



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

235162
(11) (B1)

(51) Int. Cl.³
B 23 K 9/16

(22) Přihlášeno 15 08 83

(21) [PV 5991-83]

(32) (31) (33) Právo přednosti od 28 09 82
[338 76 87]

Svaz sovětských socialistických
republik

(40) Zveřejněno 17 09 84

(45) Vydáno 15 02 87

(75)

Autor vynálezu

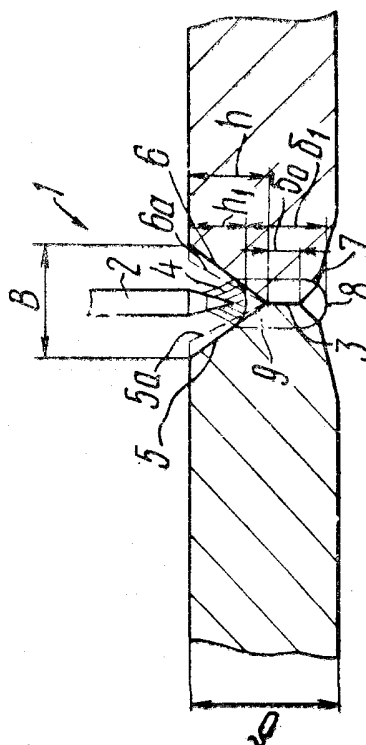
ISČENKO JURIJ SEMJONovič, ROSČIN VLADISLAV VASILJEVIČ,
BUKAROV VIKTOR ALEXANDROVIČ, FLOROVA NINA ALEXEJEVNA,
CHAVANOV VLADIMÍR ALEXANDROVIČ, MOSKVA (SSSR)

(54) Postup svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře s neodtavnou elektrodou

1

Postup svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře s neodtavnou elektrodou spočívá v tom, že před svařením jsou hrany [5, 6] tupého spoje [1] opracovány pro vytvoření zkoseného styku [7] a elektroda [2] je do takto vytvořené styčné spáry zasunuta v celé její hloubce [h]. Pak jsou v prvním průchodu zkosené hrany [3] v celé tloušťce [δ_0] nataveny a vytvořen svarový kořen [8] první vrstvy [9]. Při každém dalším průchodu je energie elektrického oblouku [4] na délkovou jednotku vůči předcházejícímu průchodu změněna o určitou hodnotu. Při dosažení hloubky styčné spáry $h \leq (0,3 \text{ až } 0,4) \cdot \delta$ a její šířky $B \leq (1,0 \text{ až } 1,3) \cdot h$ je elektroda [2] ze styčné spáry vysunuta a nastavena nad povrchem tupého spoje [1] v oblasti styku [3]. Dále je energie elektrického oblouku [4] na délkovou jednotku vůči předcházejícímu průchodu zvýšena skokem a hrany [5b, 6b] tupého spoje [1] jsou úplně odtaveny za současného vytvoření vrstvy [13] na povrchu tupého spoje [1]. V dalších průchodech je pak energie elektrického oblouku [4] na délkovou jednotku po každém průchodu opět změněna o určitou hodnotu až do dosažení převýšení svarového spoje.

2



Obr. 2

Vynález se týká technologie svařování a to jmenovitě svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře s neodtavnou elektrodou při provádění tupých spojů.

Postup svařování podle vynálezu je možno nejúčinněji využít při svařování tupých spojů ocelových konstrukcí a trubek z austenitických ocelí, při montáži a opravách objektů jaderné energetiky, při výrobě technologických potrubí určených pro dopravu ropných produktů nebo zemního plynu, při výrobě potrubí pro rozvod paliv v zařízeních leteckého a raketového průmyslu, tj. všude tam, kde svarové spoje pracují za nejtěžších podmínek, protože tu totiž současně působí vysoká mechanická zatížení a silné korozní prostředí.

Z uvedených důvodů jsou v uvedených průmyslových odvětvích v současné době kladeny na jakost svarových švů tupých spojů zvýšené požadavky. Těmto požadavkům je možno nejlépe vyhovět použitím svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře s neodtavnou elektrodou (TIG). Při tomto postupu svařování nejsou při svařování tupých spojů o tloušťce pod 3 mm styčné hrany opracovány, avšak při tloušťce spoje nad 3 mm jsou styčné hrany opracovány. Při svařování bez opracování hran je při prvním průchodu tupý spoj nataven v celé jeho tloušťce a další průchody jsou pak prováděny tak, že do svařovacího oblouku je přiváděn přídavný materiál, čímž se dosáhne požadované zesílení svarového švu.

Použitím přídavného svařovacího drátu se však technologie svařování komplikuje, vyžaduje vyšší kvalifikaci svářeče a komplexnější a tudíž nákladnější pomocnou výstroj.

Při svařování tupých spojů o tloušťce přes 3 mm jsou pro vytvoření zkosené styčné spáry stykové hrany předem opracovány, elektroda se zasune do celé hloubky takto vytvořené styčné spáry, načež jsou v prvním průchodu zkosené styčné hrany v celé tloušťce nataveny a každý další průchod je prováděn s částečným odtavením hran styčné spáry a s přívodem přídavného kovu do svařovacího oblouku, čímž jsou vytvářeny vrstvy vyplňující kovem prostor mezi hranami styčné spáry až do vytvoření úplného svarového švu. Je tu nutno zdůraznit, že při provádění jednotlivých průchodů s přívodem přídavného drátu do svařovacího oblouku je vyvozován kmitavý pohyb v rovině probíhající kolmo na směr svařování. Tento kmitavý pohyb umožňuje podstatné zlepšení jakosti vytvářeného svarového švu při vysokém svařovacím výkonu.

Při provádění svarů popsanou technologií je obtížné udržování svarového švu, jsou žádoucí doplňkové operace pro zajištění jakosti svarového švu — jako například kmitání svařovacího oblouku, jakož i vyšší kvalifikace svářečů. Pro realizaci tohoto známého postupu svařování je nutná obsáhlá a nákladná pomocná výstroj, jako například

souprava pro přívod přídavného drátu, mechanismus pro vyvozování kmitání svařovacího oblouku a elektrické přístroje pro řízení těchto mechanismů.

Při provádění tupých spojů jsou v praxi uplatňovány různé postupy svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře. Jeden z těchto známých postupů spočívá v tom, že při prvním průchodu je tupý zdroj v celé jeho tloušťce zcela nataven s vytvořením výplňové vrstvy, načež jsou další průchody prováděny bez přídavného drátu. Potřebné zesílení svarového švu je přitom dosaženo tlakovými silami, vznikajícími v tupém spoji v důsledku jeho nerovnoměrného ohřívání svařovacím obloukem, přičemž tyto síly vyvolávají termoplastické deformace svarového kovu, přilehlého ke svařovací lázni. Tímto postupem je však možno získat tupý svarový spoj o vysoké jakosti o tloušťce jen až do 3 mm. Jeho efektivita je tudíž snižována omezením oblasti jeho použitelnosti.

Vytváří tudíž nutnost rozšíření mezi použitelností svařování elektrickým obloukem s neodtavnou elektrodou a bez přídavného drátu a vyvinout jednodušší a hospodárnější technologii svařování tlustších tupých spojů.

Tak je například znám postup vícevrstvého svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře s neodtavnou elektrodou, při jehož uplatnění jsou styčné hrany před svařením opracovány pro vytvoření zkosené styčné spáry a elektroda je pak zasunuta do celé hloubky takto vytvořené styčné spáry. Pak se v prvním průchodu zkosené styčné hrany zcela nataví v celé jejich tloušťce, čímž se získá kořen první vrstvy svaru. Pak je každý následující průchod prováděn s částečným odtavením hran styčné spáry a tím vytvořením další vrstvy, čímž jsou vyvolávány termoplastické deformace styčných hran, přičemž dochází ke zmenšování úhlu spáry a k vyplňování prostoru mezi hranami spáry kovem svarové vrstvy až do vytvoření svarového švu. Stykový úhel styčné spáry se při tom volí v rozmezí 17° až 30° a to tak, že při větší tloušťce kovu je tento úhel menší a při menší tloušťce kovu větší.

Při svařování tupých spojů s použitím tohoto uvedeného postupu svařování je nutno přesně znát stykový úhel styčné spáry pro každou tloušťku tupého spoje. Jinak dochází ke zvýšení počtu průchodů, zajišťujících vyplnění styčné spáry kovem a vytvoření úplného svarového švu. Kromě toho se zvyšují se tloušťkou svarového švu, k níž dochází při následujících průchodech, dochází ke zvyšování tuhosti svarového spoje a jeho odporu proti termoplastickým deformacím vznikajícím v průběhu svařování, což má rovněž za následek nutnost zvýšení počtu průchodů, snížení svařovacího výkonu a zvýšení nákladů na svařování — například z

důvodu zvýšení spotřeby ochranného plynu a elektrické energie.

Při uplatnění uvedeného postupu svařování s malou hloubkou styčné spáry je při provádění dalších průchodů prakticky nutno před vyplněním prostoru mezi hranami styčné spáry kovem a před vytvořením svaru vést elektrodu přesně nad spojem. Jinak by mohlo dojít ke zkratu mezi elektrodou a hranami styčné spáry, čímž by došlo k ovlivnění postupu svařování z důvodu vniknutí částic materiálu elektrody — totiž vniknutí wolframových vměstků do svarového švu, což je nepřijatelné. Tyto vměstky by za provozu zařízení byly zdrojem koroze. Uplatnění tohoto postupu svařování vyžaduje rovněž zvýšenou kvalifikaci svářeče a je jím komplikována a zdražována nutná pomocná výstroj. Kromě toho dochází při zvyšujícím se počtu za sebou následujících průchodů ke zvětšování vyboulení základního kovu na straně kořene svaru první vrstvy. Tím je v daném pásmu vyvoláván stav napjatosti kovu — vznik koncentrátorů mechanických namáhání, čímž jsou snižovány provozní charakteristiky provedeného svarového spoje. Při svařování tupých spojů trubek dochází kromě toho k seškracení průtočného průřezu svařeného potrubí.

Záměrem vynálezu je vlnutí vysoce produktivního postupu svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře s neodtavnou elektrodou pro provádění tupých spojů, při jehož uplatnění má být volbou velikosti zatížení, sledu provedení průchodů a opracováním hran tupých spojů na straně kořene svaru získán svarový šev o vysoké jakosti při nízkých nákladech na svařování a při použití jednodušší pomocné výstroje, aniž by při tom byly ovlivněny vlastnosti pásem, navazujících na svarový šev.

Daný úkol byl vyřešen tím, že při postupu svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře s neodtavnou elektrodou, při němž jsou styčné hrany tupého spoje před svařením opracovány pro vytvoření zkoseného styku a do takto vytvořené styčné spáry je elektroda zasunuta v celé její hloubce, načež je opracovaný zkosený styk v prvním průchodu nataven v celé jeho tloušťce a tím vytvořen kořen svaru první vrstvy a každý další průchod je proveden s vytvořením další vrstvy částečným odtavením hran styčné spáry, vyvozujícím termoplastické deformace hran styčné spáry tak, že úhel rozevření mezi hranami styčné spáry se postupně zmenšuje a dochází přitom k vyplňování prostoru mezi hranami styčné spáry kovem dané vrstvy až do vytvoření úplného svarového švu, při čemž ve smyslu vynálezu je při každém následujícím průchodu energie elektrického oblouku na délkovou jednotku změněna vůči předcházejícímu průchodu tak, že velikost této změny se zjistí ze vztahu

$$\frac{q}{v} = (\delta - h_{n-1}) \cdot 10^4 \left[\frac{k_1 \cdot \delta^2}{(\delta - \delta_1)^2} - \frac{n}{2 \rho \delta} \right]$$

a že při dosažení hloubky styčné spáry $h \leq (0,3 \text{ až } 0,4) \cdot \delta$ a její šířky $B \leq (1,0 \text{ až } 1,3) \cdot h$ se elektroda ze styčné spáry vysune a nastaví se nad povrch tupého spoje v oblasti styku zkosených hran, při čemž se energie elektrického oblouku na délkovou jednotku vůči předcházejícímu průchodu zvýší skokem a provede se úplné odtavení hran styčné spáry tupého spoje za současného vytvoření svarové vrstvy na povrchu tupého spoje, načež se energie elektrického oblouku na délkovou jednotku při každém dalším průchodu postupně mění tak, že velikost této změny se zjistí ze vztahu

$$\frac{q}{v} = (\delta - m_{n-1}) \cdot 10^4 \left[\frac{k_2}{\delta} - \frac{n}{\rho \delta} \right]$$

přičemž v uvedených rovnicích použité symboly značí:

B = šířka spáry — vzdálenost mezi zkosenými hranami styčné spáry a povrchu spoje [cm],

δ = tloušťka tupého spoje [cm],

δ_1 = tloušťka svarové vrstvy po prvním průchodu,

h = hloubka styčné spáry — vzdálenost povrchů svařovaných částí od dna styčné spáry [cm],

h_{n-1} = hloubka styčné spáry po $(n-1)$ -tém průchodu [cm],

k_1 = součinitel z praxe = 1,15 až 1,35,

k_2 = součinitel z praxe = 3,5 až 3,8,

m_{n-1} = hloubka menisku — vydutost svaru po předcházejícím průchodu [cm],

n = průběžné pořadové číslo průchodu — od vytvoření kořene svarového švu až po dosažení svařeného spoje,

$q = I \cdot U$ = energie elektrického oblouku [$W \cdot s^{-1}$],

ρ = poloměr zaoblení povrchu svařovaných částí [cm],

v = rychlost posuvu elektrického oblouku [$cm \cdot s^{-1}$].

Provádění následujících průchodů s postupně se měnícím zatížením, zjištěným z podmínky

$$\frac{q}{v} = (\delta - h_{n-1}) \cdot 10^4 \left[\frac{k_1 \cdot \delta^2}{(\delta - \delta_1)^2} - \frac{n}{2 \rho \delta} \right]$$

zajišťuje vznik maximálních termoplastických deformací při zvyšující se tloušťce vytvářeného svarového švu, majících za následek zmenšování úhlu rozevření styčné spáry a vyplňování prostoru mezi hranami styčné spáry kovem dané vrstvy při dostatečném využití energie elektrického pásma na styčných místech, při dostatečně chladných ostatních místech svařovaných částí. Návrže-

ný sled změn energie elektrického oblouku na délkovou jednotku při jednotlivých průchodech bere v úvahu zvětšování tloušťky vytvářeného svarového švu ($\delta - h_{n-1}$), změnu tuhosti spoje $[k_1 \cdot \delta^2 : (\delta - \delta_1)^2]$, zaoblení svařovaného tupého spoje ($n : 2\rho\delta$) a stupeň ohřátí, který je nutno odvodit z předcházejících průchodů. Uvedené závislosti byly získány na podkladě četných pokusných hodnot. Vytvoření podmínek pro vznik maximálních termoplastických deformací vede ke snížení počtu nutných průchodů a tudíž ke zvýšení svařovacího výkonu. Kromě toho vytvářejí maximální termoplastické deformace podmínky pro rovnoměrné tváření kovu vrstvy ve směru styčné spáry a kořene svaru, čímž je zlepšována jakost takto provedeného svarového spoje.

Operace vysunutí elektrody ze styčné spáry, její nastavení nad povrchem svarového spoje v oblasti styku při dosažení hloubky styčné spáry $h \leq (0,3 \text{ až } 0,4) \cdot \delta$ a její šířky $B \leq (1,0 \text{ až } 1,3) \cdot h$ vede ke zjednodušení následujících operací, speciálně ke zmírnění požadavku na přesné vedení elektrody nad styčnou spárou, čímž se zjednodušuje technologie svařování a potřebná pomocná výstroj a snižují se požadavky na kvalifikaci svářeče. Pokud se týká splnění podmínek $h \leq (0,3 \text{ až } 0,4) \cdot \delta$ a $B \leq (1,0 \text{ až } 1,3) \cdot h$, jsou tyto stanoveny na základě průvarových vlastností elektrického oblouku v ochranné atmosféře. Při provádění průchodu po vysunutí elektrody z oblasti styčné spáry se energie elektrického oblouku na délkovou jednotku změní skokem za podmínky, že je tím zaručeno úplné odtavení hran styčné spáry. Při nesplnění této podmínky nedává libovolné zvýšení energie elektrického oblouku na délkovou jednotku požadovaný výsledek. Při dosažení úplného odtavení hran styčné spáry se na povrchu tupého spoje vytvoří vrstva, čímž se zjednodušuje provádění dalších průchodů tím, že odpadá nutnost vedení elektrody nad povrchem vrstvy v hloubce styčné spáry atd.

Při pokračování se současně při každém dalším průchodu změní energie elektrického oblouku na délkovou jednotku, přičemž se velikost této změny zjistí ze vztahu

$$\frac{q}{v}(\delta - m_{n-1}) \cdot 10^4 \left[\frac{k_2}{\delta} - \frac{n}{\rho\delta} \right]$$

Uvedená závislost byla získána na podkladě četných pokusných hodnot a respektuje zvýšení tuhosti tupého spoje ($\delta - m_{n-1}$) po každém dalším průchodu, jakož i ostatní uvedené faktory.

Při technologii svařování, vedené podle uvedené rovnice, dochází ke vzniku termoplastických deformací, zajišťujících rychlé odstranění zeslabení svarového švu (m_{n-1}), tj. vznikajícího menisku, a vytváření svarového švu o vysoké jakosti.

Při každém následujícím průchodu se změní

něnou energií elektrického oblouku na délkovou jednotku je účelné, když se část tupého spoje ohřeje na teplotu, zjištěnou ze vztahu

$$T_2 < T \leq (0,2 \text{ až } 0,4) \cdot T_1$$

kde značí

T = teplota ohřáté části tupého spoje ($^{\circ}\text{C}$)

T_1 = teplota tavení kovu tupého spoje ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 = teplota ostatních částí tupého spoje ($^{\circ}\text{C}$).

Takto vedenou technologii svařování se zvyšuje nerovnoměrnost ohřátí tupého spoje, čímž jsou jednak zvyšovány termoplastické deformace a také zrychlován průběh zmenšování úhlu rozevření styčné spáry a vyplňování prostoru styčné spáry kovem dané vrstvy. V konečném efektu se tím snižuje počete nutných průchodů a tudíž zvyšuje svařovací výkon. Nutnost zajištění teploty $T \leq (0,2 \text{ až } 0,4) \cdot T_1$ je podmíněna mechanickými vlastnostmi svarového kovu. Právě v oblasti $(0,2 \text{ až } 0,4) \cdot T_1$ dochází u většiny kovů ke značnému poklesu meze pevnosti, což je v našem případě žádoucí pro intenzifikaci termické deformace. Při teplotě části tupého spoje pod teplotou T_2 ostatních částí tupého spoje se zvyšuje nerovnoměrnost ohřevu tupého spoje, což má vliv na intenzivnější deformaci, čímž je zrychlováno zesilování svarového švu.

Je žádoucí, aby po vytvoření vrstvy na povrchu tupého spoje byla koncentrace energie v elektrickém oblouku zvýšena o $(1,5 \text{ až } 2,0)$ -násobek. Tímto zvýšením koncentrace energie v elektrickém oblouku je redukována dodávka energie do média prostředí a je zvyšována průvarnost elektrického oblouku. Kromě toho to vede k větší nerovnoměrnosti v ohřívání spoje, čímž je zajišťován intenzivní průběh termoplastických deformací ve větším rozsahu. Toto je žádoucí hlavně v konečné fázi provádění svarového spoje, kdy jeho tuhost dosahuje maximálních hodnot. Číselná hodnota $(1,5 \text{ až } 2,0)$ je zdůvodněna fyzikálními možnostmi elektrického oblouku v argonové ochranné atmosféře. Technicky je totiž velmi komplikované dosažení v elektrickém oblouku v argonové ochranné atmosféře hustoty energie vyšší než dvojnásobné.

Při každém dalším průchodu je žádoucí posunout elektrický oblouk se změněnou energií na délkovou jednotku ve směru kolmém na směr svařování. Uplatnění této operace při zasunutí elektrody do hloubky styčné spáry umožňuje zvětšení objemu částečného odtavení hran styčné spáry, což má za následek jednak intenzivní zmenšování úhlu rozevření styčné spáry a vyplňování prostoru mezi hranami styčné spáry kovem prováděné vrstvy, jako i zajištění odtavování hran styčné spáry kolem vytvářené vrstvy.

Takto provedená operace po vytvoření vrstvy na povrchu tupého spoje přispívá k rozšíření pásma ohřevu v příčném směru a k intenzifikaci průběhu termoplastických deformací. Je účelné, když se v pásmu zesílení tupého spoje ze strany jeho kořene provede pomocná styčná spára ve tvaru dvou souose šikmých zkosení s různými úhly sklonu jejich bočních ploch vůči vodorovné rovině, přičemž úhel sklonu α_1 boční plochy zkosení vzdálenějšího od styčné hrany je menší než úhel sklonu α_2 boční plochy zkosení přiléhajícího ke styčné hraně.

Provedení takové pomocné styčné spáry ze strany kořene umožňuje zmenšení škodlivého vyboulení povrchu v důsledku termoplastických deformací svarového spoje jak ve vlastním, švu tak i v k němu přiléhající oblasti, čímž se umožní vytvoření pozvolnějšího přechodu povrchu svarového švu do povrchu tupého spoje. Tím je předcházeno hání a jsou zlepšovány jakost svarového spojení koncentrátorů mechanických namáhání a jeho provozní charakteristiky.

Nutnost provedení šikmých bočních ploch zkosení s různými úhly sklonu α_1 a α_2 je podmíněna různými stupni deformace svarového švu a k němu v této oblasti přilehlého kovu. Deformace vznikají nejintenzivněji a ve zvýšeném měřítku v oblasti svarového švu. Proto je úhel sklonu α_2 boční plochy zkosení, přiléhajícího ke styčné hraně, tj. v oblasti svarového švu větší. V oblasti více vzdálené od styčné hrany probíhají deformace méně intenzivně než v oblasti přiléhající ke styčné hraně. Je to zdůvodněno nižší teplotou ohřátí kovu v odlehlejších oblastech a jeho vyššími pevnostními hodnotami, pročež úhel sklonu α_1 boční plochy zkosení více vzdáleného od styčné hrany je menší.

Je žádoucí, aby úhel sklonu α_2 boční plochy zkosení přiléhající ke styčné hraně, byl vzhledem k vodorovné rovině určen ze vztahu

$$\alpha_2 = \arctg \frac{(0,09 \text{ až } 0,11) \sqrt{\frac{2\rho}{\delta}}}{(1,1 \text{ až } 1,3)b}$$

kde značí:

b = šířka vrstvy při prvním průchodu (cm)

δ = tloušťka tupého spoje (cm)

ρ = poloměr zakřivení povrchu svarového spoje (cm).

Úhel α_1 se při tom volí o (1,5 až 2,0)násobek menší než úhel α_2 .

Uvedená závislost byla získána na základě četných pokusných hodnot. Volba velikosti úhlu α_2 podle uvedené rovnice přispívá nejlépe ke zlepšení vlastností svarového spoje.

Další charakteristiky a přednosti vynálezu vyplynou z dále uvedených konkrétních příkladů provedení a příslušných vyobraze-

ní, znázorňujících: obr. 1 — schematický průřez styčnou spárou tupého svarového spoje podle vynálezu; obr. 2 — průřez tupým svarovým spojem podle vynálezu po provedení prvního průchodu n_1 ; obr. 3 — čelní pohled na tupý svarový spoj zakřivené části podle vynálezu, s provedenou první vrstvou; obr. 4 — grafické znázornění změny energie q : v elektrického oblouku na délkovou jednotku mezi jednotlivými průchody „n“; obr. 5 — průřez tupého svarového spoje podle vynálezu při provádění dalších průchodů n_i ; obr. 6 — tupý svarový spoj podle vynálezu při dosažení hloubky styčné spáry $h \leq (0,3 \text{ až } 0,4) \cdot \delta$ a její šířky $B \leq (1,0 \text{ až } 1,3) \cdot h$; obr. 7 — tupý svarový spoj podle vynálezu po provedení průchodu, při němž byla energie elektrického oblouku na délkovou jednotku zvýšena skokem; obr. 8 — provedený svarový šev tupého spoje; obr. 9 — čelní pohled na tupý svarový spoj podle vynálezu, s částí tupého spoje vystavenou doplňkovému ohřátí.

Postup vícevrstvého svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře s neodtavnou elektrodou, realizovaný podle vynálezu, probíhá takto:

Před provedením svaru se styčná plocha tupého spoje opracuje — ze strany elektrického oblouku se provedou zkosení pod úhlem α (obr. 1) vůči svislé rovině a na straně protilehlé elektrickému oblouku se provedou zkosení pod úhly α_1 a α_2 , přičemž úhel sklonu α_1 boční plochy zkosení více vzdáleného od styčné hrany je vůči vodorovné rovině menší než úhel sklonu α_2 boční plochy zkosení přilehlého ke styčné hraně. Hrany se opracují tak, aby bylo získáno kořenové zeslabení o tloušťce δ_0 . Pak se částí tupého spoje 1 (obr. 2) sestaví tak, aby jejich tuhost byla zajištěna s použitím speciálních přípravků nebo sestehováním.

Po sestavení tupého spoje 1 se do celé hloubky h styčné spáry zasune elektroda 2, s respektováním délky elektrického oblouku 4, přičemž se elektroda umístí nad styčnou spárou 3. Mezi elektrodou 2 a styčnou spárou 3 se pak zapálí elektrický oblouk 4, který částečným natavením kovu hran 5 a 6 provede úplné provaření tloušťky δ_0 kořenového zeslabení 7, přičemž se vytvoří kořen 8 svaru první vrstvy 9. Pohybem elektrického oblouku 4 rychlostí v (obr. 3) podél styčné spáry 3 se vytváří první svarová vrstva 9. Při tom je v kovu podél styčné spáry 3 a ve směru na ni kolmém vyvíjen nerovnoměrný ohřev. Na úsecích, jsoucích ve styku s elektrickým obloukem 4 a přilehlých k vrstvě 9, je teplota kovu vyšší než na úsecích odlehlých od vrstvy 9, pročež má kov v úsecích přilehlých k vrstvě 9 snahu roztahovat se více než kov v úsecích odlehlých, čímž dochází v oblasti vrstvy 9 ke vzniku tlakových sil, vyvolávajících plastickou deformaci vrstvy 9, přilehlé ke svařovací lázni 10. Tato deformace má za

následek zmenšení úhlu rozevření spáry 2α (obr. 1) a vyplňování prostoru mezi hranami **5** a **6** kovem z vrstvy **9** (obr. 2). Hraný **5** a **6** zaujmou přitom polohy **5a** a **6a**.

Po provedení prvního průchodu n_1 (obr. 4) s energií elektrického oblouku na délkovou jednotku $q_1 : v_1$, již je tloušťka δ_0 (obr. 1) úplně protavena a vytvořena první svarová vrstva **9** o tloušťce δ_1 , je proveden druhý průchod n_2 . Při tomto průchodu n_2 je zvolena energie elektrického oblouku **4** na délkovou jednotku $q_2 : v_2$ s podmínkou neúplného protavení tloušťky δ_1 . Dále je pak energie elektrického oblouku **4** na délkovou jednotku $q_n : v_n$ při každém následujícím průchodu n_2 až n_i změněna vůči průchodu přecházejícímu podle křivky **11** (obr. 4), vyjádřené rovnicí:

$$\frac{q}{v} = (\delta - h_{n-1}) \cdot 10^4 \left[\frac{k_1 \cdot \delta^2}{(\delta - \delta_1)^2} - \frac{n}{2\rho\delta} \right] \quad (I)$$

v důsledku provedení průchodů n_2 až n_i se změněnou energií elektrického oblouku **4** na délkovou jednotku $q_n : v_n$ se hraný **5** a **6** (obr. 5) vzájemně přibližují tak, že postupně zaujímají polohy **5a**, **6a**; **5b**, **6b** atd. a že šířka spáry **B** se postupně zmenšuje na hodnoty **B₁**, **B₂**, **B₃** až do dosažení hodnoty $B \leq (1,0 \text{ až } 1,3) \cdot h$, přičemž kov v důsledku plastické deformace kovu vrstev vyplňuje prostor mezi hranami **5** a **6** a hloubka styčné spáry **h** se zmenšuje na hodnoty **h₁**, **h₂**, **h₃** až do dosažení hodnoty $h \leq (0,3 \text{ až } 0,4) \cdot \delta$.

V dalším průběhu je pak elektroda **2** (obr. 6) vysunuta z oblasti styčné spáry a navedena nad povrch svarového spoje symetricky vůči hranám **5b**, **6b** atd. Energie elektrického oblouku **4** na délkovou jednotku $q_1 : v_1$ se při tom v porovnání s předcházejícím průchodem zvýší skokem podle křivky **12** (obr. 4). Při průchodu n_i dojde při tom k úplnému odtavení hran tupého spoje **1** za současného vytvoření vrstvy **13** (obr. 7) a s vytvořením menisku o hloubce **m** na povrchu svarového spoje. Po provedení n_i -tého průchodu až po poslední průchod se pak energie elektrického oblouku **4** na délkovou jednotku $q : v$ mění podle křivky **14** (obr. 4) na hodnoty podle rovnice:

$$\frac{q}{v} (\delta - m_{n-1}) \cdot 10^4 \left[\frac{k_2}{\delta} - \frac{n}{\rho\delta} \right] \quad (II)$$

V důsledku plastické deformace vrstvy **13** se hloubka **m** menisku zmenšuje až na hodnotu $\emptyset$, načež se projeví převýšení svarového švu **16** (obr. 8). Průchody jsou při tom prováděny až do dosažení požadovaného převýšení švu **16**. Pro intenzifikaci termoplastických deformací, tj. pro urychlení procesu zmenšování úhlu rozevření spáry **2** mezi hranami **5** a **6** (obr. 2) a vyplňo-

vání prostoru mezi těmito hranami **5** a **6** kovem při každém následujícím průchodu částí **15** (obr. 9) tupého spoje **1**, při nichž mají být postupně nanášeny vrstvy **9a** nebo **9b** (obr. 8) atd., jakož i vrstvy **13** nebo **13a** atd., může probíhat doplňkové ohřívání části **15** na teplotu $T = (0,2 \text{ až } 0,4) \cdot T_1$, při čemž teplota T_1 je teplota tavení kovu tupého spoje ve °C. Část **15** (obr. 9) tupého spoje **1** je při tom ohřívána ve směru nanášení vrstev a ve směru kolmém na směr nanášení vrstev. Rozměry ohřívané části **15** tupého spoje **1** se volí za podmínky maximálního vyplnění prostoru mezi hranami **5** a **6** nebo **5a** a **6a** atd. kovem vrstev. Tento postup ohřívání má za následek snížení počtu průchodů a tím zvýšení svařovacího výkonu.

Dále se koncentrace energie v elektrickém oblouku **4** po provedení vrstvy **13** (obr. 7) na horní straně tupého spoje **1** zvýší o (1,5 až 2,0)-násobek, čímž se sníží odvádění energie do média prostředí a zvýší se ohřátí části **15** (obr. 9) tupého spoje **1**, v níž je právě nanášena vrstva. Tím je ještě více zvyšována nerovnoměrnost ohřátí tupého spoje **1** a vyvolávána intenzifikace termoplastických deformací.

Při provádění průchodů s energií elektrického oblouku **4** na délkovou jednotku $q : v$ změněnou podle křivky **11** (obr. 4) je elektrický oblouk **4** zasunut do hloubky styčné spáry ve směru kolmém na směr svařování, čímž je zvýšen proces odtavování hran **5** a **6** nebo **5a** a **6a** atd. a současně je urychleno vyplňování prostoru mezi těmito hranami kovem.

Při provádění průchodů s energií elektrického oblouku **4** na délkovou jednotku $q : v$ změněnou podle křivky **14** (obr. 4) má odchylka elektrického oblouku **4** od středu vrstvy **13** nebo **13a** (obr. 7) atd. za následek rozšíření pásma ohřevu části **15** (obr. 9) tupého spoje **1**, čímž je zintenzivňován průběh termoplastických deformací.

V dalším textu jsou uvedeny tři příklady realizace postupu svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře s neodtavnou elektrodou tupých spojů podle vynálezu.

Příklad 1

Při svařování tupých spojů potrubí o průměru 108 mm a tloušťce stěny 9 mm, vyrobeného z austenitické oceli, s použitím neodtavné elektrody v ochranné atmosféře argonu, byly hraný tupého spoje připraveny takto: úhel α na straně elektrického oblouku byl proveden 10°, úhel α_2 byl vypočten s použitím rovnice

$$\alpha_2 = \arctg \frac{0,09 \sqrt{\frac{2 \cdot 5,4}{0,9}}}{1,3 \cdot 0,5} = \arctg 0,48 = 26^\circ$$

úhel α_1 byl zvolen poloviční než úhel α_2 , tj. 13° , a tloušťka δ_0 kořenového styku byla zvolena 2,5 mm.

Elektroda byla zasunuta do celé hloubky styčné spáry tak, aby vzdálenost mezi koncem elektrody a kořenovým stykem zůstala 1,0 mm. Pak byl zapálen elektrický oblouk a byl proveden první průchod s úplným

$$\frac{q_2}{v_2} = (0,9 \text{ až } 0,34) \cdot 10^4 \left[\frac{1,15 \cdot 0,9^2}{(0,9 \text{ až } 0,29)^2} - \frac{2}{2 \cdot 5,4 \cdot 0,9} \right] = 14\,300 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1}$$

S tímto nastavením energie elektrického oblouku na délkovou jednotku byl proveden druhý průchod, načež byla opět změřena hloubka styčné spáry po druhém průchodu h_2 a zjištěna energie elektrického oblouku na délkovou jednotku pro provedení dalších průchodů podle vztahu $q_3 : v_3$ atd.

Po provedení čtvrtého průchodu, kdy hloubka styčné spáry činila $h_4 = 0,25$ cm při její šířce $B_4 = 0,30$ cm, byla elektroda ze styčné spáry vysunuta a nastavena symetricky vůči hranám styčné spáry nad povrchem svařovaného potrubí. Pak byla e-

$$\frac{q_6}{v_6} = (0,9 \text{ až } 0,15) \cdot 10^4 \left[\frac{3,5}{0,9} \text{ až } \frac{6}{2 \cdot 5,4 \cdot 0,9} \right] = 20\,000 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1}$$

Při tomto nastavení elektrického oblouku byl proveden šestý průchod, načež po jeho provedení byla změřena hloubka menisku m a z ní zjištěna energie elektrického oblouku na délkovou jednotku pro provedení dalších průchodů ze vztahů $q_7 : v_7$ atd.

Po devátém průchodu meniskus zcela zmizel a převýšení svarového švu činilo 0,03 centimetru.

Po provedení uvedených operací byl tudíž vytvořen svarový spoj o stejné pevnosti, s rovnoměrným zesílením svarového švu po jeho obvodu, s těmito mechanickými vlastnostmi:

mez pevnosti — 60,4 až 67,4 kg · mm⁻²
úhel ohybu — 180°
rázová houževnatost: 12,4 až 16,5 kgm · cm⁻²

Příklad 2

Svaření tupých spojů potrubí o průměru 108 mm a tloušťce stěny 9 mm, vyrobeného z austenitické oceli, bylo s použitím neodtavné elektrody v ochranné atmosféře argonu provedeno analogicky s údaji podle příkladu 1, s tím rozdílem, že po provedení prvního průchodu byla část tupého spoje doplňkově ohřáta na teplotu $T_1 = 400^\circ\text{C}$, při níž byla nanášena druhá vrstva. Po prvním průchodu byla změřena hloubka styčné spáry $h_1 = 0,325$ cm, při čemž byl první průchod proveden s energií elektrického oblouku na délkovou jednotku $q_1 : v_1 = 11\,900 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1}$. S ohledem na zmenšení hloubky styčné spáry po prvním průchodu, tj. na urychlení vyplňování prostoru mezi hranami styčné spáry kovem vrstvy,

protavením tloušťky kořenového styku při energii elektrického oblouku na délkovou jednotku $q_1 : v_1 = 11\,900 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1}$. Pak byla změřena hloubka styčné spáry po prvním průchodu $h_1 = 0,34$ cm. Poté byla zjištěna energie elektrického oblouku na délkovou jednotku pro provedení druhého průchodu podle rovnice

energie elektrického oblouku na délkovou jednotku zvýšením proudu zvýšena skokem na hodnotu $q_5 : v_5 = 18\,900 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1}$ a při tomto nastavení byl proveden pátý průchod, při němž byly při vytvoření vrstvy na povrchu tupého spoje styčné hrany zcela odtaveny. Po provedení pátého průchodu byla změřena hloubka menisku $m = 0,15$ cm. Pro provedení šestého průchodu byla hodnota energie elektrického oblouku na délkovou jednotku zjištěna s použitím rovnice (II):

činila při provádění druhého průchodu energie elektrického oblouku na délkovou jednotku $q_2 : v_2 = 13\,100 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1}$. Po provedení třetího průchodu se hloubka styčné spáry zmenšila na $h_3 = 0,28$ cm při její šířce $B = 0,30$ cm. Pak byla energie elektrického oblouku na délkovou jednotku změněna skokem na hodnotu $q_4 : v_4 = 19\,150 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-1}$ a při tomto nastavení byl proveden čtvrtý průchod s úplným odtavením styčných hran a s vytvořením vrstvy na povrchu spoje. Po provedení čtvrtého průchodu byla změřena hloubka menisku $m = 0,15$ cm. Hodnoty energie elektrického oblouku na délkovou jednotku $q_5 : v_5$, $q_6 : v_6$ atd. pro provedení pátého a dalších průchodů byly vypočteny podle rovnice (II).

Po provedení osmého průchodu meniskus zmizel a převýšení svaru činilo 0,02 cm. Zjištěné pevnostní hodnoty takto provedeného svarového švu byly analogické s hodnotami uvedenými v příkladě 1.

Doplňkové ohřátí části tupého spoje mělo tedy za následek zmenšení počtu potřebných průchodů, zkrácení svařovacího času tupého spoje a tudíž zvýšení svařovacího výkonu.

Příklad 3

Svaření tupých spojů potrubí bylo provedeno podobně jako v příkladě 2, s tím rozdílem, že po provedení čtvrtého průchodu, při němž došlo k úplnému odtavení hran styčné spáry za současného vytvoření vrstvy na povrchu spoje byla změnou tvaru činné části neodtavné elektrody zvýšena hustota energie o 1,5násobek. Po skončení pá-

tého průchodu byla změřena hloubka menisku $m = 0,04$ cm, zatímco hloubka menisku po pátém průchodu podle příkladu 2 byla $m = 0,06$ cm. Pro provedení šestého průchodu byla energie elektrického oblouku na délkovou jednotku nastavena na hodnotu $q_6 : v_6 = 22\,900$ W . cm⁻¹. Po sedmém průchodu meniskus zmizel a převýšení sva-

rového švu činilo 0,03 cm. Zjištěné pevnostní hodnoty takto provedeného svarového švu byly podobné jako v příkladě 1.

Zvýšení koncentrace elektrického oblouku mělo tudíž za následek ještě větší snížení počtu průchodů, zkrácení svařovacího času tupého spoje a odpovídající zvýšení svařovacího výkonu.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Postup svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře s neodtavnou elektrodou, při němž jsou styčné hrany tupého spoje před svařením opracovány pro vytvoření zkoseného styku a do takto vytvořené styčné spáry je elektroda zasunuta v celé její hloubce, načež je opracovaný zkosený styk v prvním průchodu nataven v celé jeho tloušťce a tím vytvořen kořen svaru první vrstvy a každý další průchod je proveden s vytvořením další vrstvy částečným odtavením hran styčné spáry, vyvozujičím termoplastické deformace hran styčné spáry tak, že úhel rozevření mezi hranami styčné spáry se postupně zmenšuje a dochází při tom k vyplňování prostoru mezi hranami styčné spáry kovem dané vrstvy až do vytvoření úplného svarového švu, vyznačující se tím, že při každém následujícím průchodu je energie elektrického oblouku (4) na délkovou jednotku ($q:v$) změněna vůči předcházejícímu průchodu tak, že velikost této změny se zjistí ze vztahu

$$\frac{q}{v} = (\delta - h_{n-1}) \cdot 10^4 \left[\frac{k_1 \cdot \delta^2}{(\delta - \delta_1)^2} - \frac{n}{2 \rho \delta} \right]$$

a že při dosažení hloubky styčné spáry $h \leq (0,3 \text{ až } 0,4) \cdot \delta$ a její šířky $B \leq (1,0 \text{ až } 1,3) \cdot h$ se elektroda ze styčné spáry vysune a nastaví se nad povrch tupého spoje (1) v oblasti styku zkosených hran (3), přičemž se energie elektrického oblouku (4) na délkovou jednotku ($q_n : v_n$) vůči předcházejícímu průchodu ($q_{n-1} : v_{n-1}$) zvýší skokem a provede se úplné odtavení hran (5b, 6b) styčné spáry tupého spoje (1) za současného vytvoření svarové vrstvy (13) na povrchu tupého spoje (1), načež se energie elektrického oblouku (4) na délkovou jednotku ($q_i : v_i$) při každém dalším průchodu změní tak, že velikost této změny se zjistí ze vztahu

$$\frac{q}{v} = (\delta - m_{n-1}) \cdot 10^4 \left[\frac{k_2}{\delta} - \frac{n}{\rho \delta} \right]$$

přičemž v uvedených rovnicích použité symboly značí:

B = šířka spáry — vzdálenost mezi zkose-

nými hranami (5, 6) styčné spáry na povrchu tupého spoje (1) (cm)

δ = tloušťka tupého spoje (1) (cm)

δ_1 = tloušťka svarové vrstvy (n_1) při prvním průchodu (cm)

h = hloubka styčné spáry — vzdálenost povrchů svařovaných částí od kořene styčné spáry (cm)

h_{n-1} = hloubka styčné spáry po ($n-1$)tém průchodu (cm)

k_1 = součinitel z praxe = 1,15 až 1,35

k_2 = součinitel z praxe = 3,5 až 3,8

m_{n-1} = hloubka menisku — vydutost svaru po předcházejícím průchodu (cm)

n = průběžné pořadové číslo průchodu — od vytvoření kořene svarového švu (8) až po dosažení svařového spoje

q = $I \cdot U$ = energie elektrického oblouku (4) (W . s⁻¹)

ρ = poloměr zaoblení povrchu svařovaných částí (cm)

v = rychlost posuvu elektrického oblouku (cm . s⁻¹).

2. Postup vícevrstvého svařování elektrickým obloukem podle bodu 1, vyznačující se tím, že se před každým následujícím průchodem se změnou energie elektrického oblouku (4) na délkovou jednotku ($q : v$) je část (15) tupého spoje (1) ohřata na teplotu, jejíž hodnota se zjistí ze vztahu

$$T_2 < T \leq (0,2 \text{ až } 0,4) \cdot T_1$$

přičemž uvedené symboly značí:

T = teplota ohřátí části (15) tupého spoje (1) (°C)

T_1 = teplota tavení kovu tupého spoje (1) (°C)

T_2 = teplota ostatních částí tupého spoje (1) (°C).

3. Postup vícevrstvého svařování elektrickým obloukem podle bodu 1 nebo 2, vyznačující se tím, že po vytvoření vrstvy (13) na povrchu tupého spoje (1) se hustota energie elektrického oblouku (4) zvýší o (1,5 až 2,0)násobek vůči předcházejícímu průchodu.

4. Postup vícevrstvého svařování elektrickým obloukem podle kteréhokoliv z bodů 1 až 3, vyznačující se tím, že elektrický oblouk (4) je po každém následujícím průchodu se změněnou energií elektrického oblouku (4) na délkovou jednotku ($q : v$) přesunut ve směru kolmém na směr svařování.

5. Postup vícevrstvého svařování elektrickým obloukem podle kteréhokoliv z bodů 1 až 4, vyznačující se tím, že v oblasti zesílení tupého spoje (1) jsou ze strany jeho kořene (8) styčné hrany (3) opracovány do tvaru dvou souose provedených zkosení o různých úhlech sklonu jejich bočních ploch, přičemž úhel sklonu (α_1) boční plochy zkosení vzdálenějšího od styčných hran (3)

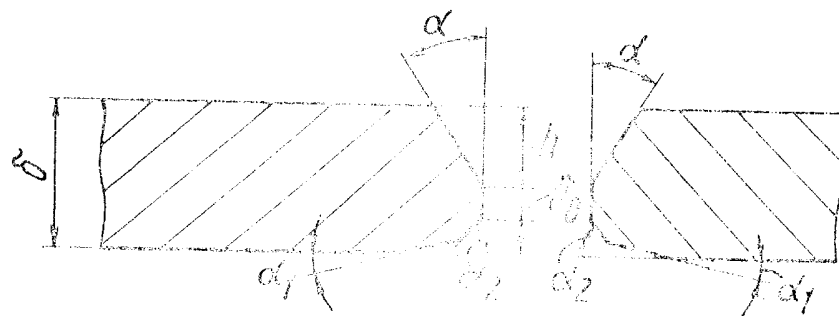
je menší než úhel sklonu (α_2) boční plochy zkosení přiléhajícího ke styčným hranám (3).

6. Postup vícevrstvého svařování elektrickým obloukem podle bodu 5, vyznačující se tím, že úhel sklonu (α_2) boční plochy zkosení přilehlého ke styčným hranám (3) se zjistí ze vztahu.

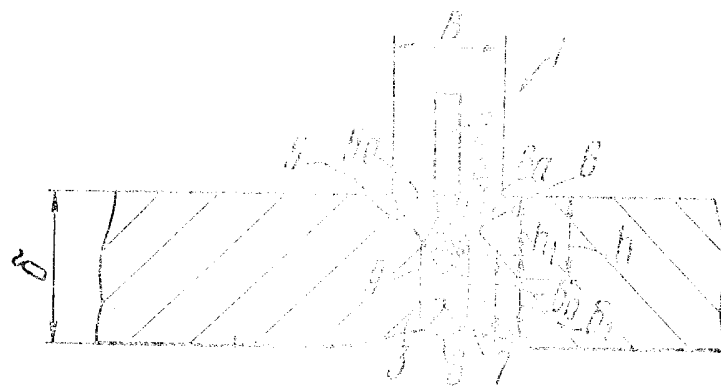
$$\alpha_2 = \arctg \frac{(0,09 \text{ až } 0,11) \sqrt{\frac{2\rho}{\delta}}}{(1,1 \text{ až } 1,3) \cdot b}$$

a že úhel sklonu (α_1) boční plochy zkosení vzdálenějšího od styčných hran (3) je o (1,5 až 2,0)násobek menší než úhel sklonu (α_2), přičemž uvedené symboly značí:

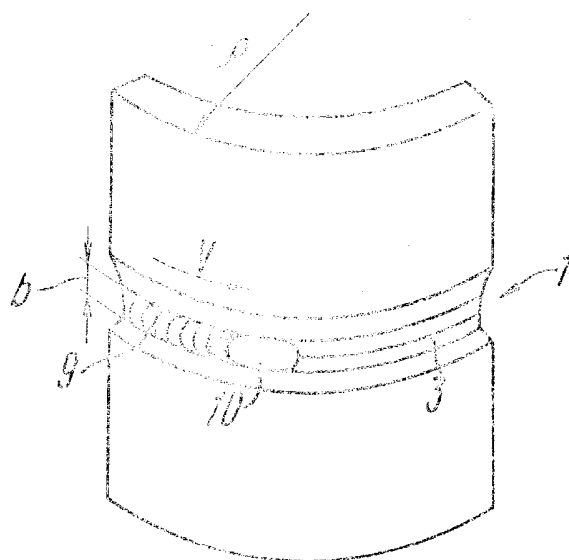
b = šířka vrstvy v prvním průchodu (cm)
 δ = tloušťka tupého spoje (1) (cm)
 ρ = poloměr zakřivení povrchu svařovaných částí (cm).



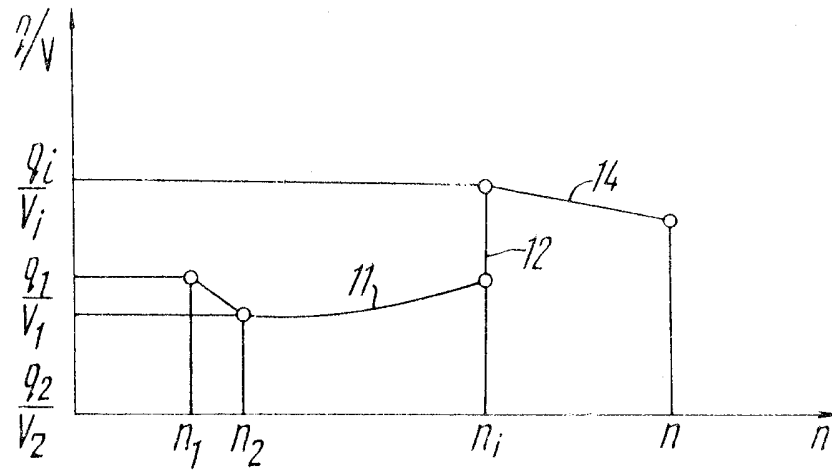
Obr. 1



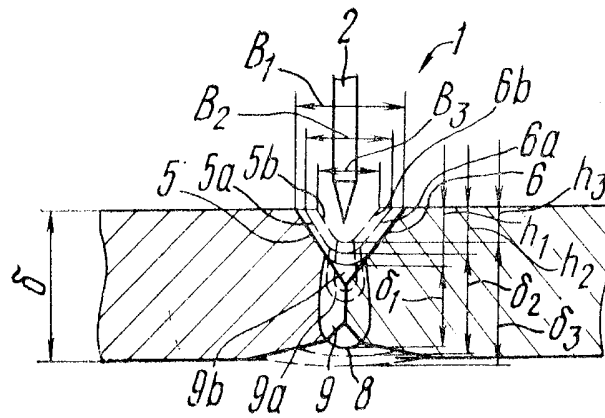
Obr. 2



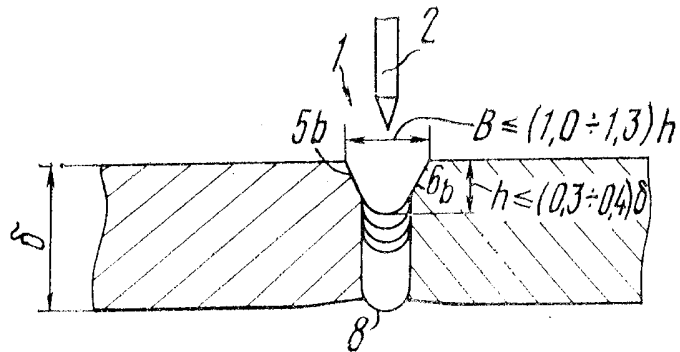
Obr. 3



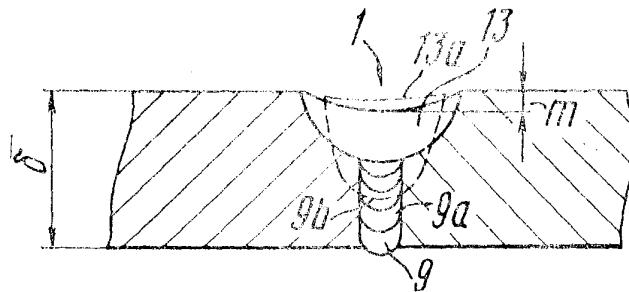
Obr. 4



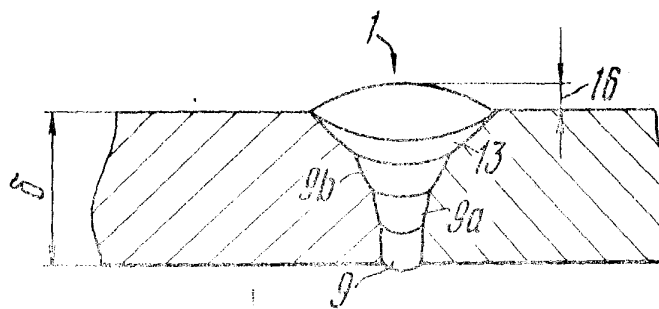
Obr. 5



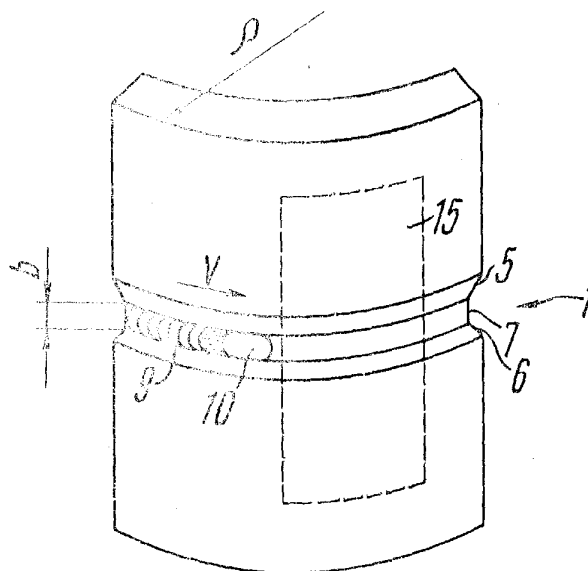
Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8



Obr. 9