

(12) **PATENTSKRIFT**

Patent- og
Varemærkestyrelsen

(51) Int.Cl⁷: **F 17 C 9/02 C 22 C 38/08 F 25 B 19/00**

(21) Patentansøgning nr: **PA 1999 01798**

(22) Indleveringsdag: **1999-12-16**

(24) Løbedag: **1998-06-18**

(41) Alm. tilgængelig: **2000-02-18**

(45) Patentets meddelelse bkg. den: **2003-12-15**

(86) International ansøgning nr: **PCT/US98/12741**

(86) International indleveringsdag: **1998-06-18**

(85) Videreførelsesdag: **1999-12-16**

(30) Prioritet: **1997-06-20 US 60/050280 1997-07-28 US 60/053966 1997-12-19 US 60/068198**

(73) Patenthaver: **ExxonMobil Upstream Research Company, 3120 Buffalo Speedway, P.O. Box 2189, Houston, Texas 77252-2189, USA**

(72) Opfinder: **Ronald R. Bowen, 37602 Pinwood Court, Magnolia, Texas 77355, USA**
Moses Minta, 39 Sterling Street, Sugar Land, Texas 77479, USA

(74) Fuldmægtig: **Plougmann & Vingtoft A/S, Sundkrogsgade 9, 2100 København Ø, Danmark**

(54) Benævnelse: **LNG-brændstofoplagrings- og forsyningssystemer til naturgasdrevne køretøjer**

(56) Fremdragne publikationer:

US A 5421162

US A 5183633

US A 5127230

US A 4687255

US A 3565201

DE A 1 3541620

(57) Sammendrag:

Brændstofoplagrings- og -forsyningssystemer til oplagring af tryksat, fortættet naturgas(PLNG)-brændstof ved et tryk på fra ca. 1035 kPa (150 psia) til ca. 7590 kPa (1100 psia) og ved en temperatur på fra ca. -123°C (-190°F) til ca. -62°C (-80°F) og afgivelse af fordampet PLNG-brændstof efter behov til forbrænding i en motor. Brændstoflager- og forsyningssystemet har brændstoflagerbeholdere, som er konstrueret af ultrastærkt, lavlegeret stål, der indeholder under 9 vægtprocent nikkel og har en brudstyrke på over 830 MPa (120 ksi) og en DBTT på under ca. -73°C (-100°F). Skønt ikke begrænset hertil er den foreliggende opfindelse især egnet til biler, busser, lastbiler og andre køretøjer med motorer, som er konstrueret til drift ved forbrænding af naturgas.

LNG-BRÆNDSTOFOPLAGRINGS- OG -FORSYNINGSSYSTEMER TIL NATURGASDREVNE KØRETØJER

5

OPFINDELSENS OMRÅDE

Denne opfindelse angår brændstofoplagrings- og -forsyningssystemer til oplagring af tryksat, fortættet naturgas(PLNG)brændstof og forsyning af fordampet PLNG-brændstof efter behov til forbrænding i en motor. Nærmere bestemt angår den foreliggende opfindelse sådanne brændstofoplagrings- og -forsyningssystemer, som har brændstoflagerbeholdere, der er konstrueret af ultrastærke lavlegerede ståltyper, der indeholder under 9 vægtprocent nikkel, og som har tilstrækkelig styrke og kryogen temperaturbrudstyrke til at indeholde PLNG-brændstoffet. Selv om den foreliggende opfindelse ikke er begrænset hertil, er den især velegnet til biler, busser, lastbiler og andre køretøjer med motorer, som er konstrueret til at drives ved forbrænding af naturgas.

OPFINDELSENS BAGGRUND

Der defineres i den følgende beskrivelse forskellige betegnelser. For nemheds skyld er der her umiddelbart før patentkravene angivet en ordliste over betegnelser.

Lovgivning i form af fx den amerikanske Clean Air Act (1990) og Energy Policy Act (1992), som foreskriver køb af køretøjer drevet af alternativt brændstof (Alternatively Fueled Vehicles, AFV), har ansporet til flere forskellige seriøse forretningsinitiativer for at udvikle naturgaskøretøjer (Natural Gas Vehicles, NGV). Selv om disse love var motiveret af luftkvalitetsspørgsmål, har de skabt økonomiske incitamenter, som har ansporet til reel aktivitet med at implementere NGV'er. NGV'er rummer for tiden det mest konkurrencedygtige alternativ til benzindrevne køretøjer på grund af naturgassens iboende rene forbrændingsegenskaber.

Tre konkurrerende teknologier til implementeringen af AFV'er af NGV-typen er: komprimeret naturgas (CNG), fortættet naturgas (LNG) og fortættet jordolie (LPG). Inden for CNG-teknologien oplagres det gasformige brændstof (naturgas) ved meget høje tryk på fra ca. 20684 kPa til 24132 kPa (3000-3500 psia). CNG-teknologien har mindst fire store ulemper, som har begrænset dens succesrige udbredelse: køretøjets korte aktionsradius (p.g.a. lavt energilager pr. brændstoflagerbeholdervolumen); sikkerhedsspørgsmål i forbindelse med de høje oplagringstryk; vægten og den høje pris for de ombordværende (og typisk ikke standardiserbare) brændstoflagerbeholdere; og den høje pris for genop-

fyldningsstationer, som skal omfatte kompressionssystemer til høje trykforhold. LNG-teknologien overvinder begrænsningen ved CNGs lave energitæthed ved, at der kan lagres meget mere energi pr. volumenenhed. Andre fordele ved LNG i forhold til CNG omfatter lavere vægt af køretøjets brændstofoplagringssystem og højere brændstoflager-
5 volumenkapacitet. For eksempel er vægten af et typisk ombordværende brændstofs system fyldt med CNG over 2,5 gange så høj som vægten af et typisk LNG-system. Den ekstremt lave oplagringstemperatur på -162°C (-260°F), som kræves til et LNG-system, resulterer imidlertid i høje udgifter til brændstoflagerbeholdere, som typisk er fremstillet af dyre speciallegeringer, fx kommercielle nikkelholdige ståltyper (fx 9 vægtprocent nikkel) eller
10 aluminiumlegeringer (fx Al-5083). Behovet for at afgive tryksat naturgas til en motors brændstofinjektorer øger endvidere brændstofforsyningssystemets kompleksitet og pris. En nylig anmodning fra DOE's Brookhaven National Laboratory om LNG-teknologi til NG'er understreger behovet for et LNG-forsyningssystem til injektorer til brændstof ved et mellemtryk. Et alternativ til LNG med lignende rene forbrændingsegenskaber er fortættet
15 jordolie (LPG). LPG overvinder både CNG's og LNG's begrænsninger ved, at LPG giver højere energioplagering pr. enhedsvolumen end både CNG og LNG og fungerer ved relativt lave tryk (ca. 827 kPa (120 psia)) sammenlignet med CNG og ved omgivelsestemperaturer. LPG-udbuddet er imidlertid begrænset, og LPG er meget dyrere end LNG.

Fem ligeledes verserende, provisoriske US-patentansøgninger ("PLNG-patentansøgninger"), hver med titlen "Improved System for Processing, Storing, and Transporting Liquefied Natural Gas", beskriver beholdere og tankskibe til oplagring og søtransport af tryksat, fortættet naturgas (PLNG) ved et tryk i det brede interval på fra ca. 1035 kPa (150 psia) til ca. 7590 kPa (1100 psia) og ved en temperatur i det brede interval på fra ca. -123°C (-190°F) til ca. -62°C (-80°F). Den seneste af PLNG-patentansøgningerne har pri-
25 oritetsdatoen 14. maj 1998 og er af ansøgerne betegnet dokument nr. 97006P4 og er af den amerikanske patentmyndighed, United States Patent & Trademark Office ("USPTO"), betegnet som ansøgning nr. 60/085467. Den første af disse PLNG-patentansøgninger har prioritetsdatoen 20. juni 1997 og betegnes af USPTO som ansøgning nr. 60/050280. Den anden af PLNG-patentansøgningerne har prioritetsdatoen 28. juli 1997
30 og betegnes af USPTO som ansøgning nr. 60/053966. Den tredje af PLNG-patentansøgningerne har prioritetsdatoen 19. december 1997 og betegnes af USPTO som ansøgning nr. 60/068226. Den fjerde af PLNG-patentansøgningerne har prioritetsdatoen 30. marts 1998 og betegnes af USPTO som ansøgning nr. 60/079904. Endvidere beskriver PLNG-patentansøgningerne systemer og beholdere til behandling, oplagring og transport af
35 PLNG.

PLNG frembyder en alternativ, økonomisk kilde til motorkøretøjsbrændstof, som har fordelene ved CNG's, LNG's og LPG's rene forbrænding. Endvidere giver PLNG større energioplagering pr. brændstoftagerbeholdervolumen end CNG, er mindre dyr at behandle end LNG og har ikke LPG's ulempe med begrænset udbud. Så vidt vides findes

5 der imidlertid ingen brændstofoplagrings- og -forsyningssystemer disponible idag til økonomisk oplagering af PLNG-brændstof og forsyning af fordampet PLNG-brændstof efter behov til forbrænding i et køretøjs motor. Hvis et sådant brændstofoplagrings- og -forsyningssystem var disponibelt, ville PLNG udgøre et køretøjsbrændstofkilde, som overvin-

10 der de største ulemper ved CNG, LNG og LPG. Der er behov for et brændstofoplagrings- og -forsyningssystem til økonomisk oplagering af PLNG-brændstof og levering af fordampet PLNG-brændstof efter behov til forbrænding i en motor.

Følgelig er det primære formål med den foreliggende opfindelse af tilvejebringe brændstofoplagrings- og -forsyningssystemer, som er egnet til oplagering af PLNG-brændstof og levering af fordampet PLNG-brændstof efter behov til forbrænding i en motor.

15

KORT BESKRIVELSE AF OPFINDELSEN

I overensstemmelse med ovennævnte formål med den foreliggende opfindelse tilvejebringes der brændstofoplagrings- og -forsyningssystemer til oplagering af tryksat, fortættet naturgas(PLNG)brændstof ved et tryk på fra ca. 1035 kPa (150 psia) til ca. 7590

20 kPa (1100 psia) og ved en temperatur på fra ca. -123°C (-190°F) til ca. -62°C (-80°F) og levering af fordampet PLNG-brændstof efter behov til forbrænding i en motor. PLNG-brændstoffet opbevares fortrinsvis ved et tryk på fra ca. 1725 kPa (250 psia) til ca. 7590 kPa (1100 psia) og ved en temperatur på fra ca. -112°C (-170°F) til ca. -62°C (-80°F).

Mere foretrukket opbevares PLNG-brændstoffet ved et tryk i intervallet fra ca. 2415 kPa

25 (350 psia) og til ca. 4830 kPa (700 psia) og ved en temperatur i området fra ca. -101 °C (-150°F) til ca. -79°C (-110°F). Endnu mere foretrukket er de lavere ender af tryk- og temperaturintervallerne for PLNG-brændstoffet ca. 2760 kPa (400 psia) og ca. -96°C (-140°F). Brændstofoplagrings- og -forsyningssystemerne ifølge denne opfindelse har brændstoftagerbeholdere og andre systemkomponenter, som er konstrueret af materialer,

30 der omfatter ultrastærkt, lavlegeret stål, der indeholder under ca. 9 vægtprocent nikkel og har tilstrækkelig styrke og brudsejhed til at indeholde den tryksatte, fortættede naturgas. Stålet har en ultrahøj styrke, dvs. brudstyrke (som defineret heri) på over 830 MPa (120 ksi) og en DBTT (som defineret heri) på under ca. -73°C (-100°F).

BESKRIVELSE AF TEGNINGERNE

Fordelene ved den foreliggende opfindelse vil fremgå mere klart ved henvisning til den efterfølgende detaljerede beskrivelse og de vedhæftede tegninger, hvor:

fig. 1 er en skematisk illustration af et brændstofoplagrings- og -forsyningssystem
5 ifølge den foreliggende opfindelse forbundet med en motor;

fig. 2 er en skematisk illustration af en mikroprocessor (CPU, Central Processing Unit) anvendt til brændstofstyring i et brændstofoplagrings- og -forsyningssystem ifølge den foreliggende opfindelse; og

fig. 3 er en detaljeret illustration af en brændstoflagerbeholder og tilknyttet brænd-
10 stofpatron, som anvendes i et brændstofoplagrings- og -forsyningssystem ifølge den foreliggende opfindelse.

Fig. 4A illustrerer et plot over kritisk revnedybde for en given revne- eller defekt-længde som en funktion af CTOD-brudsejhed og restspænding; og

fig. 4B illustrerer geometrien (længde og dybde) af en revne eller defekt.

15 Selv om opfindelsen vil blive beskrevet i forbindelse med sine foretrukne udførelsesformer, er det klart, at opfindelsen ikke er begrænset til disse. Tværtimod skal opfindelsen dække alle alternativer, modifikationer og ækvivalenter, som kan være omfattet af opfindelsens ånd og rækkevidde som defineret i de vedlagte krav.

20 DETALJERET BESKRIVELSE AF OPFINDELSEN

Den foreliggende opfindelse angår brændstofoplagrings- og -forsyningssystemer og individuelle komponenter heraf til oplagring af PLNG-brændstof og afgivelse af fordampet PLNG-brændstof efter behov til forbrænding i et køretøjs motor. Brændstofoplagrings- og -forsyningssystemer er tilvejebragt til oplagring af tryksat, fortættet naturgas(PLNG)-
25 brændstof ved et tryk på fra ca. 1035 kPa (150 psia) til ca. 7590 kPa (1100 psia) og en temperatur på fra ca. -123°C (-190°F) til ca. -62°C (-80°F) og afgivelse af fordampet PLNG-brændstof efter behov til forbrænding i et køretøjs motor, hvor brændstofoplagrings- og -forsyningssystemerne har brændstoflagerbeholdere og andre komponenter, som er konstrueret af materialer, der omfatter ultrastærkt lavlegeret stål, der indeholder
30 under 9 vægtprocent nikkel og har en brudstyrke på over 830 MPa (120 ksi) og en DBTT på under ca. -73°C (-100°F). Endvidere er der tilvejebragt brændstofoplagrings- og -forsyningssystemer til opbevaring af PLNG-brændstof ved en temperatur på fra ca. 1725 kPa (250 psia) til ca. 4830 kPa (700 psia) og en temperatur på fra ca. -112°C (-170°F) til ca. -79°C (-110°F) og afgivelse af fordampet PLNG-brændstof efter behov til forbrænding
35 i et køretøjs motor, hvor brændstofoplagrings- og -forsyningssystemerne har brændstof-

- lagerbeholdere og andre komponenter, som (i) er konstrueret af materialer, der omfatter ultrastærkt, lavlegeret stål, som indeholder under 9 vægtprocent nikkel, og (ii) har tilstrækkelig styrke og brudsejhed til at indeholde nævnte tryksatte, fortættede naturgas. Endvidere er der tilvejebragt brændstofoplagings- og -forsyningssystemer til opbevaring af
- 5 PLNG-brændstof og afgivelse af fordampet LNG-brændstof efter behov til forbrænding i et køretøjs motor, hvor brændstofoplagings- og -forsyningssystemerne har brændstoflagerbeholdere og andre komponenter, der er konstrueret af materialer, der omfatter ultrastærkt, lavlegeret stål, som indeholder under 9 vægtprocent nikkel og har en brudstyrke på over 830 MPa (120 ksi) og en DBTT på under ca. -73°C (-100°F). Desuden er der til-
- 10 vejebragt brændstofoplagings- og -forsyningssystemer til opbevaring af PLNG-brændstof og afgivelse af fordampet PLNG-brændstof efter behov til forbrænding i et køretøjs motor, hvor brændstofoplagings- og -forsyningssystemerne har brændstoflagerbeholdere og andre komponenter, som (i) er konstrueret af materialer, der omfatter ultrastærkt, lavlegeret stål, som indeholder under ca. 9 vægtprocent nikkel, og (ii) har tilstrækkelig styrke og
- 15 brudsejhed til at indeholde den tryksatte, fortættede naturgas.

Stål til konstruktion af brændstofoplagings- og -forsyningssystembeholdere og andre komponenter

- Et hvilket som helst ultrastærkt, lavlegeret stål, der indeholder under ca. 9 vægtprocent nikkel og har tilstrækkelig sejhed til at indeholde væsker ved kryogene temperaturer, fx PLNG, ved driftsbetingelser ifølge kendte principper inden for brudmekanik som beskrevet heri, kan anvendes til konstruktion af brændstofoplagings- og -forsyningssystembeholderne og andre komponenter ifølge denne opfindelse. Et eksempel på et stål til anvendelse i den foreliggende opfindelse, uden at opfindelsen dermed begrænses, er et
- 25 svejsbart, ultrastærkt, lavlegeret stål, der indeholder under 9 vægtprocent nikkel og har en brudstyrke på over 830 MPa (120 ksi) og tilstrækkelig sejhed til at forhindre initiering af en revne, dvs. defektdannelse, ved driftsforhold med kryogen temperatur. Et andet eksempel på stål til anvendelse ifølge den foreliggende opfindelse, uden at opfindelsen dermed begrænses, er et svejsbart, ultrastærkt, lavlegeret stål, der indeholder under ca. 3 vægtprocent nikkel og har en brudstyrke på mindst ca. 1000 MPa (145 ksi) og tilstrækkelig sejhed
- 30 til at hindre initiering af en revne, dvs. defektdannelse, ved driftsforhold ved kryogen temperatur. Disse eksempler på ståltyper har fortrinsvis DBTT'er på under ca. -73°C (-100°F).

- Nylige fremskridt inden for stålfremstillingsteknologien har gjort det muligt at fremstille nye, ultrastærke, lavlegerede ståltyper med udmærket kryogentemperaturbrudsej-
- 35 hed. For eksempel beskriver tre US-patenter udstedt til Koo et al., 5.531.842, 5.545.269

- og 5.545.270, nye ståltyper og fremgangsmåder til fremstilling af stål til produktion af stålplader med brudstyrker på ca. 830 MPa (120 ksi), 965 MPa (140 ksi) og derover. De deri beskrevne ståltyper og forarbejdningsmetoder er blevet forbedret og modificeret til at tilvejebringe kombinerede stålkemier og forarbejdning til fremstilling af ultrastærke, lavlegerede ståltyper med udmærket kryogen brudsejhed både i basisstålet og i den varmpåvirkede zone (Heat Affected Zone (HAZ)), når de svejses. Disse ultrastærke, lavlegerede ståltyper har også forbedret brudsejhed i forhold til standard kommercielt tilgængelige ultrastærke lavlegerede ståltyper. De forbedrede ståltyper er beskrevet i den ligeledes verserende provisoriske US-patentansøgning med titlen "ULTRA-HIGH STRENGTH STEELS WITH EXCELLENT CRYOGENIC TEMPERATURE TOUGHNESS", som har prioritetsdatoen 19. december 1997 og af United States Patent & Trademark Office ("USPTO") betegnes som ansøgning nr. 60/068194; i en ligeledes verserende provisorisk US-patentansøgning med titlen "ULTRA-HIGH STRENGTH AUSAGED STEELS WITH EXCELLENT CRYOGENIC TEMPERATURE TOUGHNESS", som har prioritetsdatoen 19. december 1997 og af USPTO betegnes som nr. 60/068252; og i en ligeledes verserende provisorisk US-patentansøgning med titlen "ULTRA-HIGH STRENGTH DUAL PHASE STEELS WITH EXCELLENT CRYOGENIC TEMPERATURE TOUGHNESS", som har prioritetsdatoen 19. december 1997 og betegnes af USPTO som ansøgning nr. 60/068816 (kollektivt benævnt "stålpatentansøgningerne").
- De nye ståltyper, som er beskrevet i stålpatentansøgningerne og endvidere er beskrevet i nedenstående eksempler, er især egnet til konstruktion af brændstofoplagrings- og -forsyningssystembeholderne og andre komponenter ifølge denne opfindelse derved, at ståltyperne har følgende egenskaber, fortrinsvis for stålpladetykkelser på ca. 2,5 cm (1 tomme) og derover: (i) DBTT på under ca. -73°C (-100°F), fortrinsvis under ca. -107°C (-160°F), i basisstålet og i svejse-HAZ; (ii) brudstyrke på over 830 MPa (120 ksi), fortrinsvis over ca. 860 MPa (125 ksi), og mere foretrukket over ca. 900 MPa (130 ksi); (iii) førsteklases svejsbarhed; (iv) i det væsentlige ensartet, i tykkelsen gennemgående mikrostruktur og egenskaber; og (v) forbedret brudsejhed i forhold til standard, kommercielt tilgængelige ultrastærke lavlegerede ståltyper. Disse ståltyper har især en brudstyrke på over ca. 930 MPa (135 ksi) eller over ca. 965 MPa (140 ksi) eller over ca. 1000 MPa (145 ksi).

Første ståleksempel

Som beskrevet i det foregående giver en ligeledes verserende provisorisk US-patentansøgning, der har prioritetsdatoen 19. december 1997 og titlen "Ultra-High Strength Steels With Excellent Cryogenic Temperature Toughness", og som af USPTO

5 benævnes ansøgning nr. 60/068194, en beskrivelse af ståltyper, som er egnede til anvendelse ved den foreliggende opfindelse. Der tilvejebringes en fremgangsmåde til fremstilling af en ultrastærk stålplade, der har en mikrostruktur, som overvejende omfatter hærdet finkornet båndmartensit, hærdet finkornet nedre bainit eller blandinger heraf, hvor fremgangsmåden omfatter trinnene (a) at opvarme en stålblokplade eller tyk plade til en

10 genopvarmningstemperatur, som er tilstrækkeligt høj til (i) at i det væsentlige homogenisere stålblokpladen, (ii) at i det væsentlige opløse alle carbider og carbonitrider af niobium og vanadium i stålblokpladen og (iii) at etablere fine initiale austenitkorn i stålblokpladen; (b) at reducere stålblokpladen til dannelse af stålplade i én eller flere valsepassager i et første temperaturinterval, hvor austenit rekrystalliserer; (c) at yderligere

15 reducere stålpladen i én eller flere varmvalsepassager i et andet temperaturinterval under omkring T_m -temperaturen og over omkring Ar_3 -transformationstemperaturen; (d) at bratkøle stålpladen ved en afkølingshastighed på ca. 10°C pr. sekund til ca. 40°C pr. sekund ($18^\circ\text{F}/\text{sek}$ - $72^\circ\text{F}/\text{sek}$) til en bratkølingsstoptemperatur på under omkring M_s -transformationstemperaturen plus 200°C (360°F); (e) at standse bratkølingen; og (f) at hærde stål-

20 pladen ved en hærkningstemperatur på fra ca. 400°C (752°F) op til omkring Ac_1 -transformationstemperaturen, fortrinsvis op til, men ikke incl. Ac_1 -transformationstemperaturen, i et tidsrum, der er tilstrækkeligt til at forårsage udfældning af hærdende partikler, dvs. én eller flere af ϵ -kobber, Mo_2C , eller carbiderne og carbonitriderne af niobium og vanadium. Den tid, som er tilstrækkelig til at forårsage udfældning af de hærdende partikler, afhæn-

25 ger primært af stålpladens tykkelse, stålpladens kemi og hærkningstemperaturen og kan bestemmes af en fagmand. (Se ordliste for definitioner af hovedsageligt, hærdende partikler, T_m -temperatur, Ar_3 -transformationstemperatur, M_s -transformationstemperatur og Ac_1 -transformationstemperatur og af Mo_2C .)

For at sikre sejhed ved omgivelsestemperatur og kryogen temperatur har ståltyper

30 ifølge dette første ståleksempel fortrinsvis en mikrostruktur, som består af overvejende hærdet finkornet nedre bainit, hærdet finkornet båndmartensit eller blandinger heraf. Det foretrækkes at væsentligt minimere dannelsen af sprødgørende bestanddele, som fx bainit, dobbelt martensit og MA. Som anvendt i dette første ståleksempel og i kravene betyder "overvejende" mindst ca. 50 volumenprocent. Mere foretrukket omfatter mikrostruktu-

35 ren mindst fra ca. 60 volumenprocent til ca. 80 volumenprocent hærdet, finkornet nedre

bainit, hærdet finkornet båndmartensit eller blandinger heraf. Endnu mere foretrukket omfatter mikrostrukturen mindst ca. 90 volumenprocent hærdet, finkornet nedre bainit, hærdet finkornet båndmartensit eller blandinger heraf. Mest foretrukket omfatter mikrostrukturen i det væsentlige 100% hærdet finkornet båndmartensit.

5

En stålblokplade forarbejdet ifølge dette første ståleksempel fremstilles på sædvanlig vis og omfatter i én udførelsesform jern og de følgende legeringsgrundstoffer, fortrinsvis i de i følgende tabel I angivne vægtintervaller:

10

Tabel I

	Legeringsgrundstof	Interval (vægtprocent)
	carbon (C)	0,04 - 0,12, mere foretrukket 0,04 - 0,07
	mangan (Mn)	0,5 - 2,5, mere foretrukket 1,0 - 1,8
	nikkel (Ni)	1,0 - 3,0, mere foretrukket 1,5 - 2,5
15	kobber (Cu)	0,1 - 1,5, mere foretrukket 0,5 - 1,0
	molybden (Mo)	0,1 - 0,8, mere foretrukket 0,2 - 0,5
	niobium (Nb)	0,02 - 0,1, mere foretrukket 0,03 - 0,05
	titan (Ti)	0,008 - 0,03, mere foretrukket 0,01 - 0,02
	aluminium (Al)	0,001 - 0,05, mere foretrukket 0,005 - 0,03
20	nitrogen (N)	0,002 - 0,005, mere foretrukket 0,002 - 0,003

Vanadium (V) tilsættes undertiden til stålet, fortrinsvis op til ca. 0,10 vægtprocent og mere foretrukket fra ca. 0,02 vægtprocent til ca. 0,05 vægtprocent.

Chrom (Cr) tilsættes undertiden til stålet, fortrinsvis op til ca. 1,0 vægtprocent og mere foretrukket fra ca. 0,2 vægtprocent til ca. 0,6 vægtprocent.

Silicium (Si) tilsættes undertiden til stålet, fortrinsvis op til ca. 0,5 vægtprocent, mere foretrukket fra ca. 0,01 vægtprocent til ca. 0,5 vægtprocent, og endnu mere foretrukket fra ca. 0,05 vægtprocent til ca. 0,1 vægtprocent.

Bor (B) tilsættes undertiden til stålet, fortrinsvis op til ca. 0,0020 vægtprocent og mere foretrukket fra ca. 0,006 vægtprocent til ca. 0,0010 vægtprocent.

Stålet indeholder fortrinsvis mindst ca. 1 vægtprocent nikkel. Nikkelindholdet i stålet kan om ønsket øges til over ca. 3 vægtprocent for at forbedre egenskaberne efter svejsning. Hver tilsat vægtprocent 1 nikkel forventes at sænke stålets DBTT med ca. 10°C (18°F). Nikkelindholdet er fortrinsvis under ca. 9 vægtprocent, mere foretrukket under ca. 6 vægtprocent. Nikkelindholdet minimeres fortrinsvis for at minimere stålets pris. Hvis nik-

35

kelindholdet øges til over ca. 3 vægtprocent, kan manganindholdet mindskes til under ca. 0,5 vægtprocent ned til 0,0 vægtprocent. Derfor foretrækkes der i bred betydning op til 2,5 vægtprocent mangan.

Endvidere minimeres residualstoffer fortrinsvis væsentligt i stålet. Indholdet af phosphor (P) er fortrinsvis mindre end ca. 0,01 vægtprocent. Indholdet af svovl (S) er fortrinsvis mindre end ca. 0,004 vægtprocent. Indholdet af oxygen (O) er fortrinsvis mindre end ca. 0,002 vægtprocent.

Noget mere detaljeret fremstilles et stål ifølge dette første ståleksempel ved at danne en blokplade eller tyk plade med den ønskede sammensætning som beskrevet heri; opvarme pladen til en temperatur på fra ca. 955°C til ca. 1065°C (1750°F - 1950°F); varmvalse pladen til dannelse af stålplade i en eller flere passager, der giver fra ca. 30 til ca. 70 procent reduktion, i et første temperaturinterval, hvor austenit rekrystalliserer, dvs. over omkring T_n -temperaturen, og varmvalse stålpladen yderligere i én eller flere passager, der giver fra ca. 40 til ca. 80 procent reduktion, i et andet temperaturinterval under omkring T_n -temperaturen og over omkring A_{r1} -transformationstemperaturen. Den varmvalsede stålplade bratkøles derefter ved en afkølingshastighed på fra ca. 10°C pr. sekund til ca. 40°C pr. sekund (18°F/sek - 72°F/sek) indtil en passende QST (som defineret i ordlisten) under omkring M_s -transformationstemperaturen plus 200°C (360°F), på hvilket tidspunkt bratkølingen standses. I én udførelsesform af dette første ståleksempel luftkøles stålpladen derefter til omgivelsestemperatur. Denne forarbejdning anvendes til at frembringe en mikrostruktur, der fortrinsvis omfatter overvejende finkornet båndmartensit, finkornet nedre bainit eller blandinger heraf eller mere foretrukket omfatter i det væsentlige 100% finkornet båndmartensit.

Det således direkte bratkølede martensit i ståltyper ifølge dette første ståleksempel har høj styrke, men dets sejhed kan forbedres ved hærkning ved en egnet temperatur på fra ca. 400°C (752°F) op til ca. A_{c1} -transformationstemperaturen. Hærkning af stål inden for dette temperaturinterval fører også til reduktion af bratkølingsspændingerne, hvilket igen fører til forøget sejhed. Medens hærkning kan øge stålets sejhed, fører den normalt til et væsentligt tab af styrke. I denne opfindelse bliver det sædvanlige styrketab ved hærkning opvejet af, at der induceres udfældningsdispersionshærkning. Dispersionshærkning fra fine kobberudfældninger og blandede carbider og/eller carbonitrider anvendes til at optimere styrke og sejhed under hærkningen af martensitstrukturen. Den unikke kemi af ståltyperne i dette første ståleksempel tillader hærkning i det brede interval fra ca. 400°C til ca. 650°C (750°F - 1200°F) uden signifikant tab af styrken efter bratkøling. Stålpladen hærdes fortrinsvis ved en hærkningstemperatur på fra over ca. 400°C (752°F) til

under A_{c1} -transformationstemperaturen i et tidsrum, som er tilstrækkeligt til at forårsage udfældning af hærdende partikler (som defineret heri). Denne forarbejdning letter transformation af stålpladens mikrostruktur til overvejende hærdet finkornet båndmartensit, hærdet finkornet nedre bainit eller blandinger heraf. Igen afhænger det tidsrum, som er

5 tilstrækkeligt til at forårsage udfældning af hærdende partikler, hovedsageligt af stålpladens tykkelse, stålpladens kemi og hærkningstemperaturen, og kan bestemmes af en fagmand.

Andet ståleksempel

- 10 Som beskrevet ovenfor er der i en ligeledes verserende provisorisk US-patentan-søgning, der har prioritetsdatoen 19. december 1997 og har titlen "Ultra-High Strength Ausaged Steels With Excellent Cryogenic Temperature Toughness" og af USPTO betegnes som ansøgning nr. 60/068252, givet en beskrivelse af andre ståltyper til anvendelse i den foreliggende opfindelse. Der er tilvejebragt en fremgangsmåde til fremstilling af en
- 15 ultrastærk stålplade med en mikrolaminat-mikrostruktur, der omfatter fra ca. 2 volumenprocent til ca. 10 volumenprocent austenitfilmag og fra ca. 90 volumenprocent til ca. 98 volumenprocent bånd af overvejende finkornet martensit og finkornet nedre bainit, idet fremgangsmåden omfatter trinnene: (a) at opvarme en stålblokplade til en genvarmnings-
- temperatur, der er tilstrækkelig høj til (i) at i det væsentlige homogenisere stålpladen, (ii)
- 20 at i det væsentlige opløse alle carbider og carbonitrider af niobium og vanadium i stålblokpladen, og (iii) at etablere fine initiale austenitkorn i stålblokpladen, (b) at reducere stålblokpladen til dannelse af stålplade i én eller flere varmvalsepassager i et første temperaturinterval, hvor austenit rekrystalliserer; (c) at yderligere reducere stålpladen i én eller flere valsepassager i et andet temperaturinterval under omkring T_m -temperaturen og
- 25 over omkring A_{r3} -transformationstemperaturen, (d) at bratkøle stålpladen ved en afkølingshastighed fra ca. 10°C pr. sekund til ca. 40°C pr. sekund ($18^{\circ}\text{F}/\text{sek}$ - $72^{\circ}\text{F}/\text{sek}$) indtil en bratkølingsstoptemperatur (QST) under omkring M_s -transformationstemperaturen plus 100°C (180°F) og over omkring M_s -transformationstemperaturen; og (e) at standse bratkølingen. I én udførelsesform omfatter fremgangsmåden i dette andet ståleksempel end-
- 30 videre det trin at lade stålpladen luftkøle til omgivelsestemperatur fra QST. I en anden udførelsesform omfatter fremgangsmåden i dette andet ståleksempel endvidere det trin, at stålpladen holdes i det væsentlige isothermisk ved QST i op til ca. 5 minutter, inden stålpladen får lov at luftkøle til omgivelsestemperatur. I en anden udførelsesform omfatter fremgangsmåden i dette andet ståleksempel yderligere det trin, at stålpladen køles lang-
- 35 samt fra QST ved en hastighed på under ca. $1,0^{\circ}\text{C}$ pr. sek. ($1,8^{\circ}\text{F}/\text{sek}$) i op til ca. 5 mi-

nutter, inden stålpladen får lov at luftkøle til omgivelsestemperatur. I endnu en anden udførelsesform omfatter fremgangsmåden ifølge denne opfindelse yderligere det trin, at stålpladen køles langsomt fra QST ved en hastighed på under ca. 1,0°C pr. sek.

(1,8°F/sek) i op til ca. 5 minutter, inden stålpladen får lov at luftkøle til omgivelsestempe-

- 5 ratur. Denne forarbejdning letter transformation af stålpladens mikrostruktur til fra ca. 2 volumenprocent til ca. 10 volumenprocent austenitfilm og fra ca. 90 til ca. 98 volumenprocent bånd af overvejende finkornet martensit og finkornet nedre bainit. (Se ordliste for definitioner af T_{nr} -temperatur og A_{r3} - og M_s -transformationstemperaturer).

- For at sikre brudsejhed ved omgivelsestemperatur og kryogen temperatur omfatter
- 10 båndene i mikrolaminatstrukturen fortrinsvis overvejende nedre bainit eller martensit. Det foretrækkes at minimere dannelsen af sprødgørende bestanddele væsentligt, som fx bainit, dobbelt martensit og MA. Som anvendt i dette andet ståleksempel og i patentkravene betyder udtrykket "overvejende" mindst ca. 50 volumenprocent. Resten af mikrostrukturen kan omfatte yderligere finkornet nedre bainit, yderligere finkornet båndmartensit eller fer-
- 15 rit. Mere foretrukket omfatter mikrostrukturen fra mindst ca. 60 volumenprocent til ca. 80 volumenprocent nedre bainit eller båndmartensit. Endnu mere foretrukket omfatter mikrostrukturen mindst ca. 90 volumenprocent nedre bainit eller båndmartensit.

- En stålblokplade forarbejdet ifølge dette andet ståleksempel fremstilles på sædvanlig måde og omfatter i én udførelsesform jern og de følgende legeringsgrundstoffer,
- 20 fortrinsvis i de i nedenstående tabel II angivne vægtintervaller:

Tabel II

	Legeringsgrundstoffer	Interval (vægtprocent)
	carbon (C)	0,04 - 0,12, mere foretrukket 0,04 - 0,07
25	mangan (Mn)	0,5 - 2,5, mere foretrukket 1,0 - 1,8
	nikkel (Ni)	1,0 - 3,0, mere foretrukket 1,5 - 2,5
	kobber (Cu)	0,1 - 1,0, mere foretrukket 0,2 - 0,5
	molybden (Mo)	0,1 - 0,8, mere foretrukket 0,2 - 0,4
	niobium (Nb)	0,02 - 0,1, mere foretrukket 0,02 - 0,05
30	titan (Ti)	0,008 - 0,03, mere foretrukket 0,01 - 0,02
	aluminium (Al)	0,001 - 0,05, mere foretrukket 0,005 - 0,03
	nitrogen (N)	0,002 - 0,005, mere foretrukket 0,002 - 0,003

- Chrom (Cr) tilsættes undertiden til stålet, fortrinsvis op til ca. 1,0 vægtprocent, og
- 35 mere foretrukket fra ca. 0,2 vægtprocent til ca. 0,6 vægtprocent.

Silicium (Si) tilsættes undertiden til stålet, fortrinsvis op til 0,5 vægtprocent, mere foretrukket fra ca. 0,01 vægtprocent til ca. 0,5 vægtprocent, og endnu mere foretrukket fra ca. 0,05 vægtprocent til ca. 0,1 vægtprocent.

Bor (B) tilsættes undertiden til stålet, fortrinsvis op til ca. 0,0020 vægtprocent, og mere foretrukket fra ca. 0,0006 vægtprocent til ca. 0,0010 vægtprocent. Stålet indeholder fortrinsvis mindst ca. 1 vægtprocent nikkel.

Stålet indeholder fortrinsvis mindst ca. 1 vægtprocent nikkel. Stålets nikkelindhold kan forøges til over ca. 3 vægtprocent, hvis det ønskes for at forbedre ydelsen efter svejsning. Hver 1 vægtprocent tilsætning af nikkel forventes at sænke stålets DBTT med ca. 10°C (18°F). Nikkelindholdet er fortrinsvis mindre end ca. 9 vægtprocent, mere foretrukket under ca. 6 vægtprocent. Nikkelindholdet minimeres fortrinsvis for at minimere stålets pris. Hvis nikkelindholdet øges til over ca. 3 vægtprocent, kan manganindholdet sænkes til under ca. 0,5 vægtprocent ned til 0,0 vægtprocent. Derfor foretrækkes der i bred betydning op til ca. 2,5 vægtprocent mangan.

Desuden minimeres residualstofferne fortrinsvis væsentligt i stålet. Indholdet af phosphor (P) er fortrinsvis mindre end ca. 0,01 vægtprocent. Indholdet af svovl (S) er fortrinsvis mindre end ca. 0,004 vægtprocent. Indholdet af oxygen (O) er fortrinsvis mindre end ca. 0,002 vægtprocent.

Noget mere detaljeret fremstilles et stål ifølge dette andet ståleksempel ved at danne en blokplade med den ønskede sammensætning som beskrevet heri; opvarme blokpladen til en temperatur på fra ca. 955°C til ca. 1065°C (1750°F-1950°F); varmvalse blokpladen til dannelsen af stålplade i én eller flere passager, der tilvejebringer fra ca. 30% til ca. 70% reduktion, i et første temperaturinterval, hvori austenit rekrystalliserer, dvs. over omkring T_{nr} -temperaturen, og yderligere varmvalse stålpladen i én eller flere passager, der tilvejebringer fra ca. 40 til ca. 80 procent reduktion, i et andet temperaturinterval under omkring T_{nr} -temperaturen og over omkring A_{r1} -transformationstemperaturen. Den varmvalsede stålplade bratkøles derefter ved en afkølingshastighed på ca. 10°C pr. sekund til ca. 40°C pr. sekund (18°F/sek-72°F/sek) indtil en egnet QST under omkring M_s -transformationstemperaturen plus 100°C (180°F) og over omkring M_s -transformationstemperaturen, hvor bratkølingen standses. I én udførelsesform for dette andet ståleksempel lades stålpladen efter bratkølingens standsning luftkøle til omgivelsestemperatur fra QST. I en anden udførelsesform for dette andet ståleksempel holdes stålpladen efter bratkølingens standsning i det væsentlige isotermisk ved QST i et tidsrum, fortrinsvis op til ca. 5 minutter, og luftkøles derefter til omgivelsestemperatur. I endnu en anden udførelsesform afkøles stålpladen langsomt med en hastighed, som er lavere end luftkølingshastigheden,

dvs. en hastighed på under ca. 1°C pr. sekund ($1,8^{\circ}\text{F}/\text{sek}$), fortrinsvis i op til 5 minutter. I endnu en anden udførelsesform afkøles stålpladen langsomt fra QST med en hastighed, som er lavere end luftkølingshastigheden, dvs. en hastighed på under ca. 1°C pr. sekund ($1,8^{\circ}\text{F}/\text{sek}$), fortrinsvis i indtil 5 minutter. I mindst én udførelsesform af dette andet ståleksempel er M_s -transformationstemperaturen ca. 350°C (662°F), og derfor er M_s -transformationstemperaturen plus 100°C (180°F) ca. 450°C (842°F).

Stålpladen kan holdes i det væsentlige isothermisk ved QST med hvilke som helst egnede midler, som er kendt for fagfolk, fx ved at anbringe et termisk tæppe over stålpladen. Stålpladen kan efter bratkølingens standsning køles langsomt med hvilke som helst egnede midler, som er velkendt for fagfolk, fx ved anbringelse af et isolerende tæppe over stålpladen.

Tredje ståleksempel

Som beskrevet ovenfor er der i en ligeledes verserende provisorisk US-patentsøgning, der har prioritetsdatoen 19. december 1997 med titlen "Ultra-High Strength Dual Phase Steels With Excellent Cryogenic Temperature Toughness", af USPTO betegnet som ansøgning nr. 60/068816, givet en beskrivelse af andre ståltyper til anvendelse i den foreliggende opfindelse. Der er tilvejebragt en fremgangsmåde til fremstilling af en ultra-stærk, dobbeltfaset stålplade med en mikrostruktur, der omfatter fra ca. 10 volumenprocent til ca. 40 volumenprocent af en første fase af i det væsentlige 100 volumenprocent (dvs. i det væsentlige rent eller "i det væsentlige") ferrit og fra ca. 60 volumenprocent til ca. 90 volumenprocent af en anden fase af overvejende finkornet båndmartensit, finkornet nedre bainit eller blandinger deraf, hvor fremgangsmåden omfatter trinnene (a) at opvarme en stålblokplade til en genopvarmningstemperatur, som er tilstrækkeligt høj til (i) at i det væsentlige homogenisere stålblokpladen, (ii) at i det væsentlige opløse alle carbider og carbonitridet af niobium og vanadium i stålblokpladen og (iii) at etablere fine initiale austenitkorn i stålblokpladen; (b) at reducere stålblokpladen til dannelse af stålplade i én eller flere varmalsepassager i et første temperaturinterval, hvori austenit rekrystalliserer; (c) at yderligere reducere stålpladen i én eller flere valsepassager i et andet temperaturinterval under omkring T_n -temperaturen og over omkring A_{r3} -transformationstemperaturen; (d) at yderligere reducere stålpladen i én eller flere varmalsepassager i et tredje temperaturinterval under omkring A_{r3} -transformationstemperaturen og over omkring A_{r1} -transformationstemperaturen (dvs. det interkritiske temperaturinterval); (e) at bratkøle stålpladen ved en afkølingshastighed på fra ca. 10°C pr. sekund til ca. 40°C pr. sekund ($18^{\circ}\text{F}/\text{sek}$ - $72^{\circ}\text{F}/\text{sek}$) indtil en bratkølingsstoptemperatur (Quench Stop Temperature

(QST)), der fortrinsvis er under omkring M_s -transformationstemperaturen plus 200°C (360°F); og (f) at standse bratkølingen. I en anden udførelsesform af dette tredje ståleksempel er QST fortrinsvis under omkring M_s -transformationstemperaturen plus 100°C (180°F) og er mere foretrukket under ca. 350°C (662°F). I én udførelsesform for dette

5 tredje ståleksempel lades stålpladen luftkøle til omgivelsestemperatur efter trin (f). Denne forarbejdning letter transformationen af stålpladens mikrostruktur til fra ca. 10 volumenprocent til ca. 40 volumenprocent af en første fase af ferrit og fra ca. 60 volumenprocent til ca. 90 volumenprocent af en anden fase af overvejende finkornet båndmartensit, finkornet nedre bainit eller blandinger deraf. (Se ordliste for definitioner af T_m -temperatur og A_{r3} -

10 transformationstemperatur og A_{r1} -transformationstemperatur).

Til sikring af brudsejhed ved omgivelsestemperatur og kryogen temperatur omfatter den anden fases mikrostruktur i ståltyper ifølge dette tredje ståleksempel overvejende finkornet nedre bainit, finkornet båndmartensit eller blandinger deraf. Det foretrækkes i det væsentlige at minimere dannelsen af sprødgørende bestanddele væsentligt, som fx øvre

15 bainit, dobbelt martensit og MA i den anden fase. Som anvendt i dette tredje ståleksempel og i kravene betyder "overvejende" mindst ca. 50 volumenprocent. Resten af den anden fases mikrostruktur kan omfatte yderligere finkornet lavere bainit, yderligere finkornet båndmartensit eller ferrit. Mere foretrukket omfatter mikrostrukturen mindst fra ca. 60 volumenprocent til ca. 80 volumenprocent finkornet lavere bainit, hærdet finkornet båndmar-

20 tensit eller blandinger heraf. Endnu mere foretrukket omfatter mikrostrukturen af den anden fase mindst ca. 90 volumenprocent finkornet lavere bainit, finkornet båndmartensit eller blandinger heraf.

En stålblokplade forarbejdet ifølge dette tredje ståleksempel fremstilles på sædvanlig vis og omfatter i én udførelsesform jern og de følgende legeringsgrundstoffer, for-

25 trinsvis i de i følgende tabel II angivne vægtintervaller:

Tabel III

	Legeringsgrundstof	Interval (vægtprocent)
	carbon (C)	0,04 - 0,12, mere foretrukket 0,04 - 0,07
30	mangan (Mn)	0,5 - 2,5, mere foretrukket 1,0 - 1,8
	nikkel (Ni)	1,0 - 3,0, mere foretrukket 1,5 - 2,5
	niobium (Nb)	0,02 - 0,1, mere foretrukket 0,02 - 0,05
	titan (Ti)	0,008 - 0,03, mere foretrukket 0,01 - 0,02
	aluminium (Al)	0,001 - 0,05, mere foretrukket 0,005 - 0,03
35	nitrogen (N)	0,002 - 0,005, mere foretrukket 0,002 - 0,003

Chrom (Cr) tilsættes undertiden til stålet, fortrinsvis med op til ca. 1,0 vægtprocent og mere foretrukket fra ca. 0,2 vægtprocent til ca. 0,6 vægtprocent.

Molybden (Mo) tilsættes undertiden til stålet, fortrinsvis med op til ca. 0,8 vægtprocent og mere foretrukket fra ca. 0,1 vægtprocent til ca. 0,3 vægtprocent.

Silicium (Si) tilsættes undertiden til stålet, fortrinsvis med op til ca. 0,5 vægtprocent, mere foretrukket ca. 0,01 vægtprocent til ca. 0,5 vægtprocent, og især ca. 0,05 vægtprocent til ca. 0,1 vægtprocent.

Kobber (Cu) tilsættes undertiden til stålet, fortrinsvis i området fra ca. 0,1 til ca. 1,0 vægtprocent, mere foretrukket i området fra ca. 0,2 vægtprocent til ca. 0,4 vægtprocent.

Bor (B) tilsættes undertiden til stålet, fortrinsvis med op til ca. 0,0020 vægtprocent og mere foretrukket fra ca. 0,0006 vægtprocent til ca. 0,0010 vægtprocent.

Stålet indeholder fortrinsvis mindst ca. 1 vægtprocent nikkel. Nikkelindholdet i stålet kan øges til over ca. 3 vægtprocent, hvis det ønskes for at forbedre ydelsen efter svejsning. Hver 1 tilsat vægtprocent nikkel forventes at sænke stålets DBTT med ca. 10°C (18°F). Nikkelindholdet er fortrinsvis under ca. 9 vægtprocent, mere foretrukket under ca. 6 vægtprocent. Nikkelindholdet minimeres fortrinsvis for at minimere stålets pris. Hvis nikkelindholdet øges til over ca. 3 vægtprocent, kan manganindholdet mindskes til under ca. 0,5 vægtprocent ned til 0,0 vægtprocent. Derfor foretrækkes der i bred betydning op til 2,5 vægtprocent mangan.

Endvidere minimeres residualstofferne fortrinsvis væsentligt i stålet. Indholdet af phosphor (P) er fortrinsvis under ca. 0,01 vægtprocent. Indholdet af svovl (S) er fortrinsvis under ca. 0,004 vægtprocent. Indholdet af oxygen (O) er fortrinsvis under ca. 0,002 vægtprocent.

Noget mere detaljeret fremstilles et stål ifølge dette tredje ståleksempel ved at dannelse af en blokplade med den ønskede sammensætning som beskrevet heri; opvarme blokpladen til en temperatur på fra ca. 955°C til ca. 1065°C (1750°F - 1950°F); varmvalse blokpladen til dannelse af stålplade i en eller flere passager, der giver fra ca. 30 til ca. 70 procent reduktion, i et første temperaturinterval, hvor austenit rekrystalliserer, dvs. over omkring T_{nr} -temperaturen, yderligere varmvalse stålpladen i én eller flere passager, der giver fra ca. 40 til ca. 80 procent reduktion, i et andet temperaturinterval under omkring T_{nr} -temperaturen og over omkring Ar_3 -transformationstemperaturen og ende med at valse stålpladen i en eller flere passager til at give fra ca. 15% til ca. 50% reduktion i det interkritiske temperaturinterval under omkring Ar_3 -transformationstemperaturen og over omkring Ar_1 -transformationstemperaturen. Den varmvalsede stålplade bratkøles derefter

ved en afkølingshastighed på fra ca. 10°C pr. sekund til ca. 40°C pr. sekund (18°F/sek - 72°F/sek) til en passende bratkølingstemperatur (QST) fortrinsvis under omkring M_s -transformationstemperaturen plus 200°C (360°F), hvor bratkølingen standses. I en anden udførelsesform ifølge denne opfindelse er QST fortrinsvis under omkring M_s -transformationstemperaturen plus 100°C (180°F) og er mere foretrukket under ca. 350°C (662°F). I én udførelsesform for dette tredje ståleksempel får stålpladen derefter lov at luftkøle til omgivelsestemperatur efter standsning af bratkølingen.

I de tre ovenfor angivne ståltyper er stålets Ni-indhold, eftersom Ni er et kostbart legeringsgrundstof, fortrinsvis under ca. 3,0 vægtprocent, mere foretrukket under ca. 2,5 vægtprocent, mere foretrukket under ca. 2,0 vægtprocent, og endnu mere foretrukket under ca. 1,8 vægtprocent, for at minimere stålets pris væsentligt.

Andre egnede ståltyper til anvendelse i forbindelse med den foreliggende opfindelse er beskrevet i andre publikationer, som beskriver ultrastærke, lavlegerede ståltyper, der indeholder mindre end ca. 1 vægtprocent nikkel, og som har brudstyrker, der er større end 830 MPa (120 ksi), og har fremragende sejhed ved lave temperaturer. For eksempel er sådanne ståltyper beskrevet i en europæisk patentansøgning offentliggjort 5. februar 1997 med det internationale ansøgningsnummer: PCT/JP96/00157 og internationalt publikationsnummer WO 96/23909 (08 08.1996 Gazette 1996/36) (idet sådanne ståltyper fortrinsvis har et kobberindhold på fra 0,1 til 1,2 vægtprocent), og i en verserende provisorisk US-patentansøgning med prioritetsdatoen 28. juli 1997 og med titlen "UltraHigh Strength, Weldable Steels with Excellent Ultra-Low Temperature Toughness" betegnet af USPTO som ansøgning nr. 60/053915.

For en hvilken som helst af de ståltyper, som der er henvist til i det ovenstående henviser udtrykket "procent reduktion i tykkelse" som anvendt heri, som det vil forstås af fagfolk, til procentuel reduktion i tykkelsen af stålpladen eller stålpladen forud for den angivne reduktion. Udelukkende som forklaring og uden dermed at begrænse opfindelsen kan en stålplade på ca. 25,4 cm (10 tommer) tykkelse i et første temperaturinterval reduceres ca. 50% (en 50% reduktion) til en tykkelse på ca. 12,7 cm (5 tommer), derefter i et andet temperaturinterval reduceres ca. 80% (en 80% reduktion) til en tykkelse på ca. 2,5 cm (1 tomme). Endnu engang udelukkende som forklaring og uden dermed at begrænse opfindelsen kan en stålplade på ca. 25,4 cm (10 tommer) tykkelse i et første temperaturinterval reduceres ca. 30% (en 30% reduktion) til en tykkelse på ca. 17,8 cm (7 tommer), derefter i et andet temperaturinterval reduceres ca. 80% (en 80% reduktion) til en tykkelse på ca. 3,6 cm (1,4 tomme), og derefter i et tredje temperaturinterval reduceres ca. 30%

(en 30% reduktion) til en tykkelse på ca. 2,5 cm (1 tomme). Som anvendt heri betyder "blokplade" ("slab") et stykke stål med hvilke som helst dimensioner.

For hvilke som helst af de ovennævnte ståltyper opvarmes stålblokpladen, som fagfolk vil forstå, med passende midler for at hæve temperaturen af i det væsentlige hele blokpladen til den ønskede temperatur, fx ved at anbringe blokpladen i en ovn i et tidsrum. Den specifikke genopvarmningstemperatur, som skal anvendes til hvilke som helst af de ovennævnte stålsammensætninger, kan let bestemmes af en fagmand enten ved forsøg eller ved beregning ved hjælp af egnede modeller. Desuden kan ovntemperaturen og den genopvarmningstid, som er nødvendig for at hæve temperaturen af i det væsentlige hele blokpladen, fortrinsvis hele blokpladen, til den ønskede genopvarmningstemperatur let bestemmes af en fagmand ved henvisning til standard industripublikationer.

For hvilke som helst af de ovennævnte ståltyper er det klart for fagfolk, at den temperatur, som definerer grænsen mellem rekrySTALLISATIONSINTERVALLET og ikke-rekrySTALLISATIONSINTERVALLET, T_{nr} -temperaturen, afhænger af stålets kemi, og nærmere bestemt af genopvarmningstemperaturen inden valsning, carbonkoncentrationen, niobiumkoncentrationen og omfanget af den reduktion, som påføres ved valsepassagerne. Fagfolk kan enten ved forsøg eller ved modelberegning bestemme denne temperatur for hver stålsammensætning. Tilsvarende kan de Ac_1 -, Ar_1 -, Ar_3 - og M_s -transformationstemperaturerne, som der henvises til heri, bestemmes af fagfolk for hver stålsammensætning enten ved forsøg eller ved modelberegning.

For hvilke som helst af de ovennævnte ståltyper, som det vil forstås af fagfolk, er efterfølgende temperaturer, som der henvises til i beskrivelsen af forarbejdningsmetoderne ifølge denne opfindelse, temperaturer målt på stålets overflade, bortset fra genopvarmningstemperaturen, som angår i det væsentlige hele blokpladen. Ståls overfladetemperatur kan måles ved anvendelse af fx et optisk pyrometer eller en hvilken som helst anden indretning, som er egnet til måling af ståls overfladetemperatur. De heri angivne afkølingshastigheder er dem i midten eller i det væsentlige i midten af pladetykkelsen, og bratkølingsstoptemperaturen (QST) er den højeste eller i det væsentlige den højeste temperatur, som nås på pladens overflade, efter at bratkølingen er standset, på grund af den varme, som overføres fra midten af pladens tykkelse. For eksempel under behandling med forsøgsvarmegrader for en stålsammensætning ifølge de heri tilvejebragte eksempler anbringes et termoelement i midten eller i det væsentlige i midten af stålpladens tykkelse for at måle midtertemperaturen, medens overfladetemperaturen måles ved anvendelse af et optisk pyrometer. En korrelation mellem midtertemperaturen og overfladetemperaturen udvikles til anvendelse under efterfølgende behandling af den samme eller i det

væsentlige den samme stålsammensætning, således at midtertemperaturen kan bestemmes ved direkte måling af overfladetemperaturen. Også den krævede temperatur og strømningshastighed for bratkølingsvæsken for at opnå den ønskede accelererede afkølingshastighed kan bestemmes af en fagmand ved henvisning til standardindustripublikationer.

En fagmand har den nødvendige viden og kunnen til at anvende de heri tilvejebragte oplysninger for at fremstille ultrastærke, lavlegerede stålplader med egnet høj styrke og sejhed til anvendelse i konstruktionen af brændstofoplagrings- og -forsynings-systembeholdere og andre komponenter ifølge den foreliggende opfindelse. Andre egnede ståltyper kan forefindes eller udvikles herefter. Alle sådanne ståltyper ligger inden for den foreliggende opfindelses rammer.

En fagmand har den nødvendige viden og kunnen til at anvende de heri tilvejebragte oplysninger til fremstilling af ultrastærke, lavlegerede stålplader med modificerede tykkelser sammenlignet med tykkelsen af de stålplader, som er fremstillet ifølge de heri tilvejebragte eksempler, men stadig fremstille stålplader med egnet høj styrke og egnet sejhed ved kryogene temperaturer til anvendelse i systemet ifølge den foreliggende opfindelse. For eksempel kan en fagmand anvende de heri givne oplysninger til at fremstille en stålplade med en tykkelse på ca. 2,54 cm (1 tomme) og egnet høj styrke og egnet sejhed ved kryogen temperatur til anvendelse til at konstruere beholderne og andre komponenter ifølge den foreliggende opfindelse. Andre egnede ståltyper kan forefindes eller udvikles herefter. Alle sådanne ståltyper ligger inden for den foreliggende opfindelses rammer.

Når der anvendes et tofaset stål ved konstruktionen af brændstofoplagrings- og -forsyningsystembeholdere og andre komponenter ifølge denne opfindelse, forarbejdes det tofasede stål fortrinsvis på en sådan måde, at det tidsrum, hvor stålet holdes i det interkritiske temperaturområde med henblik på at skabe tofasestrukturen, ligger før det accelererede afkølingstrin eller bratkølingstrinnet. Det foretrækkes, at forarbejdningen er således, at den tofasede struktur dannes under afkøling af stålet mellem A_{r3} -transformationstemperaturen og ca. A_{r1} -transformationstemperaturen. Endvidere foretrækkes det for ståltyper til anvendelse i konstruktionen af beholdere ifølge denne opfindelse, at stålet har en brudstyrke på over 830 MPa (120 ksi) og en DBTT på under ca. -73°C (-100°F) efter standsning af det accelererede afkølingstrin eller bratkølingstrinnet, dvs. uden nogen yderligere forarbejdning, som kræver genopvarmning af stålet, fx hærkning. Mere foretrukket er stålets brudstyrke ved standsning af bratkølings- eller afkølingstrinnet over ca. 860 MPa (125 ksi) og mere foretrukket større end ca. 900 MPa (130 ksi). Til nogle anvendelser foretrækkes der et stål med en brudstyrke på over ca. 930 MPa (135 ksi) eller over ca.

965 MPa (140 ksi) eller over ca. 1000 MPa (145 ksi) ved standsning af bratkølings- eller afkølingstrinnet.

Sammenføjningsmetoder til konstruktion af brændstofoplagrings- og -forsyningssystembeholdere og andre komponenter

For at konstruere brændstofoplagrings- og -forsyningssystembeholderne og andre komponenter ifølge den foreliggende opfindelse kræves der en egnet metode til sammenføjning af stålpladerne. En hvilken som helst fremgangsmåde, som vil tilvejebringe sammenføjninger med tilstrækkelig styrke og sejhed til den foreliggende opfindelse som beskrevet ovenfor, regnes for at være egnet. Det foretrækkes, at der anvendes en svejsemetode, som er egnet til at tilvejebringe tilstrækkelig styrke og brudsejhed til at indslutte den væske, der skal opbevares eller transporteres, til konstruktion af beholderne og andre komponenter ifølge den foreliggende opfindelse. En sådan svejsemetode omfatter fortrinsvis en egnet forbrugelig tråd, en egnet forbrugelig gas, en egnet svejseproces og en egnet svejseprocedure. For eksempel kan der anvendes både gas/metal-buesvejsning (GMAW) og wolfram/inertgas-svejsning (TIG-svejsning), som begge er velkendte i stål-fremstillingsindustrien, til sammenføjning af stålpladerne, forudsat at der anvendes en egnet kombination af forbrugelig tråd og gas til at sammenføje stålpladerne.

I et første eksempel på en svejsemetode anvendes gas/metal-buesvejsningsprocessen (GMAW) til at frembringe en svejsemetalkemi, der omfatter jern og ca. 0,07 vægtprocent carbon, ca. 2,05 vægtprocent mangan, ca. 0,32 vægtprocent silicium, ca. 2,20 vægtprocent nikkel, ca. 0,45 vægtprocent chrom, ca. 0,56 vægtprocent molybden, under ca. 110 ppm phosphor og under ca. 50 ppm svovl. Svejsningen foretages på et stål, fx en hvilken som helst af de ovenfor beskrevne ståltyper, ved anvendelse af en argonbaseret beskyttelsesgas med under ca. 1 vægtprocent oxygen. Svejsevarmetilførslen ligger i området fra ca. 0,3 kJ/mm til ca. 1,5 kJ/mm (fra 7,6 kJ/tomme til ca. 38 kJ/tomme).

Svejsning med denne metode tilvejebringer en svejsning (se ordliste) med en brudstyrke på over ca. 900 MPa (130 ksi), fortrinsvis over ca. 930 MPa (135 ksi), mere foretrukket over ca. 965 MPa (140 ksi) og endnu mere foretrukket mindst ca. 1000 MPa (145 ksi). Desuden tilvejebringes der ved svejsning efter denne metode et svejsemetal med en DBTT på under ca. -73°C (-100°F), fortrinsvis under ca. -96°C (-140°F), mere foretrukket under ca. -106°C (-160°F), og endnu mere foretrukket under ca. -115°C (-175°F).

I et andet eksempel på en svejsemetode anvendes GMAW-processen til at frembringe en svejsemetalkemi, der omfatter jern og ca. 0,10 vægtprocent carbon (fortrinsvis under ca. 0,10 vægtprocent carbon, mere foretrukket fra ca. 0,07 til ca. 0,08 vægtprocent

carbon), ca. 1,60 vægtprocent mangan, ca. 0,25 vægtprocent silicium, ca. 1,87 vægtprocent nikkel, ca. 0,87 vægtprocent chrom, ca. 0,51 vægtprocent molybden, under ca. 75 ppm phosphor og under ca. 100 ppm svovl. Svejsevarmetilførslen ligger i området fra ca. 0,3 kJ/mm til ca. 1,5 kJ/mm (fra 7,6 kJ/tomme til ca. 38 kJ/tomme), og der anvendes en
5 forvarmning på ca. 100°C (212°F). Svejsningen foretages på et stål, fx en hvilken som helst af de ovenfor beskrevne ståltyper, ved anvendelse af en argonbaseret beskyttelsesgas med under ca. 1 vægtprocent oxygen. Svejsning med denne metode tilvejebringer en svejsning med en brudstyrke på over ca. 900 MPa (130 ksi), fortrinsvis over ca. 930 MPa (135 ksi), mere foretrukket over ca. 965 MPa (140 ksi) og endnu mere foretrukket mindst
10 ca. 1000 MPa (145 ksi). Desuden tilvejebringer svejsning ved denne metode et svejsemetal med en DBTT på under ca. -73°C (-100°F), fortrinsvis under ca. -96°C (-140°F), mere foretrukket under ca. -106°C (-160°F), og endnu mere foretrukket under ca. -115°C (-175°F).

I et andet eksempel på en svejsemetode anvendes wolfram/inertgas-svejsning til
15 at frembringe en svejsemetalkemi, der indeholder jern og ca. 0,07 vægtprocent carbon (fortrinsvis under ca. 0,07 vægtprocent carbon), ca. 1,80 vægtprocent mangan, ca. 0,20 vægtprocent silicium, ca. 4,00 vægtprocent nikkel, ca. 0,5 vægtprocent chrom, ca. 0,40 vægtprocent molybden, ca. 0,02 vægtprocent kobber, ca. 0,02 vægtprocent aluminium, ca. 0,010 vægtprocent titan, ca. 0,015 vægtprocent zirconium (Zr), under ca. 50 ppm
20 phosphor, og under ca. 30 ppm svovl. Svejsevarmetilførslen ligger i området fra ca. 0,3 kJ/mm til ca. 1,5 kJ/mm (fra 7,6 kJ/tomme til ca. 38 kJ/tomme), og der anvendes en forvarmning på ca. 100°C (212°F). Svejsningen foretages på et stål, fx en hvilken som helst af de ovenfor beskrevne ståltyper, ved anvendelse af en argonbaseret beskyttelsesgas med under ca. 1 vægtprocent oxygen. Svejsning med denne metode tilvejebringer en
25 svejsning med en brudstyrke på over ca. 900 MPa (130 ksi), fortrinsvis over ca. 930 MPa (135 ksi), mere foretrukket over ca. 965 MPa (140 ksi) og endnu mere foretrukket mindst ca. 1000 MPa (145 ksi). Desuden tilvejebringer svejsning ved denne metode et svejsemetal med en DBTT på under ca. -73°C (-100°F), fortrinsvis under ca. -96°C (-140°F), mere foretrukket under ca. -106°C (-160°F), og endnu mere foretrukket under ca. -115°C
30 (-175°F).

Svejsemetalkemier, der svarer til de i eksemplerne nævnte, kan foretages ved anvendelse af enten GMAW- eller TIG-svejsprocessen. Imidlertid forventes TIG-svejsninger for at have lavere indhold af urenheder og en mere forfinet mikrostruktur end GMAW-svejsningerne og således forbedret sejhed ved lave temperaturer.

En fagmand har tilstrækkelig viden og kunnen til at anvende de heri tilvejebragte oplysninger til at svejse ultrastærke, lavlegerede stålplader til frembringelse af sammenføjninger med egnet høj styrke og brudsejhed til anvendelse ved konstruktion af beholdere og andre komponenter ifølge den foreliggende opfindelse. Andre egnede sammenføjnings- eller svejsemetoder kan forefindes eller blive udviklet herefter. Alle sådanne sammenføjnings- eller svejsemetoder ligger inden for den foreliggende opfindelses rammer.

Konstruktion af brændstofoplagrings- og -forsyningssystembeholdere og andre komponenter

Uden dermed at begrænse opfindelsen: der tilvejebringes brændstofoplagrings- og -forsyningssystembeholdere og andre komponenter, som (i) er konstrueret af materialer, der omfatter ultrastærke, lavlegerede ståltyper, som indeholder under ca. 9 vægtprocent nikkell, og som (ii) har tilstrækkelig styrke og brudsejhed ved kryogene temperaturer til at indeholde eller indeslutte PLNG; endvidere tilvejebringes der beholdere og andre komponenter konstrueret af materialer, der omfatter ultrastærke, lavlegerede ståltyper, der indeholder under ca. 9 vægtprocent nikkell og har en brudstyrke på over ca. 830 MPa (120 ksi) og en DBTT på under ca. -73°C (-100°F); endvidere tilvejebringes der beholdere og andre komponenter, som (i) er konstrueret af materialer omfattende ultrastærke, lavlegerede ståltyper indeholdende under ca. 3 vægtprocent nikkell, og som (ii) har tilstrækkelig styrke og brudsejhed ved kryogene temperaturer til at indeholde PLNG; og endvidere beholdere og andre komponenter, som (i) er konstrueret af materialer omfattende ultrastærke, lavlegerede ståltyper indeholdende under ca. 3 vægtprocent nikkell, og som (ii) har brudstyrker på over ca. 1000 MPa (145 ksi) og DBTT på under ca. -73°C (-100°F). Sådanne brændstofoplagrings- og -forsyningssystembeholdere og de andre komponenter er fortrinsvis konstrueret af de heri beskrevne ultrastærke, lavlegerede ståltyper med fremragende sejhed ved kryogene temperaturer.

Brændstofoplagrings- og -forsyningssystembeholderne og andre komponenter ifølge denne opfindelse er fortrinsvis konstrueret af diskrete plader af ultrastærke, lavlegerede ståltyper med fremragende sejhed ved kryogene temperaturer. Hvor anvendeligt, har beholdernes og de andre komponenters sammenføjninger fortrinsvis omkring den samme styrke og sejhed som de ultrastærke, lavlegerede stålplader. I nogle tilfælde kan en underdimensionering af styrken af størrelsesordenen fra ca. 5% til ca. 10% være berettiget for mindre belastede steder. Sammenføjninger med de foretrukne egenskaber kan dannes med en hvilken som helst egnet sammenføjningsteknik. Eksempel på sammenføj-

ningsteknik som beskrevet heri i underafsnittet "Sammenføjningsmetoder til konstruktion af beholdere og andre komponenter".

Som fagfolk vil vide, kan Charpy V-kærv-testen (CVN-testen) anvendes med henblik på vurdering af brudsejhed og brudstyring i udformningen af beholdere til oplagring af tryksatte væsker ved kryogene temperaturer, såsom PLNG, især under anvendelsen af smidig-til-sprød-overgangstemperaturen (DBTT). DBTT danner grænse mellem to brudtyper i strukturdannede ståltyper. Ved temperaturer under DBTT har materialesvigt ved Charpy-V-kærv-testen tendens til at ske ved et lavenergisk (skørt) brud, medens materialesvigt ved temperaturer over DBTT har tendens til at ske ved højenergisk strækningsbrud. Beholdere, der er konstrueret af svejsede ståltyper til oplagring af PLNG og til anden belastningsbærende kryogentemperaturanvendelse, skal have DBTT-værdier som bestemt ved Charpy V-kærv-testen, et godt stykke under strukturens brugstemperatur for at undgå skørhedssvigt. Afhængigt af designet, brugsbetingelserne og/eller det relevante klassifikationsselskabs krav kan det krævede DBTT-temperaturskift være fra 5°C til 30°C (9°F to 54°F) under brugstemperaturen.

Som det vil være fagfolk bekendt, omfatter de driftsbetingelser, som tages i betragtning ved udformningen af beholdere konstrueret af et svejset stål til oplagring og transport af tryksatte, kryogene væsker, fx PLNG, blandt andet driftstryk og -temperatur såvel som yderligere belastninger, som stålet og svejsningerne (se ordliste) kan blive udsat for. Standard brudmekaniske målinger, fx (i) kritisk spændingsintensitetsfaktor (K_{IC}), som er et mål for planspændingsbrudsejhed og (ii) forskydning ved åbning af revnespids (CTOD), som kan anvendes til måling af elastisk-plastisk brudsejhed, og som begge er velkendt for fagfolk, kan anvendes til at bestemme stålets og svejsningernes brudsejhed. Industriregler, som generelt er acceptable for stålkonstruktiondesign, fx som præsenteret i BSI-publikationen "Guidance on methods for assessing the acceptability of flaws in fusion welded structures", ofte betegnet som "PD 6493 : 1991", kan anvendes til at bestemme den maksimalt tilladte størrelse af materialefejl for beholderen på basis af stålets og svejsningens (herunder HAZ) brudsejhed, og de på beholderen påtrykte spændinger. En fagmand kan udvikle et brudstyringsprogram til at mildne brudinitiering ved (i) passende beholderkonstruktion for at minimere påtrykte spændinger, (ii) passende produktionskvalitetsstyring for at minimere defekter, (iii) passende styring af livscyklusbelastninger og -tryk, som påføres beholderen og (iv) et passende inspektionsprogram for pålideligt at detektere materialefejl og defekter i beholderen. Som det vil være bekendt for fagfolk, er en foretrukket konstruktionsfilosofi for systemet ifølge den foreliggende opfindelse "lækage

inden sammenbrud". Disse overvejelser omtales heri generelt som "kendte principper inden for brudmekanikken".

Efterfølgende er et ikke-begrænsende eksempel på anvendelse af disse kendte principper inden for brudmekanikken i en procedure til beregning af kritisk revnedybde for en given revnelængde til anvendelse i en brudstyringsplan for at forebygge brudinitiering i en beholder ifølge denne opfindelse.

Fig. 4B illustrerer en revne med en revnelængde 315 og revnedybde 310. PD6493 anvendes til at beregne værdier for plottet 300 over den kritiske revnestørrelse vist i fig. 4A på basis af efterfølgende designbetingelser for en trykflaske eller -beholder:

10

Beholderens diameter:	4,57 m (15 ft)
Beholderens vægtykkelse:	25,4 mm (1,00 tomme)
Beregnet tryk:	3445 kPa (500 psi)
Tilladelig ringspænding:	333 MPa (48,3 ksi).

15

Til brug for dette eksempel går man ud fra en overfladerevnélængde på 100 mm (4 tommer), fx en aksial revne eller defekt, der er beliggende i en svejsesøm. Idet der nu henvises til fig. 4A, viser plottet 300 værdien for den kritiske revnedybde som funktion af CTOD brudsejhed og af restspænding for restspændingsniveauer på 15, 50 og 100% af flydespændingen. Restspændinger kan dannes som følge af fabrikation og svejsning; og PD6493 anbefaler anvendelse af en restspændingsværdi på 100% af flydespændingen i svejsninger (indbefattende svejse-HAZ), medmindre der foretages en spændingsudligning af svejsningerne ved anvendelse af teknikker såsom varmebehandling efter svejsning (PWHT) eller mekanisk spændingsudligning.

25 Baseret på CTOD-brudsejheden for stålet i trykbeholderen ved den laveste brugstemperatur kan beholderfabrikationen justeres således, at restspændingerne reduceres, og der kan implementeres et inspektionsprogram (for både indledende inspektion og inspektion under brug) for at detektere og måle revner og defekter til sammenligning med kritisk revnestørrelse. Hvis stålet i dette eksempel har en CTOD-sejhed på 0,025 mm ved 30 den laveste brugstemperatur (målt under anvendelse af laboratorieprøver), og restspændingerne reduceres til 15% af stålets flydestyrke, så er værdien for den kritiske revnedybde ca. 4 mm (se punkt 320 på fig. 4A). Ved at følge lignende beregningsprocedurer, som er velkendte for fagfolk, kan kritiske dybder af revner eller defekter bestemmes for forskellige længder af disse defekter eller revner såvel som forskellige defektgeometrier. 35 Ved anvendelse af denne information kan der udvikles et kvalitetskontrolprogram og et

inspektionsprogram (teknikker, detekterbare dimensioner af revner eller defekter, hyppighed) for at sikre, at revner eller andre defekter detekteres eller udbedres, før de når den kritiske revnedybde, eller før materialet udsættes for konstruktionsbelastningerne. Baseret på publicerede empiriske korrelationer mellem CVN, K_{IC} og CTOD-brudsejhed, svarer

5 CTOD-sejheden på 0,025 mm generelt til en CVN-værdi på ca. 37 J. Dette eksempel er ikke tænkt til på nogen måde at begrænse denne opfindelse.

For beholdere og andre komponenter, der kræver bøjning af stålet, fx til en cylindrisk form til en beholder eller til en cylinderform til en rørledning, bøjes stålet fortrinsvis til den ønskede facon ved omgivelsestemperatur for at undgå en uheldig påvirkning af stå-

10 lets fremragende krygene temperatursejhed. Hvis stålet skal opvarmes for at opnå den ønskede facon efter bøjning, opvarmes stålet fortrinsvis til en temperatur, som ikke er højere end ca. 600°C (1112°F), for at bevare de gunstige virkninger af stålets mikrostruktur som beskrevet ovenfor.

15 **EKSEMPEL PÅ BRÆNDSTOFOPLAGRINGS- OG -FORSYNINGSSYSTEM**

En udførelsesform for et brændstofoplagrings- og -forsyningssystem ifølge denne opfindelse til oplagring af PLNG-brændstof og levering af fordampet PLNG-brændstof efter behov til forbrænding i et køretøjs motor, og de unikke fordele, der er forbundet her-

20 med, er beskrevet i detaljer nedenfor. Komponenter i brændstofoplagrings- og -forsyningssystemet, fx brændstoflagerbeholderen, væskerør, dampør og fordampere, er fortrinsvis konstrueret af de lavlegerede ultrastærke ståltyper med fremragende sejhed ved kryogene temperaturer som beskrevet heri, eller af andre ståltyper, som har de heri beskrevne ønskede egenskaber. For komponenter, der kræver bøjning af stålet, fx til en cy-

25 lindrisk form til en beholder eller til en cylinder til en rørledning, bøjes stålet fortrinsvis til den ønskede facon ved omgivelsestemperatur for at undgå en uheldig påvirkning af stålets fremragende krygene temperatursejhed. Hvis stålet skal opvarmes for at opnå den ønskede facon efter bøjning, opvarmes stålet fortrinsvis til en temperatur, som ikke er højere end ca. 600°C (1112°F), for at bevare de gunstige virkninger af stålets mikrostruk-

30 tur som beskrevet ovenfor.

Komponenter til brændstofoplagrings- og -forsyningssystemet

Idet der nu henvises til fig. 1, omfatter brændstofoplagringssystemet ifølge dette eksempel en brændstoflagerbeholder 10. Brændstoflagerbeholder 10 er fortrinsvis en

35 isoleret beholder af Dewar-typen. Brændstoflagerbeholder 10 er forbundet med påfyld-

nings- og udluftningsventil 13 gennem henholdsvis (i) dampport 11, dampledning 9 (kortsregslinie) og dampventil 14 og (ii) væskeport 12, væskeledning 8 (fuldt optrukken) og væskeventil 15. Tryktransmittere 16 og 17 er indsat mellem henholdsvis brændstoflagerbeholder 10 og påfyldnings- og udluftningsventil 13 i væskeledning 8 og i dampledning 9.

5 Brændstoflagerbeholder 10 er forbundet med indsugningsmanifolden på motor 24 via væskeport 12, væskeledning 8, væskemagnetventil 18, fordamper 20, brændstofledning 4 (streg-prik-prik) og brændstofregulator 22. Brændstoflagerbeholder 10 er også forbundet med indsugningsmanifolden på motor 24 via dampport 11, dampledning 9, dampmagnetventil 19, fordamper 20, brændstofledning 4, temperaturtransmitter 21 og brændstofregulator 22.

10 Brændstoflagerbeholder 10 er også forbundet med sikkerhedsventil 26 via dampport 11 og dampledning 9. Brændstofoplagrings- og -forsyningssystemet ifølge dette eksempel omfatter også en trykkontakt 28 og en brændstofmåler 29. Som anvendt i nedenstående beskrivelse af brændstofoplagrings- og -forsyningssystemets drift betyder "åben" i forbindelse med en ventil "i det mindste delvis åben", medmindre andet er angivet.

15 vet.

Første påfyldning af brændstoflagerbeholder

Inden første påfyldning er brændstoflagerbeholder 10 typisk ved atmosfæretryk og omgivelsestemperatur. Den første påfyldning af brændstoflagerbeholder 10 styres fortrinsvis af en foreskrevet sekvens. Den foreskrevne sekvens for den første påfyldning er fx fortrinsvis forprogrammeret ind i den centrale processor (CPU) 30 (ikke vist på fig. 1, se fig. 2), og udløses i én udførelsesform af en manuelt betjent kontakt (ikke vist på tegningerne).

20

Den foreskrevne sekvens omfatter typisk de efterfølgende trin i den angivne rækkefølge. I en afkølingscyklus for brændstoflagerbeholder 10 åbnes dampventil 14 først for at etablere strømning af PLNG-brændstofdamp fra en genpåfyldningsstation (ikke vist på tegningerne) via påfyldnings- og udluftningsventil 13, dampledning 9 og dampport 11 til brændstoflagerbeholder 10. Denne strøm af PLNG-brændstofdamp fortsættes, indtil temperaturen i brændstoflagerbeholder 10 har nået en forudindstillet temperaturværdi. Den forudindstillede temperaturværdi er hovedsageligt afledt af afkølingskurven og de termiske sammentrækningsegenskaber af det materiale, hvoraf brændstoflagerbeholderen 10 er konstrueret, og kan bestemmes af fagfolk ved henvisning til standard industripublikationer. Denne strømning af PLNG-brændstofdamp ind i lagerbeholder 10 øger også trykket i brændstoflager 10. Når temperaturen i brændstoflagerbeholder 10 når den forudindstillede temperaturværdi, åbnes væskeventil 15 for at tillade strømning af flydende PLNG-

30

35

- brændstof fra genpåfyldningsstationen gennem påfyldnings- og udluftningsventil 13, væskeledningen 8 og væskeport 12 til brændstoflagerbeholder 10 for den afsluttende fase af afkølingscyklen. Efterhånden som det flydende PLNG-brændstof afkøler brændstoflagerbeholder 10, fordamper det flydende PLNG-brændstof og bidrager til opbygning af trykket.
- 5 Efter at trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 har nået et forudindstillet tryk baseret på trykforskellen mellem trykbeholderen og genpåfyldningsstationen, vender strømmen af PLNG-brændstofdamp gennem dampventil 14 (dvs. fra brændstoflagerbeholder 10 ind i genpåfyldningsstationen), og dampventil 14 åbnes derefter fortrinsvis helt for at opretholde trykbalancen mellem brændstoflagerbeholder 10 og genpåfyldningsstationen.
- 10 Væskeventilen 15 åbnes fortrinsvis helt, når temperaturen i brændstoflagerbeholder 10 når en forudbestemt driftstemperaturværdi, dvs. når afkølingscyklen er færdig. Flydende PLNG-brændstof fortsætter med at strømme ind i brændstoflagerbeholder 10 fra genpåfyldningsstationen, idet det fortrænger et i det væsentlige lige så stort volumen af PLNG-brændstofdamp fra brændstoflagerbeholder 10 tilbage i genpåfyldningsstationen, indtil en
- 15 niveauføler (ikke vist på tegningerne) detekterer, at flydende PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 har nået en forudindstillet mængde eller et forudindstillet volumen, på hvilket tidspunkt både dampventil 14 og væskeventil 15 lukkes for at afslutte den første påfyldningsproces. Som generelt med væskelagerbeholdere ved kryogen temperatur er der fortrinsvis mindst ca. 10 procent damptrum disponibelt i brændstoflagerbeholder 10 efter af-
- 20 slutning af den første påfyldningsproces, som det er velkendt for fagfolk inden for oplagring af væske ved kryogene temperaturer.

Systemgenpåfyldningsproces

- Inden påbegyndelse af genpåfyldningen og med både dampventil 14 og væske-
- 25 ventil 15 lukket og påfyldnings- og udluftningsventil 13 åben, måler tryktransmitter 16 trykket af PLNG-brændstof i genpåfyldningsstationen og kommunikerer trykket til CPU 30 (ikke vist på fig. 1, se fig. 2) som et inputsignal 31. Ligeledes måles trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 inden påbegyndelse af genpåfyldning og overvåges af tryktransmitter 17 fortrinsvis kontinuerligt under genpåfyldning og kommunikerer til CPU 30
- 30 som et inputsignal 31. Trykket af PLNG-brændstof i genpåfyldningsstationen forbliver i det væsentlige konstant under genpåfyldningsprocessen sammenlignet med trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10. Således overvåger CPU 30 kontinuerligt trykforskellen mellem genpåfyldningsstationen og brændstoflagerbeholder 10 under genpåfyldningsprocessen. CPU 30 overvåger, dvs. modtager som inputsignal 31, fortrinsvis endvidere ni-
- 35 veauet 7 af flydende PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 via en niveauføler, fx et afstemt

densitometer (ikke vist på tegningerne). Ligeledes er CPU 30 fortrinsvis forprogrammeret med en indstillet minimum-genpåfyldningstrykforskel, dvs. den minimumstrykforskel, som er nødvendig for at sikre den ønskede strømningshastighed for flydende PLNG-brændstof fra genpåfyldningsstationen til lagerbeholder 10 uden hjælp af en pumpe. Hvis trykforskel-
 5 skellen mellem genpåfyldningsstationen og brændstoftagerbeholderen 10 er mindre end ca. den indstillede mindste genpåfyldningstrykforskel inden påbegyndelsen af genpåfyldningen, eller den falder til mindre end ca. den indstillede mindste genpåfyldningstrykforskel under genpåfyldning, styrer CPU 30 genpåfyldningsprocessen for på passende måde at sikre, at den indstillede mindste påfyldningstrykforskel etableres. Disse tryk-, trykforskel-, væske-
 10 skelle-, væskenniveau- og indstillede minimum-genpåfyldningsforskelsværdier anvendes af CPU 30 til at styre genpåfyldningsprocessen ved på passende måde at drive (åbne/lukke) ventiler 14, 15, 18 og 19.

Den genpåfyldningssekvens, som anvendes til brændstoftagerbeholder- og -forsyningssystemet ifølge dette eksempel, afhænger af PLNG-brændstoffets tilstand i lagerbeholder 10. Som nærmere beskrevet nedenfor afhænger sekvensens start af, om trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 plus den mindste genpåfyldningstrykforskel er mindre end, lig med eller højere end ca. PLNG-brændstoffets tryk i genpåfyldningsstationen.

Opstart, når brændstoftagerbeholdertryk plus indstillet mindste genpåfyldningstryk er højere end genpåfyldningsstationens tryk

Når inputsignaler 31 til CPU 30 angiver, at trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 plus den indstillede mindste genpåfyldningstrykforskel er højere end ca. trykket af PLNG-brændstof i genpåfyldningsstationen, åbnes først dampventil 14 for at tillade strømning af PLNG-brændstofdamp strømme fra brændstoftagerbeholder 10 gennem
 25 dampport 11, dampledning 9 og påfyldnings- og udluftningsventil 13 ind i genpåfyldningsstationen. Væskeventil 15 åbnes, når trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 i det væsentlige balancerer med trykket af PLNG-brændstof i genpåfyldningsstationen. Endvidere kommunikerer CPU 30 til genpåfyldningsstationen ved midler, som er kendt af fagfolk, fx elektroniske signaler, besked om at øge trykket af PLNG-brændstof med i det
 30 mindste den indstillede mindste genpåfyldningstrykforskel for at etablere strømning af flydende PLNG-brændstof fra genpåfyldningsstationen gennem påfyldnings- og udluftningsventil 13, væskeledning 8 og væskeport 12 til brændstoftagerbeholder 10.

Opstart, når brændstoflagerbeholdertryk plus indstillet mindste genpåfyldningstryk er lavere end eller lig med genpåfyldningsstationens tryk

Når inputsignaler 31 til CPU 30 angiver, at trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 plus den indstillede mindste genpåfyldningstrykforskel er lavere end eller lig med ca. trykket af PLNG-brændstof i genpåfyldningsstationen, åbnes først væskeventil 15 for at etablere strømning af flydende PLNG-brændstof fra genpåfyldningsstationen gennem påfyldnings- og udluftningsventil 13 og væskeledning 8 til brændstoflagerbeholder 10 og for at opbygge trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10. Derefter åbnes dampventil 14, så at PLNG-brændstofdamp i lagerbeholder 10 kan strømme ind genpåfyldningsstationen.

CPU 30 er også fortrinsvis forprogrammeret med en værdi for en indstillet maksimal trykforskel mellem PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 og PLNG-brændstof i genpåfyldningsstationen. For at undgå et for voldsomt temperaturfald i PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 på grund af Joule-Thomson-afkøling, hvis den indstillede maksimumtrykforskel overskrides med både dampventil 14 og væskeventil 15 lukket, fordampes flydende PLNG-brændstof fra lagerbeholder 10 i fordamper 20 og sendes retur til lagerbeholder 10 til tryksætning ved hensigtsmæssig drift (åbning/lukning) af væskemagnetventil 18 og dampmagnetventil 19 med brændstofregulator 22 fuldstændig lukket. Anvendelse af fordamper 20 på denne måde med en relativt kort væskeledning 8 og dampledning 9 svarer funktionsmæssigt til, at man har en trykbevarende indretning, fx en varmeanhed, i lagerbeholder 10. Magnetventiler 18 og 19 er begge lukket, når trykforskellen mellem PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 og i genpåfyldningsstationen reduceres til under den indstillede maksimale trykforskel. Efterfølgende åbnes væskeventil 15 for at etablere en strømning af flydende PLNG-brændstof fra genpåfyldningsstationen til brændstoflagerbeholder 10. Derefter åbnes ventil 14, så at PLNG-brændstofdamp i lagerbeholder 10 kan strømme ind genpåfyldningsstationen.

Afslutning af genpåfyldningsprocessen

I alle tilfælde hvis trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 under genpåfyldning falder til under en forudindstillet mindste trykværdi (også fortrinsvis forudprogrammeret i CPU 30), lukker dampventil 14 midlertidigt for at tillade opbygning af et tryk i PLNG-brændstof i lagerbeholder 10, fortrinsvis til mindst den forudindstillede mindste trykværdi. Efterhånden som PLNG-brændstof strømmer ind i brændstoflagerbeholder 10, fortrænges PLNG-brændstofdamp ellers fra brændstoflagerbeholder 10 gennem dampport 11, dampledning 9, dampventil 14 og påfyldnings- og udluftningsventil 13 til genpåfyldningsstationen.

nen. PLNG-brændstofdampfortrængning fortsætter, indtil en niveauføler (ikke vist på tegningerne) detekterer, at flydende PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 har nået en forudindstillet mængde eller et forudstillet volumen, på hvilket tidspunkt både dampventil 14 og væskeventil 15 lukkes for at afslutte genpåfyldningsprocessen. Som generelt med væ-

5 skelagerbeholdere ved kryogene temperatur er der fortrinsvis mindst ca. 10 procent damptrum disponibelt i brændstoflagerbeholder 10 under og efter afslutning af påfyldningen, som det er velkendt for fagfolk inden for oplagring af væske ved kryogene temperaturer.

10 Motor/køretøjsdrift

Normal motor/køretøjsdrift

PLNG-brændstofbehov til motor 24 styres fortrinsvis af CPU 30. I tilfælde af en funktionsfejl i CPU 30 har trykafbryder 28 prioriteringsstyring af magnetventilerne 18 og

15 19 via elektrisk forbindelse 5. Typiske inputsignaler 31 til CPU 30 under normal drift af motor 24 omfatter motor 24's parametre såsom omdrejningstal og belastning; normale driftsbetingelser for PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 såsom normal driftstemperatur og -tryk for PLNG-brændstof; udledningstemperatur for fordamper 20; og status for brændstofregulator 22 (dvs. lukket, 10% åben, etc.). CPU 30 anvender disse inputsignaler 31 til

20 at generere outputsignaler 32 (se fig. 2) til styring af brændstofregulator 22, sikkerhedsventil 26 og magnetventiler 18 og 19, til forsyning af PLNG-brændsel gennem dampport 11, dampledning 9, væskeport 12, væskeledning 8, fordamper 20, brændstofledning 4 og PLNG-brændstofregulator 22 til motor 24.

Motor 24's PLNG-brændstofbehov, fx til acceleration, opfyldes ved tilførsel af fly-

25 dende PLNG-brændstof fra lagerbeholder 10. Væskemagnetventil 18 åbnes for at etablere strømning af flydende PLNG-brændstof gennem væskeport 12 og væskeledning 8 til fordamper 20, hvor det flydende PLNG-brændstof fordampes og udmåles gennem brændstofledning 4 og brændstofregulator 22 til motor 24's manifold. Fordampet PLNG-brændstof leveres direkte til brændstofinjektorerne i indsugningsmanifolden. Brændstof-

30 injektorerne kan fx være af pulseringstypen, som det er velkendt for fagmænd. Usædvanligt stort behov for PLNG-brændstof til motor 24 resulterer i en tilsvarende høj udstrømning af flydende PLNG-brændstof fra lagerbeholder 10, hvilket under normale driftsbetingelser resulterer i et væsentligt fald i trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10. I forbindelse med det store trykfald ses der et temperaturfald. For at undgå enhver skadelig

35 virkning på ydelsen af konstruktionsmaterialet i brændstoflagerbeholder 10, fx som følge

af, at temperaturen af det flydende PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 falder væsentligt under konstruktionsmaterialets DBTT, bliver magnetventil 19 åbnet i én udførelsesform af opfindelsen for at returnere fordampet PLNG-brændstof ved højere temperatur til damprummet i brændstoflagerbeholder 10 og derved i det væsentlige normalisere trykket og temperaturen af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10. I en anden udførelsesform af denne opfindelse er en trykvedligeholdelsesindretning (ikke vist på fig. 1), fx en opvarmningsindretning, en integreret del af brændstoflagerbeholder 10.

Under normale driftsbetingelser for motor 24, hvilke svarer til normalt PLNG-brændstofbehov, tilføres der en passende mængde flydende PLNG-brændstof til motor 24 fra brændstoflagerbeholder 10. Væskemagnetventil 18 åbnes for at etablere strømning af flydende PLNG-brændstof gennem væskeport 12 og væskeledning 8 til fordamper 20, hvor det flydende PLNG-brændstof fordampes og udmåles gennem brændstofledning 4 og brændstofregulator 22 til motor 24's manifold. Det fordampede PLNG-brændstof tilføres direkte til brændstofinjektorerne i indsugningsmanifolden. Igen overvåges trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10, og dampmagnetventil 19 åbnes for at returnere fordampet PLNG-brændstof til lagerbeholder 10, om nødvendigt for at hjælpe med at regulere trykket og temperaturen af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10.

Motortomgangsdrift

Under forhold med reduceret motorbelastning, fx under tomgang, reduceres motor 24's PLNG-brændstofbehov tilsvarende. Under normale driftsbetingelser af tryk og temperatur for PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 opfyldes dette reducerede PLNG-brændstofbehov fortrinsvis af PLNG-brændstofdamp tilført fra brændstoflagerbeholder 10 gennem dampport 11, dampledning 9, fordamper 20 (på gennemgangsbasis), brændstofledning 4 og brændstofregulator 22 og med væskemagnetventil 18 lukket.

Når trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 er under normalt driftstryk, er PLNG-brændstofdampen i lagerbeholder 10 typisk rigere på methan (og nitrogen) end det flydende PLNG-brændstof. I de tilfælde, hvor nitrogenindholdet i PLNG-brændstoffet er væsentligt, er varmeværdien af PLNG-brændstofdampen typisk lavere end, hvad der er ønsket for at motoren 24 kan køre jævnt. Når trykket af PLNG-brændstoffet i lagerbeholder 10 er under normalt driftstryk, leveres PLNG-brændstof til tomgang i sådanne tilfælde fra det flydende PLNG-brændstof, og brændstofregulator 22 anvendes til at styre den lille mængde fordampet flydende PLNG-brændstof, som der er behov for under motor 24's tomgang. Samtidig åbnes dampmagnetventil 19 for at tillade fordampet PLNG-brændstof også at strømme ind i brændstoflagerbeholder 10 for at opbygge trykket. CPU 30 styrer

fortrinsvis driftssekvensen for ventilerne 18 og 19 for at levere en passende mængde fordampet flydende PLNG-brændstof til motor 24 og styre trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10.

Når trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 på den anden side er højere end normalt driftstryk, reduceres forskellen i sammensætning mellem PLNG-brændstofdamp og PLNG-brændstovæske i lagerbeholder 10, og forskellen i varmegærdi mellem de to faser reduceres tilsvarende. I dette specifikke tilfælde leveres PLNG-brændstofdamp fortrinsvis direkte fra brændstoflagerbeholder 10 gennem dampport 11, dampledning 9, fordamper 20 (på gennemgangsbasis), brændstoffledning 4 og brændstofregulator 22 til motor 24 for at reducere PLNG-brændstoffets tryk inde i lagerbeholder 10 til det normale driftstryk.

Motoropstartsdrift

Varmegærdien af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 ved opstart af motor 24 afhænger af PLNG-brændstoffets initiale tryk, dvs. trykket umiddelbart inden opstart. Jo lavere trykket er, jo højere er sandsynligheden for, at PLNG-brændstofdampen er rigere på de mere flygtige komponenter, såsom metan og nitrogen, end det flydende PLNG-brændstof. Navnlig hvis nitrogenindholdet i PLNG-brændstofdampen er væsentligt, kan varmegærdien af PLNG-brændstofdampfaseren være lavere end nødvendigt til at starte motor 24. Under sådanne lavere trykbetingelser leveres PLNG-brændstof til start af motor 24 fortrinsvis fra det flydende PLNG-brændstof i lagerbeholder 10.

CPU 30 anvendes fortrinsvis til at styre sekvensen af drift af ventiler 18 og 19 for at levere en passende mængde af den egnede fase, dvs. damp eller væske, af PLNG-brændstof og indirekte den egnede sammensætning af PLNG-brændstof til motor 24.

På den anden side, efterhånden som PLNG-brændstoftrykket i lagerbeholder 10 stiger, reduceres forskellen i sammensætning mellem PLNG-brændstofdampen og PLNG-brændstovæsken tilsvarende, og forskellen i varmegærdi mellem de to faser reduceres tilsvarende. I dette specifikke tilfælde leveres PLNG-brændstofdamp fortrinsvis direkte fra brændstoflagerbeholder 10 gennem dampledning 9, fordamper 20 (på gennemgangsbasis), brændstofregulator 22 og brændstoffledning 4 til motor 24 for at reducere trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10.

Brændstoflagertank

Idet der nu henvises til fig. 3, er brændstoflagerbeholder 10 fortrinsvis konstrueret til at minimere afkogning af det flydende PLNG-brændstof. I én udførelsesform er brænd-

stoflagerbeholder 10 vakuumisoleret ved hjælp af vakuumisoleringsmellemrum 33 (se også afstandsholder 40) for at minimere konvektionsvarmetab, og en passende højudestrålingsbelægning på den indre beholder 35's ydre overflade 34 minimerer varmelækage ved stråling. Udelukkende som ikke-begrænsende eksempel på denne opfindelse omfatter

5 højudestrålingsbelægning på ydre overflade 34 en enkeltlagsindpakning af aluminiumiseret mylar. Dette begrænser væsentligt varmelækagen ind i brændstoflagerbeholder 10 til varmetab ved ledning på grund af penetrationer ind i den indre beholder 35. I denne udførelsesform er de samlede penetrationer minimeret ved anvendelse af to dobbeltfungerende ledninger, væskeledning 8 og dampledning 9. Væskeledning 8 anvendes til både at

10 påfylde og udlede flydende PLNG-brændstof fra lagerbeholder 10; dampledning 9 anvendes til både at påfylde og udlede PLNG-brændstofdamp fra lagerbeholder 10. Som det er velkendt for fagfolk inden for udformningen af kryogene konstruktioner, minimerer disse specielle konstruktionsstrategier varmelækagen ind i brændstoflagerbeholder 10, men eliminerer den ikke helt. Når motor 24 (fig. 1) ikke arbejder, fx når det køretøj, som drives

15 af motor 24, er parkeret i perioder, hvor det ikke anvendes, sker der derfor en kontinuerlig afkogning af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10. Den kontinuerlige afkogning resulterer i en forøgelse af trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10. Konstruktionstrykket for brændstoflagerbeholder 10 er i én udførelsesform optimeret til at maksimere PLNG-opbevaringstid og minimere vægten af brændstoflagerbeholder 10. Højere vægt for brændstof-

20 lagerbeholder 10 har tendens til at reducere køretøjets brændstofeffektivitet (dvs. antal kørte kilometer på literen). Brændstoflagerbeholder 10 er fortrinsvis ikke udformet til at holde det fulde tryk, som resulterer fra fuldstændig fordampning og opvarmning til omgivelsestemperatur af PLNG-brændstof i lagerbeholder, fordi dette ville have en yderst skadelig vægtindvirkning på køretøjets brændstofeffektivitet. Der er derfor fortrinsvis tilveje-

25 bragt en brændstofudluftningsmekanisme.

Brændstofudluftning

Brændstofoplagrings- og forsyningssystemet ifølge dette eksempel er fortrinsvis forsynet med en brændstofudluftningsmekanisme, hvorved PLNG-brændstofdamp udluf-

30 tes fra brændstoflagerbeholder 10, men ikke slippes ud i atmosfæren. I én udførelsesform er der tilvejebragt to beskyttelsesniveauer for at opnå dette. Først er brændstoflagerbeholder 10 fortrinsvis konstrueret til at tillade opbygning af tryk på indtil det dobbelte af driftstrykket. Afhængigt af udgangsniveauet 7 for flydende PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 tillader denne højtrykskonstruktion mindst ti dages væskeafkogning og den dertil

35 hørende trykopbygning, dvs. at brændstofoplagrings- og -forsyningssystemet ikke anven-

des i mindst ti dage, uden at der er behov for at slippe PLNG-brændstofdamp uden for lagerbeholder 10. Imidlertid kan trykopbygningen i det temmelig usædvanlige tilfælde af længere tids manglende anvendelse, som begynder med, at lagerbeholder 10 i det væsentlige er fuld af flydende PLNG-brændstof, overstige konstruktionstrykket for brændstof-
5 lagerbeholder 10. Brændstofpatron 36 tilvejebringer et organ til at lette det tryk, som overstiger konstruktionstrykket.

Under henvisning til fig. 3 er brændstofpatron 36 forbundet med brændstoflagerbeholder 10 via dampport 11 og dampledning 9. Normalt åben magnetventil 38 er en integreret del af brændstofpatron 36. Brændstofpatron 36 er imidlertid normalt isoleret fra
10 PLNG-brændstofdamp i lagerbeholder 10 og i dampledning 9 ved hjælp af kontrolventil 37. Den indstillede trykværdi for CPU 30 til åbning af kontrolventil 37 afhænger af brændstoflagerbeholder 10's konstruktionstryk. Kontrolventil 37 er udformet til kun at tillade strømning af PLNG-brændstofdamp fra brændstoflagerbeholder 10 til brændstofpatron 36 og at hindre tilbagestrømning af PLNG-brændstofdamp gennem dampledning 9 til motor
15 24 eller brændstoflagerbeholder 10. I én udførelsesform indeholder brændstofpatron 36 en adsorbent, fx trækuladsorbent 39, som fortrinsvis er i stand til at absorbere over 150 gange sit eget dødvolumen ved omgivelsestemperatur og -tryk. Den mængde PLNG-brændstofdamp, der adsorberes på trækuladsorbenten 39, varierer alt efter den temperatur og det tryk, som trækuladsorbent 39 er udsat for. Trækuladsorbent 39's kapacitet til
20 at indeholde PLNG-brændstofdamp øges, efterhånden som temperaturen falder inde i brændstofpatron 36. Trækuladsorbenten 39's kapacitet til at indeholde PLNG-brændstofdamp øges også, efterhånden som trykket øges inde i brændstofpatron 36. I det højst usandsynlige og ekstreme tilfælde at trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholdertank 10 overstiger konstruktionsværdien, udluftes PLNG-brændstofdamp til brændstofpatron 36
25 for at afhjælpe yderligere trykopbygning. I én udførelsesform er det meningen, at brændstofpatron 36 skal anvendes i det usandsynlige tilfælde, at der må foretages en nødudluftning på grund af langvarig manglende brug umiddelbart efter genpåfyldning. Som en del af generel motorvedligeholdelse udskiftes brændstofpatron 36 derfor fortrinsvis efter en sådan længere periodes manglende anvendelse. I én udførelsesform er prisen for udskiftning minimal, eftersom brændstofpatron 36 genbruges efter simpel regenerering af trækuladsorbent 39 ved varmetilførsel. Den normalt åbne magnetventil 38 lukkes før og under fjernelse af brændstofpatron 36 og forbliver lukket, indtil den åbnes under regenereringsprocessen.

I en anden udførelsesform af denne opfindelse er brændstofpatron 36 en aktiv del
35 af PLNG-brændstofoplagringssystemet og er derfor simpelthen en adsorbentpatron til

yderligere oplagring af PLNG-brændstof. I denne udførelsesform inkorporerer brændstofpatron 36 med trækuladsorbent 39 regenereringsvarmelegeme(r) (ikke vist på tegningerne). Kontrolventil 37 er erstattet med en normalt lukket magnetventil (ikke vist på tegningerne), som åbnes, når trykket af PLNG-brændstof i lagerbeholder 10 når en forudbestemt indstillingsværdi, fortrinsvis et godt stykke under konstruktionstrykket, for at etablere en strømning af PLNG-brændstofdamp ind i brændstofpatron 36. Når PLNG-brændstoftrykket i lagerbeholder 10 falder under PLNG-brændstofdamptrykket i brændstofpatron 36, begynder den/de indbyggede regenerationsvarmelegeme(r) i brændstofpatron 36 at regenerere trækuladsorbent 39 og drive PLNG-brændstofdampen tilbage i lagerbeholder 10 til senere tilførsel til motor 24.

Køretøjer drevet af PLNG og brændstofoplagrings- og -forsyningssystemer ifølge denne opfindelse har en kørselsrækkevidde mellem genoptankning som aktuelle benzinmotorer. Det lave oplagringstryk sammenlignet med CNG og høj oplagringstemperatur sammenlignet med LNG minimerer sikkerhedsproblemer. I modsætning til LNG letter højtryksoplagringen af PLNG leveringen af brændstof til mellemtryk-brændstofinjektorer, hvorved man fjerner det med LNG forbundne behov for det komplekse og dyre forsyningssystem, som kræver en kryogen pumpe. Endelig er PLNG i modsætning til LPG baseret på naturgas med rigelig forsyning hele verden over.

Medens den ovennævnte opfindelse er beskrevet i form af én eller flere foretrukne udførelsesformer, vil fagfolk kunne se forskellige andre ændringer, modifikationer, tilføjelser og anvendelser end de heri nævnte, som kan foretages uden at gå uden for opfindelsens rammer som afstukket i de efterfølgende patentkrav.

Ordliste over betegnelser:

5	Ac ₁ -transformationstemperatur:	den temperatur, ved hvilken austenit begynder at dannes under opvarmning;
	Ac ₃ -transformationstemperatur:	den temperatur, ved hvilken omdannelse af ferrit til austenit afsluttes under opvarmning;
10	Ar ₁ -transformationstemperatur:	den temperatur, ved hvilken omdannelse af austenit til ferrit eller til ferrit plus cementit afsluttes under afkøling;
15	Ar ₃ -transformationstemperatur:	den temperatur, ved hvilken austenit begynder at omdannes til ferrit under afkøling;
	cryogen temperatur:	en hvilken som helst temperatur, der er lavere end ca. -40°C (-40°F);
20	CTOD:	forskydning ved åbning af revnespids;
	CVN:	Charpy V-kærv;
25	DBTT (Duktil-til-skør- overgangstemperatur):	danner grænse mellem de to brudtyper i konstruktionsstål; ved temperaturer under DBTT har brud tilbøjelighed til at indtræffe som lavenergisk spaltebrud (skør), medens brud ved temperaturer over DBTT har tilbøjelighed til at optræde som højenergisk strækningsbrud;
30	i det væsentlige:	i hovedsagen 100 volumenprocent;
	Gm ³ :	milliarder kubikmeter;
35	GMAW:	gas/metal-buesvejsning;

	hærdningspartikler:	én eller flere af ε -kobber, Mo_2C eller carbider og carbonitrider af niobium og vanadium;
5	HAZ:	varmepåvirket zone;
	interkritisk temperaturinterval:	fra ca. A_{c1} -transformationstemperaturen til ca. A_{c3} -transformationstemperaturen ved opvarmning og fra ca. A_{r3} -transformationstemperaturen til ca. A_{r1} -transformationstemperaturen ved afkøling;
10		
	K_{IC} :	kritisk spændingsintensitetsfaktor;
	kJ :	kilojoule;
15		
	kPa :	kilopascal;
	ksi :	tusind pund pr. kvadrattomme;
20	lavlegeret stål:	et stål, der indeholder jern og mindre end ca. 10 vægtprocent af alle legeringsadditiver;
	MA:	martensit-austenit;
25	maksimal tilladelig revne- eller defektstørrelse:	kritisk længde og dybde af defekt eller revne;
	Mo_2C :	en form af molybdencarbid;
30	MPa :	millioner af pascal;
	M_s -transformationstemperatur:	den temperatur, ved hvilken omdannelsen af austenit til martensit begynder under afkøling;

	åben (med henvisning til ventil):	i det mindste delvis åben, medmindre andet er specificeret;
5	PLNG:	væskeformig naturgas under tryk;
	overvejende:	mindst ca. 50 volumenprocent;
	ppm:	dele pr. million;
10	psia:	pund pr. kvadrattomme absolut;
15	bratkøling:	accelereret afkøling, hvor der anvendes et fluidum, der er valgt på grund af dets tendens til at forøge afkølingshastigheden af stålet, i modsætning til luftkøling;
20	bratkølingshastighed (afkølingshastighed):	afkølingshastigheden i midten eller i alt væsentligt i midten af pladetykkelsen;
25	bratkølingsstoptemperatur:	den højeste eller i hovedsagen den højeste temperatur, der nås ved pladens overflade, efter at bratkøling er standset, som følge af den varme, der overføres fra midten af pladens tykkelse;
	QST:	bratkølingsstoptemperatur;
	slab:	et stykke stål, der har hvilke som helst dimensioner;
30	TCF:	billion kubikfod;
	trækstyrke:	ved trækstyrkeprøvning, forholdet mellem den maksimale belastning og det oprindelige tværsnitsareal;
35	TIG-svejsning:	wolframsvejning med inert gas;

T_{nr} -temperatur:	den temperatur, under hvilken austenit ikke rekrytalliserer;
5 USPTO:	United States Patent and Trademark Office; og
svejsning:	en svejset forbindelse, der indbefatter: (i) svejsemetallet, (ii) den varmepåvirkede zone (HAZ) og (iii) basismetallet i den "umiddelbare nærhed" af HAZ. Den
10	del af basismetallet, der anses for at være inden for den "umiddelbare nærhed" af HAZ og derfor anses for at være en del af svejsningen, varierer afhængig af faktorer, der er kendt af fagfolk, fx, men uden begrænsning, svejsningens bredde, størrelsen af den
15	genstand, der svejses, antal af svejsninger, der er nødvendige for at fremstille genstanden, og afstanden mellem svejsninger.

PATENTKRAV

1. Brændstoflagerbeholder, der er egnet til anvendelse i et brændstofoplagrings- og -forsyningssystem til oplagring af tryksat, fortættet naturgasbrændstof ved et tryk på ca. 1035 kPa (150 psia) til ca. 7590 kPa (1100 psia) og ved en temperatur på fra ca. -123°C (-190°F) til ca. -62°C (-80°F) og afgivelse af fordampet tryksat, fortættet naturgasbrændstof efter behov til forbrænding i en motor (24),

K E N D E T E G N E T V E D at brændstoflagerbeholderen (10) er konstrueret ved at sammenføje en flerhed af diskrete plader af materialer, der omfatter et ultrastærkt, lavlegeret stål, der indeholder under 9 vægtprocent nikkelt og har en brudstyrke på over 830 MPa (120 ksi) og en DBTT på under ca. -73°C (-100°F), og hvor sammenføjninger mellem de diskrete plader har tilstrækkelig styrke og sejhed ved det nævnte tryk og den nævnte temperatur til at indeholde den tryksatte, fortættede naturgas.

2. Beholder ifølge krav 1, hvor sammenføjningerne har en styrke på mindst ca. 90% af det ultrastærke, lavlegerede ståls brudstyrke.

3. Beholder ifølge krav 1, hvor sammenføjningerne har en DBTT på under ca. -73°C (-100°F).

4. Beholder ifølge krav 1, hvor sammenføjningerne er dannet ved gasmetalbuesvejsning.

5. Beholder ifølge krav 1, hvor sammenføjningerne er dannet ved TIG-svejsning.

6. Brændstoflagerbeholder ifølge krav 1, hvor brændstoflagerbeholderen (10) er forbundet med en brændstofpatron (36, 39) til indsamling af fordampet tryksat, fortættet naturgasbrændstof afluftet fra brændstoflagerbeholderen (10), når trykket af det tryksatte, fortættede naturgasbrændstof i brændstoflagerbeholderen (10) overstiger et forudindstillet tryk.

7. Brændstoflagerbeholder ifølge krav 6, hvor brændstofpatronen (36,39) omfatter en adsorbent.

8. Brændstoflagerbeholder ifølge krav 7, hvor adsorbenten er en trækuladsorbent.

9. Brændstoflagerbeholder ifølge krav 8, hvor brændstofpatronen (36, 39) omfatter mindst én inkorporeret varmeindretning til at regenerere trækuladsorbenten.

5

10. System, der omfatter mindst én brændstoflagerbeholder (10) til oplagring af tryksat, fortættet naturgas ved et tryk på fra ca. 1035 kPa (150 psia) til ca. 7590 kPa (1100 psia) og ved en temperatur på fra ca. -123°C (-190°F) til ca. -62°C (-80°F), samt udstyr til afgivelse efter behov af tryksat, fortættet naturgasbrændstof i dampform til forbrænding i en motor (24),

10

K E N D E T E G N E T V E D at den mindst ene brændstoflagerbeholder (10) er konstrueret ved sammenføjning af en flerhed af diskrete plader af materialer, der omfatter et ultrastærkt, lavlegeret stål, der indeholder under ca. 9 vægtprocent nikkel og har en brudstyrke på over 830 MPa (120 ksi) og en DBTT på under ca. -73°C (-100°F), og hvor sammenføjninger mellem de diskrete plader har tilstrækkelig styrke og sejhed ved de nævnte tryk- og temperaturforhold til at indeholde den tryksatte, fortættede naturgas.

15

11. Brændstofoplagrings- og -forsyningssystem, der omfatter mindst én brændstoflagerbeholder (10), hvor denne mindst ene brændstoflagerbeholder (10) har tilstrækkelig styrke og sejhed til at indeholde tryksat, fortættet naturgasbrændstof ved et tryk på fra ca. 1035 kPa (150 psia) til ca. 7590 kPa (1100 psia) og ved en temperatur på fra ca. 123°C (-190°F) til ca. -62°C (-80°F),

K E N D E T E G N E T V E D at det omfatter:

20

25

(a) en påfyldnings- og udluftningsventil (13) til at tillade overførsel af det tryksatte, fortættede naturgasbrændstof mellem brændstoflagerbeholderen og en genpåfyldningsstation;

30

(b) en væskeledning (8) til at tillade strømning af flydende tryksat, fortættet naturgasbrændstof fra brændstoflagertanken (10) til en fordamper (20);

(c) en dampledning (9) til at tillade strømning af fordampet tryksat, fortættet naturgasbrændstof fra brændstoflagertanken (10) til fordamperen (20);

35

(d) en brændstofledning (4) til at tillade strømning af fordampet tryksat, fortættet naturgasbrændstof fra fordamperen (20) til motoren (24); og

(e) en brændstofregulator (22) til at regulere strømmen af det fordampede tryksatte, fortættede naturgasbrændstof fra fordamperen (20) til motoren (24), således at brændstoflager- og forsyningssystemet tilpasses til oplagring af det tryksatte, fortættede naturgasbrændsel ved et tryk på fra ca. 1035 kPa (150 psia) til ca. 7590 kPa (1100 psia) og ved en temperatur på fra ca. -123° (-190°F) til ca. -62°C (-80°F) og afgivelse af det fordampede tryksatte, fortættede naturgasbrændstof efter behov til forbrænding i en motor (24).

12. Brændstofoplagrings- og -forsyningssystem ifølge krav 11,
K E N D E T E G N E T V E D at systemet yderligere omfatter:

(f) en brændstofpatron (36,39), som har mindst én regenerationsvarmeindretning, idet brændstofpatronen (36,39) er indrettet til at (i) modtage overskydende tryksat, fortættet naturgasbrændstof fra brændstoflagerbeholderen (10), når trykket i brændstoflagerbeholderen (10) overstiger en første forudindstillet værdi, (ii) oplagre det overskydende, tryksatte, fortættede naturgasbrændstof; og (iii) drive det overskydende tryksatte, fortættede naturgasbrændstof tilbage i brændstoflagerbeholderen (10), når trykket i brændstoflagerbeholderen (10) er faldet til ned under en anden forudindstillet værdi.

13. Brændstoflagerbeholder, der er egnet til anvendelse i et brændstofoplagrings- og -forsyningssystem til oplagring af tryksat, fortættet naturgasbrændsel ved et tryk på fra ca. 1035 kPa (150 psia) til ca. 7590 kPa (1100 psia) og ved en temperatur på fra ca. -123° (-190°F) til ca. -62°C (-80°F) og afgivelse af fordampet tryksat, fortættet naturgasbrændstof efter behov til forbrænding i en motor (24),

K E N D E T E G N E T V E D at brændstoflagerbeholderen (10) er konstrueret ved sammenføjning af flere diskrete plader af materialer, der omfatter ultrastærkt, lavlegeret stål, der indeholder under ca. 2 vægtprocent nikkel og har tilstrækkelig stykke og brudsejhed til at indeholde den tryksatte, fortættede naturgas, hvor sammenføjninger mellem de diskrete plader har tilstrækkelig styrke og sejhed ved de nævnte tryk- og temperaturforhold til at indeholde den tryksatte, fortættede naturgas.

14. Fremgangsmåde til oplagring af tryksat, fortættet naturgasbrændstof i en brændstoflagerbeholder (10) ifølge krav 1 ,

5 K E N D E T E G N E T V E D at fremgangsmåden omfatter følgende trin:

(a) anbringelse af tryksat, fortættet naturgasbrændstof ved et tryk på fra ca. 1035 kPa (150 psia) til ca. 7590 kPa (1100 psia) og en temperatur på fra ca. -123° (-190°F) til ca. -62°C (-80°F) i mindst én brændstoflagerbeholder (10), hvor den mindst ene
10 brændstoflagerbeholder (10) har tilstrækkelig styrke og sejhed til at indeholde det tryksatte, fortættede naturgasbrændstof ved de nævnte tryk- og temperaturforhold; og

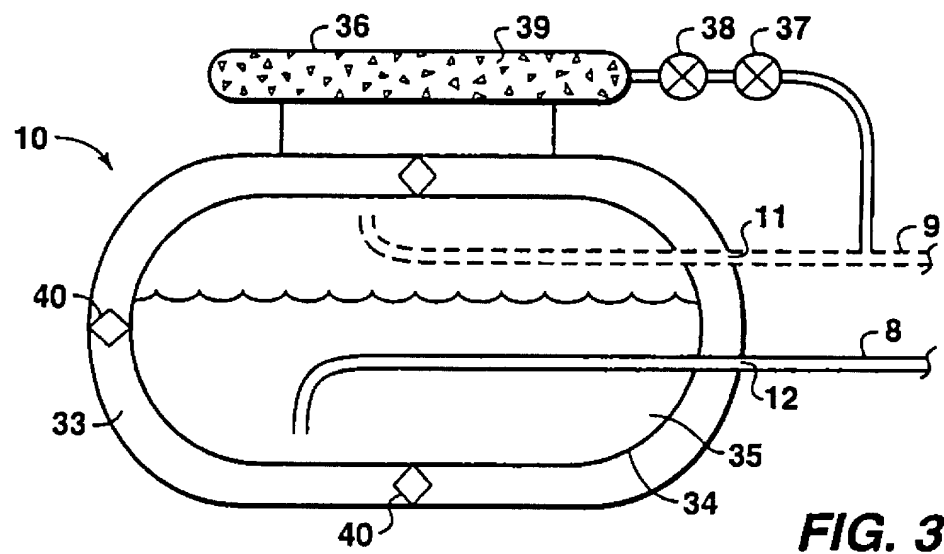
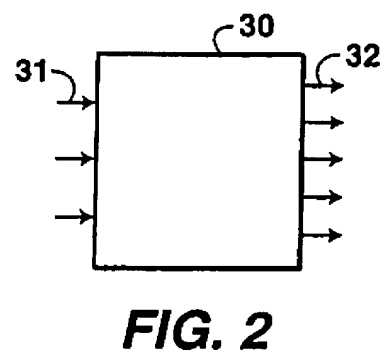
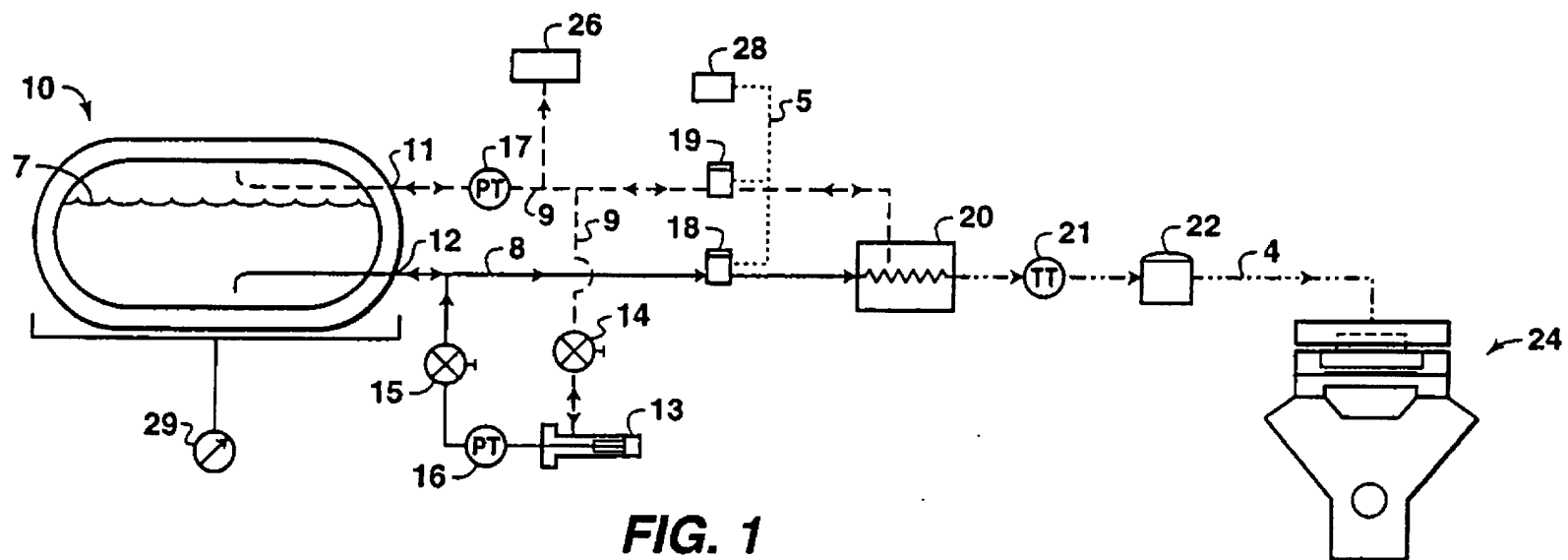
(b) afgivelse af fordampet tryksat, fortættet naturgasbrændsel efter behov til forbrænding i en motor (24).

15

15. System, K E N D E T E G N E T V E D at det omfatter:

(a) mindst én brændstoflagerbeholder (10) til oplagring af tryksat, fortættet naturgasbrændstof ved et tryk på fra ca. 1035 kPa (150 psia) til ca. 7590 kPa (1100
20 psia) og ved en temperatur på fra ca. -123°C (-190°F) til ca. -62°C (-80°F), hvor den mindst ene brændstoflagerbeholder (10) har tilstrækkelig styrke og sejhed til at indeholde det tryksatte, fortættede naturgasbrændstof ved de nævnte tryk- og temperaturforhold; og

25 (b) udstyr til afgivelse af fordampet tryksat, fortættet naturgasbrændstof efter behov til forbrænding i en motor (24).



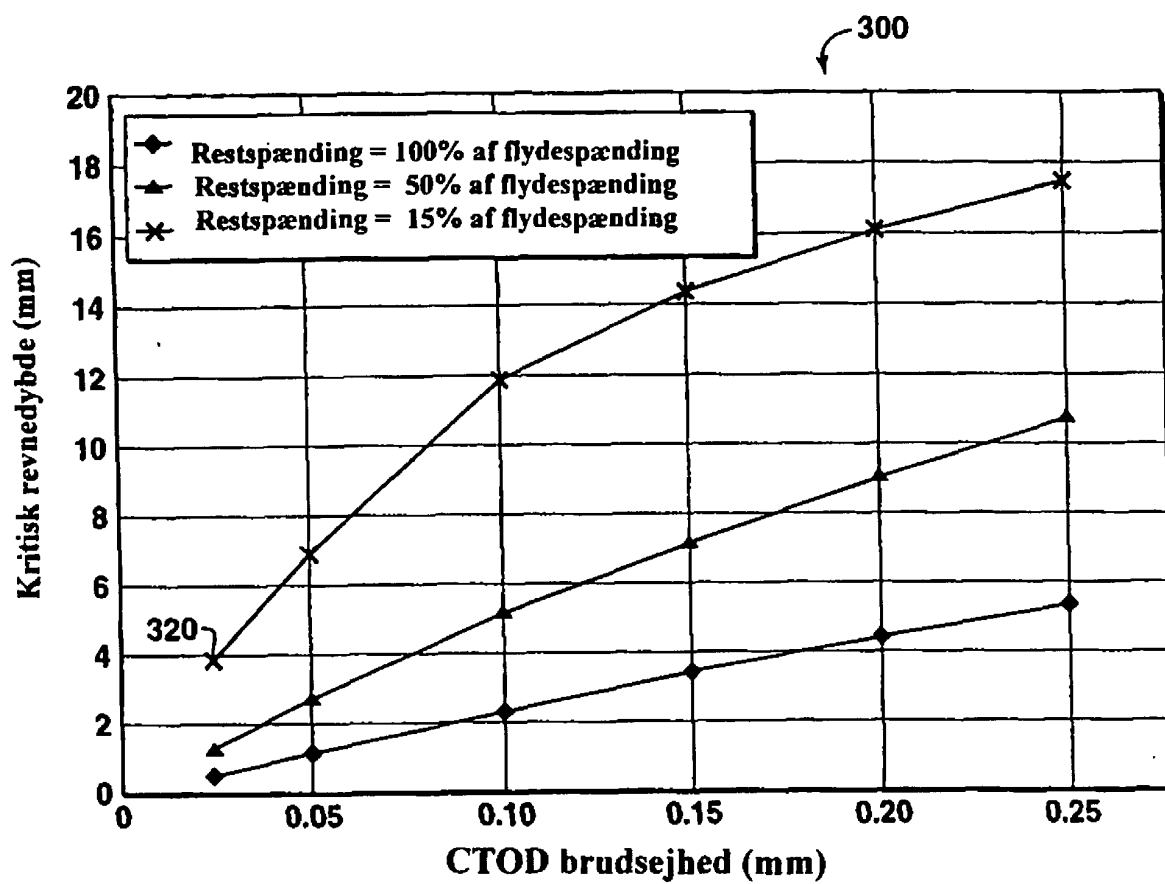


FIG. 4A

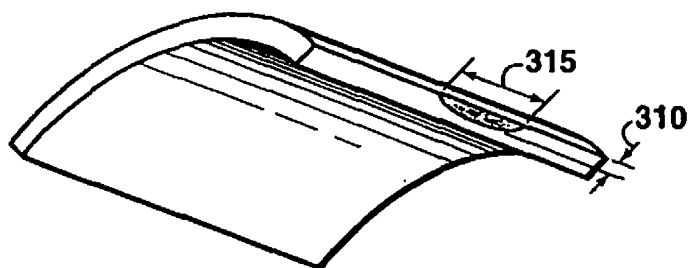


FIG. 4B