



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K PATENTU

262413
(11) (B2)

(51) Int. Cl.⁴
B 23 K 20/00

(22) Přihlášeno 11 10 83
(21) [PV 7479-83]

(40) Zveřejněno 16 08 88

(45) Vydáno 15 07 89

(72) (73)

Autor vynálezu
a současně
majitel patentu

MOE PER HARALD, DRAMMEN (Norsko)

(54) Způsob spojování kovových dílů difúzním svařováním

1

2

Mezi spojovanými díly se mezi protilehlými omezovacími plochami vytvoří dutina, která má od obvodu ke středu vzrůstající výšku. Dutina se připojí spojovacím kanálem k vnějšímu zdroji proplachovacího plynu, a to zdroji vakua. Během počátečního zahřívání a stlačování dílů se do dutiny zavádí netečný nebo redukční proplachovací plyn, například vodík, až se dutina uzavře difúzním svařením po celém obvodu. Potom se dutina evakuuje a provádí se při dalším zahřívání rychlé stlačení a po něm teplotní a tlaková prodleva až do úplného difúzního svaření dílů. Je účelné zmenšit průřez dílů v oblasti spoje a stlačit je během difúzního svařování až na původní průřez.

Vynález se týká způsobu spojování kovových dílů difúzním svařováním, při němž se mezi protilehlými omezovacími plochami svařovaných dílů vytvoří spára, díly se zahřejí na požadovanou teplotu alespoň v oblastech sousedících se spárou, spojí se přitisknutím k sobě a ochladí.

Přednosti a nedostatky difúzního svařování jsou popsány například v publikaci *Welding Handbook*, 7. vydání, svazek III, str. 312 a další. Jako výhodu lze uvést skutečnost, že lze vytvářet spoje, jejichž vlastnosti a mikrostruktura jsou velice podobné základnímu materiálu, a že lze spojovat i tehdy, když tvar spojovaných dílů ztěžuje použití jiných způsobů. Mimoto lze vyrábět spoje s minimální deformací, které tedy není třeba dodatečně upravovat ani tvářet.

Mezi nedostatky patří velmi vysoká cena zařízení, což omezuje rozměr předmětů, které se dají hospodárně svařovat difúzním svařováním. Nezbytný přívod tepla a vysoká přitlačná síla v definovaných podmínkách, například ve vakuu nebo ochranné atmosféře, vyvolávají těžko řešitelné problémy, pokud jde o nezbytné zařízení, a představují proto podstatné omezení použitelnosti způsobu. Mimoto panuje domněnka, že způsob vyžaduje velice pečlivou a důkladnou úpravu povrchu a že zabírá víc času než jiné běžné způsoby.

Účelem vynálezu je odstranit tyto nedostatky a přizpůsobit způsob difúzního svařování pro výrobu potrubí sloužícího k dopravě plynu a ropy mimo pevninu. Takové potrubí se v současné době vyrábí tak, že se sekce potrubí svařují k sobě buď ručně, nebo automatickým zařízením k obloukovému svařování v ochranné atmosféře CO_2 na palubě lodi určené k pokládání potrubí. Zpravidla probíhá svařování potrubí současně v několika stanicích, aby se zvýšila rychlost kladení potrubí. Z praktických důvodů jsou svařovací stanice umístěny ve vodorovné čáře a v každé stanici může pracovat současně několik svářečů. Hotové potrubí se spouští z plavidla přes tzv. „žihadlo“, které brání zlomení potrubí přímo za plavidlem a probíhá v esovité křivce dolů k mořskému dnu. V položeném potrubí se udržuje jisté napětí, a proto musí mít plavidlo k pokládání potrubí kotvy, kterými se během pokládání potrubí přitahuje postupně dopředu. Kotvy se musejí čas od času přemísťovat před plavidlo a k tomu se musí používat dalších pomocných lodí.

Z různých důvodů by bylo žádoucí spouštět potrubí svisle dolů z plavidla tak, aby probíhalo v jediném oblouku dolů k mořskému dnu. To by mimo jiné umožnilo lepší regulaci napětí v položeném potrubí a mohly by odpadnout kotvy a pomocná plavidla a místo nich by se dalo využít dynamického přemísťování plavidla. Při svislé orientaci potrubí na palubě lodi sloužící k pokládání potrubí by však bylo velice obtížné použít více než jedné svařovací stani-

ce. Při současných pomalých způsobech svařování by tedy rychlé pokládání potrubí nebylo realizovatelné do té míry, aby bylo prakticky použitelné.

Způsob podle vynálezu umožňuje provádět svařování dvou úseků potrubí tak rychle, že rychlost kladení potrubí je dostatečně velká i při svislé orientaci potrubí na palubě plavidla, takže lze využít všech výhod spojených s takovou orientací.

Způsob podle vynálezu spočívá v tom, že spára mezi omezovacími protilehlými plochami spojovaných dílů se vytvoří ve tvaru dutiny, jejíž výška se od obvodu ke středu zvětšuje, a opatří se nejméně jedním spojovacím kanálem, během zahřívání dílů se do dutiny zavádí nejprve inertní nebo redukční proplachovací plyn až do těsného uzavření spoje po obvodu, poté se dutina spoje přes spojovací kanál evakuuje a spoj se stlačí předem stanovenou rychlostí pro další difúzní svaření.

V důsledku uvedeného tvaru spáry působí na začátku svařování po obvodu spoje vysoký plošný tlak. V důsledku toho může difúze začít po obvodu při tak nízkých teplotách, že nedochází k oxidaci povrchů. Proplachování netečným plynem zabraňuje přístupu kyslíku a tedy nedochází k oxidaci. Použije-li se redukčního plynu, dají se odstranit oxidy, které se mohly případně dříve vytvořit na plochách spoje. Po uzavření dutiny po obvodu, což se projeví tím, že proplachovací plyn přestane unikat, lze připojit spojovací kanál ke zdroji vakua, takže dutina se evakuuje. Tím se odstraní zbytkové plyny a vyvolá se nucená disociace oxidů a ostatních nečistot do jisté míry při vzrůstající teplotě. V důsledku teploty a tlaku se spára uzavře současně po celém obvodu rychle a za krátkou dobu proběhne úplné difúzní svaření. Rychlé stlačení je výhodné proto, že vyvolává v místě spoje vyšší tlak, což je vyvoláno tím, že namáhání materiálu na mezi tečení se zvyšuje rychlostí deformace.

Podle výhodného provedení vynálezu je alespoň jedna z omezovacích ploch dutiny opatřena po obvodu vrubovým ozubením. To zajišťuje dostatečně rychlé unikání proplachovacího plynu během prvních fází spojování.

Dále je podle vynálezu velmi výhodné vytvořit jednu z omezovacích ploch spáry ve vydutém tvaru. Tím se vytvoří výhodné rozložení napětí během konečného stlačování dílů a zajišťí se tedy dokonalé svaření po celé ploše spoje.

Další výhodné provedení podle vynálezu spočívá v tom, že nejméně jedna a s výhodou obě omezovací protilehlé plochy se vytvoří v kuželovém tvaru. Kuželový tvar se totiž opracovává strojně podstatně přesněji; když jsou kuželové obě plochy, a to jedna vydutá a jedna vypuklá, vznikne mezi oběma díly při přitlačování samočinný stře-

dící efekt. Takový tvar svařovaných ploch rovněž zajišťuje jejich úplné svaření.

Aby se zvýšil kontaktní tlak na ploše spoje během stlačování, zmenší se podle vynálezu průřez dílů v oblasti spoje. Tím se přítlačný tlak na ploše spoje zvýší podstatně nad hodnotu jednoosé napjatosti při namáhání na mezi tečení materiálu při panující teplotě; výsledkem je rychlejší a dokonalejší difúze.

K proplachování lze použít různých netečných plynů, podle vynálezu se však dává přednost heliu, protože se při výrobě ochlazuje na takovou teplotu, že je prakticky zaručeně prosté kyslíku. Mimoto lze ke kontrole, zda obvod spoje je dokonale uzavřen před evakuací, použít spolehlivých detektorů helia, které jsou běžně na trhu.

Když se k proplachování použije redukčního plynu, je k tomu účelu velmi výhodný vodík. Nejen odstraňuje oxidové vrstvy, ale umožňuje i zrakovou kontrolu uzavření spoje, protože unikající vodík na povrchu spoje hoří. Vodík nemá na měkké konstrukční oceli, spojované způsobem podle vynálezu, naprosto žádný škodlivý vliv.

Podle vynálezu se navrhuje opatřit spoje aktivační slitinou, například slitinou paládía a niklu 40/60. Slitina se může zavádět jako tenký proužek materiálu nebo se může nanést na jednu nebo obě svařované plochy galvanicky. Tím se mimo jiné krátí doba potřebná k difúznímu svaření. Spojovací kanál pro přívod proplachovacího plynu a k vypouštění plynu a evakuaci může být s výhodou upraven v jednom ze spojovaných dílů, s výhodou v blízkosti jeho obvodu. Při takovém uspořádání lze kanál uzavřít okamžitě po difúzním svaření hlubokozávarovou elektrodou nebo plasmovým svařením s neodtavující se elektrodou, dokud je teplota svařovaných dílů dostatečně vysoká, například 400 až 600 °C.

Vynález bude vysvětlen v souvislosti s příklady znázorněnými na výkrese, kde obr. 1 a 2 znázorňují schematicky první provedení dvou dílů určených ke svaření na začátku a po skončeném difúzním svaření, obr. 3 a 4 druhé provedení dvou svařovaných dílů na začátku a po provedeném svaření, obr. 5 a 6 další příklad dvou svařovaných dílů na začátku svařování a po jeho skončení a obr. 7 díly podle obr. 6 po dalším stlačování.

Na výkrese jsou vzájemně odpovídající části označeny stejnými vztahovými značkami.

Obr. 1 ukazuje řez částí dvou dílů 1, 2, což mohou být například svorníky z konstrukční oceli ST — 52-3. Obr. 1 lze rovněž považovat za osový řez tlustostěnnou troubou, jejíž osa je na levé straně výkresu. Mezi oběma díly 1, 2 je spára ve tvaru dutiny 3, která je omezena vydutou omezovací plochou 4 na dílu 1 a rovinnou omezovací plochou 5 na dílu 2. V dílu 1 je vytvořen spojovací kanál 6, který ústí do dutiny 3 spoje,

jehož druhý konec lze připojit alternativně ke zdroji proplachovacího plynu a ke zdroji vakua, které nejsou znázorněny. Šipky F znázorňují proměnlivou přítlačnou sílu, zatímco zvlnitá křivka nalevo od dílů 1, 2 udává rozložení teploty v axiálním směru obou dílů 1, 2.

Když se mají díly 1, 2 spojovat, uvedou se nejprve do polohy podle obr. 1 a podrobí se přítlačné síle F. Tuto sílu může vyvolávat neznázorněný hydraulický systém, který může například obsahovat upínací prstenec na každém z obou spojovaných dílů 1, 2, přičemž upínací prstence jsou vzájemně propojeny hydraulickými válci. Lze samozřejmě použít i jiných provedení, což závisí na tvaru a průřezu spojovaných dílů. Potom začne zahřívání, například pomocí neznázorněné indukční cívky. Současně se přivádí spojovacím kanálem proplachovací plyn. Proplachovací plyn nejprve uniká po obvodu 7 dutiny 3 v důsledku menších nepravidelností nebo vroubků na omezovacích plochách 4, 5 spoje. Účelem proplachování je odstranění kyslíku od spojovaných ploch, aby se zabránilo jejich oxidaci během zahřívání a případně aby se odstranily přítomné oxidy. Nezávisle na tom, jak byly omezovací plochy 4, 5 očištěny před svařováním, způsobí totiž i krátkodobé působení vzduchového kyslíku vznik oxidové vrstvy tloušťky 350 až 1 000 × 10⁻⁴ μm, což závisí na teplotě a vlhkosti vzduchu.

Když teplota materiálu v blízkosti obvodu 7 dutiny 3 vzroste na 600 až 800 °C, přičemž rozložení teploty probíhá podle schematické křivky na levé straně obr. 1, dochází působením vhodné přítlačné síly F k difúzi mezi díly 1, 2 tak, že dutina 3 se po obvodu 7 uzavře. To lze sledovat různými způsoby, například tím, že plyn přestane unikat z obvodu 7, nebo že tlak v dutině 3 spoje přestane klesat.

Jakmile je spoj po obvodu 7 uzavřen, připojí se spojovací kanál 6 ke zdroji vakua, kterým se sníží tlak v dutině 3 na hodnotu přibližně 0,0133 Pa. Současně se teplota dílů 1, 2 zvyšuje, jak je schematicky znázorněno na křivce vlevo na obr. 2, na teplotu asi 1 350 °C. Při vhodné přítlačné síle F se dutina 3 uzavře během několika sekund. Výsledek je schematicky znázorněn na obr. 2. Během 15 až 30 minut dojde k úplnému difúznímu svaření. Dokonalé svary byly vytvořeny dokonce během tak krátké doby difúze, jako je 8 minut, při teplotě kolem 1 350 stupňů Celsia. Potom se díly 1, 2 ochladí v klidném vzduchu asi na 600 °C, což při tloušťce materiálu 40 mm trvá asi 4 minuty. Při této teplotě lze uzavřít přívodní kanál 6, například hlubokozávarovou elektrodou nebo plasmovým svařením s neodtavující se elektrodou.

Obr. 3 znázorňuje 2 díly 1, 2 obecně stejného vnějšího tvaru jako na obr. 1. Svařovací dutina 3 však má odlišný tvar a její

omezovací plochy 4, 5 jsou obě kuželové, jedna vypuklá a jedna vydutá. Vrcholové úhly dvou kuželů jsou nestejně, takže dutina 3 má směrem ke středu vzrůstající výšku. Vzdálenost mezi vrcholy omezovacích ploch 4, 5 dutiny 3 může být asi 10 % tloušťky dílů 1, 2. Kuželový tvar omezovacích ploch 4, 5 způsobuje, že při přitlačení dílů 1, 2 k sobě dochází k samočinnému vyrovnání do osy. Kuželový tvar rovněž brání nedostatečné difúzi ve středu spoje, což by mohlo snadno nastat, kdyby dolní omezovací plocha 5 byla rovinná a horní omezovací plocha 4 kuželově vypuklá.

Jinak probíhá spojování dílů 1, 2 stejným způsobem, jak bylo popsáno v souvislosti s obr. 1 a 2. Konečný výsledek ukazuje obr. 4.

Tlak během difúzního svařování představuje velice důležitý parametr, který se dá jen obtížně regulovat. Podle shora uvedené publikace se předpokládá, že tlak se nedá zvýšit nad hodnotu namáhání na mezi tečení materiálu při teplotě panující během svařování, aniž by se použilo forem zabráňujících vzájemnému přemístění spojovaných dílů. Použití takových forem je obtížné a zvyšuje cenu zařízení, a v některých oborech takových forem vůbec nelze použít, protože svařovaná místa jsou nepřístupná. Protože rychlost difúze se obecně zvyšuje se čtvercem tlaku, lze zvýšením tlaku na dvojnásobek až trojnásobek namáhání na mezi tečení snížit dobu difúze asi na čtvrtinu až devětinu odpovídající doby difúze při jednoosém tlaku. Alternativně lze připustit podstatně větší množství oxidů na spojovaných plochách a tím případně vynechat proplachování dutiny redukčním plynem.

K vytvoření tak vysokých tlaků se podle vynálezu navrhuje, aby se v oblasti spoje vytvořilo trojosé napětí. Je známo, že při tahových zkouškách materiálu ve formě silných zkušebních tyčí dochází ke smrštní smykovou deformací, přičemž ve střední části vzniká štěpný lom. Štěpný lom je způsoben tím, že axiální napětí uprostřed tyče je mnohem vyšší než mez kluzu materiálu, přičemž materiál po obou stranách smrštní drží v důsledku radiálních napětí. Následkem toho axiální napětí vzrůstá a deformace klesá, když rozdíl mezi axiálním a radiálním napětím klesne pod hodnotu meze kluzu, jak učí Trescaův princip.

Podle vynálezu lze vytvořit trojosou napjatost tím, že na dílech 1, 2 se vytvoří v oblasti spoje značné zúžení průřezu oproti sousednímu materiálu. Příklad je znázorněn na obr. 5, kde se jako proplachovací plyn používá vodík, což se projevuje vznikem plamenů zakreslených po obvodu spoje.

Jakmile plameny zmizí, je spára uzavřena, takže k tomuto zjištění nemusí sloužit

žádné detekční zařízení. Když se dutina 3 uzavře po obvodu, působení plné stlačovací síly F vyvolá uzavření celé dutiny 3 za velice složitých podmínek namáhání, které jsou dynamického charakteru. Trojosé napětí, působící přesně v okamžiku uzavření, vyvolává v důsledku zúžení průřezu a poměrně chladného okolního materiálu napětí, která probíhají napříč k dutině 3 a jsou 5- až 6-násobkem napětí na mezi tečení stejně silných dílů. Tato situace je zakreslena na obr. 6. Potom se díly 1, 2 přitlačí k sobě poměrně malou přitlačnou silou působící tak dlouho, až zúžené místo nabyde stejný průřez jako ostatní části dílů. Oba díly 1, 2 pak mají po celé délce stejnou tloušťku, jak znázorňuje obr. 7.

Bez použití vnější formy mají tedy svařené díly 1, 2 správný tvar, v důležité fázi svařování panuje vysoký přitlačný tlak, oxidy, které mohly být na svařovaných plochách, se rozloží na dvojnásobnou nebo několiknásobnou plochu, takže oxidová vrstva je podstatně tenčí, a dochází ke zvýšené globulární konverzi a k urychlení rekrytalizace.

Když se dosáhne požadované tloušťky spoje, může přitlačná síla ustát a udržuje se doba a teplota difúze tak dlouho, až se zbývající póry uzavřou rekrytalizací. Má-li být spojování mnohem rychlejší, lze galvanicky pokovovat omezovací plochy 4, 5 nebo mezi ně vložit proužek aktivační slitiny, například slitiny Pd/Ni 60/40.

V důsledku velmi vysokých napětí, která vznikají v oblasti spoje při zmenšení průřezu podle obr. 5, lze předpokládat, že původní tvar dutiny 3 a předběžná povrchová úprava jejích ploch je méně kritická než v jiných případech.

Zkoušky prováděné způsobem podle vynálezu při svařování svorníků z konstrukční oceli ST 52-3, které měly průměr 40 mm, přinesly vynikající výsledky, zejména pokud jde o tažnost a pevnost v tahu. V oblasti vystavované působení tepla ve svornících, které byly ohnuty do tvaru vlásenky, bylo naměřeno více než 60% prodloužení. Povrch zlomu jasně ukazoval smykový lom.

Je samozřejmé, že vynález lze použít i pro jiné účely než pro svařování potrubí s velkým průměrem. Například je způsob použitelný ke svařování příhradových nosníků při stavbě mostů a mořských plošin.

Jak bylo uvedeno, lze na jedné nebo na obou omezovacích plochách dutiny vytvořit po obvodu vroubkování, aby se zajistilo unikání proplachovacího plynu během prvních fází svařování. V jistých případech může být výhodné vytvořit mírné vroubkování na celé omezovací ploše spoje. Takové vroubkování pak dává ozvěnu při pozdějším ultrazvukovém zkoušení, když spoj není úplně svařen.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Způsob spojování kovových dílů difúzním svařováním, při němž se mezi protilehlými omezovacími plochami dílů vytvoří spár, díly se zahřejí na požadovanou teplotu alespoň v oblastech sousedících se spárou, spojí se přitisknutím k sobě a ochladí, vyznačený tím, že spára se vytvoří ve tvaru dutiny, jejíž výška se od obvodu ke středu zvětšuje, a opatří se nejméně jedním spojovacím kanálem, během zahřívání dílů se do dutiny nejprve zavádí inertní nebo redukční proplachovací plyn až do těsného uzavření spoje po obvodu, poté se dutina spoje přes spojovací kanál evakuuje a spoj se stlačí předem stanovenou rychlostí pro další difúzní svaření.

2. Způsob podle bodu 1, vyznačený tím, že alespoň jedna z omezovacích ploch spáry se vytvoří ve vydutém tvaru.

3. Způsob podle bodu 1, vyznačený tím, že alespoň jedna z omezovacích ploch spáry se vytvoří v kuželovém tvaru.

4. Způsob podle bodu 3, vyznačený tím,

že oběma plochám se udělí kuželový tvar, a to jedné z nich vydutý a druhé vypuklý tvar.

5. Způsob podle jednoho z bodů 1 až 4, vyznačený tím, že dutina se proplachuje héliem jako netečným plynem.

6. Způsob podle jednoho z bodů 1 až 4, vyznačený tím, že dutina se proplachuje vodíkem jako redukčním plynem.

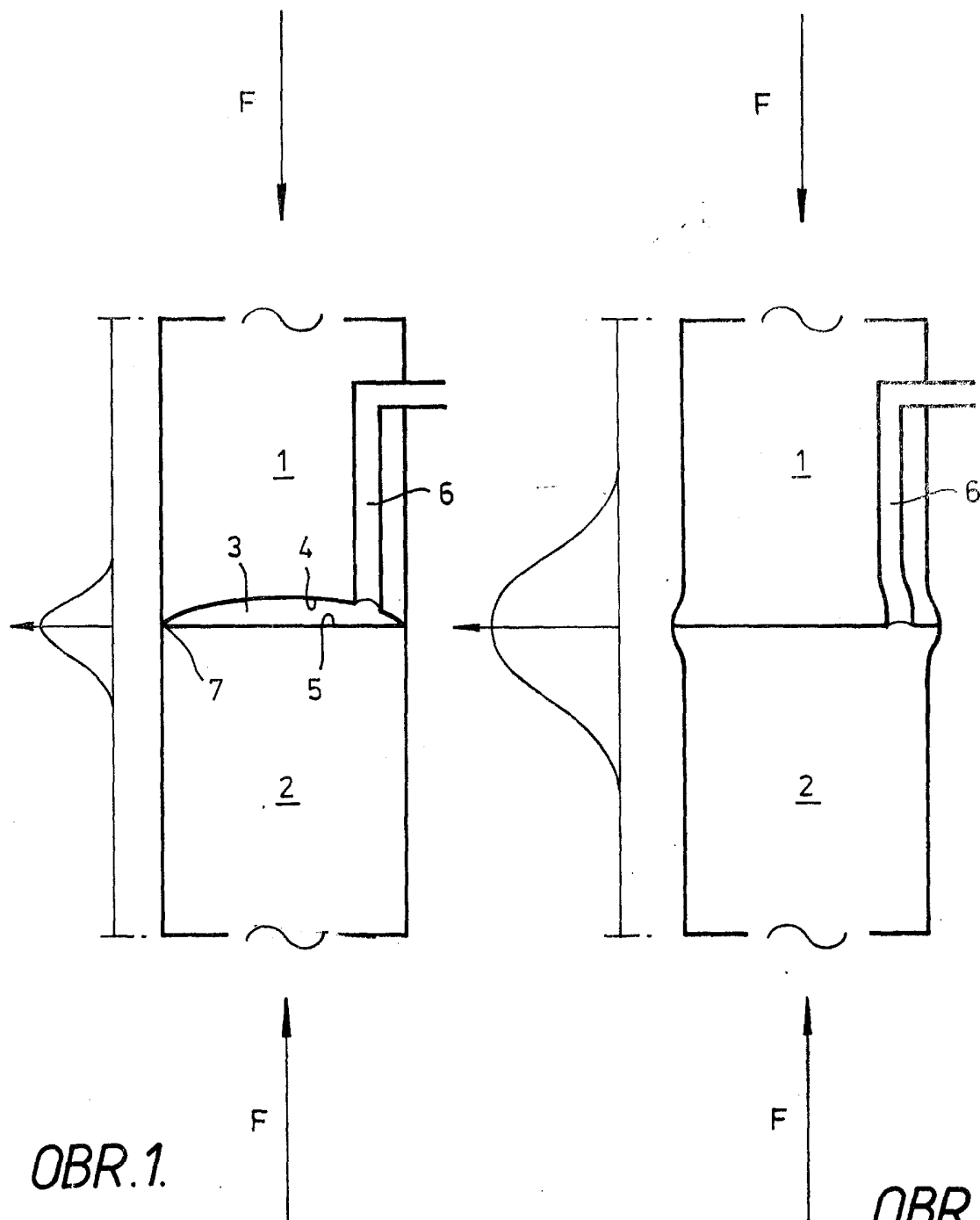
7. Způsob podle jednoho z bodů 1 až 6, vyznačený tím, že spojovací kanál se upraví v jednom ze spojovaných dílů, s výhodou u jeho obvodu.

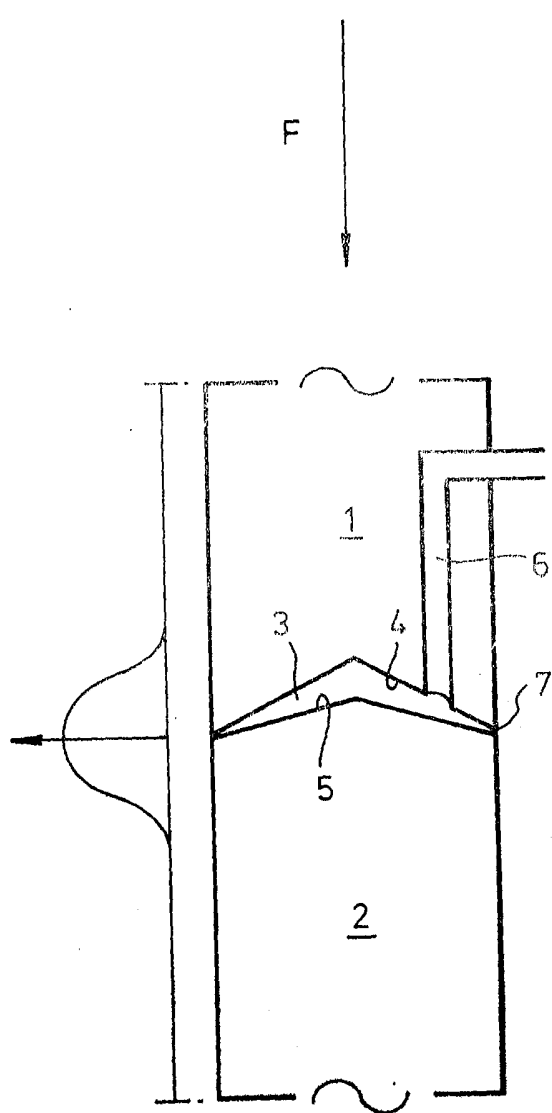
8. Způsob podle bodů 1 až 7, vyznačený tím, že se průřez spojovaných dílů v oblasti spoje zmenší.

9. Způsob podle bodů 1 až 8, vyznačený tím, že do spoje se vpraví aktivační slitina.

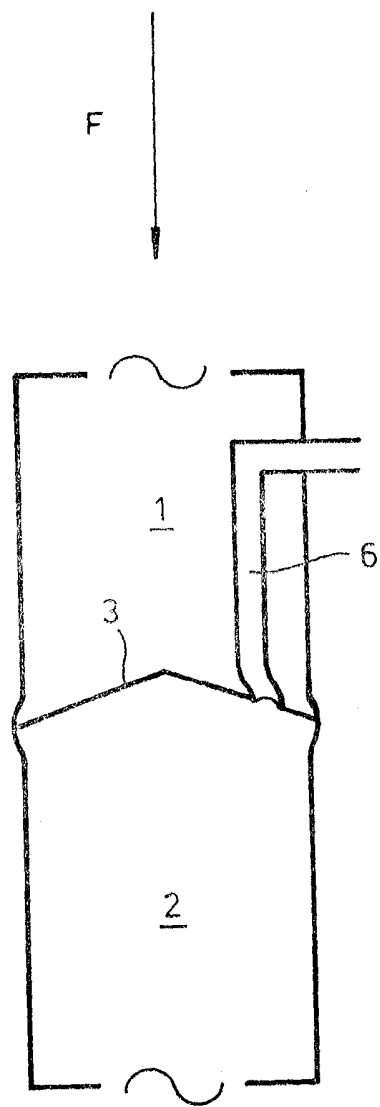
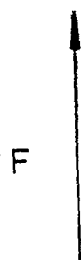
10. Způsob podle bodů 1 až 9, vyznačený tím, že se nejméně jedna z omezovacích ploch spáry alespoň na obvodu opatří vroubkováním.

4 listy výkresů

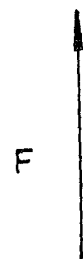


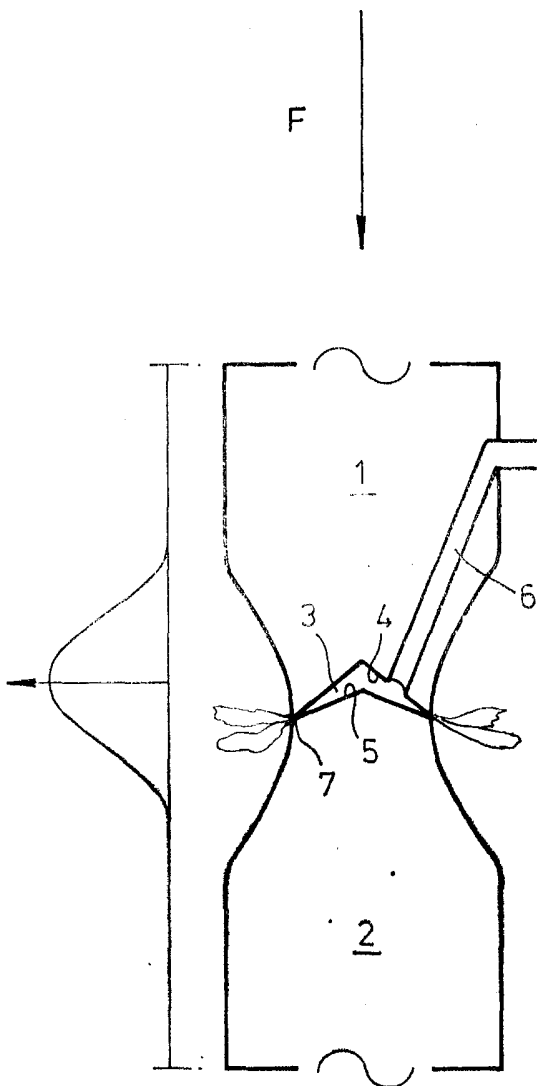


OBR.3.

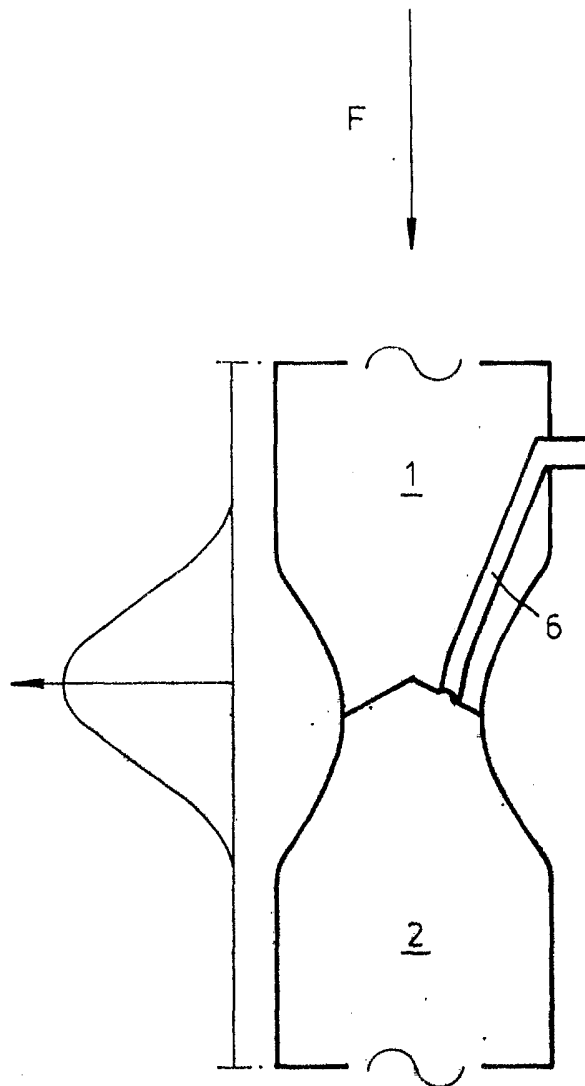


OBR.4.



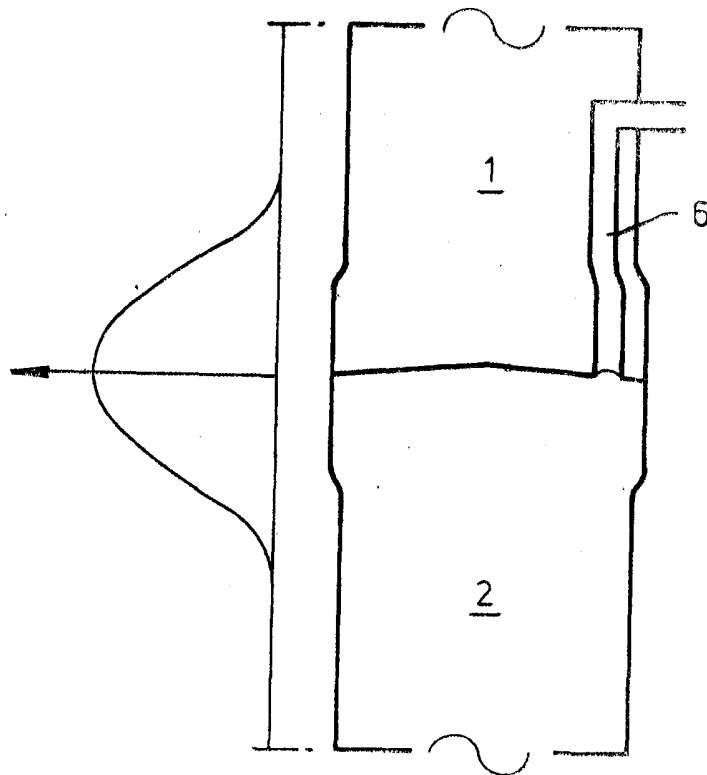


OBR.5.



OBR.6.

262413



OBR 7