příklad 3

Ve třetím pokusu podobném jako u příkladů 1 a 2 bylo připraveno sedm taveb, z nichž každá obsahovala 3,1 procenta křemíku, 0,1 procenta mědi a 0,03 procenta chromu při složení sestaveném v tabulce III.

TABULKA III

Tavba	% Mn	% S	% C	ppm B	ppm N	% Sn
7	0,028	0,013	0,036	7	43	< 0,002
8	0,026	0,013	0,035	8	39	0,02
9	0,025	0,014	0,034	6	38	0,047
10	0,025	0,009	0,035	4	38	< 0,002
11	0,025	0,009	0,035	4	38	0,023
12	0,027	0,010	0,035	5	35	0,048
13	0,024	0,008	0,036	8	36	0,097

Zpracování koncovým popuštěním bylo stejné jako v příkladu 1, až na to, že bylo použito pěti rozdílných teplot válcování za tepla, jak je uvedeno v příkladu 2. Kromě toho byl bor vpraven do některých hořčíkových povlaků, jak popsáno v příkladu 2 a vyznačeno v tabulkách IV a V, přičemž obsah boru v povlaku byl v každém případě

ekvivalentní 12 miliontinám na bázi podkladu materiálu plechu nebo pruhu křemíkové ocele. Magnetické vlastnosti materiálu křemíkové ocele, vyvolané a vyzkoušené v průběhu tohoto popisu, jsou sestaveny v tabulce IV (tavby obsahující 0,013 procenta síry) a tabulce V (tavby obsahující 0,009 procenta síry).

TABULKA IV

Magnetické vlastnosti po konečném popouštění taveb s 0,013 % síry

Teplota válcování za tepla °C	Tavba 7				Tavba 8				Tavba 9			
	MgO		MgO + B		MgO		MgO + B		MgO		MgO + B	
	{a} {c}	μ {b}	{a} {c}	μ {b}	{a} {c}	μ {b}	{a} {c}	μ {b}	{a} {c}	μ {b}	{a} {c}	μ {b}
1100	1280	1451	1218	1518	1244	1530	832	1808	929	1732	727	1878
1150	1273	1487	874	1739	767	1848	707	1903	788	1878	720	1893
1200	987	1680	701	1850	714	1894	699	1924	681	1920	665	1932
1250	874	1774	699	1862	707	1912	705	1912	702	1919	674	1928
1300	1071	1657	937	1696	762	1859	709	1907	734	1912	688	1920

{a): mW/0,454 kg

{b): $(10\,000/4\pi) \cdot \text{Am}^{-1}$ {c): $17 \cdot 10^{-1} \cdot \text{T}$

TABULKA V

Magnetické vlastnosti po konečném popouštění taveb s 0,009 % síry

Teplota vřícování za tepla °C	Tavba 10			Tavba 11			Tavba 12			Tavba 13		
	MgO			MgO			MgO			MgO		
	{a}	μ	{b}	{a}	μ	{b}	{a}	μ	{b}	{a}	μ	{b}
	{c}			{c}			{c}			{c}		
1100	> 1300	1455	> 1300	1471	> 1300	1481	1162	1611	1359	1507	970	1101
1150	> 1300	1465	1258	1493	1170	1623	742	1844	1148	1618	732	1861
1200	1285	1472	1256	1515	743	1855	682	1892	839	1775	683	1890
1250	1226	1530	1037	1648	705	1888	679	1898	789	1813	678	1906
1300	1292	1507	906	1750	923	1737	735	1860	1190	1585	798	1812

{a): mW/0,454 kg

{b): $[10\,000/4\pi] \cdot \text{Am}^{-1}$ {c): $17 \cdot 10^{-1} \cdot \text{T}$

Příklad 4

Ve čtvrtém pokusu podobném jako v příkladu 1, 2 a 3, bylo připraveno deset taveb, z nichž každá obsahovala 3,1 procenta křemíku, 0,01 procenta mědi, 0,03 procenta chromu, 0,04 procenta uhlíku, 0,035 procent-

ta manganu, 5 až 10 miliontin boru a 35 až 65 ppm dusíku. K pěti tavnám bylo přidáno 0,05 procenta cínu, kdežto k ostatním pěti tavnám nebyl přidán žádný cín. Složení těchto taveb podle analýzy a chování materiálu z nich vyrobeného při sváření jsou sestaveny v tabulce VI.

TABULKA VI

Tavba	% Mn	% S	% Sn	Rovnoběžné praskliny	Příčné praskliny/metr
14	0,034	0,010	< 0,002	ne	0
15	0,035	0,013	< 0,002	ne	16
16	0,037	0,016	< 0,002	ne	64
17	0,038	0,019	< 0,002	ano	173
18	0,034	0,022	< 0,002	ano	192
19	0,034	0,010	0,045	ne	4
20	0,035	0,013	0,040	ne	37
21	0,032	0,015	0,046	ne	65
22	0,036	0,017	0,045	ne	75
23	0,035	0,019	0,049	—	—

Tabulka VI ukazuje, že při zvětšování obsahu síry se zvyšuje frekvence prasklin ve svaru a při obsahu 0,018 procenta síry nebo větším se také vytvoří prasklina ve svaru rovnoběžně s jeho délkou. Pokusy dávající tyto výsledky a vedoucí k závěru, že výskyt trhlin nebo prasklin je primárně závislý na obsahu síry, byly prováděny simulovaným svářením, při kterém se vedla wolframová elektroda o průměru 1,5875 mm ve vzdálenosti 0,79375 mm nad povrchem za studena válcovaného vzorku proužku, silného 1,524 mm a upnutého v přípravku. Při proudu 50 ampérů a při postupu elektrody rychlostí 20,32 cm za minutu, obdrželo se roztavené pásmo o šířce 2,54 mm až 3,81 mm. Po přechodu elektrody se zkušební vzorky rozpadly do tří kategorií:

1. vzorky s význačnou trhlinou probíhající po délce svaru („rovnoběžná prasklina“ v tabulce I) a s jinými malými trhlinami ve svaru;

2. vzorky bez rovnoběžné trhliny, avšak s různými trhlinami ve svaru a u něho, orientovanými vůči svaru v úhlu; („příčné praskliny“, v tabulce VI);

3. vzorky prosté trhlín, což bylo potvrzeno použitím barviva, kterého se obvykle používá pro detekci trhlín.

Tento pokus přehání sklon materiálu pro vytváření trhlín, neboť se předpokládá, že materiál, který tvoří pouze příčné trhliny, bude svařitelný vhodnými technikami.

Na obr. 4 a 5 jsou znázorněny magnetické vlastnosti deseti taveb po koncovém po-

pouštění. Před popouštěním nebyl k povlaku přidán žádný bor. U příslušných bodů jsou uvedeny ztráty při $17 \cdot 10^{-1}$ T a 60 Hertzech. Jsou zřejmé znamenité magnetické vlastnosti taveb obsahujících síru. Z chování při sváření, vyznačeného na tabulce VI, a z magnetických vlastností podle obr. 4 a 5 je zřejmé, že při přidání cínu lze dosáhnout vysoké permeability a nízkých ztrát v tavnách s dostatečně nízkým obsahem síry, aby nejevily „rovnoběžné trhliny“ při vyhodnocení svařování.

Příklad 5

Pět laboratorních taveb bylo roztaveno ve vzduchové indukční peci pod argonovým krytem za použití elektrolytického železa a 98 procent ferosilicia, přičemž celek obsahoval 3,1 procenta křemíku (Si), 0,022 až 0,026 procenta manganu (Mn), 0,003 až 0,005 procenta síry (S), méně než jeden díl nebo 7 až 10 miliontin boru (B), 41 až 58 miliontin dusíku (N), 0,01 procenta mědi (Cu), 0,03 procenta chromu (Cr) a 0,038 až 0,041 procenta uhlíku (C). Antimon (Sb) byl přidán k odděleným tavnám v různých množstvích, aby se obdrželo rozmezí obsahu antimonu od 0,001 do 0,041 procenta. V tabulce VII jsou vyznačena přibližná množství uvedených složek těchto tavenin podle analýzy při vzestupném pořadí obsahu antimonu. Procenta a díly jsou založeny na hmotnosti každé tavby počínaje tavnou 1.

TABULKA VII

Tavba	% Sb	% Mn	% S	Mn/S	ppm B	ppm N	B/N
1	0,001	0,025	0,005	5,0	7,1	41	6
2	0,014	0,024	0,006	4,0	8,4	58	7
3	0,030	0,022	0,005	4,4	7,0	45	6,5
4	0,031	0,031	0,006	5,0	nic	55	nic
5	0,041	0,026	0,006	4,3	8,4	58	7

Z ingotů odlitých z těchto tavenin byly odříznuty plátky o tloušťce 4,445 cm a byly za tepla válcovány s teplotou 1200 °C v šesti průpíchích pro vytvoření teplých pásů o tloušťce přibližně 2,286 mm. Po moření byly vzorky teplých pásů teplem zpracovávány při 950 °C, přičemž doba mezi 930 a 950 °C byla asi 3 minuty. Teplé pásy byly potom za studena válcovány na konečnou požadovanou tloušťku přibližně 0,2794 mm. Potom byly proužky za studena válcovaného materiálu v Epsteinově velikosti oduhličeny na méně než 0,006 procenta uhlíku zahříváním po dobu dvou minut na 800 °C ve vodíku s rosným bodem 20 °C. Při 0,04 procenta Sb je úroveň uhlíku po oduhličovacím tepelném zpracování přibližně 0,015 procenta. To vede k vyšším ztrátám, avšak neovlivňuje permeabilitu. Nižší úrovní uhlíku i ztrát lze dosáhnout použitím popouštěcí atmosféry o vyšším rosném bodu. Oduhličené proužky byly kartáčovány magnesiovým mlékem až do váhového zisku přibližně 40

mg na proužek. 0,5- nebo 1,0procentní roztok kyseliny borité ve vodě byl nakartáčován na některém z proužků povlečených hořčíkem za použití dostatečných množství roztoku, tak, aby kdyby všechen bor ve výsledném povlaku byl pohlcen křemíkovou ocelí, zvýšil by se obsah boru ve slitině o 12 nebo 24 miliontin, jak je vyznačeno v tabulce VIII. Výsledné povlečené proužky zahrnující jak proužky kartáčované roztokem kyseliny borité, tak i proužky, jež nebyly takto zpracovány, byly vystaveny koncovému popouštění záležejícímu v zahřívání po 40 °C za hodinu od 800 °C na 1175 °C v suchém vodíku a tato teplota byla udržována po tři hodiny.

Výsledky zkoušek prováděných na Epsteinových svazcích sestavených z proužků připravených z taveb 1 až 5 pro určení magnetických vlastností (ztráta energie a permeabilita) po jejich konečném popouštění jsou sestaveny v tabulce VIII.

TABULKA VIII

Magnetické vlastnosti taveb 1 až 5 po koncovém popouštění

Přibližné množství boru naneseného v povlaku

Tavba	0 ppm		12 ppm		24 ppm	
	(a) při (c)	μ (b)	(a) při (c)	μ (b)	(a) při (c)	μ (b)
1	1341	1503	1332	1506	1298	1499
2	1186	1594	748	1856	746	1844
3	1197	1621	746	1865	905	1760
4	1326	1490	1306	1496	1304	1489
5	1088	1641	692	1901	686	1900

(a) Ztráta energie v miliwatech na 0,454 kg při $17 \cdot 10^{-1}$ T magnetické indukce ze střídavého proudu při kmitočtu 60 Hertzů.

(b) Magnetická permeabilita μ při $(10\,000/4\pi) \cdot \text{Am}^{-1}$.

(c) Magnetická indukce $17 \cdot 10^{-1}$ T.

Údaje ukazují, že povšechně pro daný povlak ztráty klesají a permeabilita vzrůstá, když se zvyšuje obsah antimonu, za předpokladu, že tavenina obsahuje bor (tavenina pro tavbu 4 neobsahovala prakticky žádný bor). Údaje dále ukazují, že obecně pro danou tavbu, obsahující daný obsah antimonu v tavenině, nanesení povlaku obsahujícího bor snižuje ztráty a zvyšuje permeabilitu. Nízké ztráty a vysoká permeabilita proužků tavby 5 (0,041 procenta Sb v tavenině) popouštěných s povlaky z kyseliny borité jsou srovnatelné s vlastnostmi dosud

obchodně vyhledávaných křemíkových ocelí s vysokou permeabilitou. Jak je z údajů patrné, vede přítomnost pouze asi 0,01 procenta antimonu, zejména při přidání boru k povlaku, ke značnému zlepšení magnetických vlastností.

Tavby 1 až 5 včetně byly vyhodnoceny na svařitelnost vedením tavného pásku po délce přibližně 12,7 cm, a to po jejich proužku, válcovaném za studena o tloušťce 1,651 mm. Žádná z těchto taveb nejevila žádné trhliny, což naznačuje podstatnou nepřítomnost křehkosti ve svaru. Laboratorní tavby se stejným obsahem manganu, bez antimonu a s obsahem přibližně 0,02 procenta síry pro zbrzdění růstu zrn jeví při stejném pokusu velmi značné tvoření trhlin. V podrobnějším postupu byly zkoušky dávající tyto výsledky a vedoucí k závěru, že výskyt trhlin je primárně závislý na obsahu síry, prováděny simulovaným svařováním, záležejí-

cím v tom, že se wolframová elektroda o průměru 1,587 mm vedla ve vzdálenosti 0,79375 mm nad povrchem za studena válcovaného proužku upnutého v přípravku. S proudem 80 ampérů a při postupu elektrody rychlostí 203,20 mm za minutu se obdrželo roztavené pásmo o šířce 2,54 až 3,41 mm.

Příklad 6

Byly připraveny dvě laboratorní tavby za

TABULKA IX

Tavba	% Sb	% Mn	% S	ppm B	ppm N	B/N
6	0,014	0,025	0,005	(10)*	100	(0,10)*
7	0,038	0,024	0,003	(10)*	86	(0,11)*

* Nebylo analyzováno pro bor (M). 10 ppm boru bylo přidáno při přípravě tavenin.

Postupování od stadia taveniny do stavu po koncovém popouštění bylo stejné jak popsáno v příkladu 5.

Přibližný obsah boru v povlacích byl mě-

použití postupu podle příkladu 1 s následujícími rozdíly. Složení tavenin pro tyto tavby (6 a 7) bylo v podstatě stejné jako pro tavby 2, popřípadě 3, až na to, že bylo použito vyššího obsahu dusíku. V tabulce IX jsou udána přibližná množství vyznačených složek těchto tavenin podle analýzy, leda že by bylo udáno jinak.

něn po přírůstcích 12 ppm od nula ppm do 60 ppm na bázi podkladového materiálu plechu nebo pruhu křemíkové oceli. Permeabilita a ztráty energie vyplývají ze zkoušení Epsteinových svazků vytvořených z proužků těchto plechů, jak je uvedeno v tabulce X.

TABULKA X

Magnetické vlastnosti taveb 6 a 7 po koncovém popouštění

ppm B naneseo v povlaku	Tavba 6		Tavba 7	
	(a) při (c)	μ (b)	(a) při (c)	μ (b)
0	865	1787	1192	1598
12	733	1859	737	1876
24	724	1873	673	1897
36	700	1875	674	1897
48	672	1889	713	1887
60	681	1884	753	1839

(a): mW/0,454 kg

(b): $(10\,000/4\pi) \cdot \text{Am}^{-1}$

(c): $17 \cdot 10^{-1} \cdot \text{T}$

Údaje opět ukazují, že magnetické vlastnosti se zlepší povlečením borem, to znamená, že se sníží ztráta energie a zvýší magnetická permeabilita. Kromě toho toto zlepšení výrazně stoupá při zvyšování množství boru naneseného v povlaku, až se dosáhne maximálního zlepšení. Srovnání taveb 6 a 7 ukazuje, že takové maximum nastane při vyšším obsahu boru v povlaku pro tavby připravené z tavenin majících vyšší obsah dusíku. (Maximum nastává mezi 36 a 60 ppm boru naneseného v povlaku pro tavbu 6 připravenou z taveniny obsahující 100 ppm dusíku, zatímco nastává mezi 24 a 48 ppm boru pro tavbu 7 s 86 ppm dusíku v tavenině). Srovnání vlastností tavby 6 (0,014 procenta antimonu s povlakem 12 ppm boru) s tavbou 2 (rovněž 0,014 procenta antimonu a s povlakem 12 ppm boru) ukazuje, že při nižších úrovních antimonu zvyšuje vyšší obsah dusíku (100 ppm oproti 58 ppm) magnetické vlastnosti. Tento příznivý účinek zvyšování obsahu dusíku se nedo-

sáhne při vyšších úrovních antimonu užitých v tavnách 5 a 7.

Příklad 7

Sedm laboratorních taveb (očíslovaných 8 až 14) bylo připraveno za použití postupu podle příkladu 5 s níže uvedenými rozdíly. Složení tavenin pro tyto tavby byla v podstatě stejná jako pro tavby 1 až 5, až na následující uvedená přibližná množství vyznačených složek: 0,04 procenta manganu, 0,030 až 0,040 procenta uhlíku, 10 ppm boru (přidáno, avšak neanalyzováno), 27 až 52 ppm dusíku, 0,006 až 0,021 procenta síry v tavnách neobsahujících žádný antimon (tavby 8 až 12) a 0,006 až 0,011 procenta síry v tavnách obsahujících antimon (0,045 procenta Sb v tavně 13 a 0,046 procenta Sb v tavně 14). V tabulce XI jsou sestavena přibližná množství vyznačených složek každé taveniny podle analýzy.

TABULKA XI

Složení tavby a magnetické vlastnosti

Tavba	% Sb	S %	Mn/S	ppm N	V povlaku není nanesen B		V povlaku je nanesen B	
					(a) při (c)	μ (b)	(a) při (c)	μ (b)
8	bez	0,006	5,7	27	1344	1495	1318	1503
9	bez	0,009	3,8	35	1372	1480	1226	1483
10	bez	0,013	2,6	44	1381	1495	1369	1499
11	bez	0,017	2,0	45	1380	1491	1299	1544
12	bez	0,021	1,6	50	954	1774	758	1870
13	0,045	0,006	5,7	38	743	1848	767	1867
14	0,046	0,011	3,2	37	718	1878	719	1916

* 12 ppm B nanesené v povlaku, vztaženo na hmotnost podkladu.

(a): mW/0,454 kg

(b): $(10\,000/4\pi) \cdot \text{Am}^{-1}$

(c): $17 \cdot 10^{-1} \cdot \text{T}$

Údaje ukazují, že v nepřítomnosti antimonu je permeabilita nízká, dokud se úroveň síry nezvýší na 0,021 procenta (tavba 12). Avšak při 0,046 procenta antimonu a pouze 0,011 procenta síry (tavba 14) se dostane vysoká permeabilita (1878) bez nanesení boru v povlaku a vyšší permeability (1916) se dosáhne při nanesení boru v povlaku.

Tavby 8 až 14 včetně byly vyhodnoceny na svařovatelnost za užití pokusu udaného v příkladu 5 s tím rozdílem, že za studena válcované proužky měly tloušťku 1,65 mm.

Tento pokus přehání jakýkoliv sklon materiálu pro vytváření trhlin. Očekává se, že materiál, který vytváří pouze příčné trhliny a méně než 10 takových trhlin na metr, bude vhodně svařovatelný za použití známých svařovacích postupů užívajících například plnidla a užšího roztaveného pásma. Výsledky zkoušek na svařovatelnost pro tavby 8 až 14 jsou sestaveny v tabulce XII, kde jsou rovněž udány obsahy síry a antimonu v uvedených tavbách.

TABULKA XII

Složení tavby a svařovatelnost

Tavba	% S	% Sb	Rovnoběžné trhliny*	Příčné trhliny na metr
8	0,006	0	ne	0
9	0,009	0	ne	0
10	0,013	0	ne	4
11	0,017	0	ne	63
12	0,021	0	ano	200
13	0,006	0,045	ne	8
14	0,011	0,046	ne	4

* Probíhající v podstatě podél celé délky svaru.

Údaje v tabulce XII ukazují, že počet příčných trhlin vzrůstá při zvyšování obsahu síry nad asi 0,01 procent síry a v tavbách obsahujících více než asi 0,015 procenta síry je tvoření příčných trhlin značné, zatímco tvoření rovnoběžných trhlin (znamenantící mimořádnou křehkost svaru) nastává přibližně při asi 0,021 procenta síry.

Tavby jeví méně než přibližně 10 příčných trhlin na metr v tomto pokusu jsou

podle předpokladu vhodně svařovatelné. I když tavby 8 až 11 obsahující málo síry jeví vhodný stupeň nepřítomnosti křehkosti ve svaru, jsou tím obětovány jejich magnetické vlastnosti (viz tabulka XI). Pro srovnání jeví tavby 13 a 14 obsahující antimon jak vhodnou svařovatelnost (tabulka XII), tak i znamenité magnetické vlastnosti (tabulka XI).

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Způsob výroby fólie křemíkové ocele s orientovanými zrny o slohu {110} [001], vyznačující se tím, že se tavenina křemíkové ocele, obsahující 2,2 až 4,5 hmot. % křemíku, 0,003 až 0,0035 hmot. % boru, 0,003 až 0,0075 hmot. % dusíku, přičemž poměr boru a dusíku je 1 až 15, 0,02 až 0,05 hmot. % procenta manganu, 0,005 až 0,025 hmot. % síry a cín nebo antimon v množstvích od 0,01 do 0,1 hmot. %, přičemž obsah dusíku, boru, manganu, síry a cínu nebo antimonu při užití maximálních udaných množství činí méně než 0,2 % taveniny, zbytek železo, od-

lije, odlitý ingot se válcuje za tepla do protáhlého tělesa, například fólie, které se pak válcuje za studena do plechu nebo fólie o předem stanovené tloušťce a výsledná, za studena vyválcovaná fólie se konečným tepelným zpracováním oduhličuje a rekrystalizuje na sekundární strukturu {110} [001].

2. Způsob podle bodu 1, vyznačující se tím, že se před tepelným zpracováním na válcovaný pás křemíkové ocele nanese za studena elektricky izolující přílnavý povlak obsahující 0,0015 hmot. % boru na bázi hmotnosti pásu křemíkové ocele.

3 listy výkresů





