

# PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(21) Číslo dokumentu:

## 2022-77

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

**G01N 3/34** (2006.01)

**G01B 17/02** (2006.01)

**G21C 17/06** (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **18.02.2022**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **30.08.2023**  
(Věstník č. 35/2023)

(71) Přihlašovatel:  
Centrum výzkumu Řež s.r.o., Husinec, Řež, CZ

(72) Původce:  
Ing. Zbyněk Hlaváč, Ph.D., Brno, Žabovřesky, CZ  
Ondřej Pašta, Černouček, CZ  
Leoš Assmann, Uherský Brod, CZ  
Ing. Marcin Kopeć, Kralupy nad Vltavou, CZ

(74) Zástupce:  
NEOLEGAL - advokátní a patentová kancelář, Ing.  
Jaroslav Novotný, Římská 2135/45, 120 00 Praha 2,  
Vinohrady

(54) Název přihlášky vynálezu:  
**Metoda nedestruktivního měření tloušťky  
tenkostěnných trubek malého průměru**

(57) Anotace:  
Metoda nedestruktivního měření tloušťky  
tenkostěnných trubek malého průměru spočívá v  
tom, že ke zjištění tloušťky stěny trubky využívá  
rezonanční frekvence kmitání v rovině příčného  
řezu trubky. Vzájemný poměr naměřených  
frekvencí velmi přesně určí tloušťku tenkostěnné  
trubky.

CZ 2022 - 77 A3

## Metoda nedestruktivního měření tloušťky tenkostěnných trubek malého průměru

### Oblast techniky

5

Vynález se týká metody nedestruktivního měření tloušťky trubek, ke kterým je přístup pouze zvnějšku, případně pouze zvnitřku. Obzvláště dobré výsledky jeví u tenkostěnných trubek malého průměru, jakými je kupříkladu pokrytí jaderného paliva nebo trubičky parogenerátoru. Měření tloušťky pokrytí je důležité z hlediska navazujících činností, např. v rámci inspekcí jaderného paliva nebo termomechanických výpočtů. Nedestruktivní forma měření tloušťky tenkostěnných komponent, jako je například pokrytí paliva, otevírá rozšíření aktivit v rámci inspekcí energetických zařízení i další možnosti v oblasti průmyslu, zkušebnictví či diagnostiky konstrukcí.

15

### Dosavadní stav techniky

Měření tloušťky stěny tenkostěnných dílů probíhá ve strojním průmyslu nejčastěji metodou mikrometrického měření. Toto měření je namátkově prováděno na výrobních linkách pro prověření přesnosti výroby se zohledněním požadavků konečného odběratele zboží. Samotné měření se provádí pomocí mikrometru, jehož přesnost se pohybuje okolo 10 mikrometrů a ovlivněna je hlavně teplotou přístroje, měřeného předmětu, ale i personálu provádějícího měření, drsností povrchu a stupněm znečištění povrchu. Tuto metodu nelze aplikovat na uzavřené potrubí nebo v nedostupných místech, například daleko od okrajů trubky. Příkladem takové situace je palivový proutek, obsahující jaderné palivo, jehož otevřením (roztěsněním) by došlo ke kontaminaci bezprostředního okolí.

Velmi přesnou metodou destruktivního charakteru je příprava metalografických výbrusů pro následné mikroskopické měření. Velikou výhodou metody je její přesnost. Ta se pohybuje v řádech jednotek mikrometrů. Nevýhodou je malá flexibilita z pohledu místa určení tloušťky a také časově a technologicky náročný proces přípravy vzorků pro mikroskopii. Z hlediska průmyslu je použití této metody velmi omezené a slouží téměř výhradně pro laboratorní prostředí. Technologii je možné provádět na radioaktivních vzorcích, jakými je například pokrytí jaderného paliva. Transport palivových souborů do horkých komor však obvykle probíhá až několik let po vyvezení paliva ze zóny reaktoru a metoda je proto v zásadě nevhodná.

35

Nejvíce populární metodou pro nedestruktivní určení tloušťky, a to ne jenom kovových výrobků, je ultrazvuková odrazová metoda, založená na měření doby průchodu ultrazvukových impulzů. Princip metody je takový, že signál vyslaný ultrazvukovou sondou projde materiálem zkoumaného tělesa, odrazí se od jeho protilehlé stěny a vrátí se do přijímacího měniče (téže ultrazvukové sondy). Tloušťka se pak určí dle fyzikálních vlastností zkoumaného materiálu a naměřené doby průchodu signálu. Tato metoda je často používanou nedestruktivní metodou ve strojírenském průmyslu i ve zkušebnictví či diagnostice konstrukcí, je obsažena v českých i evropských normativních (např. ČSN EN ISO 16809). Přesnost metody závisí na citlivosti a rozlišení sond i snímacího zařízení. Pro tenkostěnné komponenty se přesnost měření pohybuje v desítkách mikronů. V případě měření trubek se skutečně tenkou stěnou, jakými je například pokrytí jaderného paliva, kde tloušťka stěny nedosahuje ani 600 mikrometrů, je přesnost metody v mnoha případech nedostatečná.

### Podstata vynálezu

50

Uvedené nedostatky odstraňuje metoda nedestruktivního měření tloušťky tenkostěnných trubek malého průměru, která pracuje bez potřeby rozebírání nebo poškozování konstrukce, v relativně krátkém čase a v libovolně zvoleném místě trubky. Využívá k tomu jednu či více rezonančních frekvencí trubky, která se nechá kmitat v rovině příčného řezu trubky.

55

Vybuzení je možné provést krátkým úderem pomocí tuhého předmětu, například kladívkem. Jedná se o tzv. metodu impact-echo čili úder-odezva.

5 Budit je možné taky nuceným harmonickým kmitáním, kdy se jeho vlnová délka postupně mění v čase, aby bylo pokryto širší frekvenční spektrum, amplituda buzeného signálu přitom zůstává stejná. Jedná se o klasickou rezonanční metodu. Trubka se při vlastních frekvencích rozkmitá intenzivněji, s větší amplitudou. Ta je pak snímána elektro-akustickou sondou, zaznamenána a zobrazena pomocí osciloskopického přístroje. Kmitočty s nejvyššími amplitudami pak odpovídají vlastním frekvencím, tedy rezonančním kmitočtům dané trubky.

10 Vybuzené kmity trubky mají nejrůznější tvary, ale metoda se zabývá jen některými z nich. Pro měření tloušťky tenkostěnných trubek malého průměru se osvědčilo pracovat s vyššími kmitočty a využít frekvence kmitání trubky v rovině příčného řezu. Tyto vlastní frekvence je možné nejenom naměřit, ale také předpovědět výpočtem. Důležitými parametry, které vchází do výpočtu frekvencí, jsou materiálové a geometrické vlastnosti trubky, případně také vnější vlivy, které na trubku působí.

20 Zmíněné vnější vlivy metoda dále pro své výpočty neuvažuje. Nelze je však zanedbat. Proto je vhodné se takovým vlivům během měření vyhýbat. Jedná se zejména o vnější okrajové podmínky, jako je způsob podepření nebo zavěšení trubky, vyplnění nebo obalení trubky, případně její natlakování. Specifickým případem takovéto vnější podmínky jsou nátěry nebo oxidační vrstvy. Využití této okolnosti bude uvedeno v části příkladů uskutečnění vynálezu.

25 Z materiálových vlastností trubky jsou pro předpovězení vlastní frekvence důležité zejména modul pružnosti a hustota materiálu trubky. Obě tyto vlastnosti lze též vyjádřit pomocí rychlosti šíření podélných elastických vln.

30 Z geometrických vlastností je pro předpovězení frekvence důležitý průměr trubky a její tloušťka. Z několika výpočtových vztahů pro předpovězení vybraných vlastních frekvencí lze vyjádřit právě tloušťku stěny trubky jako funkci výše uvedených proměnných.

35 Metoda funguje obecně pro všechny velikosti a tvary trubek. Její neobyčejná přesnost je však dána poměrem k tloušťce stěny trubky, ale také k jejímu průměru. Pro velmi malé trubičky s tenkou stěnou, jakými je například pokrytí jaderného paliva, tak může dosáhnout přesnosti i jednotek mikrometrů.

40 Sondy pro měření lokální tloušťky pokrytí mohou být součástí standardně používaných zařízení pro provádění inspekce paliva, například v bazénech vyhořelého paliva. Podmínkou je vodotěsnost a vysoká odolnost vůči radiaci.

45 Nespornou výhodou metody nedestruktivního měření tloušťky je, že senzorem kmitání může být ultrazvuková sonda, která je dostatečně odolná vůči vodě i radioaktivnímu záření gama. Je výhodou, že vyhodnocovací zařízení, citlivé na radioaktivní záření, může být ukryto v dostatečné vzdálenosti od zdroje ionizujícího záření.

### Objasnění výkresů

50 Vynález je blíže osvětlen pomocí výkresů, kde na obr. 1 jsou zobrazeny tvary kmitů příčného řezu trubky o kruhovém průřezu. Na obr. 2 je příklad frekvenčního spektra naměřeného signálu včetně vrcholků několika konkrétních rezonančních kmitočtů trubky.

### Příklady uskutečnění vynálezu

5 Jedním z konkrétních příkladů využití této metody je měření lokální tloušťky pokrytí jaderného paliva v průběhu pravidelných kontrol. Lokální geometrie vstupuje do dalších výpočtů anebo měření. Příkladem je měření tlaku uvnitř palivového proutku, kdy tloušťka stěny je dána návrhem konkrétního paliva, nicméně dlouholetá měření ukazují směrodatné odchylky až 20 mikrometrů od návrhové hodnoty. S takovou přesností ovšem nelze počítat v citlivých výpočtech palivového proutku.

10 Dalším uplatněním metody je ověření tloušťky oxidační vrstvy, respektive tloušťky zdravého materiálu trubky. Je to výhodné zejména v případě, že oxidace působí uvnitř trubky a přesnost konvenčně používaných metod není dostatečná.

15 Metodu je možné použít i v případě, že trubka je opatřena svrchním nátěrem, který z nějakých důvodů nelze odstranit. I v takovém případě je možné dostatečně přesně stanovit tloušťku materiálu trubky. Je však třeba počítat s mírnými odchylkami vlivem neznámé tuhosti nátěru.

20 Je mnoho vlastních tvarů kmitání, které by se daly použít pro předpovězení tloušťky trubky. Nejlepších výsledků však dosahuje kombinace vlastní frekvence kmitání v rovině příčného řezu trubky v režimech in-plane bending mode 1 a ring mode 2. Zapracování obou frekvencí 6 a 7 do patřičného vztahu spolu s průměrem trubky poskytne dostatečně přesný výsledek tloušťky trubky. Jednu z výše zmíněných frekvencí pak lze ve vztahu pro výpočet tloušťky trubky nahradit rychlostí šíření podélných elastických vln, případně poměrem odmocniny poměru modulu pružnosti a hustoty materiálu trubky.

30 Rezonanční kmitočty je možné objevit v obr. 2 závislosti amplitudy 3 na frekvenci 4, kde se zobrazují jako tzv. frekvenční peaky (vrcholky) 6, 7 či 8. Bez předchozího, co nejpřesnějšího, odhadu obou typů frekvencí 6 a 7, však není možné je ve složitém frekvenčním spektru nalézt. Spektrum obsahuje množství vyšších harmonických kmitů 8, šumů a dalších nepřehledných vrcholků. Také způsob, místo a intenzitu buzení je nutné přizpůsobit měření každé frekvence. V neposlední řadě se doporučuje ověřit získ správných hodnot zamýšlených frekvencí dosazením do předem připravených vztahů, sestavených na základě dobrého odhadu tloušťky stěny trubky a rychlosti šíření podélných elastických vln.

35

### Průmyslová využitelnost

40 Metodu lze aplikovat ve všech oblastech průmyslu, kde je vyžadováno nedestruktivního zjištění tloušťky stěny uzavřeného potrubí. Metoda je vhodná zejména u tenkostěnných uzavřených trubek a potrubí, kde přesnost standardně používaných metod není dostatečná a naměřená hodnota může mít zásadní vliv na další práci s výsledky měření.

45 Metoda může být použita například pro kontrolu tloušťky pokrytí jaderného paliva, jež je ve své podstatě také uzavřenou tenkostěnnou trubkou o malém průměru. Metoda je aplikovatelná pro kvalifikaci palivových souborů do hlubinného úložiště, kdy bude nutné opakované ověření stavu paliva. Metoda může být použita i pro zkoumání paliva v horkých komorách.

50 Mimo činnosti spojené s jaderným průmyslem lze metodu aplikovat při kontrole potrubí v laboratorních aparaturách, ve kterých jsou používána vysoce abrazivní media – kapaliny či plyny s pevnými částicemi nebo s příměsí kyselin. Tímto způsobem lze prověřit stupeň opotřebení potrubí bez nutnosti rozebrání instalace, a tím dlouhého přerušení technologického procesu a potenciálního úniku kapalin či par do okolí.

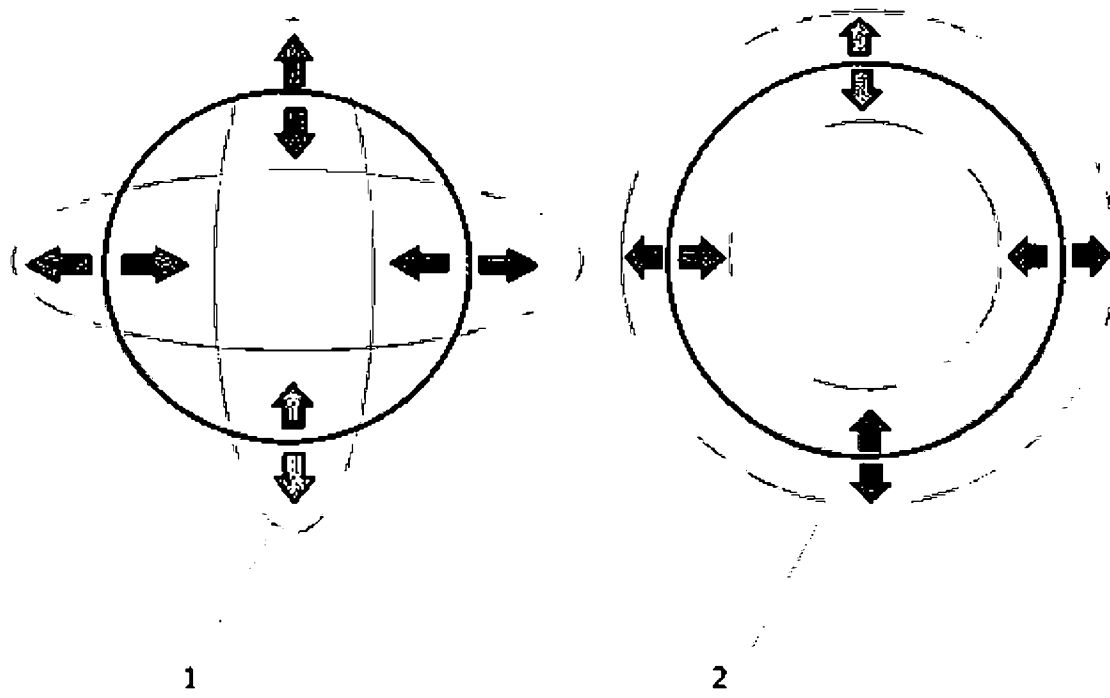
PATENTOVÉ NÁROKY

- 5 1. Metoda nedestruktivního měření tloušťky tenkostěnných trubek malého průměru **vyznačující se tím**, že pro výpočet tloušťky tenkostěnné trubky (TT) využívá nedestruktivně stanovené rezonanční frekvence kmitání v rovině příčného řezu TT a dále využívá minimálně jedné další vlastnosti TT.

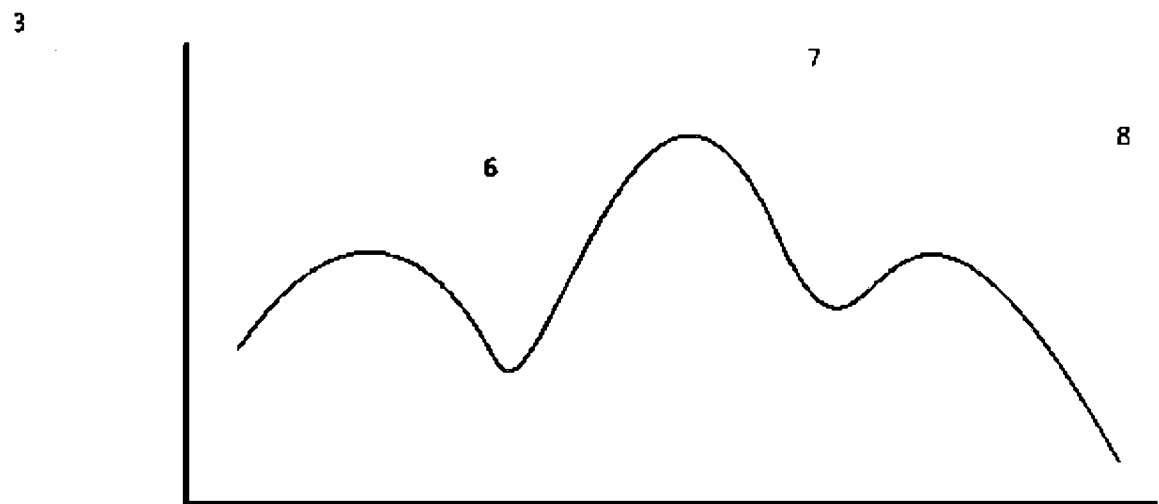
2 výkresy

Seznam vztahových značek:

- [1] Tvar kmitu trubky v rovině příčného řezu v režimu in-plane bending mode
  - [2] Tvar kmitu trubky v rovině příčného řezu v režimu (in-plane) ring mode
  - [3] Osa amplitudy signálu
  - [4] Osa frekvence signálu
  - [5] Vrcholek (peak) rezonanční frekvence příčného řezu (v režimu in-plane bending mode)
  - [6] Vrcholek (peak) rezonanční frekvence příčného řezu (v režimu ring mode)
  - [7] Frekvenční peak vyššího harmonického kmitu zkoušeného tělesa
- TT Tenkostěnná trubka



Obr. 1



4

Obr. 2