

ČESKOSLOVENSKÁ
SOCIALISTICKÁ
REPUBLIKA
(19)



FEDERÁLNÍ ÚŘAD
PRO VYNÁLEZY

POPIS VYNÁLEZU 267 895

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

(21) PV 3286-87.Q
(22) Přihlášeno 08 05 87

(40) Zveřejněno 12 07 89
(45) Vydáno 01 04 90

(11)

(13) 81

(51) Int. Cl.⁴
F 17 C 1/00

(75)
Autor vynálezu

ZENÁHLÍK JIŘÍ ing.,
PADOVEC JAROSLAV ing. CSc.,
ORLT JAN ing.,
FALDÝN BOHUMÍR ing.,
ŠTĚTINA KAREL ing., PRAHA

(54)

Kompozitní tlaková nádoba

(57) Podstatou řešení je kompozitní tlaková nádoba se spolunosnou kovovou výstelkou vyrobenou z materiálu s mezí kluzu v tahu ležící v rozmezí 260 až 800 MPa a kompozitním pláštěm zhotoveným z vláknité výztuže prosycené polymerní matricí metodou přesného navíjení, přičemž kovová výstelka je v kompozitním plášti tlakově předpřátá prostřednictvím plastické obvodové relativní deformace pláště 0,1 až 1,2 % a životnost kompozitního pláště udaná v počtu zatěžujících cyklů do porušení je vyšší nežli životnost výstelky. Tyto nádoby lze výhodně využít, např. v letecké technice pro skladování dýchacího kyslíku a hasebních prostředků, dále jako zásobníky kyslíku pro záchranáře, potápěče, horníky, jako zásobníky stlačeného plynného paliva dopravních prostředků, v hydraulických systémech jako akumulátory tlaku apod.

Vynález se týká kompozitní tlakové nádoby s tlakově předepjatou kovovou výstelkou.

Nádoby na skladování vysoce stlačených plynných látek se v současné době vyrábějí převážně jako celokovové, nejčastěji ocelové, avšak v důsledku technického pokroku ve vývoji nových, vysoce pevných materiálů, se i do této oblasti stále více prosazují, zejména kompozitní materiály s vláknitou strukturou výztuže prosycené polymerní matricí, které vykazují vysokou pevnost při nízké specifické hmotnosti.

Samotná výztuž kompozitní stěny je schopna snášet vysoké mechanické namáhání, avšak nepropustnost stěny se ztrácí již při namáháních, ležících hluboko pod hranicí pevnosti výztuže. Proto se u technicky náročnějších aplikací používá k zajištění nepropustnosti stěny i při vysokých stupních namáhání kompozitu vnitřní přídavná vrstva, tzv. výstelka. Tato vrstva přichází do styku se skladovaným médiem, proto musí být vyrobena z takového materiálu, který dlouhodobý styk se skladovanou látkou dobře snáší. Hlavním účelem výstelky je zajištění nepropustnosti stěny, avšak lze ji využít i jako vrstvu spolunosnou, která zachycuje určitou část silového působení od vnitřního přetlaku. Typický příklad takového uplatnění je výstelka kovová.

Opakovaným natlakováváním a odlehčováním tohoto typu nádob dochází k cyklickému namáhání kompozitní i výstelkové vrstvy, které vede dříve či později k únavovému porušení, jehož charakter je zejména pro možné důsledky poruchy velice důležitý.

Pokud dojde dříve k únavovému porušení výstelkové vrstvy, projeví se porucha ztrátou těsnosti nádoby, škrceným únikem skladovaného média a nenáhlým poklesem tlaku v nádobě. Poruší-li se dříve kompozitní vrstva ztrátou soudržnosti vláknité výztuže, dojde k náhlému přetížení výstelky a v krajním případě i následné explozi nádoby, která může mít dalekosáhlé následky a to jak z hlediska materiálových škod, tak i z hlediska možného ohrožení zdraví a životů lidí. Poruchu výstelky v důsledku únavy materiálů nádoby můžeme proto z provozního hlediska považovat za bezpečnou poruchu kompozitu roztržením výztuže za nebezpečnou.

Dalším neméně důležitým hlediskem pro technicky náročné aplikace tlakových nádob je stupeň využití pevnostních schopností použitých materiálů. Zvýšením stupně využití pevnostních schopností každého materiálu lze dosáhnout snížení hmotnosti příslušného konstrukčního prvku, avšak za cenu snížení jeho bezpečnosti proti porušení. Tato zásada platí nezávisle pro kompozitní i výstelkovou vrstvu.

Za předpokladu stálého bezprostředního styku vrstev stěny nádoby je deformační odezva zatížení u obou vrstev shodná. Z toho vyplývá, že v oblasti lineární závislosti deformací na napětí bude poměr napětí ve vrstvách roven poměru jejich modulů pružnosti. Zatímco kompozitní materiály s vláknitou výztuží vykazují přibližně lineární závislost téměř v celém rozsahu svých pevnostních schopností, kovové materiály mají lineární oblast omezenou mezí kluzu, při níž nastává odklon od linearity, směřující k rychlejšímu nárůstu deformací v důsledku plastického přetvoření.

Dosud známá řešení kompozitních nádob s kovovou výstelkou sice prokazují značné úspory hmotnosti ve srovnání s celokovovým provedením, avšak jejich životnost a bezpečnost provozování je dosud značně problematická, neboť závisí jak na výběru materiálu výstelkové vrstvy, tak i na způsobu a intenzitě namáhání, jemuž jsou jednotlivé materiálové složky při provozu vystaveny. Vzhledem k nedostatku dostatečně propracovaných teoretických podkladů se výběr materiálů provádí více či méně nahodile a provozuschopnost realizovaného řešení se ověřuje experimentálně prostřednictvím celé řady zkoušek, z nichž některé jsou značně časově i finančně náročné.

Získané výsledky zkoušek buď potvrdí provozuschopnost nádoby, nebo slouží jako podklad pro následné úpravy, po nichž pak musí následovat další kolo ověřovacích zkoušek.

Takováto vývojová cesta je značně komplikovaná, časově i finančně náročná a přesto neposkytuje předpoklady pro získání technicky dokonalého výrobku. Zkouškami může úspěšně projít například nádoba s vysoce předimenzovanou kompozitní vrstvou, která zbytečně zvyšuje hmotnost nádoby i její cenu. Obdobně může zkouškami projít i nádoba s předimenzovanou výstelkou, která nepříznivě ovlivní celkovou hmotnost nádoby jak vlastní hmotností, tak i tím, že se v tomto případě nedostatečně využije pevnostních schopností kompozitní vrstvy.

V důsledku těchto skutečností, jsou dosud realizované kompozitní nádoby s kovovou výstelkou značně drahé, zpravidla nevyužívají dostatečně pevnostních schopností obou materiálových složek a při cyklickém namáhání neposkytují záruku bezpečného způsobu porušení na konci své životnosti.

Výše uvedené nedostatky odstraňuje kompozitní tlaková nádoba s tlakově předpjatou kovovou výstelkou podle vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že kovová výstelka je v kompozitním plášti tlakově předepjatá tak, aby se napětí u obou materiálových složek v průběhu cyklického zatěžování pohybovalo v rozmezí hodnot, které zajišťuje v návaznosti na únavové charakteristiky pro danou aplikaci požadovanou životnost výstelkové části i bezpečně vyšší životnost kompozitní vrstvy.

Tlakové předpětí se ve výstelkové vrstvě vytvoří například pomocí tzv. formovacího cyklu, který spočívá v tom, že po vytvrzení kompozitní vrstvy se v nádobě zvyšuje plynule vnitřní tlak až na úroveň tzv. formovacího tlaku, který vyvolá ve výstelkové vrstvě překročení meze kluzu a způsobí plastické přetvoření předem stanovené velikosti. Velikost potřebného elastického přetvoření a odpovídající hodnota formovacího tlaku nádoby se zjistí buď experimentálně, nebo se určí teoretickým rozbořem napjatosti pomocí tzv. formovacích grafů na základě znalosti únavových charakteristik materiálu kompozitní a výstelkové vrstvy, zpracovaných např. do systému Wöhlerových křivek.

Potřebná životnost výstelkové vrstvy je pro každou aplikaci dána počtem zatěžovacích cyklů, které má nádoba za provozu snést. Tomuto požadavku lze s různým stupněm bezpečnosti vyhovět podmínkou nižšího stupně skutečného zatěžování výstelky, nežli udává spodní mez Wöhlerovy křivky příslušného způsobu cyklického zatěžování. Vyšší životnost kompozitní vrstvy oproti vrstvě výstelkové lze zajistit opět s různým stupněm bezpečnosti určitým násobkem počtu cyklů, které snese výstelková vrstva. Čím větší násobek cyklů snese kompozitní vrstva, tím bezpečněji je nádoba zajištěna proti explozivnímu poruše na konci své životnosti.

Příznivého výsledku a vyšších technických účinků je v řešení podle vynálezu dosaženo dokonalším využitím pevnostních schopností obou materiálových složek, přesnějším určením životnosti nádoby, spolehlivějším zabezpečením nádoby proti explozivnímu porušení a podstatným zkrácením vývojových a ověřovacích procesů.

Na připojených výkresech jsou schematicky naznačeny potřebné únavové charakteristiky materiálových složek, vyjádřené pro zjednodušení pouze jednou Wöhlerovou křivkou pro každý materiál a tzv. formovací grafy, pomocí nichž lze určit potřebnou hodnotu plastického přetvoření výstelky a tím i odpovídající míru jejího tlakového předpětí. V rámci popisu přiložených obr. 1 až 5 bude stručně naznačen zjednodušený postup stanovení potřebného plastického přetvoření výstelky.

Na obr. 1 je naznačena Wöhlerova křivka výstelkového materiálu pro určitou hodnotu součinitele nesouměrnosti zatěžovacích cyklů R_V . Pro požadovanou životnost výstelkové vrstvy N_V zatěžovacích cyklů lze na uvedené křivce odečíst odpovídající hodnotu středního napětí výstelkové vrstvy σ_{MV} , jejíž význam je naznačen v horní části tohoto obrázku.

Potřebnou vyšší životnost kompozitní vrstvy, zahrnující zabezpečení nádoby proti explozivnímu poškození lze určit jako násobek životnosti výstelkové vrstvy:

$$N_K = x \cdot N_V,$$

kde $x > 1$ - udává míru bezpečnosti proti explozivnímu porušení. Podle Wöhlerovy křivky kompozitního materiálu znázorněné na obr. 2 se určí hodnota středního napětí kompozitní vrstvy σ_{MK} , která odpovídá počtu zatěžovacích cyklů N_K .

Na obr. 3, 4 a 5 jsou schematicky naznačeny tzv. formovací grafy, sestávající z pracovních křivek závislosti deformace na napětí jednotlivých materiálových složek. Přímkou K udávají deformační odezvu kompozitního materiálu, lomené čáry V pak deformační odezvu materiálu výstelky, který má mez kluzu σ_{KV} . V pravé části každého formovacího grafu je naznačen průběh namáhání jednotlivých materiálových složek.

Na obr. 3 je naznačen způsob namáhání jednotlivých složek u nenaformované nádoby, kdy nebylo vyvozeno plastické přetvoření výstelky. V tomto případě dochází při cyklickém tlakování nádoby k míjivému průběhu napětí v tahové oblasti u obou materiálových složek.

Na obr. 4 je naznačen případ nízkého stupně naformování výstelky, kdy byla nádoba natlačována při formování takovým formovacím tlakem, který vyvolal celkovou relativní deformaci ϵ_2 . Překročením meze kluzu došlo k plastickému přetvoření výstelky ϵ_{p2} . Průběh napětí výstelky při cyklickém zatěžování na provozní tlak se v tomto případě u výstelky přesunul částečně do tlakové oblasti a získal charakter střídavého napětí nesymetrického s převážnou částí v tahové oblasti. Napětí kompozitní vrstvy získalo průběh tepavý v tahové oblasti.

Na obr. 5 je naznačen případ vyššího stupně naformování, kdy výstelková část je zatěžována nesymetrickým střídavým napětím převážně v tlakové oblasti a kompozitní vrstva je podstatně více namáhána v tahové oblasti tepavým průběhem napětí.

Z naznačených průběhů napětí je zřejmé, že čím vyšší je hodnota formovacího tlaku, tím výše se posune průběh tahového namáhání kompozitní vrstvy při provozu nádoby, zatímco průběh provozního namáhání výstelkové vrstvy se naopak přesune výrazněji do tlakové oblasti.

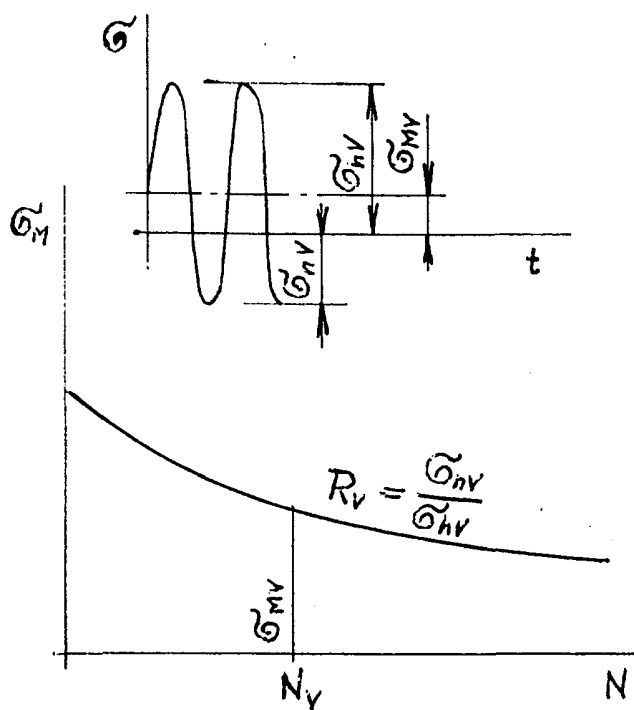
Potřebná hodnota plastického přetvoření a odpovídající velikost formovacího tlaku nádoby se stanoví tak, aby se střední hodnoty průběhů napětí obou materiálových složek co nejvíce blížily hodnotám σ_{MV} a σ_{MK} , stanovených z Wöhlerových křivek, jak bylo popsáno výše.

Kompozitních tlakových nádob podle vynálezu je možno účelně a výhodně použít zejména v letectví, například pro skladování dýchacího kyslíku a hasebních prostředků, jako akumulátorů tlaku, dále ke sportovním účelům jako kyslíkové láhve pro potápěče a horolezce, pro kyslíkové zásobníky záchrannářských a zdravotnických zařízení apod.

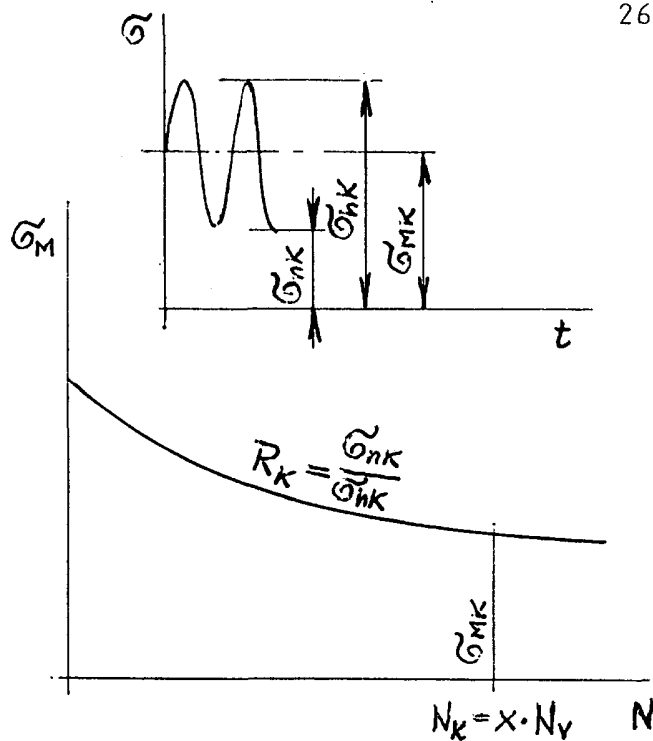
PŘEDMĚT VYNÁLEZU

Kompozitní tlaková nádoba s kovovou výstelkou, vyznačující se tím, že výstelka je vyrobena z materiálu, jehož mez kluzu v tahu leží v rozmezí 260 až 800 MPa a kompozitní plášť je zhotoven z vláknité výztuže prosycené polymerní matricí metodou přesného navíjení, přičemž kovová výstelka je v kompozitním plášti tlakově předpjatá prostřednictvím plastické obvodové relativní deformace pláště 0,1 až 1,2 % a životnost kompozitního pláště udaná v počtu zatěžujících cyklů do porušení je vyšší nežli životnost výstelky.

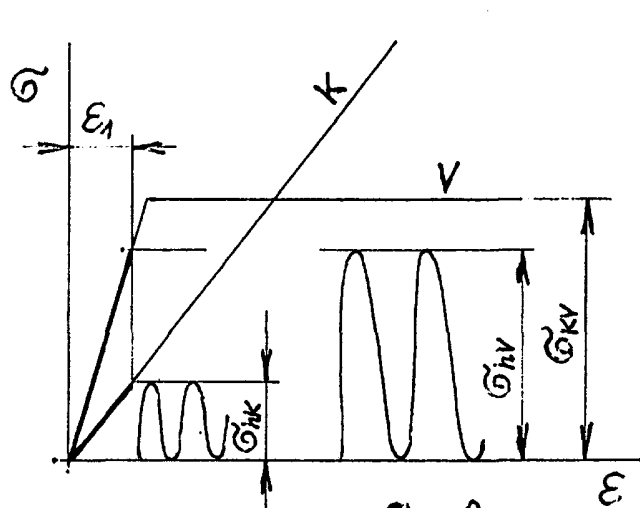
1 výkres



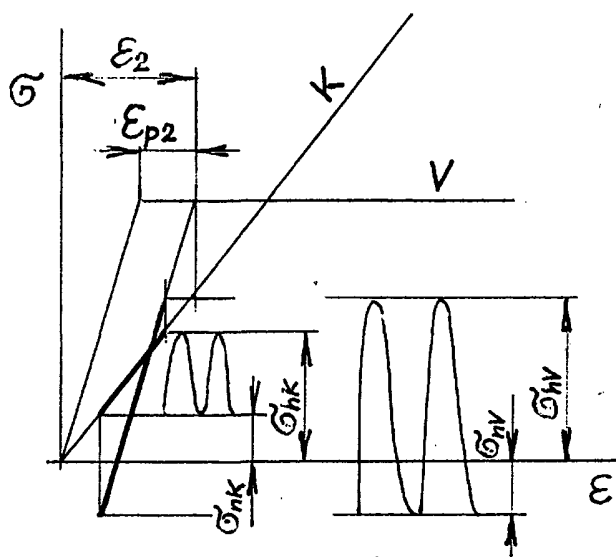
Obr. 1



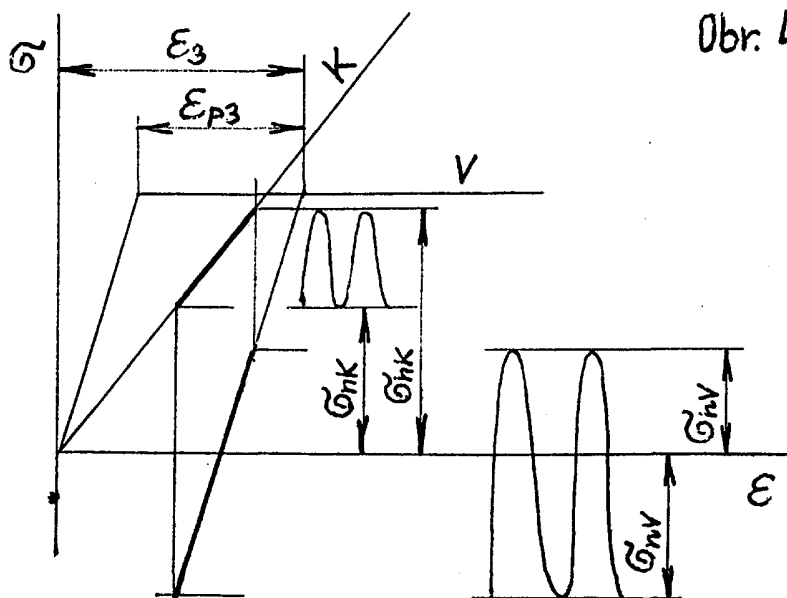
Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5

Opravy ve vytištěných popisech vynálezů

Ve vytištěném popisu vynálezu k autorskému osvědčení
č. 267 895 (PV 3286-87.Q) je v referátu a v předmětu
vynálezu je chybně uveden číselný údaj v %.

Správně: promile ‰

TISK - Zýková

10.12. 1990