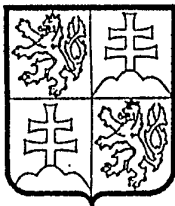


ČESKÁ A SLOVENSKÁ
FEDERATIVNÍ
REPUBLIKA
(19)



FEDERÁLNÍ ÚŘAD
PRO VYNÁLEZY

PATENTOVÝ SPIS 275 610

(11) Číslo dokumentu :

(21) Číslo přihlášky : 1533-86.Q
(22) Přihlášeno : 05 03 86
(30) Prioritní data : 06 03 85 -GB- 85,05811

(13) Druh dokumentu : B6

(51) Int. Cl.⁵ :
H 05 B 6/36

(40) Zveřejněno : 11 04 91
(47) Uděleno : 20 12 91
(24) Oznámeno udělení ve Věstníku : 18 03 92

(73) Majitel patentu : N.V. BEKAERT S.A., ZWEEGEM (BE)

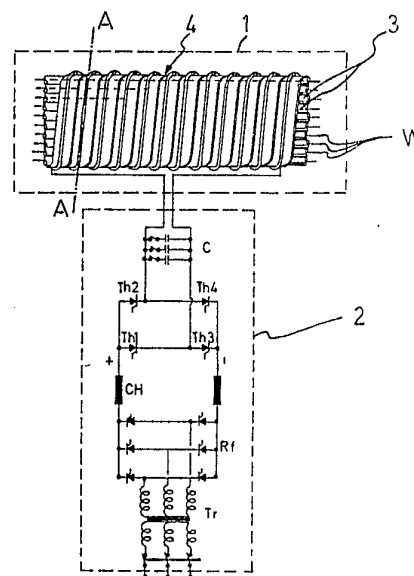
(72) Původce vynálezu : VANNESTE GODFRIED, INGELMUNSTER
NEIRYNCK MICHEL, KORTRIJK (BE)

(54) Název vynálezu : Zařízení pro indukční ohřev

(57) Anotace :

Účelem zařízení je vytvořit zdokonalené zařízení pro indukční ohřev většího počtu paralelních drátů střídavým proudem vysokého kmitočtu. Dosahuje se to tím, že v přilehlých úsecích cívky, ve kterých je opačný směr proudu, se vytvoří navíc opačný směr vinutí.

Obr. 1



Vynález se týká zařízení pro indukční ohřev sestávajícího z cívky, která je rozdělena alespoň ve dva přilehlé cívkové úseky s opačným směrem proudu.

Často se vyskytuje potřeba ohřevu ocelových drátů na nízké nebo střední teploty. Příklady tepelného zpracování jsou tepelná difuze, odstranění pnutí, temperování, částečné nebo úplné žihání apod. Ohřev může být proveden odděleně nebo v lince s jinými operacemi, jako je úprava povrchu, povlákání, přetváření apod. Předložený vynález se jmenovitě týká ohřevu ocelových drátů o průměru menším než 5 mm, zejména v rozmezí od 0,5 do 3 mm, na teploty, které nepřesahují Curieovu teplotu (750 až 760 °C). Vynález však může být použit i pro jiné procesy. Pro účely výroby je obecně žádoucí současný ohřev většího počtu drátů, které se pohybují plynule v rovnoběžných drahách a vynález se zvláště vhodný pro tento způsob.

Obvyklá zařízení pro současný ohřev většího počtu ocelových drátů obsahují například palivem vyhřívané nebo elektrické pece, lázně roztaveného kovu nebo soli a ohřívací odporové linky využívající přímého elektrického dotyku k ohřevu drátů apod.

Působení obvyklých pecí je omezeno s ohledem na přesné ohřívání drátů až na 750 °C vysokou rychlostí pro spíše pomalý přestup tepla v této oblasti od nízkých do středních teplot. Následkem toho jsou pro dosažení vysoké průchozí rychlosti drátů nutné velmi dlouhé pece, což představuje velmi nevýhodné řešení s hlediska technického i ekonomického. Ohřev přímým ponořením v roztavené soli nebo olovu je naproti tomu rychlý a účinnější, avšak značnou nevýhodou zde představuje poškození povrchu drátu vyžadující zvláštní čištění, a také zhoršené pracovní podmínky.

Přímá elektroroztívní zařízení zavádějící ohřívací proud do drátů elektricky kontaktními kladkami byla v průmyslu použita pro rozličná použití ohřevu drátů. S rostoucí rychlostí a hustotou energie však bylo zjištěno, že nebezpečí jiskření a poškození povrchu může být velmi kritické. Ve výrobě vysoce jakostních a jemných drátů je to zcela nežádoucí.

Přijatelné řešení představují způsoby indukčního ohřevu, které dávají rychlý bezkontaktní ohřev. Indukční ohřev je v současnosti značně rozšířená technologie pro ohřev velkých kusů, například tyčí před kováním nebo kusů určených k povrchovému kalení, jako čepů či ozubených kol apod. Tato technika byla již použita v některých zvláštních odvětvích výroby drátů, například pro odstranění napětí v drátech a pásech pro předepjatý beton. Byla také použita při žihání měděného drátu taženého na tažném stroji.

Indukční ohřev však není téměř užíván v zařízeních pro zpracování množství drátů, například 5, 10, 20, 30 i 40 a více drátů současně. Koncepte bezkontaktního indukčního ohřevu množství drátů byla dlouho považována za technicky nepraktickou a/nebo příliš nákladnou na energii a investiční náklady, zvláště pro dráty velmi malých průměrů. Bylo usuzováno, že indukční ohřev je velmi nákladný z důvodu potřeby zvláštní indukční cívky pro jeden každý drát a s ohledem na složitost připojení všech indukčních cívek ke zdrojům proudu vhodného kmitočtu. Podobně vládne obecná víra a zkušenost, že elektrická a/nebo tepelná účinnost není úměrná při porovnání indukčního ohřevu s jinými způsoby ohřevu. V této souvislosti se věřilo, že indukční ohřev drátů malých průměrů je nejen vysoce neuspokojivý, ale může být i nemožný u drátů pod určitou mez průměru, například 1 až 1,5 mm.

Uvádí se, že tepelný příkon může být nižší než u obvyklých uspořádání, ačkoliv v rámci vynálezu je na praktických úrovních. To znamená, že doba potřebná pro ohřev vzroste. Vynález se zejména týká ohřevu plynule pohyblivých drátů a tedy ve srovnání s obvyklým uspořádáním pro ohřev se požadují větší délky cívek. To způsobuje další potenciální problém, který je třeba vyřešit.

Požadavky na ohřev se mění podle typu a průměru drátu a délka cívky také závisí na rychlosti drátu, která může být například 10 až 100 m.min⁻¹ nebo vyšší. Bylo zjištěno, že to může vést na nepříjemně vysoké rozdíly napětí indukované v celé délce drátu. Tento problém se normálně při indukčním ohřevu nevyskytuje, avšak v tomto zvláštním případě při použití dlouhých cívek a kontinuálních linek na zpracování drátu může napětí v podélném směru drátu dosáhnout i kritické hodnoty nad 50 V, čímž může dojít k jiskření mezi drátem a uzemněnými součástmi zařízení, například vodivými členy, navijecími

cívkami apod., což může vést k nepřípustným poruchám povrchu drátu.

Soudí se, že hlavní příčinou nadměrné akumulace napětí podél drátu je, že vlivem rozteče závitů cívky vzhledem k ose drátu se v tomto indukuje prostorové elektrické pole, které má mírný sklon vzhledem ke směru drátu. Toto pole může být rozloženo na velkou radiální složku a malou axiální složku, jejichž vektorový součet vytváří postupný růst napětí podél drátu.

Rozdělením indukční cívky do cívkových úseků, ve kterých je opačný směr elektrického proudu, jak je například uvedeno v patentovém spise FR-A-2 323 290, je způsoben vznik mrtvých míst v magnetickém poli způsobený vzájemným rušivým působením přilehlých koncových částí cívkových úseků.

Předložený vynález si klade tudíž za úkol odstranit výše uvedenou nevýhodou známého stavu techniky.

Vynález řeší úkol tím, že vytváří zařízení pro indukční ohřev sestávající z cívky, která je rozdělena alespoň ve dva přilehlé cívkové úseky s opačným směrem proudu, jehož podstata spočívá v tom, že přilehlé cívkové úseky mají také opačný směr vinutí.

Je třeba uvést, že záměna vinutí cívky obecně má za následek změnu úhlu závitů vzhledem k ose cívky.

Jiný význam vynálezu se týká konstrukce samotné indukční cívky. Jak bylo již uvedeno, vzduchová mezera mezi předmětem a cívkou má být minimální, to je podle vzorce /2/ poměr D/d má být malý k dosažení co největší účinnosti. To vytváří problémy při zpracování velkého počtu drátů. Použití samostatné cívky pro jeden každý drát není hospodárné. Na druhé straně umístění množství drátů v jedné cívce má za následek velké hodnoty poměru D/d a nerovnoměrné zpracování jednotlivých drátů v závislosti na jejich poloze v cívce.

Vynález tudíž vytváří zařízení pro indukční ohřev s cívkou pro umístění většího množství protáhlých předmětů, jehož podstata spočívá v tom, že cívka má obecně plochý průřez, ve kterém jsou předměty uloženy v řadě. Příčný průřez cívky má tedy tvar protáhlého obdélníka, jehož konce jsou s výhodou zaobleny.

Je možno uvážit, že dvě nebo tři řady předmětů by mohly dát přijatelné výsledky, nejvýhodnější je však uspořádání pouze s jednou řadou. Plošná řada rovnoběžných drátů nebo jiných předmětů je těsně obklopena závitů v podstatě ploché cívky. Závitů cívky jsou s výhodou ploché a jsou například vytvořeny z pásů mědi.

Zatímco teoretické vzorce uvedené výše odpovídají případu jednoho předmětu značné tloušťky obklopeného válcovou cívkou, výhody rozličných opatření předloženého vynálezu zůstávají zachovány při použití ploché cívky a řady stejných předmětů malého průřezu, například drátů.

Zvláště výhodné uspořádání zahrnuje použití vodičů k oddělení jednotlivých drátů a jejich vedení v cívce. Takové vodiče mohou být ve tvaru otevřených kanálů apod. a mohou být spojitě nebo přerušované. Výhodné však je, když vodiče jsou ve tvaru rovnoběžných spojitých trubek.

Vodiče jsou s výhodou elektricky izolující a mohou být vytvořeny z keramického nebo jiného žáruvzdorného materiálu.

Příklad provedení vynálezu je znázorněn na připojeném výkresu, kde obr. 1 je půdorys obecného uspořádání zařízení pro indukční ohřev zahrnující indukční cívku pro množství drátů připojenou ke generátoru středního kmitočtu, obr. 2 je příčný řez podle čáry A-A indukční cívkou z obr. 1, kreslený ve větším měřítku, obr. 3 je příčný řez podle čáry B-B z obr. 2 znázorňující výhodné provedení vinutí cívky v podélném směru drátu, kreslený ve větším měřítku, obr. 4 je jiné výhodné provedení konstrukce vinutí cívky, obr. 5a a 5b znázorňují podrobnější pohled na specifické provedení indukční cívky pro množství drátů se závitů z měděného pásu a s připojenými měděnými chladicími trubkami, obr. 6 je schematický obraz výhodného provedení linky pro indukční ohřev s modulovým stavebním blokem se řadou stejných induktorů pro množství drátů připojených paralelně ke zdroji, obr. 7a je grafické znázornění pracovního režimu, magnetického napětí a permeability, při způsobu podle předloženého vynálezu ve srovnání s obvyklou praxí, obr. 7b znázorňuje zejména na-

měřené hodnoty relativní permeability μ_r v závislosti na magnetickém napětí v $A \cdot m^{-1}$, obr. 8 znázorňuje rozličné možnosti seriového spojení indukčních cívek k ovládání podélného napětí vytvořeného ve směru drátu, obr. 9 znázorňuje rozličné způsoby paralelního uspořádání indukčních cívek k minimalizaci podélného napětí vytvořeného ve směru drátů, obr. 10 znázorňuje indukční ohřívací blok se zlepšeným způsobem připojení zdroje proudu a obr. 11 znázorňuje zvláštní uspořádání ohřívací linky umožňující ohřev a smáčení (11a) a ohřev nad Curieovu teplotu (11b).

V obr. 1 je znázorněno obecné uspořádání soustavy pro indukční ohřev s indukční cívkou 1 pro množství drátů napájenou proudem středního nebo vysokého kmitočtu z generátoru 2. Elektrická síť generátoru 2 normálně zahrnuje síťový transformátor Tr a trojfázový tyristorový můstkový usměrňovač Rf, nárazové tlumivky CH, tyristorový střídač Th1 - Th4 řízeného kmitočtu a baterii kondenzátorů C ke kompenzaci impedance zátěže v závislosti na elektrických charakteristikách generátoru.

Řada drátů W probíhá plynule plochou indukční cívkou 1 a každý drát je veden samostatným tepelně i elektricky izolujícím vodičem 3. Vodiče 3 jsou přednostně keramické trubky vhodného příčného průřezu a jsou uspořádány v jedné ploché řadě obklopené závitů 4 indukční cívky 1. Pro kulaté dráty se normálně používá válcových trubek, zatímco pro profilové dráty, například ploché, může být použito trubek obdélníkového průřezu. Závitů 4 indukční cívky 1 jsou vytvořeny z pevného vysoce vodivého měděného drátu, lana nebo pásu a ve vnější konstrukci indukční cívky 1 je uložen vhodný ochlazovací prostředek, například vodní plášť oddělený od vnitřku indukční cívky 1 a v přímém styku se závitů 4, nebo trubkové měděné závitů s vnitřním vodním chlazením.

Obr. 2 znázorňuje příčný řez kolmý ke směru drátů plochou indukční cívkou 1 pro množství drátů W a ukazuje jasně umístění závitů 4, keramických trubek 3 a drátů W.

Obr. 3 a 4 ukazují další detaily v řezu indukční cívkou 1 podle čáry B-B z obr. 2 a procházejícím osou drátů W. V obr. 3 je znázorněno uspořádání, ve kterém závitů indukční cívky jsou z tuhého měděného pásu 5, který je chlazen vodou protékající spojitou měděnou trubkou 6 připájenou na vnější povrch závitů. Tento typ měděných závitů umožňuje vyrábět velmi ploché indukční cívky 1 s vnitřní dutinou o výšce pod 20 mm.

Obr. 4 znázorňuje indukční cívku z vodou chlazených měděných trubek 7, které mají s výhodou oválný průřez, ploše zaoblený nebo zploštělý příčný řez, aby je bylo možno navinout na malé výšky těsně na vnější povrch řady vodičů zpracovávaných drátů W. Při konstrukci a užívání indukčních cívek je důležité vytvořit výšku indukční cívky co možno těsně k vnitřním vodicím trubkám a udržovat tuto výšku stálou v příčném i podélném směru cívky během provozu.

Z mnohých možností výroby indukční cívky 1 pro množství drátů je možné zvolit tento způsob. Nejprve se měděný vodič navine na trn vhodných rozměrů k vytvoření indukční cívky s požadovanou geometrií, výškou, šířkou, délkou a počtem závitů na jednotku délky. Cívka se zbaví napětí, aby zachovávala stabilitu tvaru a povleče se polymerem nebo jiným materiálem pro odisolování jednotlivých závitů, například se šroubovice cívky napne jako pružina a ponoří se do vhodného laku, ošetří, usuší a uvolní. Potom se surová cívka opatří vhodným mechanickým fixačním orgánem a elektrickými přípojkami a chladicí armaturou. Alternativně mohou být závitů cívky trvale stabilizovány tuhou hmotou, například zalitím epoxidem apod. ve formě, popřípadě zalitím do vláknitého cementového materiálu.

Vnitřní dutina dokončené indukční cívky 1 se opatří předepsaným množstvím vhodných vodicích kanálů, které mohou být vytvořeny ve formě drážkované žáruvzdorné desky nebo vložky s dutinami, v daném případě je použito množství keramických trubek 3 pro oddělené vedení každého drátu indukční cívkou 1.

Mezi keramickými trubkami 3 a měděnými závitů může být též uložena zvláštní tepelně izolační vrstva, například list slídý, žáruvzdorná vláknitá rohož apod., pro další snížení přestupu tepla z drátů W do závitů indukční cívky 1. Tato vrstva také zvyšuje bezpečnost soustavy v případě náhlé poruchy trubkového vodiče a zamezuje nebezpečí přímého styku drátu W s indukční cívkou 1.

Keramické trubky uložené v ploché obdélníkové dutině indukční cívky 1 mající výšku o několik mm větší než je průměr trubek, jsou upevněny u vstupu i výstupu indukční cívky 1 vhodnými stahovacími prostředky. Je-li celková délka ohřevu složena z množství oddělených přilehlých cívkových modulů, mohou být keramické trubky buď spojitě přes celou dráhu ohřevu nebo mít rozsah pouze přes jeden cívkový blok a být spojeny se sousedním modulem vhodnými přírubami. Výhodou tohoto druhého uspořádání je, že porušená trubka nebo/a vadná cívka se snadno a rychle odstraní a nahradí novou.

Obr. 5 znázorňuje podrobněji indukční cívku rozdělenou ve dva oddíly spojené do série a mající opačný směr vinutí se změnou směru ve středu 8 indukční cívky 1. V tomto uspořádání jsou závitů vytvořeny z měděného pásu 5 opatřeného připájenou chladicí trubicí 6, která je podrobněji znázorněna v příčném řezu v obr. 5b. Tato cívka má délku asi 2,4 m a má 37 závitů z měděného pásu 2 mm x 55 mm. Výška vnitřní dutiny cívky je 20 až 22 mm, šířka 60 cm a je v ní uloženo 36 keramických trubek o vnějším průměru 15 mm a tloušťce stěny 2 mm. To znamená, že vzdálenost drátů W je asi 15 mm. Při použití tenkých trubek může být vzdálenost drátů W zmenšena ke zvýšení činitele plnění indukční cívky. Ve výrobní lince však nejmenší dosažitelná vzdálenost také závisí na praktických okolnostech, jako je tažení drátů velmi malými otvory, což by mohlo vést ke přetržení drátů, dostupnost trubek malých průměrů, možnost zapletení drátů apod. Je-li proces indukčního ohřevu zabudován do výrobní linky drátů, může být vzdálenost mezi dráty také podmíněna předchozími nebo následnými operacemi po indukčním ohřevu.

V obr. 6 je znázorněna linka pro indukční ohřev množství drátů, zahrnující řadu oddělených cívkových bloků 1', z nichž každý obsahuje konstrukci indukční cívky pro množství drátů. Cívka je vytvořena z trubkových měděných závitů 7 oválného tvaru, má 36 závitů o šířce asi 10 mm, jak je znázorněno v obr. 6a. Závitů cívky jsou odděleny od keramických trubek tepelně izolační vrstvou 10 o tloušťce několik mm. V obr. 6b jsou cívkové bloky 1' připojeny paralelně ke zdroji dvěma paralelními sběrníci 9. Toto uspořádání je velmi výhodné pro udržování užitečné kapacity generátoru na vysoké úrovni vzhledem k instalovanému výkonu, protože ohmické i induktivní úbytky napětí na sběrnících 9 a indukčních cívkách mohou být udržovány nízké ve srovnání se seriově zapojenými cívkovými bloky tvořícími podstatně delší proudové napájecí linky.

Obr. 7a znázorňuje závislost relativní magnetické permeability μ_r v závislosti na magnetickém napětí H na základě magnetických měření provedených na několika typech drátů W, přičemž pásma A se týká neslitinových ocelových drátů s nízkým i vysokým obsahem uhlíku, křivka B se týká drátu ferritického z oceli s vysokým obsahem chromu. Zvolené pracovní pásmo odpovídá hodnotám relativní magnetické permeability μ_r vyšším než 40 až 50, přednostně než 80 a nejlépe od 100 do 200. K dosažení těchto podmínek je třeba, aby uspořádání závitů indukční cívky a budící proud byly uzpůsobeny k pokrytí širokého pracovního rozsahu od 3000 do 35000 A.m⁻¹, výhodně od 5000 do 20000 A.m⁻¹.

Je třeba poznamenat, že pro hodnoty μ_r asi nad 200 rychlá změna μ_r při změně H může způsobit nežádoucí kolísání pracovních podmínek.

Tento přístup značně závisí na pracovním rozsahu těsně přiléhajícím k saturační magnetizaci H_s , kdy μ_r dosahuje hodnot hluboko pod 40, obvykle 10 až 20, což nastává při normálním indukčním ohřevu podle známého stavu techniky, jak je uvedeno v obr. 7b.

Při použití plochých indukčních cívek pro množství drátů a při použití výše popsaných energetických podmínek je možno získat účinnosti indukční cívky od 60 do 90 % v závislosti na průměru drátů, typicky od 70 do 85 % pro dráty o průměrech 0,75 až 2 mm při kmitočtech generátoru od 8000 do 25000 Hz. Celkové skutečné účinnosti, které také závisí na skutečné účinnosti generátoru a jeho účinnosti v závislosti na zátěži byly ve všech pokusech vyšší než 50 % a ve většině praktických výrobních situací byla celková energetická účinnost soustavy od 60 do 75 %, což jsou překvapivě vysoké hodnoty pro zmíněné průměry drátů.

Obr. 8 znázorňuje rozličná uspořádání indukční cívky pro snížení vyvíjeného napětí, kde buď spojitá dlouhá cívka je rozdělena alespoň ve dva oddíly, které jsou navinuty

v opačných smyslech podle obr. 8a, nebo je celková délka ohřevu složena z proměnlivého počtu seriově zapojených oddělených cívkových bloků podle obr. 8b-e vinutých buď v opačných směrech a majících stejný okamžitý směr proudu podle obr. 8b, nebo připojených ke zdroji tak, že směr proudu je v některých cívkových blocích vyměněn podle obr. 8c-e. Cívkový blok může být také vyměněn podle směru vinutí. V obr. 8 je směr proudu v některém okamžiku vyznačen šipkou i.

Jiné uspořádání je znázorněno v obr. 9, který znázorňuje zařízení pro indukční ohřev rozdělené v řadu cívkových oddílů nebo v oddělené cívkové moduly, které jsou spojeny paralelně ke zdroji, čímž se sníží napětí vyvíjené podél drátů buď záměnou směru proudu nebo směru vinutí nebo oběma způsoby.

Obr. 9a a 9b znázorňují indukční cívku rozdělenou ve dva oddíly s centrálním připojením zdroje, buď se stejnými závity podle obr. 9a nebo s protilehlými závity podle obr. 9b. Šipka i ukazuje okamžitý směr proudu. V koncepci s modulárními stavebními bloky podle obr. 9 c-d-e může být směr proudu měněn od bloku k bloku podle obr. 9c nebo od skupiny bloků ke skupině bloků podle obr. 9d při udržení stejného směru vinutí v cívkovém bloku, nebo může být provedena záměna směru vinutí i směru proudu podle obr. 9e, který znázorňuje uspořádání, ve kterém směr proudu i vinutí jsou vyměněny zároveň mezi dvěma přilehlými cívkovými bloky.

Nejvýhodnější provedení z příkladů znázorněných v obr. 8 a 9 jsou uspořádání s mnoha cívkami, u kterých se současně mění směr vinutí i směr proudu. Tímto opatřením se účinně potlačí rozdíly napětí mezi dráty a uzemněnými součástmi zařízení až na zanedbatelně malé hodnoty od 1 do 5 V a podstatně se sníží i místní rozdíly napětí v délce ohřevu. Navíc všechny ampérv závity následných cívek zůstávají aktivní, protože výměnné uspořádání také vylučuje negativní vzájemné působení mezi dvěma přilehlými cívkami, které by jinak snižovalo účinnou kapacitu ohřevu ohřívací linky.

V obr. 10 je znázorněno přednostní uspořádání stavebního bloku s mnoha cívkami zapojenými paralelně přídavně zlepšené tím, že přívod proudu je uskutečněn novou konstrukcí sběrnice sestávající ze dvou paralelních tyčových vodičů vhodného tvaru, například s profilem U nebo L uspořádaných v těsné blízkosti, maximálně 2 mm a oddělených tenkou vrstvou izolace, například ve tvaru třívrstvé složené tyče. Toto uspořádání přívodu proudu je překvapivě dobré v tom, že značně zamezuje nežádoucí pokles napětí, nejen snížením vzdálenosti zdroje proudu a příslušného ohmického úbytku napětí, avšak zejména potlačením nebo kompenzací účinků induktivního pole podél sběrnic nebo/a mezi zdrojem a cívkami.

Výhodné uspořádání znázorněné v obr. 10 je linka pro indukční ohřev koncepce s modulárními stavebními bloky, sestávající ze sledu cívek 1 pro množství drátů připojených paralelně ke zdroji, s výměnou směru proudu mezi cívkami, ve kterém zlepšená konstrukce sběrnic zahrnuje dva rovnoběžné vodiče 11 profilu U s izolační vloženou vrstvou 12. Přídavná výhoda konstrukce sběrnic spočívá v tom, že dovoluje rychlé a jednoduché připojení nebo výměnu standartních cívkových bloků.

V obr. 11 jsou znázorněna dvě přídavná uspořádání pro indukční ohřev navržená pro zvláštní tepelné zpracování. Obr. 11a znázorňuje ohřívací linku pro ohřev a smáčení, sestávající z první sady cívek s impedancí Z_1 a ze druhé sady cívek s odlišnou impedancí Z_2 , se všemi cívkami přednostně připojenými paralelně ke stejnému generátoru. Impedance Z_2 je uzpůsobena k udržování teplotní hladiny dosažené po rychlém lineárním ohřevu cívkami Z_1 . Jsou proveditelné i jiné teplotní průběhy. V obr. 11b je znázorněno výhodné uspořádání pro současný ohřev množství ocelových drátů nad Curieův bod. Ohřívací linka sestává ze středofrekvenční části tvořené cívkami C1 připojenými ke generátoru G1 a z vysokofrekvenční části C2-G2. Jak je schematicky znázorněno v připojených diagramech ohřevu, je účinný ohřev na vysokou teplotu možný za předpokladu, že je k dosažení generátor s vysokou frekvencí dostatečného výkonu a větší část celkového ohřevu až na teplotu 760 °C se provede při optimální elektrické účinnosti.

Dále je zřejmé, že zařízení pro indukční ohřev množství drátů opatřené jednotlivými keramickými trubkovými kanály umožňuje použití jakékoli ochranné atmosféry. Spotřeba

plynu může být udržována nízkou vzhledem k malému průměru trubek a objemu přiváděného plynu.

Vynález bude nyní podrobněji vysvětlen na příkladech, které vysvětlují praktické výhody zařízení i způsobu indukčního ohřevu množství drátů.

Příklad 1

Indukční cívka pro množství drátů o celkové délce 4,6 m je použita pro současný indukční ohřev 36 ocelových drátů o průměru 1,20 mm. Indukční cívka podobná cívce znázorněné v obr.5 je navinuta z měděného pásu 100 x 2 mm chlazeného vodou v měděné trubce průměru 10 mm připájené na vnější povrch závitů pásu a má vnitřní dutinu o výšce 22 mm a šířce 560 mm. Obsahuje 36 keramických trubek uspořádaných rovnoběžně v jedné rovině pro vedení jednotlivých drátů. Indukční cívka je rozdělena ve dvě části, z nichž každá má 17 závitů, v jedné části levotočivých, ve druhé pravotočivých. K cívce je připojen generátor o výkonu 200 kW a kmitočtu 10 kHz. Všechny dráty mohou být rovnoměrně ohřívány až na teplotu 700 °C a při rychlostech nad 50 m.min⁻¹. V jednom praktickém využití bylo toto zařízení pro indukční ohřev použito v lince se zařízením pro patentování a pro elektrogalvanizační proces k provádění termodifuze na ocelovém drátu s povlakem z mědi a zinku při rovnoměrné rychlosti asi 40 m.min⁻¹.

Podmínky ohřevu byly tyto:

Magnetické napětí: (14 až 15) x 10³ A.m⁻¹

Relativní magnetická permeabilita: $\mu_r = 95$ až 100

Teplo rozptýlené v drátech: 70 kW

Účinnost generátoru: 90,2 %

Účinnost indukční cívky: 65 až 72 %

Celková účinnost ohřevu: 60 až 64 %

Střední teplota drátů: 596 °C

Standartní odchylka: 14 °C, tj. rozptyl teploty u jednotlivých drátů s ohledem na jejich různou polohu uvnitř indukční cívky a jako následek nepatrných odchylek vlhkostí povrchu drátů po elektrickém povlékání, oplachování a sušení.

Maximální rozdíl napětí v podélném směru drátů mezi vstupním i výstupním koncem: 32 V

Napětí mezi dráty a uzemněnými vodivými kladkami: 26 až 29 V.

Příklad 2

Bylo navrženo zařízení pro indukční ohřev množství drátů v počtu 40 na teplotu 700 °C. Zařízení obsahuje dvě indukční cívky o délce 2,4 m a šířce 0,62 m. Každá cívka má 37 závitů z tuhého měděného pásu o průřezu 55 x 2 mm opatřeného měděnou trubkou pro vodní chlazení a má vnitřní dutinu o výšce 20 mm, ve které je 40 keramických trubek o vnějším průměru 14 mm, vnitřním průměru 10 mm. Obě cívky jsou připojeny každá ke generátoru o výkonu 80 kW a kmitočtu 25 kHz. 37 závitů je rozděleno na 18 levotočivých a 18 pravotočivých. Toto zařízení bylo užito ke zpracování 40 drátů o průměru od 0,7 do 1,4 mm při rychlosti od 35 do 65 m.min⁻¹. Při provádění termodifuze na předem povlečených a patentovaných drátech byly tyto pracovní podmínky:

Dráty obsahovaly 0,70 % hmotnosti uhlíku a měly průměr 1,04 mm

Rychlost drátů: 48 m.min⁻¹

Magnetické napětí: 8500 až 9000 A.m⁻¹

Relativní magnetická permeabilita drátů: $\mu_r = 140$ až 160

Pracovní kmitočet: 20600 Hz

Výsledky ohřevu:

Teplo rozptýlené v drátech: 66 kW (pro oba generátory)

Účinnost indukční cívky: 70 až 76 %

Celková tepelná účinnost: 58 až 67 %

Střední teplota drátů: 585 °C

Střední rozptyl teplot 40 drátů: 12,3 °C

Maximální rozdíl napětí mezi vstupem a výstupem drátů: 17 V

Maximální napětí mezi dráty a uzemněnými vodivými prostředky: 15,2 V

Příklad 3

V tomto příkladu se ukazuje užitečnost soustavy pro indukční ohřev množství drátů pro temperování martenzitických ocelových drátů kalených v oleji, zvláště plochých drátů o průřezu 5 x 1 mm. Pro tento účel byl navržen indukční stavební blok o délce 2 m, sestávající ze čtyř cívek o délce 0,50 m v sérii, z nichž každá má 50 závitů z měděné trubky.

Cívky byly připojeny ke generátoru o výkonu 40 kW a kmitočtu 25 kHz. V dutině cívek bylo umístěno 10 keramických vedení obdélníkového průřezu 16 x 10 mm o tloušťce stěn 2 mm. Každým vedením procházel jeden drát. Profilové dráty byly temperovány při teplotě 480 °C při rychlosti od 10 do 25 m.min⁻¹. Střední rozptyl teplot drátů byl menší než 10 °C.

Tato soustava, která nahrazuje obvyklou temperační lázeň roztaveného olova, je zejména výhodná v tom, že je kompaktní a prostá znečištění pracovního prostředí jakož i znečištění drátů olovem, které může zhoršovat jakost povrchu drátů. Také celková spotřeba energie je podstatně nižší, rozptyl tepla do okolí je zanedbatelný, soustava je kompaktní a má nulovou tepelnou kapacitu apod.

Aby byla ukázána mnohostranná použitelnost indukční cívky pro množství drátů opatřené plochými trubkovými keramickými vodiči, byl zkoušen indukční ohřev množství pramenů, z nichž každý sestává z 10 drátů tloušťky 0,5 mm držených ve spojení lepidlem. Zkouška ukázala, že bylo dokonale možno prameny drátů sušit a vypalovat při stálé teplotě od 200 do 300 °C a při vysokých rychlostech až do 300 m.min⁻¹. Energetická účinnost byla 55 až 70 %, účinnost indukční cívky až 80 %, podle typu generátoru a zátěže.

Příklad 4

V tomto příkladu se ukazuje mnohostranná použitelnost indukčních cívek pro množství drátů s ohledem na různá použití ohřevu. Pro výrobu požadovaných indukčních cívek pro množství drátů byly použity rozličné materiály na závity.

V první sérii zkoušek bylo vytvořeno zařízení pro indukční ohřev 10 drátů s jednou nebo několika indukčními cívkami o délce od 1 do 2 m. Ocelové dráty o průměrech od 0,5 do 2 mm byly ohřívány na různé teploty pod 750 °C. Průchozí rychlost drátů byla měněna od 20 do 100 m.min⁻¹.

Byly použity dva typy generátorů, 40 kW - 25 kHz a 80 kW - 10 kHz. Výška dutiny indukční cívky byla 22 mm a byla v ní umístěna jedna řada keramických trubek o průměru 15 mm.

Byly zkoušeny tyto typy vodičů na závity indukčních cívek:

pevný měděný pás 20 x 2 mm, vrstvená měděná folie, 10 vrstev rozměrů 20 x 0,2 mm, měděný kabel 7 x 4 x 0,30 mm, měděný pás 55 x 2 mm s vnější chladicí trubicí a zploštěná měděná trubka 10 x 6 mm. Objemová hustota energie Q, to je celkové teplo rozptýlené ve drátech dělené počtem drátů, délkou cívky a průřezem drátů bylo měněno od 0,3 do 3 kW.m⁻¹.mm⁻² a byly porovnávány skutečné účinnosti ohřevu vypočtené z příkonu dodávaného zdrojem a ze ztrát v indukční cívkách a v generátoru měřených tepelným obsahem chladicí vody.

Obecné závěry z těchto zkoušek jsou tyto:

- indukční cívky pro množství drátů umožňují provádět rychlý ohřev drátů od středních do malých průměrů při dobré celkové energetické účinnosti. Podle průměru drátů, rychlosti, přiváděné hustoty energie a typu generátoru jsou celkové účinnosti v rozmezí od 50 do 75 %.
- Účinnosti indukčních cívek jsou vyšší než 65 % a v mnohých případech od 70 do 85 %, nejnižší hodnota platí pro největší hustotu energie 3 kW.m⁻¹.mm⁻².
- Pro nejvyšší rychlosti drátů dovolují zlepšené konstrukce indukčních cívek s optimální délkou a počtem závitů na 1 m k dosažení optimální hustoty energie zvýšit účinnost indukčních cívek o 5 až 15 %.
- Typ generátoru, zejména účinnost generátoru jako funkce zátěže, jsou významné k dosažení zvýšené celkové účinnosti.
- Je možno bez obtíží použít rychlosti drátů od 150 do 250 m.min⁻¹.

f) Maximální hodnota rychlosti drátů v zařízení pro indukční ohřev množství drátů může být principiálně zvýšena až nad $500 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ vždy při uspokojivé účinnosti ohřevu, když se zvětší celková délka modulárního stavebního bloku přidáním dalších cívkových modulů se všemi cívkami připojenými paralelně ke zdroji proudu sestávajícím z jednoho nebo několika generátorů dostatečného výkonu.

Příklad 5

V tomto příkladu, který se také vztahuje k obr. 8 a 9, bylo vytvořeno velké množství uspořádání cívek za účelem řízení axiálně indukovaného napětí vyvíjeného v pohyblivých drátech. Byla zvolena délka ohřevu 4,5 až 5 m a osazena buď spojitými cívkami, dělenými cívkami nebo modulárními cívkovými bloky buď seriově nebo paralelně připojenými ke zdroji, přičemž byla provedena výměna směru vinutí a/nebo směru proudu. Neočekávaným výsledkem těchto opatření byla skutečnost, že směr proudu v cívkovém dílu nebo cívkovém bloku má poměrně vyšší účinek a význam v řízení a kompenzaci indukovaného napětí v podélném směru drátu než změna směru magnetického toku použitím vinutí opačných směrů. Podle teorie by obě opatření měla mít stejný účinek. Nicméně bylo pozorováno, že při výměně směru proudu mezi dvěma díly cívky nebo dvěma přilehlými cívkovými bloky se celková kapacita ohřevu sníží na významný rozsah. Nejvýhodnější uspořádání, které bylo zjištěno jako překvapivě účinné v praxi při užití sledu přemístitelných cívkových bloků připojených paralelně ke zdroji, spočívá v současné výměně směru proudu i směru vinutí. Některé typické výsledky jsou uvedeny níže:

Typ cívky celkové délky 4,5 až 5 m

	Napětí	
	A	B
1) Spojitá cívka	až 80 V	50 až 70 V
2) Rozdělená cívka s levotočivou a pravotočivou částí	33 V	24 až 29 V
3) dvě rozdělené cívky podle 2)	20 V	14 až 16 V
4) 4 cívky: výměna vinutí	30 až 48 V	5 až 15 V
5) jako 4) s jednou výměnou proudu	16 až 20 V	1,9 až 9 V
6) jako 4) se třemi výměnami proudu	12 až 16 V	1,8 až 2,5 V
7) 10 cívkových bloků se stejným směrem vinutí, výměna proudu mezi pátou a šestou cívkou	20 až 30 V	2 až 5 V
8) výměna směru proudu i vinutí ve všech cívkách	2 až 9 V	0 až 1 V

V případech 1) až 6) cívky spojené seriově, v případech 7) a 8) spojeny paralelně.

A je maximální rozdíl napětí v délce ohřevu

B je skutečné měřené napětí mezi ohřátými dráty vystupujícími z indukční cívky a uzemněným navíjecím zařízením.

Je zřejmé, že je možné mnoho obměn, například pokud jde o volbu nejvýhodnější geometrie indukční cívky, její dutiny a konfigurace pracovní dráhy apod. pro dané použití. Kromě toho výše popsané indukční soustavy mohou být opatřeny vhodnými čidly teploty a vhodnými přístroji pro regulaci proudu pro vytváření automaticky řízených průběhů teploty ve zpracovávaných předmětech, například programovatelného teplotního průběhu ohřevu.

Ačkoliv tato uspořádání se především týkala tenkých drátů, zařízení a způsob mohou být použity i pro mnohem tlustší dráty, například od 3 do 6 mm průměru nebo více, jakož i pro neželezné, například měděné dráty, dráty z nerezové oceli nebo profilové dráty nekruhového průřezu. Přídavně je možný i ohřev na vysoké teploty, například nad Curieovým bodem v případě, že železné materiály se stanou nemagnetickými. Konfigurace indukčních cívek a kmitočet mají být přizpůsobeny pro každý specifický účel.

Majíce na zřeteli rozličné aspekty a výhody výhodného vytvoření vynálezu, bez omezení jeho širších aspektů, zařízení umožňuje ohřev množství předmětů, kde každý předmět je vystaven stejnému průběhu ohřevu podél jeho délky a je veden po určené izolované dráze zařízením, přičemž jednotlivé dráhy jsou uspořádány tak, že tvoří pravidelnou řadu přímých a rovnoběžných kanálů uložených v dutině společné indukční cívky a obklopených

jejími závity.

Kromě toho, že zařízení je energeticky účinné a schopné rovnoměrného, účinného a hospodárného ohřevu až do vysokých rychlostí drátu a k malým průměrům drátu, umožňuje stejný ohřev každého jednotlivého drátu na přijatelný průběh ohřevu, vylučuje nutnost zastavení celé linky v případě náhodného přetržení některého drátu, a to i při zvýšených rychlostech drátů, a zamezuje vznik chyb povrchu drátů, například známek dotyku nebo jiskření.

Výhodné zařízení pro indukční ohřev je opatřeno vhodnými prostředky pro napájení indukční cívky regulovatelným proudem žádaného kmitočtu a dále obsahuje vhodné prostředky pro vedení množství předmětů při stejné rychlosti podél jejich navzájem rovnoběžných drah vedených k indukčním cívkám a těmito cívkami, zařízení je opatřeno plochým ohřívacím ústrojím sestávajícím z jedné nebo několika indukčních cívek uspořádaných vedle sebe v podélném směru drátů a vytvářejících ohřívací dutinu přizpůsobitelné délky a plochého obdélníkového průřezu, a v této dutině probíhají všechny pracovní dráhy. Pracovní dráhy jsou uspořádány v jedné nebo několika vodorovných řadách těsně vedle sebe umístěných izolačních kanálů, kterými jsou kovové předměty jednotlivě vedeny a v jejichž délce jsou tyto předměty ohřívány na předepsanou teplotu.

Podle jiného významu výhodné provedení zařízení obsahuje ploché zařízení pro ohřev kovových drátů, zejména pro současný ohřev množství železných drátů, například na teplotu nepřesahující Curieův bod, například 750°C , přičemž dráty jsou vedeny jednotlivě stejnými žáruvzdornými kanály uloženými v dutině ohřívacího zařízení, s výhodou v jedné vrstvě, přičemž tyto kanály mají rozsah přes celou délku indukčních cívek. Podle zvláštního návrhu indukční cívky pro množství drátů mohou být kanály ve tvaru keramické vložky s mnoha otvory, nejvýhodněji ve tvaru jednotlivých vyměnitelných keramických trubek vhodného průřezu uspořádaných v kompaktní jednovrstvové konfiguraci těsně obklopené závity indukční cívky.

Podle dalšího významu má výhodné zařízení zlepšenou soustavu indukčních cívek pro současný ohřev množství stejných drátů s vysokou energetickou účinností přesahující 50 % a zvýšenou kapacitou drátů pro ohřev 40 i více drátů současně při rychlostech od 10 do více než $100\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ podle typu drátů a procesu, kterážto soustava může být tvořena jednou spojitě navinutou cívkou žádané délky nebo množstvím oddělených cívkových modulů vytvořených jako vyměnitelné bloky a s menší délkou a uspořádaných vedle sebe v řadě v tak zvaném konceptu stavebních bloků a elektricky spojených v sérii nebo paralelně k vytvoření ohřívací dráhy pro množství drátů v libovolné žádané délce k umožnění progresivního přívodu energie a účinného ohřevu při libovolné žádané rychlosti a dále volbou optimální kombinace parametrů cívky a přívodu energie, proudové hustoty a kmitočtu umožnit dosažení energetické účinnosti a průchodu drátů vysoko nad hodnotami dosahovanými způsoby indukčního ohřevu drátů podle známého stavu techniky. Cívka nebo konstrukce cívkového modulu může být vytvořena ve formě integrovaného předem sestaveného stavebního bloku obsahujícího všechny elektrické a ochlazovací přípojky a majícího izolované závity cívky ztuzeny v elektricky nevodivé lici hmotě nebo jinými vhodnými mechanickými prostředky tak, aby v provozu byla udržována stálá výška dutiny indukční cívky, ve které je uloženo množství vyměnitelných keramických trubek pro vedení jednotlivých drátů v rovnoběžných přímých drahách od vstupu k výstupu, přičemž trubky mohou mít nepřerušovaný rozsah přes celou délku ohřevu nebo jsou spojitě pouze v délce cívkového modulu a potom spojeny do linky od jednoho cívkového bloku ke druhému k vytvoření spojitě dráhy pro drát.

Podle výhodného provedení je vytvořeno zvláštní uspořádání závitů cívky a elektrického spojení následných indukčních cívek ke zdroji proudu za účelem minimalizace napětí vyvíjeného podél indukčně ohříváných drátů a zamezení případného jiskření mezi dráty a vodiči nebo navijecími členy.

Další výhodné uspořádání se týká spojení přívodu proudu mezi generátorem a indukčními cívkami, které je navrženo tak, aby ohmické ztráty a zejména ztráty induktivním na-

pětím byly podstatně sníženy, takže skutečný dosažitelný výkon, poměr pracovního napětí indukční cívky ke svorkovému napětí generátoru, byl co možno nejvyšší. V souhlase s tím je provedeno spojení sběrnici složené konstrukce obsahující dva profilové vodiče ve velmi malé vzdálenosti oddělené tenkou izolační vrstvou, a tato složená sběrnice je uložena rovnoběžně k podélnému směru indukční cívky. Tato sběrnice, a zejména v kombinaci s indukčními cívkami, může být použita i v jiných sestavách než jsou zde popsány.

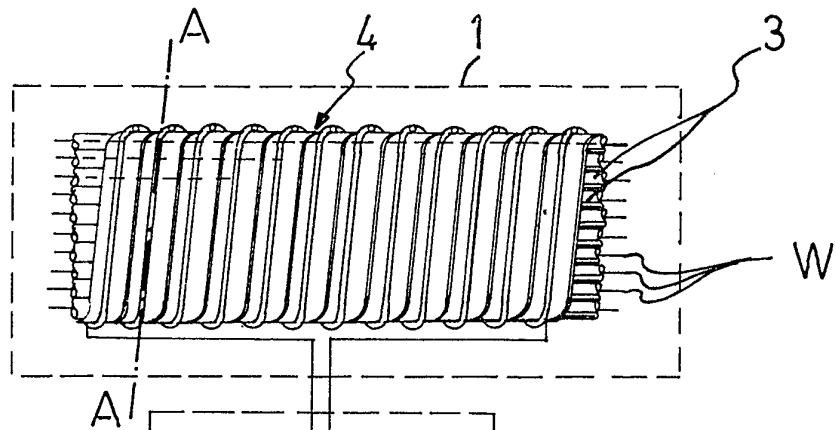
V souhlase s výhodným postupem zpracování je vytvořen zlepšený způsob pro indukční ohřev množství ferromagnetických kovových drátů, například drátů z uhlíkové oceli, přičemž zlepšení spočívá v pečlivé volbě geometrie indukční cívky a podmínek jejího napájení, kde magnetické napětí je udržováno pod úrovní od 30 do 35000 A.m⁻¹ a relativní magnetická permeabilita ohřívajícího drátu přesahuje hodnotu 40 až 50 k minimalizaci ztrát v cívkách pro daný rozsah průměru drátů bez snížení kapacity ohřevu a průchozího množství drátů.

Podle výhodného vytvoření jsou vyvinuty spolehlivé a hospodárné způsoby a zlepšené zařízení pro indukční ohřev množství drátů k použití pro rovnoměrný ohřev množství drátů z uhlíkaté oceli o průměru od 0,3 do 3 mm při zvýšených pracovních rychlostech a při vysokých účinnostech bez nutnosti zastavení linky při náhodném přetržení drátů a bez defektů následkem jiskření.

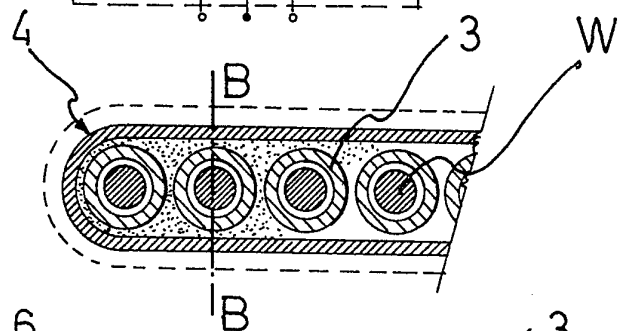
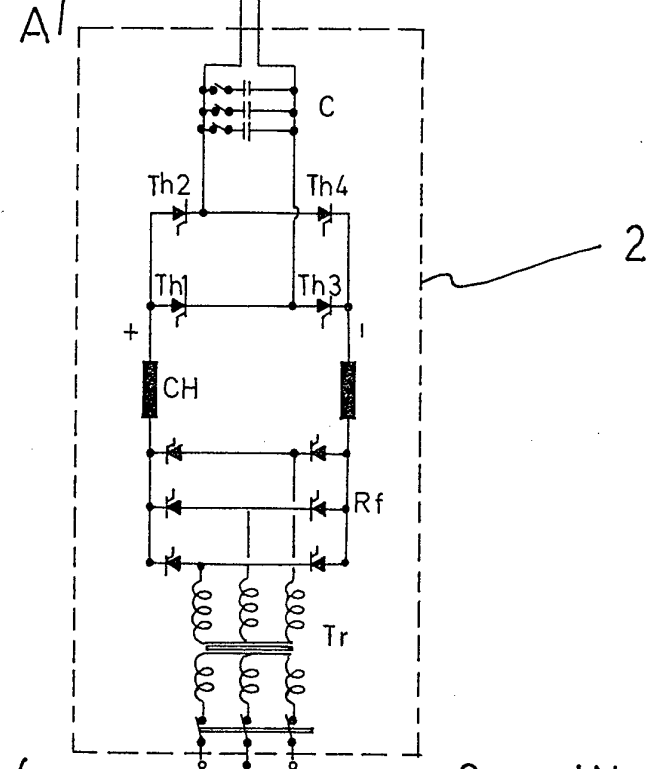
Obecnou výhodou výhodného provedení se zvláštním návrhem indukční cívky, s konceptem cívkového bloku a zlepšeným uspořádáním pro napájení je možnost provádět bezkontaktní, rychlý a hospodárný ohřev ferromagnetických ocelových drátů, kterýžto ohřev může být prováděn odděleně nebo plynule v lince s předchozími nebo následnými stupni zpracování v závislosti na procesu zpracování drátu nebo na zpracovávacím zařízení pro množství drátů, a tento ohřev může být v rychlosti přizpůsoben k optimální rychlosti zpracování celé výrobní linky.

P A T E N T O V É N Á R O K Y

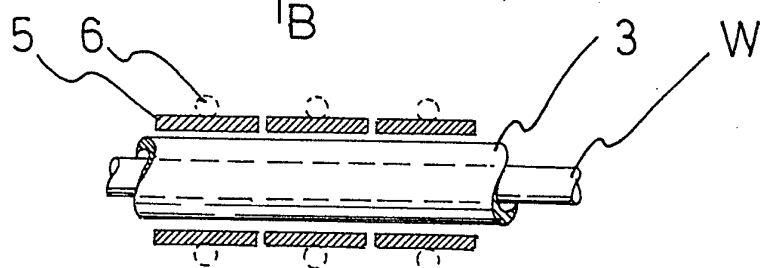
Zařízení pro indukční ohřev sestávající z cívky, která je rozdělena alespoň ve dva přilehlé cívkové úseky s opačným směrem proudu, vyznačující se tím, že přilehlé cívkové úseky mají také opačný směr vinutí.



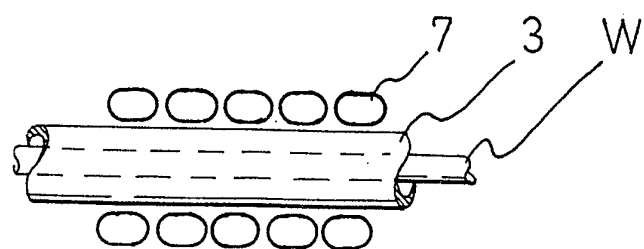
Obr. 1



Obr. 2

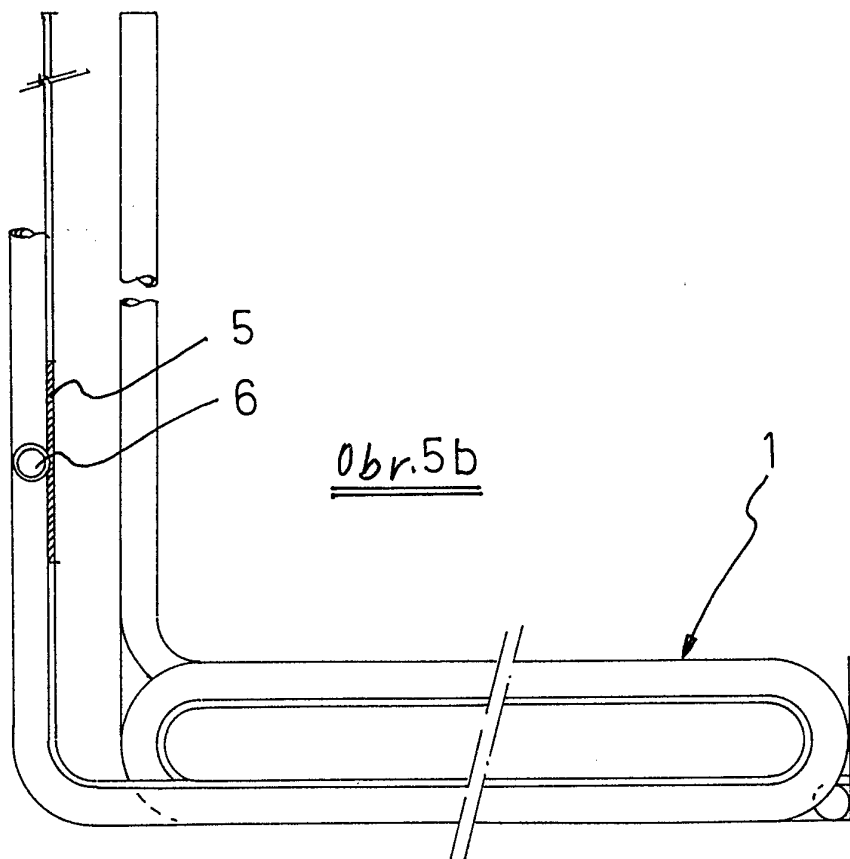
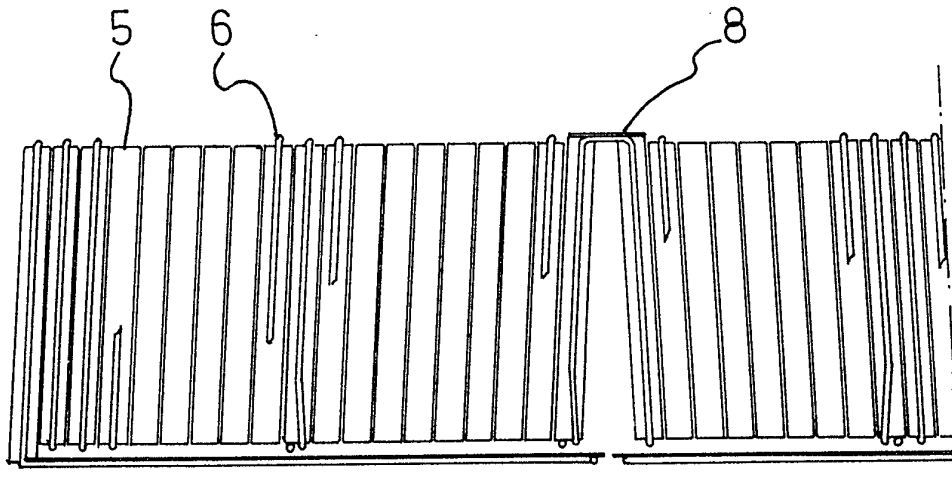


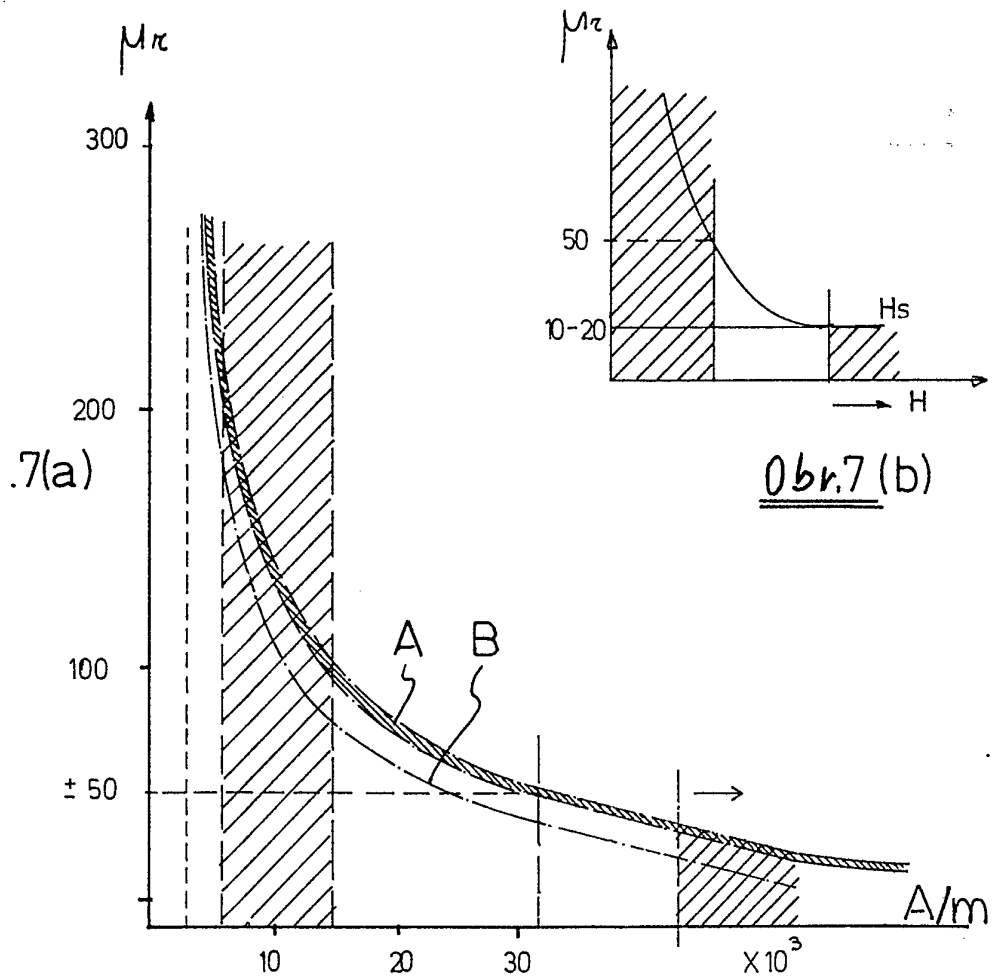
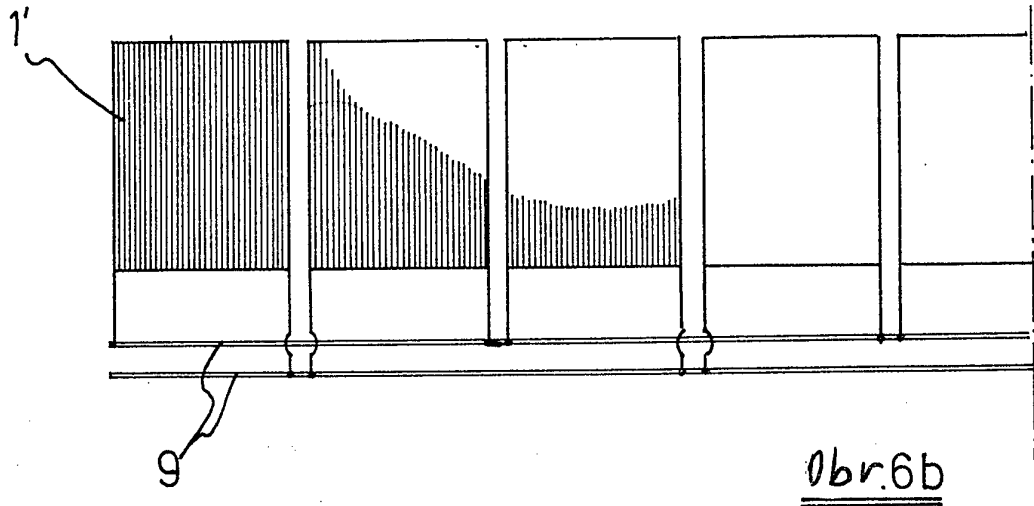
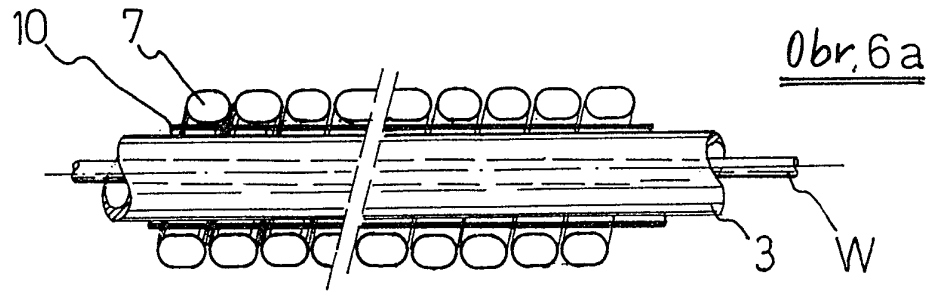
Obr. 3



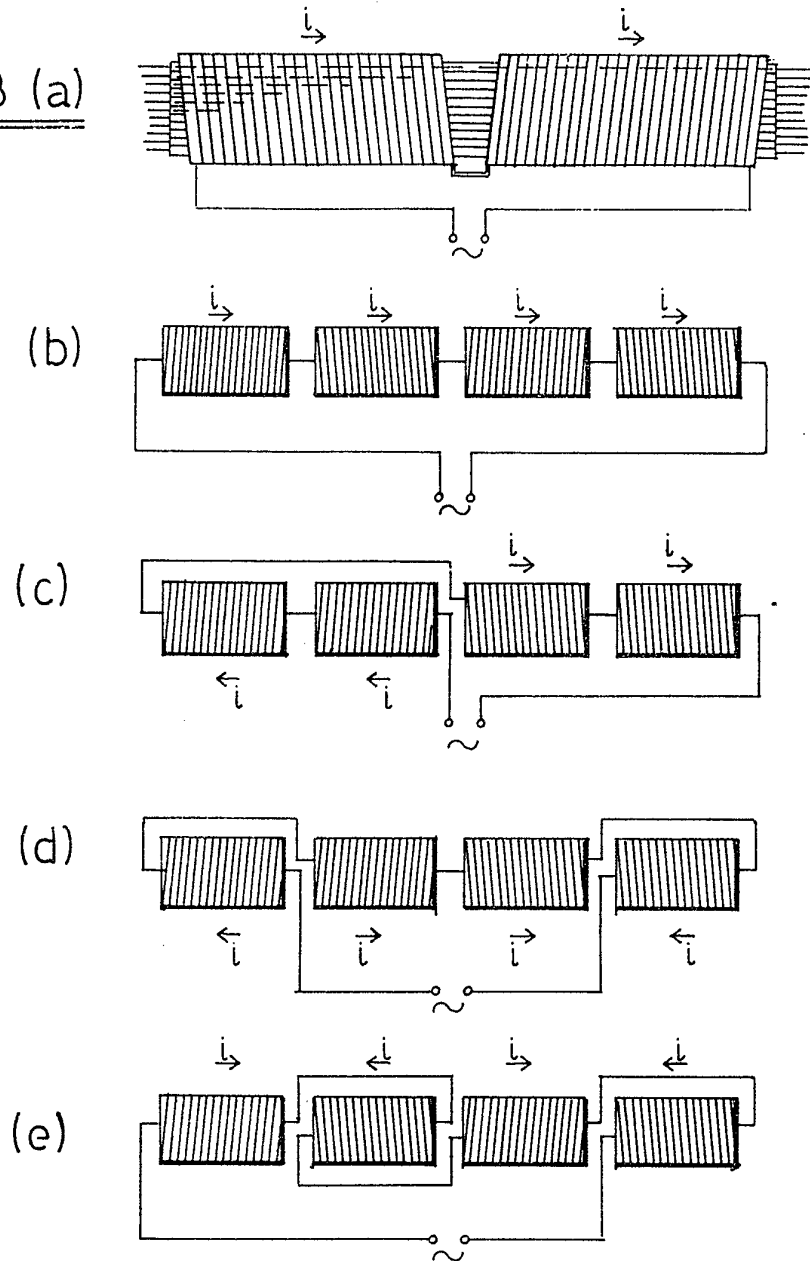
Obr. 4

obr. 5a

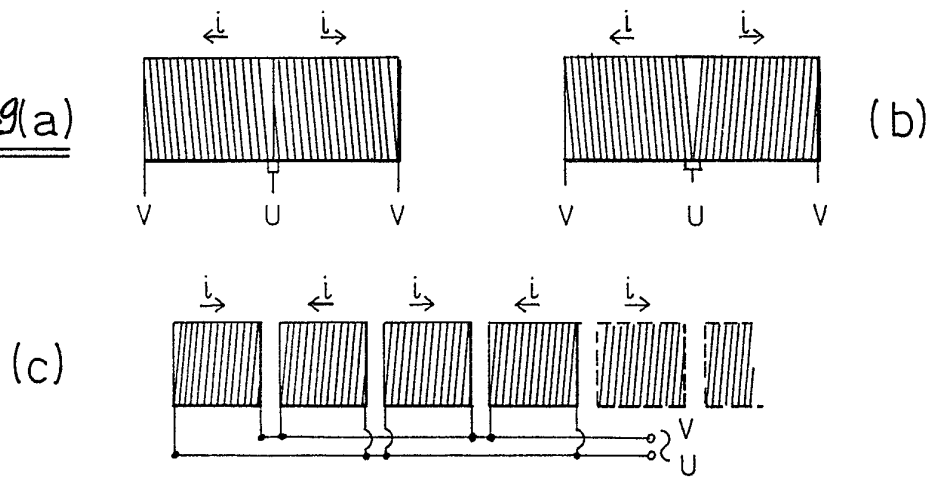




Obr. 8 (a)

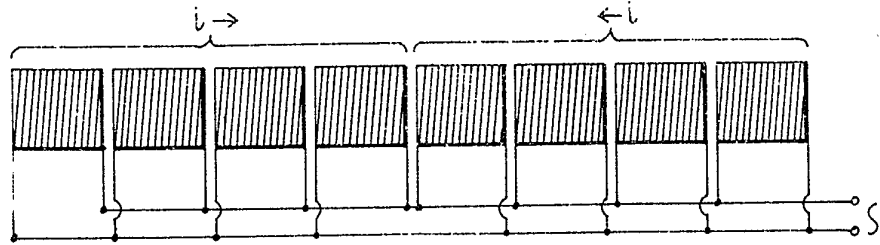


Obr. 9(a)

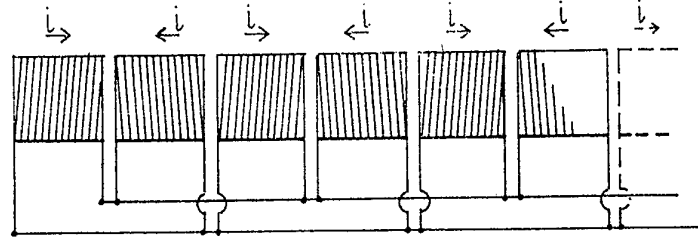


Obv.9

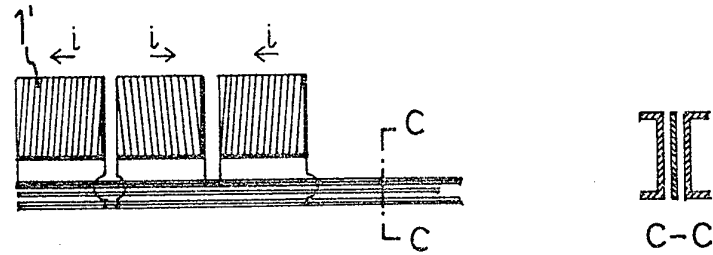
(d)



(e)

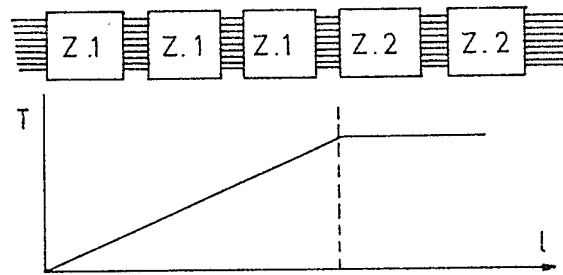


Obv.10



Obv.11

(a)



(b)

