

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

zveřejněná podle § 31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

1999 -4552

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **18.06.1998**

(32) Datum podání prioritní přihlášky: **20.06.1997 28.07.1997
19.12.1997**

(31) Číslo prioritní přihlášky: **1997/050280 1997/053966
1997/068180**

(33) Země priority: **US US US**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **13.12.2000**
(Věstník č. 12/2000)

(86) PCT číslo: **PCT/US98/12704**

(87) PCT číslo zveřejnění: **WO98/59084**

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl. ⁷:

C 22 C 38/08

F 25 B 19/00

F 25 D 23/00

(71) Přihlašovatel:

**EXXONMOBIL UPSTREAM RESEARCH
COMPANY, Houston, TX, US;**

(72) Původce:

**Bowen Ronald R., Magnolia, TX, US;
Minta Moses, Sugar Land, TX, US;
Rigby James R., Kingwood, TX, US;**

(74) Zástupce:

Vandělíková Jana Ing., Petrská 12, Praha 1, 11000;

(54) Název přihlášky vynálezu:

**Rozvodné potrubní systémy pro přepravu
zkapalněného zemního plynu**

(57) Anotace:

Rozvodné potrubní systémy pro přepravu stlačeného zkapalněného zemního plynu při tlaku 1035 kPa až 7590 kPa a teplotách od - 123°C do - 62°C, kde potrubí a další komponenty rozvodných potrubních systémů jsou zhotoveny z ultra vysoce pevné nízkolegované oceli obsahující méně než 9 % hmotn. niklu a mající pevnost v tahu vyšší než 830 MPa a houževnatost do teploty křehnutí DBTT nižší než - 73 °C.

Rozvodné potrubní systémy pro přepravu zkapalněného zemního plynu

Oblast techniky

Předložený vynález se týká rozvodných potrubních systémů pro přepravu stlačeného zkapalněného zemního plynu (PLNG) a zvláště systémů s potrubím a dalšími komponenty, které jsou konstruovány z ultra vysoce pevných nízkolegovaných ocelí obsahujících méně než 9% hmotn. niklu a majících pevnost v tahu větší než 830 MPa (120 ksi) a DBTT (houževnatost do teploty křehnutí) menší než asi -73°C (-100°F).

Dosavadní stav techniky

V následující specifikaci jsou používány různé termíny. Z tohoto důvodu je bezprostředně před patentovými nároky umístěn slovníček výrazů.

Mnoho zdrojů zemního plynu je situováno v odlehlých oblastech velmi vzdálených od jakýchkoliv odbytišť plynu. Někdy je k přepravě vyprodukovaného plynu k dispozici potrubí vedoucí do těchto odbytišť. V případě, že je potrubní přeprava do těchto odbytišť neproveditelná, musí se často zemní plyn pro přepravu do odbytiště zkapalnit. Zkapalněný zemní plyn (LNG) se obvykle přepravuje ve speciálně stavěných lodních tankerech, pak se v příhodné dovozní stanici poblíž obchodního centra skladuje a zplynuje. Zařízení používané pro zkapalnění, přepravu, skladování a zplynění zemního plynu je obecně velmi nákladné; běžný konvenční projekt pro zkapalněný zemní plyn stojí od 5 do 10 miliard dolarů včetně nákladů na projekci. Typický projekt na zkapalněný zemní plyn „na zelené louce“ vyžaduje zásobu plynu okolo 280 Gm^3 (10 TCF (trilionů kubických stop)) a odběrateli zkapalněného zemního plynu jsou obecně velké závody. Často bývají objevené zdroje zemního plynu ve vzdálených oblastech menší než 280 Gm^3 (10 TCF). I ty zdroje zemního plynu splňující minimální požadavky na 280 Gm^3 (10 TCF) s 20 letým nebo delším dlouhodobým využíváním vyžadují ode všech, tj. od dodavatele, dopravce a velkoodběratele LNG, ekonomický výrobní postup, skladování a přepravu zemního plynu ve zkapalněném stavu. Tam, kde mají odběratelé LNG alternativní zdroje plynu jako je plyn z potrubí, není často smluvní distribuční řetězec LNG schopný konkurence.

Smluvní závod LNG vyrábí LNG při teplotách okolo -162°C (-260°F) za atmosférickém tlaku. Zemní plyn proudí do smluvního závodu na LNG o tlaku od přibližně od 4830 kPa (700 psia) do přibližně 7600 kPa (1100 psia) a teplotách přibližně od 21°C (70°F) do přibližně 38°C (100°F). Ke snížení teploty zemního plynu na velmi nízkou výstupní teplotu okolo -162°C (260°F) je zapotřebí ve dvoustupňovém procesu závodu LNG až 350000 koňských sil chladicího výkonu. Při běžném zpracování zemního plynu zkapalňováním musí být dostatečně odstraněny voda, oxid uhličitý, sloučeniny obsahující síru jako je sírovodík, další kyselé plyny, n-pentan a těžší uhlovodíky včetně benzenu až na úroveň ppm, protože by tyto sloučeniny vymrzaly a způsobovaly problémy spojené z ucpáváním zpracovatelského zařízení. Zařízení na zpracování plynu smluvního závodu LNG musí mít úpravářské zařízení na odstraňování oxidu uhličitého a kyselých plynů. Úpravářské a zpracovatelské zařízení využívá charakteristické chemické a fyzikální rozpouštědlové regenerační postupy a to vyžaduje značné kapitálové investice. V porovnání s jinými zařízeními v závodech jsou také v tomto porovnání vysoké provozní náklady. K odstranění vodních par jsou nutné dehydrátory se suchou náplní jako jsou molekulární síta. K odstraňování uhlovodíků majících tendenci ucpávat zařízení se používají vypírací kolony a frakcionační zařízení. Ve smluvních závodech LNG se také odstraňuje rtuť, protože způsobuje závady zařízení zhotovených z hliníku. Po zpracování zemního plynu se odstraňuje přítomný dusík, kterého může být v zemním plynu přítomno velké množství, protože ten během přepravy běžného LNG nezůstává v kapalně fázi a není žádoucí, aby byl v místě dodání v kontejnerech LNG v parách přítomen.

Zásobníky, potrubí a další zařízení používaná ve smluvních závodech LNG jsou většinou zhotoveny alespoň částečně z hliníku nebo oceli obsahující nikl (např. 9% hmotn. niklu) a musejí nezbytně odolávat křehkému lomu při extrémně nízkých provozních teplotách. Vedle jejich využití ve smluvních závodech se většinou na LNG lodích a v dodávacích centrech používají nákladné materiály s velkou odolností proti křehkému lomu při nízkých teplotách včetně hliníku a komerční oceli obsahující nikl (např. 9% hmotn.).

Typická LNG loď používá ke skladování LNG během přepravy velké kulové zásobníky známé jako Mossovy koule. Taková loď stojí běžně více jak 230 milionů

dolarů. Typický projekt k výrobě LNG na Středním Východě a přeprava LNG na Dálný Východ může vyžadovat 7 až 8 takových lodí v celkové ceně okolo 1,6 až 2,0 miliard dolarů.

Jak lze z dřívější diskuse usoudit, je pro zpracování, skladování a přepravu LNG do odbytišť ze vzdálených zdrojů nutný ekonomičtější systém, který by mohl účinněji konkurovat alternativním dodávkám energií. Dále je požadován systém ke komercializaci malých vzdálených zdrojů zemního plynu, který by byl jinak neekonomický. Navíc je nutný takový ekonomičtější plynofikační a distribuční systém, kterým by se mohl LNG stát pro menší spotřebitele ekonomicky atraktivnější. Z toho vyplývá, že primárním předmětem předloženého vynálezu je zajištění ekonomičtějšího systému pro zpracování, skladování a přepravu LNG ze vzdálených zdrojů do odbytišť a podstatné snížení prahové velikosti jak rezerv, tak požadavků trhu tak, aby byl úkol s LNG ekonomicky realizovatelný. Jednou cestou k naplnění tohoto předmětu je postup s LNG o vyšších tlacích a teplotách než se používá v běžných LNG závodech, tj. pro tlaky vyšší než je atmosférický tlak a teplotu vyšší než -162°C (-260°F). Obecná koncepce zpracování, skladování a přepravy LNG při zvýšených tlacích a teplotách byla již v průmyslových publikacích diskutována, avšak tyto publikace obecně uvádějí přepravní zásobníky zhotovené z ocelí obsahujících nikl (např. 9% hmotn.) nebo z hliníku; ty splňují sice konstrukční požadavky, avšak jsou vyrobeny z drahých materiálů. Například na straně 162 - 164 knihy NATURAL GAS BY SEA [Zemní plyn po moři] The development of a New Technoogy, publikované Witherby & Co. Ltd., první vydání 1979, druhé vydání 1993 diskutuje Roger Ffooks přestavbu lodě pro posádku Sigalpha na přepravu jak MLG (plyn zkapalněný pod středním tlakem) při 1380 kPa (200 psig) a -115°C (-175°F), tak CNG (stlačený zemní plyn) při 7935 kPa (1150 psig) a -60°C (-75°F). Pan Ffooks ukazuje, že přesto, že jde o technickou možnost, nenajde ohlas u „kupujících“ žádná z těchto dvou koncepcí pro své vysoké náklady na skladování. Ve sdělení podle pana Ffookse bylo předmětem řešení CNG, tj. pro teplota -60°C (-75°F), a konstrukčním cílem byla nízkolegovaná svařitelná, kalená a popuštěná ocel s dobrou pevností (760 MPa (110 ksi)) a dobrou odolností proti lomu za provozních podmínek. (Viz „A new process for the transportation of natural gas“ [Nové postupy pro přepravu zemního plynu] od R.J.Broekera, International LNG Conference, Chicago, 1968).

Toto sdělení také poukazuje na to, že hliníkové slitiny byly pro účely MLG, tj. pro teploty nižší než -115°C (-175°F) nejlevnějšími slitinami. Pan Ffooks také v Ocean Phoenix Transport uvádí na str. 164 zásobníky z 9% niklové oceli nebo hliníkové slitiny pracující při mnohem nižším tlaku 414 kPa (60 psig); a ukazuje, že tato koncepce nenabízí dostatečné technické nebo finanční výhody k tomu, aby se zkomercializovala. Viz též: (i) US patent 3,298,805, který pro výrobu zásobníků pro přepravu stlačeného zemního plynu uvádí použití oceli s 9% niklu nebo vysoce pevnou hliníkovou slitinu; a (ii) US patent 4,182,254, který uvádí zásobníky z oceli s 9% niklu nebo podobnou ocel pro přepravu LNG při teplotách od -100°C (-148°F) do -140°C (-220°F) a tlacích od 4 do 10 atmosfér (tj. od 407 kPa (59 psia) do 1014 kPa (147 psia)); (iii) US patent 3,232,725, který uvádí přepravu zemního plynu v hustém jednofázovém stavu při teplotě nižší než -62°C (-80°F), nebo v některých případech -68°C (-90°F) a tlaku nejméně 345 kPa (50 psi) nad tlakem plynu při bodu varu při provozní teplotě s použitím zásobníků zhotovených z takových materiálů jako je ocel s obsahem 1 až 2 procenta niklu, která byla kalena a popouštěna tak, aby zajistila výslednou mez pevnosti v tahu dosahující 120000 psi; a (iv) „Marine Transportation of LNG at Intermediate Temperature“ [Námořní přeprava LNG při přechodové teplotě], CME březen 1979, od C.P.Bennetta, který uvádí případ studie přepravy LNG při tlaku 3,1 MPa (450 psi) a teplotě -100°C (-140°F) s použitím skladovací cisterny zhotovené z oceli s 9% Ni nebo kalené a popouštěné oceli s 3,5 % Ni o tloušťce stěn 9 1/2 palce.

Přes všechny tyto koncepce diskutované v publikacích není podle našich vědomostí LNG běžně komerčně zpracováván, skladován a přepravován při tlacích podstatně vyšších než je atmosférický tlak a teplotě podstatně vyšší než -162°C (-260°F). To je patrně z toho důvodu, že systém pro zpracování, skladování a distribuci LNG při takových tlacích a teplotách jak po moři, tak po souši nebyl ekonomicky a komerčně dostupný.

Oceli obsahující nikl používané pro konstrukční aplikace při kryogenních teplotách, tj. oceli s obsahem niklu vyšším než přibližně 3% hmotn. mají nízkou hodnotu DBTT

(hodnotu houževnatosti zde definovanou), ale také relativně nízkou pevnost v tahu. Typické komerčně dostupné oceli s 3,5 % hmotn. Ni, 5,5 % hmotn. Ni a 9 % hmotn. Ni mají DBTT okolo -100°C (-155°F), -155°C (-250°F) a 175°C (-280°F) a pevnost v tahu až do 485 MPa (70 ksi), 620 MPa (90 ksi) a 830 MPa (120 ksi). K dosažení těchto kombinací pevnosti a houževnatosti musejí oceli projít obecně nákladným zpracováním, např. dvojím žháním. V případě aplikací pro kryogenní teploty se průmyslově běžně využívá komerčních niklových ocelí, pro jejich dobrou houževnatost při nízkých teplotách, avšak mají relativně nízké meze pevnosti v tahu. Pro nosné konstrukce a kryogenní teplotu vyžaduje obecně konstrukce nadměrnou tloušťku ocelí. Kombinace vysoké ceny a tloušťky oceli vede používání niklových ocelí pro nosné konstrukce a kryogenní teplotu k celkově vysokým nákladům.

Pět prozatímních přihlášek amerických patentů („Přihlášky PLNG patentů“) nazvaných „Zdokonalený systém pro zpracování, skladování a přepravu zkapalněného zemního plynu“ popisuje zásobníky a tankery pro skladování a námořní přepravu stlačeného zkapalněného zemního plynu (PLNG) při tlaku v širokých mezích od přibližně 1035 kPa (150 psia) do přibližně 7590 kPa (1100 psia) a při teplotě v širokém rozmezí od přibližně -123°C (-190°F) do přibližně -62°C (-80°F). Poslední přihláška jmenovaného patentu PLNG má datum priority 14. květen 1998 a je přihlašovatelé označena spisovým číslem 97006P4 a Patentovým úřadem USA („USPTO“) číslem přihlášky 60/085467. První ze jmenovaných patentů přihlašovatelů má datum priority 20. červen 1997 a je USPTO označen číslem přihlášky 60/050280. Druhá ze jmenovaných patentových přihlášek PLNG má datum priority 28. července 1997 a je označena USPTO pod číslem přihlášky 60/053966. Třetí ze jmenovaných přihlášek patentů má datum priority 19. prosinec 1997 a je USPTO označena číslem přihlášky 60/068226. Čtvrtá jmenovaných přihlášek patentů má datum priority 30. březen 1998 a je USPTO označena číslem přihlášky 60/079904. Přihlášky patentů však nepopisují rozvodné potrubní systémy pro přepravu PLNG.

LNG a další kryogenní kapaliny, například kapalný kyslík, kapalný vodík a kapalné helium se běžně přepravují nákladní dopravou z centrálních zpracovatelských závodů do míst potřeby konečných uživatelů. Kapalný dusík se například v univerzitních areálech a v závodech přepravuje rozvodnýmipotravními systémy. Trh LNG vzrostl zvláště v posledních letech z toho důvodu, že spalování zemního plynu je čistý proces. I když je zemní plyn distribuován systémem potrubních rozvodů, neexistují podle našich vědomostí běžné komerční rozvodné potrubní systémy pro PLNG. Dodávky vyrobeného zemního plynu ve formě PLNG mohou být pro konečného spotřebitele v porovnání s LNG výhodné, protože PLNG je zpracován ekonomičtěji, a to za předpokladu, že jsou prostředky pro přepravu a dodávání PLNG dostupné. Při porovnání s CNG jde navíc u PLNG o vyšší hustotu, která se projeví ve vyšší hmotnosti produktu nebo energie na daný objem.

K budování komerčních rozvodných potrubních systémů pro kapaliny jako je zemní plyn nemají obvykle používané uhlíkaté oceli odpovídající lomovou houževnatost při kryogenních teplotách, tj. teplotách nižších než -40°C (-40°F). Jiné materiály než uhlíkaté oceli s lepší lomovou houževnatostí při kryogenní teplotě, např. výše uvedené komerční oceli obsahující nikl (3,5% hmotn. Ni až 9% hmotn. Ni) s pevností v tahu přibližně do 830 MPa (120 ksi), hliník (Al-5083 nebo Al-5085) nebo nerezová ocel se používají tradičně v rozvodných potrubních systémech, které jsou namáhány provozem za kryogenní teploty. Mohou být používány i zvláštní materiály jako jsou slitiny titanu a speciální kompozity s tkaným skleněným vláknem impregnovaným epoxidem. Tyto materiály jsou ovšem drahé a takové projekty mohou být tudíž často ekonomicky neatraktivní. Tyto nevýhody činí komerčně běžně dostupné materiály ekonomicky neatraktivní ke zhotovení rozvodných potrubních systémů pro přepravu PLNG. Objev zásobníků vhodných pro námořní přepravu PLNG, tak, jak to bylo diskutováno u přihlášek patentů PLNG, kombinovaný s běžnými možnostmi zpracování PLNG vyžadují významnou potřebu rozvodných potrubních systémů k ekonomicky atraktivní pozemní přepravě PLNG, rovněž tak jako LNG a dalších kryogenních kapalin.

Dostupnost cenově příznivějších zdrojů zemního plynu přepravovaného a distribuovaného v kapalně formě dává značnou výhodu možnosti využívat

zemního plynu jako zdroje paliva. Dále bude uveden popis existujících a objevujících se aplikací využívajících zemní plyn jako energii, který významně přispívá k dostupnosti ekonomičtějších systémů pozemní přepravy a dodávek zemního plynu, jako jsou rozvodné potrubní systémy.

LNG je běžně dopravován jako náklad ke splnění požadavků na palivo ve vzdálených místech, kde neexistuje distribuční infrastruktura pro zemní plyn. Místní podmínky činí přepravovaný LNG konkurenční ekonomickou alternativou k plynovým rozvodům u mnoha velkých energetických projektů. Alaskan gas company navrhla projekt za 200 milionů dolarů pro dálkové plnicí systémy LNG pro sedmnáct obcí na jižní Aljašce. Společnost také očekává, že bude převážet LNG 300 mil od závodu na zkapalňování na Cook Inlet do Fairbanksu počínaje listopadem 1997. Ve východní Arizoně ukázala předběžná realizační studie, že základní dálková stanice LNG může nabídnout řešení atraktivní levné energie velkému počtu izolovaných obcí nemajících běžný přístup k plynovému vedení. To představuje nové trendy pro velkoobjemovou přepravu LNG a její využívání s možností jejího podstatného růstu a zvláště se zdokonalenou ekonomikou přepravního systému. Vyvinutá PLNG technologie může vytvořit ekonomicky přínosné podmínky pro využívání PLNG jako paliva v těchto a dalších podobných pozemních aplikacích, pokud bude k dispozici více ekonomických prostředků pozemní přepravy PLNG jako jsou rozvodné potrubní systémy.

Dále vzrůstá využívání „přenosných potrubních vedení“ - systémů přepravitelných výparníků LNG k udržování plynulé nepřerušované dodávky plynu. To pomáhá plynárenským společnostem předcházet výpadkům a pokračovat v dodávce zemního plynu zákazníkům i během špiček, které jsou v chladných zimních dnech při nouzových dodávkách při poškozeném podzemním potrubí, údržbě plynového systému, atd. Podle konkrétní aplikace může být LNG výparník instalován nebo umístěn na strategickém místě distribučního systému zemního plynu a zastoupit provozní dodávku v případě, že nákladní cisterna LNG provádí plnění. Podle našich vědomostí neexistují žádné komerční rozvodné potrubní systémy pro přepravu PLNG do takovýchto výparníků pro dodávku dalšího plynu během špiček nahrazujících LNG.

Existují konečně plány na to, aby běžní a hlavní dodavatelé LNG v Asii nabízeli největší množství LNG jako palivo vozidel (až 20% importu). V závislosti na místních

podmínkách může být rozvodný potrubní systém pro přepravu LNG do čerpacích stanic nejatraktivnějším ekonomickým přínosem. Pokud konkrétně neexistuje infrastruktura pro distribuci plynu, může takový úsporný rozvodný potrubní systém PLNG vytvořit atraktivnější a ekonomickou alternativu.

Aby mohly zdroje zemního plynu účinněji konkurovat alternativním dodávkám energií, musí existovat ekonomické přepravní rozvodné potrubní systémy PLNG.

Podstata vynálezu

Konkrétním předmětem předloženého vynálezu je tudíž zajištění ekonomických rozvodných potrubních systémů pro distribuci LNG pro podstatně vyšší tlaky a teploty než u konvenčních systémů LNG. Dalším předmětem předloženého vynálezu je zajištění rozvodných potrubních systémů a dalších komponentů, které jsou zhotovovány z materiálů majících odpovídající pevnost a lomovou houževnatost, aby mohly obsahovat jmenovaný tlakový zkapalněný zemní plyn.

Shrnutí vynálezu

V souladu s výše uvedeným předmětem předloženého vynálezu jsou uváděny rozvodné potrubní systémy pro přepravu tlakového zkapalněného zemního plynu (PLNG) při tlacích v oboru od přibližně 1035 kPa (150 psia) do přibližně 7590 kPa (1100 psia) a teplotách v oboru od přibližně -123°C (-190°F) do přibližně -62°C (-80°F). Rozvodné potrubní systémy podle tohoto vynálezu mají potrubí a další komponenty zhotovované z ultra vysoce pevných nízkolegovaných oceli obsahujících méně než 9% hmotn. niklu a majících odpovídající pevnost a lomovou houževnatost, aby mohly obsahovat stlačený zkapalněný zemní plyn. Ocel má ultra vysokou pevnost, např. pevnost v tahu (jak je zde definována) vyšší než 830 MPa (120 ksi) a DBTT (jak je zde definována) nižší než asi -73°C (-100°F).

Přehled obrázků

Pro lepší pochopení předloženého vynálezu bude vhodný odkaz na následující podrobný popis a připojené obrázky, ve kterých:

Obr. 1 schematicky znázorňuje systém potrubního rozvodu podle předloženého vynálezu.

Obr. 2A znázorňuje diagram závislosti kritické hloubky trhliny při dané délce trhliny jako funkci lomové houževnatosti CTOD a zbytkového napětí; a

Obr. 2B znázorňuje geometrii (délku a hloubku) trhliny.

Vynález bude popisován v souvislosti s preferovaným předmětem vynálezu, avšak musí se jím rozumět, že se tím předmět vynálezu neomezuje. Na druhé straně se vynálezem požaduje pokrytí všech alternativ, modifikací a ekvivalentů, které může v duchu a ve svém rozsahu tento vynález zahrnovat tak, jak to je definováno v připojených patentových nárocích.

Podrobný popis vynálezu

Předložený vynález se týká rozvodných potrubních systémů pro přepravu PLNG. Rozvodné potrubní systémy jsou určeny pro přepravu stlačeného zkapalněného zemního plynu (PLNG) o tlaku od přibližně 1035 kPa (150 psia) do přibližně 7590 kPa (1100 psia) a teplotě od přibližně -123°C (190°F) do přibližně -62°C (80°F) a vyznačují se tím, že rozvodný potrubní systém a další komponenty, jsou zhotoveny z ultra vysoce pevné nízkolegované oceli s obsahem niklu nižším než 9% hmotn. a mají pevnost v tahu větší než 830 MPa (120 ksi) a DBTT nižší než okolo -73°C (-100°F). Rozvodný potrubní systém je dále určen pro přepravu stlačeného zkapalněného zemního plynu při tlacích od přibližně 1725 kPa (250 psia) do přibližně 4830 kPa (700 psia) a teplotě od přibližně -112°C (-170°F) do přibližně -79°C (-110°F) a vyznačuje se tím, že rozvodné potrubní systémy mají potrubí a další komponenty, které (i) jsou zhotoveny z ultra vysoce pevné nízkolegované oceli obsahující méně než 9% hmotn. niklu a (ii) mají odpovídající pevnost a lomovou houževnatost, aby mohly obsahovat stlačený zkapalněný zemní plyn.

Přepavní potrubí PLNG

Klíčem k vytvoření rozvodných potrubních systémů podle předloženého vynálezu jsou trubky vhodné k tomu, aby mohly obsahovat a přepravovat PLNG při tlacích od přibližně 1035 kPa (150 psia) do přibližně 7590 kPa (1100 psia) a teplotě od přibližně -123°C (-190°F) do přibližně -62°C (-80°F). PLNG je vyráběn a přepravován přednostně při tlacích od přibližně 1725 kPa (250 psia) do přibližně 7590 kPa (1100 psia) a teplotě od přibližně -112°C (-170°F) do přibližně -62°C (-80°F). Je lépe, pokud je PLNG vyráběn a přepravován při tlacích od přibližně 2415 kPa (350 psia) do přibližně 4830 kPa (700 psia) a teplotě od přibližně -101°C (-150°F) do přibližně -79°C (-110°F). Vůbec nejlépe je nejnižší hodnota tlaku a teploty PLNG přibližně 2760 kPa (400 psia) a přibližně -96°C (-140°F). Potrubí je vybaveno tak, aby mohlo obsahovat a přepravovat PLNG a vyznačuje se tím, že je zhotoveno z ultra vysoce pevné nízkolegované oceli obsahující méně než 9% hmotn. niklu a mající pevnost v tahu vyšší než 830 MPa (120 ksi) a DBTT nižší než -73°C (-100°F). Další komponenty systému jako jsou tvarovky jsou dále zhotoveny tak, aby se vyznačovaly tím, že tyto jmenované tvarovky jsou zhotoveny z ultra vysoce pevné nízkolegované oceli obsahující méně než 9% hmotn. niklu a mají pevnost v tahu vyšší než 830 MPa (120 ksi) a DBTT nižší než -73°C (-100°F). Akumulační zásobníky vhodné pro využití v rozvodných potrubních systémech podle tohoto vynálezu jsou popsány podrobněji v patentových přihláškách PLNG.

Ocel pro zhotovování potrubí a dalších komponentů

Pro zhotovení potrubí a dalších komponentů podle tohoto vynálezu může být použita jakákoliv ultra vysoce pevná nízkolegovaná ocel obsahující méně než 9% hmotn. niklu mající odpovídající houževnatost k tomu, aby mohla obsahovat kryogenní kapaliny jako je PLNG při teplotách provozních podmínek podle známých principů lomové mechaniky, jak je zde popsáno. Příkladem oceli, kterou se však vynález neomezuje, je svařitelná, ultra vysoce pevná nízkolegovaná ocel obsahující méně než 9% hmotn. niklu mající pevnost v tahu vyšší než 830 MPa (120 ksi) a odpovídající houževnatost k prevenci vzniku lomu, tj. závadám, které mohou nastat

při podmínkách provozu za kryogenních teplot. Jiným příkladem oceli pro použití podle předloženého vynálezu, aniž by se tím nějak tento vynález omezoval, je svařitelná ultra vysoce pevná nízkolegovaná ocel obsahující méně než 3% niklu a mající pevnost v tahu nejméně 1000 MPa (145 ksi) a odpovídající houževnatost k zabránění vzniku lomu, tj. závadám, které mohou nastat při provozu za kryogenních teplot. Tyto oceli uvedené jako příklad mají DBTT nižší než -73°C (-100°F).

Pokrok v technologii ocelí v poslední době umožnil výrobu nových ultra vysoce pevných nízkolegovaných ocelí s vynikající houževnatostí při kryogenních teplotách. Například tři US patenty přiznané Koo, et al., 5,531,842; 5,545,269; a 5,545,270 popisují nové oceli a způsoby zpracování těchto ocelí na ocelové plechy s pevností v tahu okolo 830 MPa (120 ksi), 965 MPa (140 ksi) a vyšší. Zde popsané oceli a způsoby jejich zpracování byly zdokonaleny a modifikovány, aby bylo umožněno zkombinování vhodného složení a způsobu zpracování k výrobě ultra vysoce pevných nízkolegovaných ocelí s vynikající odolností za kryogenních teplot jak v základní oceli, tak v tepelně namáhané zóně (HAZ) při svařování. Tyto ultra vysoce pevné nízkolegované oceli zvýšily hodnotu houževnatosti nad normu komerčně používaných dostupných ultra vysoce pevných nízkolegovaných ocelí. Zdokonalené oceli jsou popsány v dosud projednávané prozatímní patentové US přihlášce nazvané „Ultra vysoce pevné oceli s vynikající houževnatostí za kryogenní teploty“, s datem priority 19. prosince 1997 a US patentovým úřadem („USPTO“) registrovanou pod prozatímním číslem přihlášky 60/068194; v dosud projednávané prozatímní patentové US přihlášce nazvané „Ultra vysoce pevné ausaged oceli s vynikající houževnatostí za kryogenní teploty“, s datem priority 19. prosince 1997 a US patentovým úřadem („USPTO“) registrovanou pod prozatímním číslem přihlášky 60/068252; v dosud projednávané prozatímní patentové US přihlášce nazvané „Ultra vysoce pevné dvoufázové oceli s vynikající houževnatostí za kryogenní teploty“, s datem priority 19. prosince 1997 a US patentovým úřadem („USPTO“) registrovanou pod prozatímním číslem přihlášky 60/068816 (společně označené „Patentové přihlášky ocelí“).

Nové oceli popsané v patentových přihláškách ocelí a dále popsané na příkladech jsou zvláště vhodné pro zhotovování zásobníků pro skladování a přepravu PLNG podle tohoto vynálezu, s tím, že oceli mají následující charakteristiky a to přednostně u ocelových desek o tloušťce 2,5 cm (1 palec) a tlustších: (i) DBTT nižší než -73°C (-100°F) lépe nižší než přibližně -107°C (-160°F) pro základní ocel a zónu ovlivněnou svarem (HAZ); (ii) pevnost v tahu větší než 830 MPa (120 ksi), lépe větší než 860 MPa (125 ksi) a nejlépe větší než 900 MPa (130 ksi); (iii) vynikající svařitelnost; (iv) dostatečně homogenní mikrostrukturu a vlastnosti v průřezu celé tloušťky; a (v) zlepšenou houževnatost nad komerčně dostupnou normalizovanou hodnotu a ultra vysokých pevností nízkolegovaných ocelí. Ještě lepší je, pokud tyto oceli mají pevnost v tahu větší než přibližně 930 MPa (135 ksi) nebo větší než 965 MPa (140 ksi) nebo větší než 1000 MPa (145 ksi).

První příklad oceli

Jak je uvedeno výše, dosud společně projednávaná předběžná patentová přihláška US s datem priority 19. prosinec 1997 nazvaná „Ultra vysoce pevné oceli s vynikající houževnatostí za kryogenní teploty“, a US patentovým úřadem („USPTO“) registrovanou pod prozatímním číslem přihlášky 60/068194 předkládá popis ocelí vhodných pro využití podle předloženého vynálezu. Tento způsob je určen pro přípravu ultra vysoce pevných ocelových plechů s mikrostrukturou obsahující převážně popouštěný jemnozrný jehlicový martenzit, popouštěný jemnozrný dolní bainit nebo jejich směs vyznačující se tím, že sestává z těchto kroků: (a) ohřívání ocelové tabule na dostatečně vysokou teplotu k (i) dostatečné homogenizaci ocelové tabule, (ii) k podstatnému rozpuštění všech karbidů a karbonitridů niobu a vanadu v ocelové tabuli a (iii) k vytvoření jemných austenitických zrn v ocelové tabuli; (b) vyválnování ocelové tabule za tepla na ocelový plech jedním nebo více průchody válcovací stolicí v první teplotní oblasti, ve které austenit rekrystalizuje; (c) další válcování ocelového plechu za tepla jedním nebo více průchody válcovací stolicí ve druhé teplotní oblasti pod teplotou T_{nr} a nad transformační teplotou A_{r3} ; (d)

kalení ocelového plechu při rychlosti ochlazování od 10°C za sekundu do 40°C za sekundu (18°F.s⁻¹ až 72°F.s⁻¹) až do teploty při zastavení kalení pod transformační teplotu M_s plus 200°C (360°F); (e) zastavení kalení; a (f) popouštění ocelového plechu při popouštěcí teplotě od přibližně 400°C (752°F) až do transformační teploty A_{c1} , lépe až do této teploty, avšak nezahrnující tuto transformační teplotu A_{c1} , po dostatečně dlouhou dobu, aby nastala precipitace vytvrzujících částic, tj. jedné nebo více modifikací mědi ϵ , Mo_2C nebo karbidů a karbonitridů niobu a vanadu. Doba potřebná k tomu, aby nastala precipitace vytvrzujících částic závisí předně na tloušťce ocelového plechu, složení ocelového plechu a popouštěcí teplotě a stanovit ji může pracovník zkušený oboru. (Viz slovníček definic, týkající se převážně termínů vytvrzující částice, teplota T_{nr} , transformační teplota A_{r3} , M_s a A_{c1} a Mo_2C .)

K zajištění houževnatosti při okolní a kryogenní teplotě, musí mít ocel podle tohoto prvního příkladu přednostně mikrostrukturu sestávající převážně z popouštěného jemně zrnitého dolního bainitu, jemně zrnitého jehlicového martenzitu nebo jejich směsi. Nejlépe je, když se minimalizuje tvorba křehkých složek jako je horní bainit, dvojčatový martenzit a MA. Tak, jak se v tomto prvním příkladu a v patentových nárocích používá termínu „převážně“, míní se tím alespoň 50 % obj. Lepší je, pokud struktura obsahuje nejméně od 60 % do 80 % obj. popouštěného jemně zrnitého dolního bainitu, jemně zrnitého jehlicového martenzitu nebo jejich směsi. Vůbec nejlepší je, pokud mikrostruktura obsahuje nejméně 90 % obj. popouštěného jemně zrnitého dolního bainitu, jemně zrnitého jehlicového martenzitu nebo jejich směsi. Vůbec nejlepší je, pokud mikrostruktura obsahuje 100 % obj. popouštěného jemně zrnitého jehlicového martenzitu.

Ocelové tabule zpracovávané podle tohoto prvního příkladu se vyrábějí na zakázku a sestávají například ze železa a dalších legujících prvků v hmotnostním rozmezí uvedeném v následující tabulce I:

Tabulka I

Legující prvek	Rozsah (% hmotn.)
uhlík (C)	0,04 - 0,12, lépe 0,04 - 0,07
mangan (Mn)	0,5 - 2,5, lépe 1,0 - 1,8
nikl (Ni)	1,0 - 3,0, lépe 1,5 - 2,5
měď (Cu)	0,1 - 1,5, lépe 0,5 - 1,0
molybden (Mo)	0,1 - 0,8, lépe 0,2 - 0,5
niob (Nb)	0,02 - 0,1, lépe 0,03 - 0,05
titán (Ti)	0,008 - 0,03, lépe 0,01 - 0,02
hliník (Al)	0,001 - 0,05, lépe 0,005 - 0,03
dusík (N)	0,002 - 0,005, lépe 0,002 - 0,003

Vanad (V) se někdy přidává do oceli přednostně až do koncentrace okolo 0,10 % hmotn. a lépe od přibližně 0,02 % h. do přibližně 0,05 % hmotn.

Chrom (Cr) se někdy přidává do oceli přednostně až do koncentrace okolo 1,0 % hmotn. a lépe od přibližně 0,2 % h. do přibližně 0,6 % hmotn.

Křemík (Si) se někdy přidává do oceli přednostně až do koncentrace okolo 0,5 % hmotn. a lépe od přibližně 0,01 % h. do přibližně 0,05 % hmotn., avšak nejlépe od přibližně 0,05 % hmotn. do 0,1 % hmotn.

Bor (B) se někdy přidává do oceli přednostně až do koncentrace okolo 0,0020 % hmotn. a lépe od přibližně 0,0006 % h. do přibližně 0,0010% hmotn.

Ocel přednostně obsahuje nejméně 1 % hmotn. niklu. Obsah niklu v oceli může být zvýšen nad 3 % hmotn., pokud to zlepší parametry po svařování. Očekává se, že přídavek každého 1 % hmotn. niklu sníží DBTT oceli o 10°C (18°F). Dává se přednost tomu, aby obsah niklu byl nižší než 9 % hmotn., lépe méně než 6 % hmotn. Obsah niklu se minimalizuje hlavně proto, aby se snížila cena oceli. Pokud se obsah niklu zvýší nad přibližně 3 % hmotn., lze snížit obsah manganu pod přibližně 0,5 % hmotn. až k 0,0 % hmotn. Pojato širěji, dává se proto přednost tomu, aby obsah manganu byl přibližně do 2,5 % hmotn.

Ostatní zbylé prvky se pokud možno v oceli minimalizují. Obsah fosforu (P) je přednostně nižší než 0,01 % hmotn. Obsah síry (S) je přednostně nižší než 0,004 %

hmotn.

Obsah kyslíku (O) je přednostně nižší než 0,002 % hmotn.

Poněkud podrobněji bude popsán postup úpravy oceli podle tohoto prvního příkladu tvářením z ocelových tabulí o složení zde popsaném: tabule se ohřívají na teplotu od přibližně 955°C až přibližně 1065°C (1750°F - 1950°F); tabule se válcují za tepla na plech jedním nebo více průchody tak, aby se v první teplotní oblasti, kdy rekrystalizuje austenit dosáhlo 30 - 70 procentního zmenšení tloušťky, tj. přibližně nad teplotou T_{nr} a dále se plechy v jednom nebo více průchodech válcují za tepla na přibližně 40 až 80 % při teplotě druhé oblasti přibližně pod teplotu T_{nr} a přibližně nad transformační teplotu A_{r3} . Horké vyválcované plechy se potom zakalí rychlostí okolo 10°C za sekundu až 40°C za sekundu ($18^{\circ}\text{F.s}^{-1}$ - $72^{\circ}\text{F.s}^{-1}$) na vhodnou QST (jak je definována ve slovníčku) přibližně pod transformační teplotu M_s plus 200°C (360°F) kdy kalení skončí. V jednom z případů tohoto prvního příkladu se potom ocelový plech nechá ochladit na okolní teplotu. Tento postup se používá k vytvoření mikrostruktury sestávající převážně z jemně zrnitého jehlicového martenzitu, jemně zrnitého dolního bainitu nebo jejich směsi, avšak je lepší, pokud obsahuje 100% jemně zrnitého jehlicového martenzitu.

Takto zakalený martenzit v ocelích podle prvního příkladu má vysokou pevnost, avšak jeho houževnatost lze zlepšit popouštěním při vhodné teplotě přibližně od 400°C (752°F) výše až k transformační teplotě A_{c1} . Popouštění oceli v tomto rozsahu teplot vede také ke zmenšení napětí vzniklého kalením, což naopak vede ke zlepšení houževnatosti. Zatímco popouštění může zlepšit houževnatost oceli, vede to běžně ke značné ztrátě pevnosti. V tomto vynálezu se obvyklá ztráta pevnosti vzniklá popouštěním kompenzuje indukci disperzního precipitačního kalení. Disperzního kalení způsobeného jemným měděným precipitátem a směsnými karbidy a/nebo karbonitridy se využívá k optimalizaci pevnosti a houževnatosti během popouštění martenzitické struktury. Jedinečné složení ocelí podle tohoto

prvního příkladu umožňuje popouštění v širokém rozmezí od přibližně 400°C do přibližně 650°C (750°F - 1200°F) bez jakékoliv význačné ztráty pevnosti z kalení. Ocelové plechy se přednostně popouštějí při popouštěcí teplotě od teplot nad přibližně 400°C (752°F) až pod transformační teplotu A_{c1} po dostatečně dlouhou dobu k tomu, aby nastala precipitace vytvrzujících částic (jak jsou zde definovány). Tento postup usnadňuje transformaci mikrostruktury ocelových plechů na převážně popouštěný jemnozrnný jehlicový martenzit, popouštěný jemnozrnný dolní bainit, nebo jejich směs. Doba dostatečná na to, aby způsobila precipitaci vytvrzujících částic opět závisí hlavně na tloušťce ocelového plechu, složení oceli a na popouštěcí teplotě, kterou zkušený odborník může stanovit.

Druhý příklad oceli

Jak je uvedeno výše, dosud projednávaná předběžná patentová přihláška US s datem priority 19. prosinec 1997 nazvaná „Ultra vysoce pevné oceli s vynikající houževnatostí za kryogenní teploty“, a USPTO registrovaná pod prozatímním číslem přihlášky 60/068252 předkládá popis dalších ocelí vhodných pro využití podle předloženého vynálezu. Tento způsob zajišťuje přípravu ultra vysoce pevných ocelových plechů s mikrolaminární mikrostrukturou obsahující od přibližně 2 % obj. do přibližně 10 % obj. vrstev filmového austenitu a přibližně od 90 % do přibližně 98 % obj. převážně jemnozrnného jehlicového martenzitu a jemnozrnného dolního bainitu, a že tento jmenovaný způsob sestává z těchto kroků: (a) zahřívání ocelové tabule na dostatečně vysokou teplotu k (i) podstatné homogenizaci ocelové tabule, (ii) rozpuštění všech karbidů a karbonitridů niobu a vanadu obsažených v ocelové tabuli a (iii) vytvoření zárodečných jemných austenitických zrn v ocelové tabuli; (b) válcování ocelové tabule za tepla na ocelový plech jedním nebo více průchody válcovací stolicí v první teplotní oblasti, ve které austenit rekrystalizuje; (c) dalšího válcování ocelového plechu za tepla jedním nebo více průchody válcovací stolicí ve druhé teplotní oblasti pod teplotou T_{nr} a nad transformační teplotou A_{r3} ; (d) kalení ocelového plechu rychlostí přibližně od 10°C za sekundu do přibližně 40°C za

sekundu (18°F - 72°F) až do teploty pro zastavení kalení (QST), která je pod transformační teplotou M_s plus 100°C (180°F) a přibližně nad transformační teplotu M_s ; a (e) zastavení kalení. V jednom případě způsob tohoto druhého příkladu oceli obsahuje dále krok ponechávající ocelový plech chladnout na vzduchu z teploty QST na okolní teplotu. V jiném případě obsahuje dále způsob tohoto druhého příkladu oceli krok v ponechání ocelového plechu na izotermické teplotě QST po dobu 5 minut před tím, než se začne ochlazovat vzduchem na okolní teplotu. Ještě v dalším případě obsahuje dále způsob tohoto druhého příkladu oceli krok pomalého ochlazování ocelového plechu s teploty QST rychlostí menší než $1,0^{\circ}\text{C}$ za sekundu ($1,8^{\circ}\text{F.s}^{-1}$) po dobu až 5 minut před tím, než se ponechá ochlazovat na vzduchu na okolní teplotu. Ještě v dalším případě způsob podle tohoto vynálezu dále obsahuje krok pomalého ochlazování ocelového plechu s teploty QST rychlostí menší než $1,0^{\circ}\text{C}$ za sekundu ($1,8^{\circ}\text{F.s}^{-1}$) po dobu až 5 minut před tím, než se ponechá ochlazovat na vzduchu na okolní teplotu. Tento způsob úpravy usnadní transformaci mikrostruktury ocelového plechu na přibližně 2 % obj. až 10 % obj. vrstvy filmového austenitu a přibližně 90 % obj. až 98 % obj. převážně jemnozrnného jehlicového martenzitu a jemnozrnného dolního bainitu. (Viz slovníček definic, týkající se převážně termínů teplota T_{nr} , a transformační teplota A_{r3} a M_s).

K zajištění houževnatosti při okolní a kryogenní teplotě, musí jehlice v mikrolaminární mikrostruktuře přednostně sestávat z dolního bainitu nebo martenzitu. Nejlepší je, když se minimalizuje tvorba složek působících křehkost jako je horní bainit, dvojčatový martenzit a MA. Tak, jak se v tomto druhém příkladu a v patentových nárocích používá termínu „převážně“, míní se tím alespoň 50 % obj. Zbývající mikrostruktura může obsahovat další jemnozrnný dolní bainit, další jemnozrnný jehlicový martenzit nebo ferrit. Lepší je, pokud struktura obsahuje přibližně nejméně od 60 % obj. do přibližně 80 % obj. dolního bainitu nebo jehlicového martenzitu. Ještě lepší je, pokud mikrostruktura obsahuje nejméně přibližně 90 % obj. dolního bainitu nebo jehlicového martenzitu.

Ocelové tabule zpracovávají podle tohoto druhého příkladu se vyrábějí na zakázku a vyznačují se tím, že v jednom z příkladů obsahují železo a další legující prvky nejlépe v hmotnostním rozmezí uváděném v následující tabulce II:

Tabulka II

Legující prvky	Rozsah (% hmotn.)
uhlík (C)	0,04 - 0,12, lépe 0,04 - 0,07
mangan (Mn)	0,5 - 2,5, lépe 1,0 - 1,8
nikl (Ni)	1,0 - 3,0, lépe 1,5 - 2,5
měď (Cu)	0,1 - 1,0, lépe 0,2 - 0,5
molybden (Mo)	0,1 - 0,8, lépe 0,2 - 0,4
niob (Nb)	0,02 - 0,1, lépe 0,02 - 0,05
titan (Ti)	0,008 - 0,03, lépe 0,01 - 0,02
hliník (Al)	0,001 - 0,05, lépe 0,005 - 0,03
dusík (N)	0,002 - 0,005, lépe 0,002 - 0,003

Chrom (Cr) se někdy přidává do oceli přednostně až do koncentrace okolo 1,0 % hmotn. a lépe od přibližně 0,2 % h. do přibližně 0,6 % hmotn.

Křemík (Si) se někdy přidává do oceli přednostně až do koncentrace okolo 0,5 % hmotn. a lépe od přibližně 0,01 % hmotn. do přibližně 0,5 % hmotn., avšak nejlépe od přibližně 0,05 % hmotn. do 0,1 % hmotn.

Bor (B) se někdy přidává do oceli přednostně až do koncentrace okolo 0,0020 % hmotn. a lépe od přibližně 0,0006 % h. do přibližně 0,0010% hmotn.

Ocel přednostně obsahuje nejméně 1 % hmotn. niklu. Obsah niklu v oceli může být zvýšen nad 3 % hm, pokud to zlepší parametry po svařování. Očekává se, že přidavek každého 1 % hmotn. niklu sníží DBTT oceli o 10°C (18°F). Dává se přednost tomu, aby obsah niklu byl nižší než 9 % hmotn., lépe méně než 6 % hmotn. Obsah niklu se minimalizuje ponejvíce proto, aby se snížila cena oceli. Pokud se obsah niklu zvýší nad přibližně 3 % hmotn., lze snížit obsah manganu pod přibližně

0,5 % hmotn. až k 0,0 % hmotn. Pojato šířeji, dává se proto přednost tomu, aby obsah manganu byl přibližně do 2,5 % hmotn.

Ostatní zbylé prvky se pokud možno v oceli minimalizují. Obsah fosforu (P) je přednostně nižší než 0,01 % hmotn. Obsah síry (S) je přednostně nižší než 0,004 % hmotn.

Obsah kyslíku (O) je přednostně nižší než 0,002 % hmotn.

Poněkud podrobněji bude popsán postup zpracování oceli podle tohoto druhého příkladu tvářením ocelových tabulí o složení zde popsaném: tabule se ohřívají teplotu přibližně 955°C až přibližně 1065°C (1750°F - 1950°F); tabule se válcují za tepla na plech jedním nebo více průchody tak, aby se v první teplotní oblasti, kdy rekrystalizuje austenit, dosáhlo 30 - 70 procentního snížení tloušťky, tj. přibližně nad teplotou T_{nr} a dále se plechy v jednom nebo více průchodech válcují za tepla na přibližně 40 až 80 % při teplotě druhé oblasti přibližně pod teplotu T_{nr} a nad transformační teplotou A_{r3} . Horké vyválcované plechy se potom zakalí rychlostí okolo 10°C za sekundu až 40°C za sekundu (18°F.s⁻¹ - 72°F.s⁻¹) na vhodnou teplotu QST přibližně pod transformační teplotou M_s plus 100°C (180°F), a nad transformační teplotou M_s , kdy kalení skončí. V jednom z případů tohoto druhého příkladu se ocelový plech po zakalení nechá ochladit z teploty QST na okolní teplotu. V jiném případě tohoto druhého příkladu oceli se ocelový plech po ukončeném kalení nechá po nějakou dobu na izotermické teplotě při QST, nejlépe do přibližně 5 minut a potom se nechá ochlazovat na vzduchu na okolní teplotu. V ještě jiném případě se ocelový plech po ukončeném kalení nechá ochlazovat pomaleji než probíhá normální ochlazování vzduchem, tj. rychlostí 1°C za sekundu (1,8°F.s⁻¹), nejlépe po dobu do přibližně 5 minut. V ještě jiném případě se ocelový plech nechá ochlazovat z teploty QST pomaleji než probíhá normální ochlazování vzduchem, tj. teplotním spádem 1°C za sekundu (1,8°F.s⁻¹), nejlépe po dobu do přibližně 5 minut. V posledním případě tohoto druhého příkladu oceli je

transformační teplota M_s okolo 350°C (662°F) a tudíž transformační teplota M_s plus 100°C (180°F) je okolo 450°C (842°F).

Ocelový plech může být udržován v podstatě izotermálně na QST jakýmkoliv vhodným způsobem zkušným odborníkům známým, jako je umístění tepelné rohože přes ocelový plech. Ocelový plech se může pomalu ochlazovat po ukončení kalení jakýmkoliv vhodným způsobem zkušným odborníkům známým, jako je umístění izolační rohože přes ocelový plech.

Třetí příklad oceli

Jak je uvedeno výše, dosud projednávaná předběžná patentová přihláška US s datem priority 19. prosinec 1997 nazvaná „Ultra vysoce pevné dvoufázové oceli s vynikající houževnatostí za kryogenní teploty“, a registrovanou USPTO pod číslem přihlášky 60/068816 předkládá popis ocelí vhodných pro využití podle předloženého vynálezu. Tento způsob zajišťuje přípravu ultra vysoce pevných plechů z dvoufázové oceli s mikrostrukturou obsahující přibližně od 10 % obj. do 40 % obj. první fáze, která je v podstatě 100 % obj. ferritem (tj. dostatečně čistá nebo „základní“) a přibližně od 60 % obj. do 90 % obj. druhé fáze převážně jemnozrnného jehlicového martenzitu, jemnozrnného dolního bainitu nebo jejich směs, a že tento způsob sestává z těchto kroků: (a) zahřívání ocelové tabule na dostatečně vysokou teplotu k (i) dostatečné homogenizaci ocelové tabule, (ii) rozpuštění všech karbidů a karbonitridů niobu a vanadu v ocelové tabuli a (iii) vytvoření jemných zárodečných austenitických zrn v ocelové tabuli; (b) válcování ocelové tabule za tepla na ocelový plech jedním nebo více průchody válcovací stolicí v první teplotní oblasti, ve které austenit zrekrystalizuje; (c) další válcování ocelového plechu za tepla jedním nebo více průchody válcovací stolicí ve druhé teplotní oblasti pod teplotou T_{nr} a nad transformační teplotou A_{r3} ; (d) další válcování ocelového plechu za tepla jedním nebo více průchody válcovací stolicí v třetí teplotní oblasti pod transformační teplotou A_{r3} a nad transformační teplotou A_{r1} (tj. oblast interkritické teploty); (e) kalení jmenovaného ocelového plechu rychlostí přibližně od 10°C za sekundu do přibližně 40°C za sekundu (18°F - 72°F) až do teploty pro zastavení kalení (QST), která je nejlépe pod transformační teplotou M_s plus 200°C (360°F); a (e) zastavení jmenovaného kalení. V jiném případě tohoto třetího příkladu oceli bude QST nejlépe

přibližně pod transformační teplotou M_s plus 100°C (180°F) a lépe přibližně pod 350°C (662°F). V jednom z případů tohoto třetího příkladu oceli je možno ocelový plech ponechat ochlazovat na okolní teplotu po kroku (f). Toto zpracování usnadní transformaci mikrostruktury ocelového plechu na přibližně od 10 % obj. do 40 % obj. první ferritické fáze a od přibližně 60 % obj. do 90 % obj. druhé fáze s převažujícím jemnozrnným jehlicovým martenzitem, jemnozrnným dolním bainitem nebo jejich směsí. (Viz slovníček definic pro termíny teplota T_{nr} , a transformační teplota A_{r3} a A_{r1} .)

K zajištění houževnatosti při okolní a kryogenní teplotě, sestává mikrostruktura druhé fáze oceli tohoto třetího příkladu převážně z jemně zrnitého dolního bainitu, jemně zrnitého jehlicového martenzitu nebo jejich směsí. Nejlépe je, když se podstatně zminimalizuje tvorba křehkých složek jako je horní bainit, dvojčatný martenzit a MA v druhé fázi. Tak, jak se v tomto třetím příkladu a v patentových nárocích používá termínu „přednostně“, míní se tím alespoň 50 % obj. Zbývající mikrostruktura druhé fáze může obsahovat další jemnozrnný dolní bainit, další jemnozrnný jehlicový martenzit nebo ferrit. Lepší je, pokud mikrostruktura druhé fáze obsahuje přibližně nejméně od 60 % obj. do přibližně 80 % obj. dolního bainitu, jehlicového martenzitu nebo jejich směs. Ještě lepší je, pokud mikrostruktura druhé fáze obsahuje nejméně přibližně 90 % obj. dolního bainitu, jehlicového martenzitu nebo jejich směsí.

Ocelové tabule zpracovávané podle tohoto třetího příkladu se vyrábějí na zakázku a vyznačují se tím, že v jednom z možných případů obsahují železo a další legující prvky nejlépe v hmotnostním rozmezí uváděném v následující tabulce III:

Tabulka III

Legující prvek	Rozsah (% hmotn.)
uhlík (C)	0,04 - 0,12, lépe 0,04 - 0,07
mangan (Mn)	0,5 - 2,5, lépe 1,0 - 1,8
nikl (Ni)	1,0 - 3,0, lépe 1,5 - 2,5
niob (Nb)	0,02 - 0,1, lépe 0,02 - 0,05
titan (Ti)	0,008 - 0,03, lépe 0,01 - 0,02
hliník (Al)	0,001 - 0,05, lépe 0,005 - 0,03
dusík (N)	0,002 - 0,005, lépe 0,002 - 0,003

Chrom (Cr) se někdy přidává do oceli přednostně až do koncentrace okolo 1,0 % hmotn. a lépe od přibližně 0,2 % hmotn. do přibližně 0,6 % hmotn.

Molybden (Mo) se někdy přidává do oceli přednostně až do koncentrace okolo 0,8 % hmotn. a lépe od přibližně 0,1 % hmotn. do přibližně 0,3 % hmotn.

Křemík (Si) se někdy přidává do oceli přednostně až do koncentrace okolo 0,5 % hmotn. a lépe od přibližně 0,01 % hmotn. do přibližně 0,5 % hmotn., avšak nejlépe od přibližně 0,05 % hmotn. do 0,1 % hmotn.

Měď (Cu) se někdy přidává do oceli přednostně v rozmezí koncentrací od přibližně 0,1 % hmotn. přibližně do 1,0 % hmotn., lépe od přibližně 0,2 % hmotn. do přibližně 0,4 % hmotn., avšak nejlépe od přibližně 0,05 % hmotn. do 0,1 % hmotn.

Bor (B) se někdy přidává do oceli přednostně až do koncentrace okolo 0,0020 % hmotn. a lépe od přibližně 0,0006 % h. do přibližně 0,0010% hmotn.

Ocel přednostně obsahuje nejméně 1 % hmotn. niklu. Obsah niklu v oceli může být zvýšen nad 3 % hm, pokud to zlepší parametry po svařování. Očekává se, že přídavek každého 1 % hmotn. niklu sníží DBTT oceli o 10°C (18°F). Dává se přednost tomu, aby obsah niklu byl nižší než 9 % hmotn., lépe méně než 6 % hmotn. Obsah niklu se nejlépe minimalizuje ponejvíce proto, aby se snížila cena oceli. Pokud se obsah niklu zvýší nad přibližně 3 % hmotn., lze snížit obsah manganu pod

přibližně 0,5 % hmotn. až k 0,0 % hmotn. Pojato širěji, dává se proto přednost tomu, aby obsah manganu byl přibližně do 2,5 % hmotn.

Ostatní zbylé prvky se v oceli pokud možno minimalizují. Obsah fosforu (P) je přednostně nižší než 0,01 % hmotn. Obsah síry (S) je přednostně nižší než 0,004 % hmotn.

Obsah kyslíku (O) je přednostně nižší než 0,002 % hmotn.

Poněkud podrobněji bude popsán postup zpracování oceli podle tohoto třetího příkladu tvářením ocelových tabulí o složení zde popsaném: tabule se ohřívají na teplotu přibližně 955°C až přibližně 1065°C (1750°F - 1950°F); tabule se válcují za tepla na plech jedním nebo více průchody tak, aby se v první teplotní oblasti, kdy rekrystalizuje austenit, dosáhlo 30 - 70 procentního snížení tloušťky, tj. přibližně nad teplotou T_{nr} a dále se horké plechy v jednom nebo více průchodech válcují na přibližně 40 až 80 % při teplotě druhé oblasti přibližně pod teplotou T_{nr} a nad transformační teplotou Ar_3 a válcování se zakončí jedním nebo dvěma průchody válcovací stolicí na přibližně 15 % až 50 % v oblasti interkritické teploty přibližně pod transformační teplotou Ar_3 a nad transformační teplotou Ar_1 . Horké vyválcované plechy se potom zakalí rychlostí okolo 10°C za sekundu až 40°C za sekundu (18°F.s⁻¹ - 72°F.s⁻¹) na vhodnou teplotu QST nejlépe přibližně pod transformační teplotu M_s plus 200°C (360°F), ve které končí kalení. V jiném případě příkladu podle tohoto vynálezu je QST nejlépe přibližně pod transformační teplotou M_s plus 100°C (180°F) a lépe přibližně pod 350°C (662°F). V jednom z případů tohoto třetího příkladu oceli se ocelový plech po ukončeném kalení ponechá ochladit na vzduchu na okolní teplotu.

Ve třech výše uvedených příkladech oceli se dává přednost tomu, aby byl obsah niklu nižší než přibližně 3,0 % hmotn., lépe méně než přibližně 2,5 % hmotn., ještě lépe méně než přibližně 2,0 % hmotn., avšak nejlépe méně než přibližně 1,8 % hm proto, aby se minimalizovaly náklady na ocel, protože nikl je drahá legura.

Další vhodné oceli v souvislosti s předloženým vynálezem jsou popsány v jiných publikacích popisujících ultra vysoce pevné, nízkolegované oceli obsahující méně než přibližně 1 % niklu a mající pevnost v tahu větší než 830 MPa (120 ksi) a vynikající houževnatost za nízké teploty. Takové oceli jsou například popsány v přihlášce evropského patentu publikovaného 5. února 1997 s číslem mezinárodní přihlášky PCT/JP96/00157 a publikační číslo mezinárodního patentu WO 96/23909 (08.08.1996 Gazette 1996/36) (takové oceli mají přednostně obsah mědi od 0,1 % hmotn. do 1,2 % hm) a v přihlášce US patentu, který je dosud v řízení s datem priority 28. červenec 1997 a nazvaný „Ultra vysoce pevné svařitelné oceli s vynikající houževnatostí při ultra nízkých teplotách“ označené USPTO číslem přihlášky 60/053915.

Pro všechny oceli, na které bylo výše odkazováno, tak, jak odborníci vědí, zde použitý termín „procento tenčení tloušťky“ se rozumí procento ztenčení tloušťky ocelové tabule nebo plechu v porovnání se stavem před tímto ztenčováním, na které je odkazováno. Pouze pro vysvětlení, aniž by tím byl nějak vynález omezován, ocelová tabule o tloušťce přibližně 25,4 cm (10 palců) se může ztenčit o přibližně 50 % (50 procentní ztenčení) v první teplotní oblasti na tloušťku přibližně 12,7 cm (5 palců), potom ztenčit přibližně o 80 % (80 procentní ztenčení) v druhé teplotní oblasti na tloušťku přibližně 2,5 cm (1 palec). Pouze pro vysvětlení, aniž by tím byl nějak vynález omezován, ocelová tabule o tloušťce přibližně 25,4 cm (10 palců) se může ztenčit o přibližně 30 % (30 procentní ztenčení) v první teplotní oblasti na tloušťku přibližně 17,8 cm (7 palců), potom ztenčit přibližně o 80 % (80 procentní ztenčení) v druhé teplotní oblasti na tloušťku přibližně 3,6 cm (1,4 palce) a potom ztenčit přibližně o 30 % (30 procentní ztenčení) ve třetí teplotní oblasti na tloušťku 2,5 cm (1 palec). Pokud je zde použito termínu „tabule“, míní se tím kus oceli mající jakékoliv rozměry.

Jak odborníci jistě rozumí, u kterékoliv oceli na niž bylo výše odkazováno, se ocelová tabule vyhraje vhodnými prostředky za účelem zvýšení teploty v podstatné části celé tabule, lépe úplně celé tabule na požadovanou teplotu, např. umístěním tabule do pece po určitou dobu. Patříčná teplota zahřátí, jaká se má použít pro kteroukoliv z výše uvedených ocelí o patřičném složení, může být stanovena

zkušným odborníkem buď pokusně nebo výpočtem na vhodném modelu. Teplota pece a nutná ohřívací doba nutná ke zvýšení teploty podstatné části celé tabule, lépe celé tabule na požadovanou teplotu, může být navíc určena odborníkem podle údajů ze standardních průmyslových publikací.

Jak tomu odborníci jistě rozumí, teplota T_{nr} definující hranici mezi rekrystalizační oblastí a nerekrystalizační oblastí pro kteroukoliv z výše uvedených ocelí na chemickém složení oceli a zvláště na teplotě opětného ohřátí před válcováním, obsahu uhlíku, obsahu niobu a míry ztenčení válcováním. Odborníci mohou stanovit tyto teploty pro každé složení oceli buď pokusně nebo výpočtem na modelu. Podobně transformační teploty A_{c1} , A_{r1} , A_{r3} a M_s na které je zde odkazováno mohou být odborníky stanoveny buď pokusně nebo výpočtem na modelu.

Jak tomu odborníci jistě rozumí jsou, , teploty na něž se následně odkazuje při popisu postupu podle tohoto vynálezu vyjma teploty opětného ohřevu na kterou se ohřeje celá tabule, teplotami měřenými na povrchu oceli. Povrchová teplota oceli se může například měřit optickým pyrometrem, nebo jiným vhodným zařízením pro měření teploty oceli. Rychlost ochlazování, na níž se zde odkazuje, se týká středu nebo místo nejbližší středu tloušťky plechu; teplota při zastavení kalení (QST) je nejvyšší nebo v podstatě nejvyšší dosažená teplota na povrchu plechu po ukončení kalení, protože dochází k převodu tepla ze středu tloušťky plechu. Během pokusného zjišťování tepla oceli o složení podle zde uvedených příkladů se termočlánek umístí například do středu nebo dostatečně do středu tloušťky ocelového plechu, aby se mohla změřit teplota ve středu a povrchová teplota se měří optickým pyrometrem. Zaznamená se korelace mezi teplotou ve středu a povrchovou teplotou, a ta se použije při následném zpracování materiálu o stejném složení nebo v podstatě stejném složení tak, že se teplota ve středu stanoví pomocí povrchové teploty. Požadovaná teplota a průtok kalicí kapaliny k provedení požadovaného zrychlení ochlazování může být odborníkem stanovena podle standardních referenčních odkazových průmyslových publikací.

Odborník má požadované znalosti a zkušenosti k využití zde uváděných informací k tomu, aby vyrobil ultra vysoce pevné plechy nízkolegované oceli mající vhodnou pevnost v tahu a houževnatost pro použití při zhotovování potrubí a dalších komponentů podle předloženého vynálezu. Existují i další vhodné oceli nebo budou později vyvinuty. Všechny takové oceli zapadají do rozsahu předloženého návrhu.

Odborník má požadované znalosti a zkušenosti k využití zde uváděných informací k tomu, aby vyrobil ultra vysoce pevné plechy nízkolegované oceli mající upravenou tloušťku v porovnání s příklady tloušťek zde uvedených tak, aby takto vyrobené ocelové plechy měly ještě vhodnou vysokou pevnost a vhodnou houževnatost při kryogenních teplotách pro použití v systémech podle předloženého vynálezu. Odborník může využívat informace zde uvedené k výrobě ocelových plechů o tloušťce 2,54 cm (1 palec) a o vhodné vysoké pevnosti a vhodné houževnatosti při kryogenních teplotách pro využití při zhotovování potrubí a dalších komponentů podle předloženého vynálezu. Existují i další vhodné oceli nebo budou později vyvinuty. Všechny takové oceli zapadají do rozsahu předloženého návrhu.

Pokud se ke zhotovení potrubí podle tohoto vynálezu použijí dvoufázové oceli, zpracovávají se přednostně takovým způsobem, aby doba, po kterou se ponechávají za tímto účelem v oblasti interkritických teplot k vytvoření dvoufázové struktury uběhla před zrychleným ochlazováním nebo kalením. Postupu, kterému se dává přednost, je vytváření dvoufázové struktury během chlazení oceli mezi transformační teplotou A_{r3} a transformační teplotou A_{r1} . Další předností ocelí používaných pro zhotovení potrubí podle tohoto vynálezu je to, že mají pevnost v tahu větší než 830 MPa (120 ksi) a BDTT nižší než -73° (-100°C) až po urychleném ochlazování nebo kalení, tj. bez jakéhokoliv dalšího zpracování vyžadujícího opětový ohřev oceli jako je například temperování. Je lépe, pokud pevnost v tahu hotových ocelí po kalení nebo ochlazení je vyšší než přibližně 860 MPa (125 ksi) a ještě lépe, pokud je větší než přibližně 900 MPa (130 psi). U některých aplikací se dává přednost ocelím majícím po dokončení kalení nebo ochlazení pevnost v tahu větší

než přibližně 930 MPa (135 ksi) nebo vyšší než přibližně 965 MPa (140 ksi) nebo vyšší než přibližně 1000 MPa (145 ksi).

Způsoby spojování pro zhotovování potrubí a dalších komponentů

Pro zhotovování potrubí a dalších komponentů podle předloženého vynálezu jsou zapotřebí vhodné způsoby spojování ocelových plechů. Zdá se, že vhodné jsou všechny způsoby spojování zajišťující odpovídající pevnost a houževnatost podle předloženého vynálezu. Pro zhotovování potrubí a dalších komponentů podle předloženého vynálezu se dává přednost svařování, které zajistí odpovídající pevnost a lomovou houževnatost k tomu, aby tyto výrobky mohly obsahovat kapalinu, nebo aby v nich mohla být kapalina přepravována. Takové svařovací způsoby předně vyžadují vhodný svařovací drát, vhodný použitelný plyn, vhodný svařovací postup a vhodný způsob práce při svařování. Ke spojení ocelových plechů může být použito například jak obloukové svařování kovem pod ochrannou atmosférou (GMAW), tak svařování wolframovými elektrodami v inertním plynu (TIG), které jsou obě známé v ocelářském průmyslu za předpokladu, že se používá vhodný svařovací drát.

Prvním příkladem svařování je obloukové svařování kovem pod ochrannou atmosférou (GMAW), kterého se používá ke zhotovení svarů materiálu obsahujícího železo a okolo 0,07 % hmotn. uhlíku, okolo 2,05 % hmotn. manganu, okolo 0,32 % hmotn. křemíku, okolo 2,20 % hmotn. niklu, okolo 0,45 % hmotn. chromu, okolo 0,56 % hmotn. molybdenu, méně než okolo 110 ppm fosforu a méně než 50 ppm síry. Svary se provádějí na ocelích jako jsou výše uvedené oceli za použití argonu jako ochranného plynu obsahujícího méně než 1 % hmotn. kyslíku. Příkon svařovacího tepla se pohybuje v rozmezí od přibližně $0,3 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$ do přibližně $1,5 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$ ($7,6 \text{ kJ} \cdot \text{palec}^{-1}$ až $38 \text{ kJ} \cdot \text{palec}^{-1}$). Svařování tímto způsobem vytváří svarky (viz slovníček) o pevnosti v tahu vyšší než přibližně 900 MPa (130 ksi), lépe vyšší než přibližně 930 MPa (135 ksi), ještě lépe vyšší než přibližně 965 MPa (140 ksi), a nejlépe vyšší než přibližně 1000 MPa (145 ksi). Svařování tímto způsobem vytváří svary o BDTT pod přibližně -73°C (-100°F), lépe pod přibližně -96°C (-140°F), ještě lépe pod přibližně -106°C (-160°F) a nejlépe pod přibližně -115°C (-175°F).

Při jiném postupu svařování se používá postup GMAW k vytvoření kovového svaru

materiálu obsahujícího železo a okolo 0,10 % hmotn. uhlíku (přednostně méně než přibližně 0,10 % hmotn. uhlíku, lépe od přibližně 0,07 do přibližně 0,08 % hmotn. uhlíku), okolo 1,60 % hmotn. manganu, okolo 0,25 % hmotn. křemíku, okolo 1,87 % hmotn. niklu, okolo 0,87 % hmotn. chromu, okolo 0,51 % hmotn. molybdenu, méně než okolo 75 ppm fosforu a méně než 100 ppm síry. Příkon svařovacího tepla se pohybuje v rozmezí od přibližně $0,3 \text{ kJ.mm}^{-1}$ do přibližně $1,5 \text{ kJ.mm}^{-1}$ ($7,6 \text{ kJ.palec}^{-1}$ až 38 kJ.palec^{-1}) a předehřívá se přibližně na 100°C (212°F). Svařování ocelí výše uvedeným způsobem se provádí za použití ochranné atmosféry argonu obsahujícího méně než 1 % hmotn. kyslíku. Svařování tímto způsobem vytváří svarky o pevnosti v tahu vyšší než přibližně 900 MPa (130 ksi), lépe vyšší než přibližně 930 MPa (135 ksi), ještě lépe vyšší než přibližně 965 MPa (140 ksi), a nejlépe vyšší než přibližně 1000 MPa (145 ksi). Svařování tímto způsobem používá kovu o BDTT pod přibližně -73°C (-100°F), lépe pod přibližně -96°C (-140°F), ještě lépe pod přibližně -106°C (-160°F) a nejlépe pod přibližně -115°C (-175°F).

V jiném příkladu svařování wolframemovými elektrodami v ochranné atmosféře inertního plynu (TIG) se ke zhotovení kovových svarů využívá materiálů obsahujících železo a okolo 0,07 % hmotn. uhlíku (přednostně méně než přibližně 0,07 % hmotn. uhlíku), okolo 1,80 % hmotn. manganu, okolo 0,20 % hmotn. křemíku, okolo 4,00 % hmotn. niklu, okolo 0,5 % hmotn. chromu, okolo 0,40 % hmotn. molybdenu, okolo 0,02 % hmotn. mědi, okolo 0,02 % hmotn. hliníku, okolo 0,010 % hmotn. titanu, okolo 0,015 % hmotn. zirkonu (Zr), méně než 50 ppm fosforu a méně než 30 ppm síry. Příkon svařovacího tepla se pohybuje v rozmezí od přibližně $0,3 \text{ kJ.mm}^{-1}$ do přibližně $1,5 \text{ kJ.mm}^{-1}$ ($7,6 \text{ kJ.palec}^{-1}$ až 38 kJ.palec^{-1}) a předehřívá se přibližně na 100°C (212°F). Svary oceli se provádějí výše popsáním způsobem za použití ochranné atmosféry argonu obsahujícího méně než 1 % hmotn. kyslíku. Svařování tímto způsobem vytváří svarky o pevnosti v tahu vyšší než přibližně 900 MPa (130 ksi), lépe vyšší než přibližně 930 MPa (135 ksi), ještě lépe vyšší než přibližně 965 MPa (140 ksi), a nejlépe vyšší než přibližně 1000 MPa (145 ksi). Svařování tímto způsobem využívá svařovacího kovu o BDTT pod přibližně -73°C (-100°F), lépe pod

přibližně -96°C (-140°F), ještě lépe pod přibližně -106°C (-160°F) a nejlépe pod přibližně -115°C (-175°F).

Podobné složení svařovacích kovů jako jsou uvedeny v příkladech lze používat jak při svařovacím postupu GMAW, tak TIG. Je však nutno dodat, že svary TIG mají menší obsah nečistot a jemnější mikrostrukturu než svary GMAW a tím zlepšují nízkoteplotní houževnatost.

Zkušeným odborníkům se zde dostalo dostatek informací a zkušeností k tomu, aby mohli provádět ultra vysoce pevné svary nízkolegovaných ocelových plechů o vhodné vysoké pevnosti a lomové houževnatosti k využívání při zhotovování potrubí a dalších komponentů podle předloženého vynálezu. Mohou existovat i jiné svařovací postupy, nebo mohou být i později vyvinuty. Všechny takovéto spoje nebo svářecí postupy patří do rozsahu předloženého vynálezu.

Zhotovování potrubí a dalších komponentů

Tento vynález, aniž by se tím nějak jeho rozsah omezoval, týká potrubí a dalších komponentů (i) zhotovených z materiálů sestávajících z ultra vysoce pevných nízkolegovaných ocelí obsahujících méně než 9 % hmotn. niklu a (ii) majících odpovídající pevnost a lomovou houževnatost při kryogenních teplotách tak, aby mohly obsahovat kapaliny za kryogenních teplot a zvláště PLNG; dále se týká potrubí a dalších komponentů z materiálů zhotovených z ultra vysoce pevných nízkolegovaných ocelí obsahujících méně než 9 % hmotn. niklu a mající pevnost v tahu větší než 830 MPa (120 ksi) a DBTT nižší než přibližně -73°C (-100°F); dále se týká potrubí a dalších komponentů z materiálů (i) zhotovených z ultra vysoce pevných nízkolegovaných ocelí obsahujících méně než 3 % hmotn. niklu a (ii) majících odpovídající pevnost a lomovou houževnatost při kryogenních teplotách tak, aby mohly obsahovat kapaliny za kryogenních teplot a zvláště PLNG; dále se týká potrubí a dalších komponentů i z materiálů zhotovených z ultra vysoce pevných nízkolegovaných ocelí obsahujících méně než 3 % hmotn. niklu a (ii) majících odpovídající pevnost v tahu přesahující 1000 MPa (145 ksi) a DBTT nižší než přibližně -73°C (-100°F). Takové potrubí a další komponenty zde popsané jsou přednostně zhotovovány z ultra vysoce pevných nízkolegovaných ocelí s vynikající houževnatostí při kryogenních teplotách.

Potrubí a další komponenty podle tohoto vynálezu jsou přednostně zhotovovány z

jednotlivých plechů z ultra vysoce pevných nízkolegovaných ocelí s vynikající houževnatostí při kryogenních teplotách. Tam, kde to je vhodné, mají švy potrubí a dalších komponentů nejlépe stejnou pevnost a houževnatost jako ultra vysoce pevné nízkolegované ocelové plechy. V některých případech v místech menšího namáhání je poddimenzování pevnosti v mezích řádu 5 až 10 % možné. Švy s doporučenými vlastnostmi lze provádět jakoukoliv technologií spojování. Příkladná spojovací technologie je zde popsána v podtitulu „Spojovací způsoby pro zhotovování potrubí a dalších komponentů“.

Jak jistě bude zkušeným odborníkům známo, pro účely hodnocení lomové houževnatosti a kontroly lomivosti na zhotoveném potrubí pro přepravu stlačených kapalin za kryogenních teplot jako je PLNG, lze použít zkoušku vrubové houževnatosti podle Charpyho (CVN), zvláště při přechodové teplotě z tažného do křehkého stavu (DBTT). U strukturních ocelí zobrazuje DBTT dva lomové režimy. Při teplotách pod DBTT zkouška vrubové houževnatosti podle Charpyho ukazuje na nízkoenergetický štěpivý (křehký) lom, zatímco při teplotách nad DBTT ukazuje na vysokoenergetický tvárný lom. Potrubí, které je zhotoveno ze svařované oceli pro přepravu PLNG a dalších látek, musí mít DBTT (podle stanovení zkouškou vrubové houževnatosti podle Charpyho) hodně pod pracovní teplotou konstrukce, aby se předešlo křehkému lomu. V závislosti na konstrukci, pracovních podmínkách a/nebo požadavcích klasifikační skupiny pro kterou se používá, musí být odpovídající teplota DBTT o 5 až 30°C (9 až 54°F), nižší než je pracovní teplota.

Jak bude jistě zkušeným odborníkům známo, provozní podmínky, které se musejí brát v úvahu při konstruování potrubí zhotovovaného ze svařované oceli pro přepravu stlačených kryogenních kapalin jako je PLNG musejí mimo jiné zahrnovat provozní tlak a teplotu, zrovna tak jako další namáhání, které na ocel a svarky (viz slovníček) působí. Stanovení lomové houževnatosti ocelí a svarků mohou být použita pro normalizovaná mechanická měření lomivosti jako je (i) součinitel kritického namáhání (K_{IC}), což je měření rovinné deformační lomové houževnatosti, a (ii) změna rozměrů trhliny (CTOD), kterou lze použít k měření elasticko-plastické

lomové houževnatosti, což jsou odborníkům známé zkoušky. Ke stanovení povolené velikosti trhliny v potrubí na základě lomové houževnatosti ocelí a svarů (včetně HAZ) a působících namáhání potrubí lze použít průmyslové kódy obecně přijímané pro popis struktury ocelí, například tak, jak jsou uváděny v publikaci „Guidance on methods for assessing the acceptability of flaws in fusionwelded structures“ [Příručka metod hodnocení přijatelnosti trhlin struktur získaných tavným svařováním] často uváděné jako „PD 6493:1991“, „Odborníci mohou vyvinout program kontroly lomivosti ke zmírnění možného vznikání lomů pomocí (i) vhodného návrhu potrubí s minimalizací působícího namáhání, (ii) patřičné výrobní kontroly jakosti k minimalizaci defektů, (iii) patřičné kontroly zátěžovými cykly působícími na potrubí, a (iv) patřičného kontrolního programu ke spolehlivému zjišťování trhlin a defektů potrubí. Filozofii, které se podle systému tohoto vynálezu dává přednost je „netěsnost najít před poruchou“, odborníkům známou. Zde jsou tyto úvahy uváděny obecně jako „známé principy mechaniky lomů“.

Dále je uveden příklad postupu pro výpočet kritické hloubky trhliny pro danou délku trhliny pro využití k vytvoření kontrolního plánu pro lomy, který má předcházet vzniku lomů v potrubí podle tohoto vynálezu neomezuje však tyto známé principy lomové mechaniky.

Obr. 2 znázorňuje trhlínu o délce 315 a hloubce 310. K výpočtu hodnot kritické velikosti trhliny se použije křivka 300 podle PD 6493 znázorněná na obr. 2A na základě těchto konstrukčních hodnot potrubí:

Průměr potrubí:	914 mm (36 palců)
Tloušťka stěny potrubí:	20 mm (0.787 palce)
Provozní axiální napětí:	0,80(násobeno)SMYS = 662 MPa (96 ksi)

Pro účely tohoto příkladu se vyhodnocuje povrchová délka trhliny 100 mm (4 palce), např. obvodová trhlina situovaná v obvodovém svaru. S odkazem na obr. 2A, křivka 300 ukazuje hodnotu pro kritickou hloubku trhliny jako funkci lomové houževnatosti CTOD a vnitřního pnutí, pro úroveň vnitřního pnutí 15, 25, 50, 75 a 100 procentního namáhání na mezi trvalé deformace. Vnitřní pnutí může být způsobeno

výrobou nebo svařováním; a PD6493 doporučuje použití hodnoty vnitřního pnutí odpovídající 100% namáhání na mezi trvalé deformace ve svaru (včetně svaru HAZ), pokud není svar odlehčen takovou technologií, jako je tepelné zpracování po svařování (PWHT) nebo mechanickým odlehčením namáhání.

Na základě lomové houževnatosti oceli CTOD při minimální provozní teplotě může být ustaven postup svařování potrubí tak, aby se snížilo vnitřní napětí a k zjišťování a měření trhlin může být zaveden kontrolní program (jak pro počáteční kontrolu, tak kontrolu během provozu) pro porovnávání s kritickými hodnotami velikosti trhlin. V tomto případě, pokud má ocel při minimální provozní teplotě (měřeno na laboratorních vzorcích) houževnatost CTOD 0,030 mm a vnitřní pnutí je sníženo na 15 procent hodnoty namáhání na mez trvalé deformace, je kritická hodnota hloubky trhliny přibližně 1 mm (viz bod 320 na obr. 2A). Při dodržování podobného výpočetního postupu, který je odborníkům znám, je možno stanovit kritickou hloubku trhliny pro různé délky trhliny rovněž tak jako pro různé geometrie trhlin. Při použití této informace lze vyvinout program kontroly jakosti a program kontrol (techniky, měřitelné rozměry trhlin, četnost) k zajištění toho, aby byly trhliny zjištěny a odstraněny před dosažením kritické hloubky nebo před vložením plánované zátěže. Na základě publikovaných empirických vztahů mezi CVN, K_{IC} a CTOD lomé houževnatosti odpovídá obecně hodnota CTOD 0,030 mm hodnotě CVN okolo 44 J. Tento příklad však neomezuje žádným způsobem tento vynález.

Pro potrubí a další komponenty vyžadující ohýbání ocele, např. do válcového tvaru pro zásobníky nebo do rourového tvaru pro potrubí, se ocel ohýbá na požadovaný tvar při teplotě okolí, aby se zamezilo nežádoucímu ovlivnění vynikající houževnatosti oceli při kryogenních teplotách. Pokud musí být ocel k dosažení požadovaného tvaru po ohýbání ohřívána, ohřívá se nejlépe na teplotu ne vyšší než přibližně 600°C (1112°F), aby se zachoval prospěšný vliv mikrostruktury oceli, jak to je popisováno výše.

Jedinečné výhody spojené s takovým potrubím a dalšími komponenty jsou podrobně popsány dále.

Rozvodné potrubní systémy

S odkazem na obr. 1 obsahuje předloženého vynálezu přednostně rozvodný potrubní systém pro rozvod PLNG 10 podle nejméně jeden akumulací zásobník 12, nejméně jedno primární rozvodné potrubí 14 a nejméně jedno cílové místo 16. Cílovým místem pouze pro účely tohoto příkladu bez jakýchkoliv omezení tohoto vynálezu je čerpací stanice pro vozidla, výrobní závod, nebo výparníková stanice LNG na potrubním vedení zemního plynu. Rozvodný potrubní systém znázorněný na obr. 1 má také nejméně jednu sekundární rozvodnou trubku 18, a nejméně jednu terciární rozvodnou trubku 15.

Rozvodný potrubní systém 10 je přednostně navrhován tak, aby bylo možno regulovat tepelné ztráty systému, z důvodu možné regulace vypařování PLNG. Jak je odborníkům známo, lze úniky tepla regulovat patřičnou izolací obklopující potrubí, jako je například primární rozvodné potrubí 14 a obklopující akumulací zásobník 12. Do rozvodného potrubního systému 10 může být umístěno parní manipulační zařízení (na obr. 1 neznázorněno) včetně zkapalňovače vypařeného plynu, nebo mohou být vypařené páry využity jako palivo v zařízení napájeném plynem.

PLNG je čerpán převážně kryogenním čerpadlem (na obr. 1 neznázorněno). Kryogenní čerpadla se navíc přednostně využívají na různých místech rozvodného potrubního systému 10 k udržení tlaku a tím také teploty, kdy se PLNG přečerpává požadovanými místy systému. Patřičná kryogenní čerpadla mohou odborníci vybrat. Kontrolní ventil (na obr. 1 neznázorněno) mezi cílovým místem 16 a potrubím v systému, např. sekundárním rozvodným potrubím 18, přednostně zabraňuje zpětnému proudění z cílového místa zpět do potrubí. Výhodou rozvodných potrubních systémů podle tohoto vynálezu je to, že PLNG (kapalný) lze čerpat do cílových míst a tím zabránit s tím spojenému vzrůstu nákladů na kompresi, typického pro rozvodné systémy zemního plynu.

Typická stanice pro příjem PLNG z lodních tankerů se situuje na pobřeží. Tato stanice má přednostně alespoň jeden akumulací zásobník 12 a zařízení pro vypařování PLNG (na obr. 1 neznázorněno). Rozvodný potrubní systém 10 pro běžný městský rozvod se 100 spotřebiteli či distributory při denním odběru

3000 galonů PLNG pro každého má například 10 palcové primární rozvodné potrubí 14, přibližně 3 palcové sekundární rozvodné potrubí 18 a okolo jednoho sta 1,5 palcových terciárních rozvodných potrubí 15.

Potrubí a další komponenty výše uvedených rozvodných potrubních systémů pro rozvod PLNG je nejlépe zhotoveno z ultra vysoce pevné nízkolegované oceli tak, jak to je zde popsáno, rovněž tak jako z jakékoliv jiné oceli popsané výše v podnadpisu „Oceli pro zhotovení potrubí a dalších komponentů“. Potrubí a další komponenty jsou dimenzovány podle potřeby projektu PLNG, podle kterého se rozvodný potrubní systém využívá. Vedle informace podané v této specifikaci mohou zkušenosti odborníci ke stanovení nezbytných dimenzí, tloušťek stěn, atd. pro potrubí a další komponenty používat běžné technické praktiky a odkazy dostupné v průmyslu a zhotovovat a provozovat rozvodné potrubní systémy podle tohoto vynálezu.

Systémy podle tohoto vynálezu mohou být výhodně využívány při distribuci a přepravě PLNG. Systémy podle tohoto vynálezu se výhodně používají (i) při distribuci a přepravě dalších stlačených kryogenních kapalin, (ii) při distribuci a přepravě dalších stlačených nekryogenních kapalin, nebo (iii) při distribuci a přepravě kryogenních kapalin za atmosférického tlaku.

Zatímco zmíněný vynález byl popsán jako jeden nebo více případů, kterým se dává přednost, musí se tím rozumět, že lze provádět další úpravy, aniž by došlo k odchýlení od rozsahu vynálezu, který je dále podán v následujících patentových nárocích.

Slovníček výrazů:

Transformační teplota A_{c1} :	teplota při které se začíná během zahřívání vytvářet austenit;
Transformační teplota A_{c3} :	teplota, při které je během zahřívání ukončena přeměna přeměna ferritu na austenit;
Transformační teplota A_{r1} :	teplota, při které je během ochlazování ukončena přeměna austenitu na ferrit a cementit;
Transformační teplota A_{r3} :	teplota, při které se během ochlazování začíná měnit austenit na ferrit;
Kryogenní teploty:	teploty nižší než přibližně -40°C (-40°F);
CTOD:	změna rozměrů trhliny;
CVN:	vrubová houževnatost podle Charpyho;
DBTT:	teplota přechodu z tažného do křehkého stavu odděluje dvě lomové charakteristiky u strukturních ocelí; při teplotě pod DBTT je tendence k nízkoenergetickým štěpným (křehkým) lomům, zatímco při teplotách nad DBTT je tendence k vysokoenergetickým tvárným lomům;
základní:	v podstatě 100 % obj.;

Gm ³ :	miliarda kubických metrů;
GMAW:	obloukové svařování kovem pod ochrannou atmosférou;
vytvrzující částice:	jedna nebo více ϵ -Cu, Mo ₂ C nebo karbidy a karbonitridy niobu a vanadu;
HAZ:	zóna ovlivněná teplem;
oblast interkritické teploty:	přibližně od transformační teploty Ac ₁ do transformační teploty Ac ₃ při ohřevu a přibližně od transformační teploty Ar ₃ do přibližně transformační teploty Ar ₁ při ochlazování;
K _{IC} :	součinitel intenzity kritického napětí;
kJ:	kilojoul;
kPa:	tisíc Pascalů;
ksi:	tisíc liber na čtvereční palec;
nízkolegovaná ocel:	ocel obsahující železo a celkově méně než 10 % hmotn. legujících přísad;
MA:	martenzit - austenit;
maximálně povolená velikost trhliny:	kritická délka a hloubka trhliny;
Mo ₂ C:	forma karbidu molybdenu;

MPa:	milion Pascalů;
Transformační teplota M_s :	teplota při níž během ochlazování nastává transformace austenitu na martenzit;
PLNG:	stlačený zkapalněný zemní plyn;
převážně:	nejméně okolo 50 procent obj.;
ppm:	dílů na milion dílů;
psia:	liber na čtvereční palec - absolutní;
kalení:	urychlené ochlazování takovým způsobem, kdy vybraná kapalina zvýší rychlost ochlazování oceli oproti ochlazování na vzduchu;
rychlost kalení (ochlazování):	rychlost ochlazování ve středu nebo v podstatě ve středu tloušťky plechu;
Teplota při zastavení kalení:	nejvyšší nebo v podstatě nejvyšší teplota, které dosáhne povrch plechu, když se zastaví kalení, protože dochází k převodu tepla ze středu tloušťky plechu;
QST:	teplota při zastavení kalení;
tabule:	ocelový kus mající libovolné rozměry;
TCF:	trilion kubických stop;

pevnost v tahu:	při zkoušce pevnosti to je poměr zátěže k ploše původního průřezu;
svařování TIG:	svařování wolframovými elektrodami v ochranné atmosféře argonu;
Teplota T_{nr} :	teplota, pod níž austenit nerekrystalizuje;
USPTO:	[United States Patent and Trademark Office] Patentový úřad Spojených Států;
svarek:	svařený spoj nebo šev včetně: (i) svařovacího kovu, (ii) zóny ovlivněné teplem (HAZ) a (iii) základního kovu v „bezprostřední blízkosti“ HAZ. Část základního kovu nacházející se v „bezprostřední blízkosti“ HAZ a tím i jako součást svarku se mění v závislosti na faktorech odborníkům známým, a to například, a aniž by tím byl vyčerpán výčet těchto položek, na tloušťce svarku, rozměrech svařovaného tělesa, počtu svarků, které se mají na předmětu vytvořit a vzdálenostech mezi svarky.

Patentové nároky

1. Potrubí vhodné pro použití v rozvodném potrubním systému pro přepravu stlačeného zkapalněného zemního plynu při tlaku od přibližně 1035 kPa (150 psia) do přibližně 7590 kPa (1100 psia) a teplotách přibližně od -123°C (-190°F) do přibližně -62°C (-80°F) vyznačující se tím, že toto jmenované potrubí je zhotoveno z materiálu, kterým je ultra vysoce pevná nízkolegovaná ocel obsahující méně než 9 % hmotn. niklu a mající pevnost v tahu větší než 830 MPa (120 ksi) a DBTT nižší než přibližně -73°C (-100°F).
2. Potrubí vhodné pro použití v rozvodném potrubním systému pro přepravu stlačeného zkapalněného zemního plynu při tlaku od přibližně 1725 kPa (250 psia) do přibližně 7590 kPa (1100 psia) a teplotách přibližně od -112°C (-170°F) do přibližně -62°C (-80°F) vyznačující se tím, že toto jmenované potrubí je zhotoveno z materiálu, kterým je ultra vysoce pevná nízkolegovaná ocel obsahující méně než 9 % hmotn. niklu a mající pevnost v tahu větší než 830 MPa (120 ksi) a DBTT nižší než přibližně -73°C (-100°F).
3. Potrubí vhodné pro použití v rozvodném potrubním systému pro přepravu stlačeného zkapalněného zemního plynu při tlaku od přibližně 1725 kPa (250 psia) do přibližně 4830 kPa (700 psia) a teplotách přibližně od -112°C (-170°F) do přibližně -79°C (-110°F) vyznačující se tím, že toto jmenované potrubí (i) je zhotoveno z materiálu, kterým je ultra vysoce pevná nízkolegovaná ocel obsahující méně než 9 % hmotn. niklu a (ii) má pevnost a lomovou houževnatost odpovídající, obsaženému stlačenému zkapalněnému zemnímu plynu.

4. Potrubí vhodné pro použití v rozvodném potrubním systému pro přepravu stlačeného zkapalněného zemního plynu při tlaku od přibližně 1725 kPa (250 psia) do přibližně 7590 kPa (1100 psia) a teplotách přibližně od -112°C (-170°F) do přibližně -62°C (-80°F) vyznačující se tím, že toto jmenované potrubí je zhotoveno z materiálu, kterým je ultra vysoce pevná nízkolegovaná ocel obsahující méně než 9 % hmotn. niklu a mající pevnost v tahu nejméně 1000 MPa (145 ksi) a DBTT nižší než přibližně -73°C (-100°F).
5. Potrubí podle kteréhokoliv z nároků 1, 2, 3 nebo 4 vyznačující se tím, že jmenovaná ultra vysoce pevná nízkolegovaná ocel obsahuje méně než 5 % hmotn. niklu.
6. Potrubí vhodné pro použití v rozvodném potrubním systému pro přepravu stlačeného zkapalněného zemního plynu při tlaku od přibližně 1725 kPa (250 psia) do přibližně 7590 kPa (1100 psia) a teplotách přibližně od -112°C (-170°F) do přibližně -62°C (-80°F) vyznačující se tím, že toto jmenované potrubí je zhotoveno z materiálu, kterým je ultra vysoce pevná nízkolegovaná ocel obsahující méně než 6 % hmotn. niklu a mající pevnost v tahu nejméně 830 MPa (120 ksi) a DBTT nižší než přibližně -73°C (-100°F).
7. Potrubí vhodné pro použití v rozvodném potrubním systému pro přepravu stlačeného zkapalněného zemního plynu při tlaku od přibližně 1725 kPa (250 psia) do přibližně 7590 kPa (1100 psia) a teplotách přibližně od -112°C (-170°F) do přibližně -62°C (-80°F) vyznačující se tím, že toto jmenované potrubí je zhotoveno z materiálu, kterým je ultra vysoce pevná nízkolegovaná ocel obsahující méně než 3 % hmotn. niklu a mající pevnost v tahu nejméně 1000 MPa (145 ksi) a DBTT nižší než přibližně -73°C (-100°F).

8. Potrubí podle kteréhokoliv z nároků 1, 2, 3, 4, 5 (nárok 5 je vícenásobným závislým nárokem), 6 nebo 7 zhotovené ohýbáním a spojováním nejméně jednoho samostatného plechu jmenované ultra vysoce pevné nízkolegované oceli vyznačující se tím, že švy jmenovaného potrubí mají pevnost v tahu větší než přibližně 900 MPa (130 ksi) a DBTT nižší než přibližně -73°C (-100°F).
9. Potrubí vhodné pro použití v rozvodném potrubním systému pro přepravu stlačeného zkapalněného zemního plynu při tlaku od přibližně 1035 kPa (150 psia) do přibližně 7590 kPa (1100 psia) a teplotách přibližně od -123°C (-190°F) do přibližně -62°C (-80°F) vyznačující se tím, že jmenovaný rozvodný potrubní systém sestává z nejméně jedné trubky zhotovené z materiálu, kterým je ultra vysoce pevná nízkolegovaná ocel obsahující méně než 9 % hmotn. niklu a mající pevnost v tahu nejméně 830 MPa (120 ksi) a DBTT nižší než přibližně -73°C (-100°F).
10. Rozvodný potrubní systém podle nároku 9 vyznačující se tím, že jmenovaná vysoce pevná nízkolegovaná ocel obsahuje méně než 5 % hmotn. niklu.

11. Způsob přepravy stlačeného zkapalněného zemního plynu z místa skladování do místa určení vyznačující se tím, že jmenovaný stlačený zkapalněný zemní plyn má tlak přibližně od 1035 kPa (150 psia) do přibližně 7590 kPa (1100 psia) a teplotu přibližně od -123°C (190°F) do přibližně -62°C (-80°F) a jmenovaný způsob se skládá z těchto kroků:

- (a) dodávání jmenovaného stlačeného zkapalněného zemního plynu do vstupního potrubí rozvodného potrubního systému na jmenovaném skladovacím místě vyznačující se tím, že jmenovaný rozvodný potrubní systém má alespoň jednu trubku zhotovenou z materiálu, kterým je ultra vysoce pevná nízkolegovaná ocel obsahující méně než 9 % hmotn. niklu a mající pevnost v tahu nejméně 830 MPa (120 ksi) a DBTT nižší než přibližně -73°C (-100°F); a
- (b) čerpání jmenovaného stlačeného zkapalněného zemního plynu do výstupu jmenovaného rozvodného potrubního systému ve jmenovaném místě určení.

12. Způsob podle nároku 11 vyznačující se tím, že odpařovací zařízení k přeměně jmenovaného stlačeného zkapalněného zemního plynu do plynného stavu je připojeno na jmenovaný výstup jmenovaného rozvodného potrubního systému .

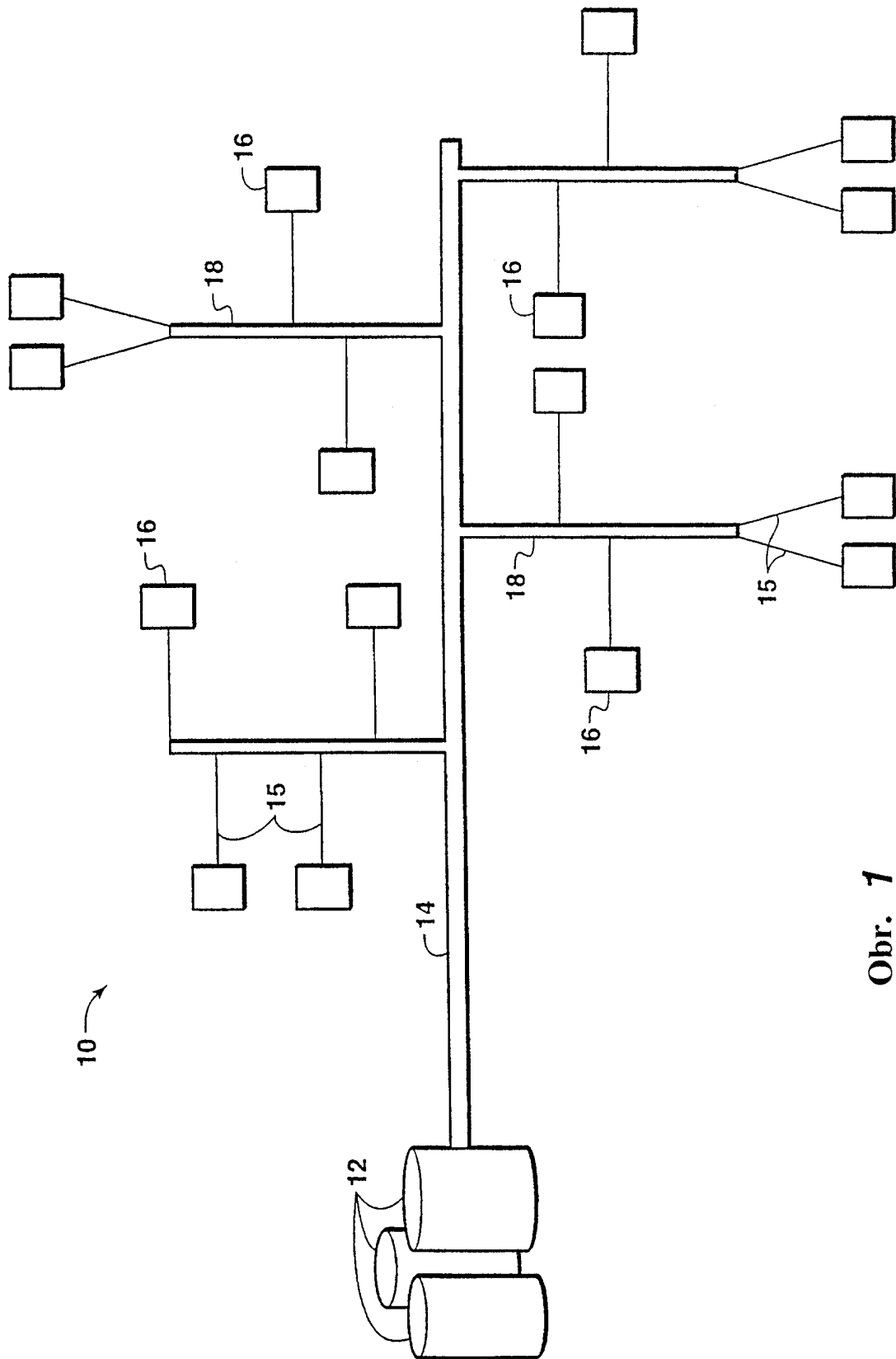
13. Způsob podle nároku 12 vyznačující se tím, že obsahuje dále ještě krok:

- (c) dodávku jmenovaného plynu do plynového potrubí.

14. Systém distribuce stlačeného zkapalněného zemního plynu při tlaku přibližně od 1035 kPa (150 psia) do přibližně 7590 kPa (1100 psia) a teplotě přibližně od -123°C (190°F) do přibližně -62°C (-80°F), kdy tento jmenovaný systém sestává z rozvodného potrubního systému se vstupem pro plnění jmenovaným stlačeným zkapalněným zemním plynem vyznačující se tím, že jmenovaný rozvodný potrubní systém sestává z nejméně jedné trubky zhotovené z materiálu, kterým je ultra vysoce pevná nízkolegovaná ocel obsahující méně než 9 % hmotn. niklu a mající pevnost v tahu vyšší než 830 MPa (120 ksi) a DBTT nižší než přibližně -73°C (-100°F).
15. Zásobník pro skladování stlačeného zkapalněného zemního plynu při tlaku přibližně od 1725 kPa (250 psia) do přibližně 7590 kPa (1100 psia) a teplotách přibližně od -112°C (-170°F) do přibližně -62°C (-80°F), vyznačující se tím, že je k zhotoven z ultra vysoce pevné nízkolegované oceli obsahující méně než 2 % hmotn. niklu a mající pevnost v tahu a lomovou houževnatost odpovídající obsaženému stlačenému zkapalněnému zemnímu plynu.
16. Zásobník vhodný pro použití v rozvodném potrubním systému pro přepravu stlačeného zkapalněného zemního plynu při tlaku přibližně od 1725 kPa (250 psia) do přibližně 7590 kPa (1100 psia) a teplotách přibližně od -112°C (-170°F) do přibližně -62°C (-80°F), vyznačující se tím, že je tento jmenovaný zásobník zhotoven z ultra vysoce pevné nízkolegované oceli obsahující méně než 2 % hmotn. niklu a mající pevnost v tahu a lomovou houževnatost odpovídající obsaženému stlačenému zkapalněnému zemnímu plynu.

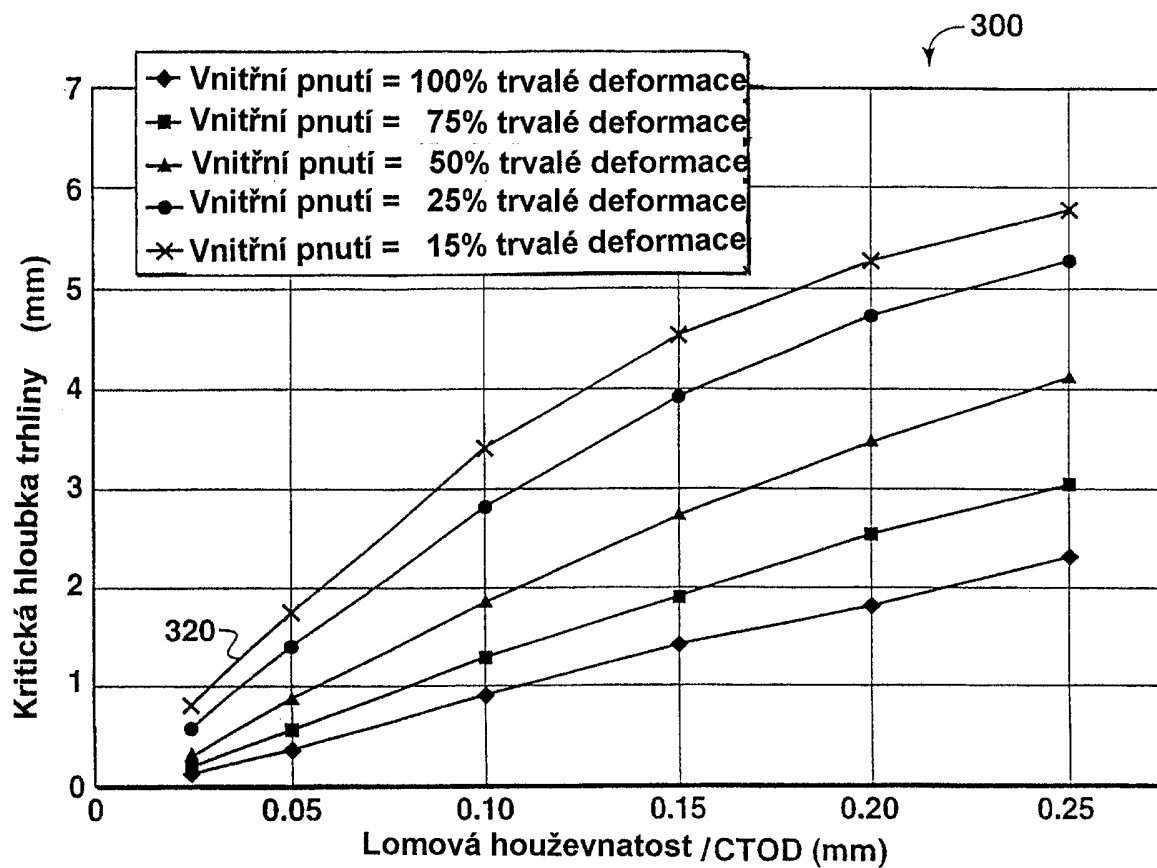
17:01:00

1/2

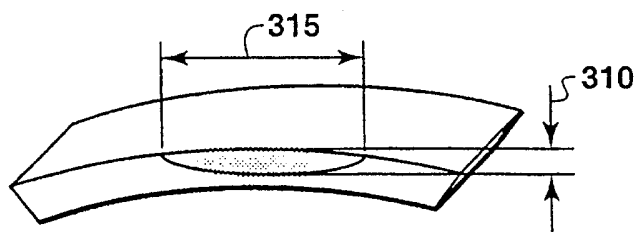


Obr. 7

2/2



Obr. 2A



Obr. 2B