ČESKOSLOVENSKÁ SOCIALISTICKÁ REPUBLIKA
(19)

ÚŘAD PRO VYNÁLEZY A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

253 371

(11) (B1)

(61)
(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 07 02 85
(21) PV 834 - 85

(51) Int. Cl.[4]
G 01 N 19/08

(40) Zveřejněno 12 03 87
(45) Vydáno 01 01 89

(75)
Autor vynálezu

OTEVŘEL IVAN ing.,
SKLENIČKA VÁCLAV ing., CSc., BRNO

(54)

Způsob nedestruktivního zjišťování zbytkové životnosti kovových materiálů

Nový postup je založen na mikrostrukturní analýze místa poškození a spočívá v následujícím: u vyšetřovaného dílce, popřípadě souboru dílců se zjistí jejich kritické místo, určí se mezní hodnota poškození použitého kovového materiálu a stanoví se závislost poškození povrchové hladiny dílců na jejich celkovém poškození, načež se po předem stanovené době provozu u jednotlivých vyšetřovaných dílců provede metalografický výbrus dílce v kritickém místě a metalograficky se vyhodnotí stupeň poškození povrchové hladiny dílců, přičemž se ze stupně zjištěného poškození povrchové hladiny dílců vypočte celkové poškození dílce, načež se u každého ze souboru vyšetřovaných dílců nejméně jednou opakuje, přičemž se metalografický výbrus provede opět v kritickém místě dílců, a ze srovnání časově závislého nárustu poškození dílců a předem určeného mezního poškození užitého materiálu se odvodí zbytková životnost materiálu dílců.

253 371

Vynález se týká nového způsobu nedestruktivního zjišťování zbytkové životnosti kovových materiálů u dílců dlouhodobě namáhaných vysokoteplotním creepem. Nový postup je založen na použití mikrostrukturní analýzy a je vhodný zejména také pro stanovení zbytkové životnosti reakčních trubek reformingových pecí, zhotovených z vysoce legovaných austenitických CrNi ocelí.

Současný trend rozvoje strojírenství preferuje maximální využití materiálu. Potřebného učinku se dociluje jednak vhodným dimezováním součástí, jednak kontrolovaným celkovým vyčerpáním limitujících vlastností materiálu. U zařízení, které je namáháno vysokoteplotním creepem, je přímo nezbytné počítat s postupnou degradací žárupevných vlastností materiálu a akceptovat v provozních podmínkách určité množství defektů.

Kovový materiál pracující dlouhodobě v oblastech vysokoteplotního creepu , kde pod pojmem creep (tečení) se rozumí časově závislá složka plastické deformace materiálu, ztrácí v důsledku mikrostrukturních změn postupně své původní žárupevné vlastnosti. U takového materiálu dochází po absolvování nezbytných stadií poškození, tj. vzniku, růstu a spojování mikrodutin-kavit, k takřka bezdeformačnímu lomu. Tento jev byl sledován u odstředivě litých procesních trubek, vystavených dlouhodobě sálavému teplu v radiačních komorách pecí pro výrobu čpavku, metanolu či vodíku parním reformováním uhlovodíků. U těchto trubek docházelo k porušení stěny bez předchozího výrazného natečení materiálu. Byly proto hledány možnosti, jak nedestruktivním způsobem zjistit včas skutečný stav trubky a předejít tak havarijním stavům.

Úspěšné aplikování ultrazvuku naráží v tomto případě na problémy s rozptylem ultrazvukových vln na hrubozrnné, odstředivě lité struktuře a se zajištěním vhodného vazebného prostředí mezi povrchem trubky a sondou. Je známo, že bylo vyvinuto ultrazvukové zkušební zařízení, které šplhá vlastní silou po trubce a provádí automatická měření. Nejsou však známy praktické výsledky této metody,

která prozatím nedošla širšího uplatnění.

253 371

Zkoušky prozařováním je možno provádět pouze tzv. "metodou přes dvě stěny", která však vykazuje menší citlivost na defekty typu trhlina. Navíc je tato metoda provázena známými problémy souvisejícími s manipulací s gama-zářiči a není zajistitelná ani stoprocentní kontrola trubek.

Byla rovněž ověřována možnost zjistit vnitřní defekty elektroinduktivní metodou, při níž byly vnitřní creepové trhliny z vnějšího povrchu trubky indikovány pomocí speciálně vyvinutého přístroje. Postupovalo se přitom tak, že cívkou, vyvolávající střídavé magnetické pole, byl zmapován povrch vyšetřované oblasti, přičemž se měřil stupeň ovlivnění budicího pole cívky vířivými proudy indukovanými ve stěně trubky. Popsaná metoda nevyžaduje sice vazebné prostředí mezi sondou a zkoušeným povrchem, je však nezbytné, aby sonda přiléhala dobře k vyšetřovanému dílci či součásti. Provedené zkoušky nadto prokázaly, že výsledky měření nedovolují vždy jednoznačnou interpretaci stupně poškození.

Základním společným nedostatkem popsaných metod je pak skutečnost, že jejich fyzikální podstata umožňuje zjistit jen značně vyvinuté creepové trhliny. Archivaci výsledků měření je možno nadto provádět jen u zkoušek prozařováním, zatímco u ultrazvukových a elektroinduktivních metod je to obtížné. K přednostem těchto metod je sice možno počítat mobilnost použitých přístrojů a bezprostřední, okamžité vyhodnocení naměřených hodnot, na druhé straně však vzhledem k tomu, že zkoušky odhalí až poškození odpovídající předlomovému stavu, kdy trhliny postihly již značnou část stěny trubky, vyžadují tyto metody značně krátké časové odstupy mezi jednotlivými kontrolními měřeními. Pouhé, na empirii založené kvalitativní posouzení stavu poškození, bez návaznosti výsledků na jeho časový rozvoj, nedává nadto možnost predikovat zbytkovou životnost dílce.

Popsané nedostaky dosud užívaných nedestruktivních zkušebních metod jsou naproti tomu odstraněny u způsobu nedestruktivního zjišťování zbytkové životnosti kovových materiálů u dílců

dlouhodobě namáhaných vysokoteplotním creepem podle vynálezu, který je založen na mikrostrukturní analýze poškozeného místa a který spočívá v následujících krocích :

a) u vyšetřovaného dílce, popřípadě souboru dílců se zjistí jejich kritické místo,
b) určí se mezní hodnota poškození použitého kovového materiálu a
c) stanoví se závislost poškození povrchové hladiny dílců na jejich celkovém poškození, načež se
d) po předem stanovené době provozu u jednotlivých vyšetřovaných dílců provede metalografický výbrus dílce v kritickém místě a
e) metalograficky se vyhodnotí stupeň poškození povrchové hladiny dílců, přičemž se
f) ze stupně zjištěného poškození povrchové hladiny dílců podle vztahu z bodu c) vypočte celkové poškození dílce, načež se
g) postup podle bodů d) až f) u každého ze souboru vyšetřovaných dílců nejméně jednou opakuje, přičemž se metalografický výbrus provede opět v kritickém místě dílců, a
h) ze srovnání časově závislého nárustu poškození dílců a předem určeného mezního poškození užitého materiálu se odvodí zbytková životnost materiálu dílců.

Postup podle vynálezu představuje v podstatě nový nedestruktivní způsob zjišťování zbytkové životnosti creepově narušeného kovového materiálu, který je založen na poznatku, že z kvantifikace poškození vnějšího povrchu vyšetřovaných dílců či součástí lze odvodit poškození celkové. Opakovaným měřením je pak možno získat funkční závislost mezi poškozením dílce a dobou jeho reálného provozu, což umožní s vysokou pravděpodobností odhadnout další bezporuchový chod dílce, tzn. určit jeho zbytkovou životnost.

Předností nového postupu, který je založen na použití mikrostrukturní analýzy, ve srovnání s dříve popsanými metodami je kromě toho skutečnost, že mikrostrukturní analýzou je možno zjistit již velmi nízkou úroveň mezikrystalového poškození, což umožní předví-

dat zbytkovou životnost dílce či součásti s dostatečným předstihem.

Uvažujeme-li nyní jednotlivé kroky postupu podle vynálezu samostatně, pak při stanovení kritického místa vyšetřovaného dílce či dílců je možno postupovat tak, že

- se buď vychází ze znalosti technologického procesu, který přímo předurčuje maximálně namáhané místo dílce, anebo
- ze znalosti předcházejících, pravidelně se v určitém místě dílce vyskytujících poruch, popřípadě
- je možno provést detailní metalografické vyšetření stupně poškození jednotlivých částí reprezentativního dílce z vyšetřovaného souboru dílců, přičemž maximálně poškozenou oblast je možno považovat za kritickou.

Stupeň poškození zkoušeného dílce se přitom určí pomocí některého ze známých kvantifikačních kriterií, kupříkladu z objemového podílu mezikrystalových dutin. Vyšetření se provede po předchozím odstranění provozem znehodnocené vrstvy.

Pro stanovení mezního poškození použitého kovového materiálu se nejméně jeden creepový vzorek materiálu, kupříkladu ve formě tyčky, vystaví podmínkám simulujícím provozní podmínky a to po dobu potřebnou k vyvolání lomu. Pomocí zvoleného kvantifikačního kriteria, tj. kupříkladu na základě podílu mezikrystalových dutin, se pak určí mezní poškození v činné oblasti vzorku, mimo oblast magistrální trhliny.

V této souvislosti je třeba podotknout, že hodnota mezního poškození či porušení použitého kovového materiálu není v žádné souvislosti s kritickým místem či kritickou oblastí dílce. Číselná hodnota mezního poškození závisí pouze na zvoleném kvantifikačním kriteriu, popisujícím stav porušení materiálu, a platí vždy pro širokou skupinu materiálů obdobných vlastností.

Postup odvození závislosti poškození povrchové hladiny dílců na jejich celkovém poškození, stejně jako postup zpracování metodiky zkoušení bude dále objasněn na konkretním případě odstře-

divě lité reformingové trubky Ø 132x16, zhotovené z materiálu 40Cr25Ni20.

Creepové poškození, vyjádřené kupříkladu objemovým podílem mezikrystalových dutin, představuje důsledek nevyhnutélného postupného procesu, který postihuje celou tloušťku stěny trubky. Je-li materiál vyšetřován ve fázi výskytu především ojedinělých kavit, je možno objemový podíl všech mezikrystalových dutin V nahradit objemovým podílem kavit V_k .

Každá hladina stěny trubky, tj. kružnice o poloměru r, kde $r_{min} \leq r \leq r_{max}$, přičemž r_{min}, resp. r_{max} značí vnitřní, resp. vnější poloměr trubky, však vykazuje různý průběh poškození. Nestejné množství defektů se kromě toho jeví i v každém místě každé trubky radiačního systému pece, neboť ani vnější podmínky nejsou v celé peci konstantní a rozdílná je i odolnost materiálu proti tečení u jednotlivých trubek, které jsou navíc svařeny z většího počtu částí. Je proto nezbytné prověřovat, tak jako ostatně u všech metod, každou trubku individuálně.

V souvislosti s teplotou paroplynné směsi protékající trubkou, koeficienty přestupu tepla a dalšími podmínkami, má trubka své kritické oblasti či místa. Tato místa je možno zjistit, jak již bylo dříve uvedeno, kupříkladu zdokumentováním již prasklých trubek anebo detailní mikrostrukturní analýzou trubky sledované reformingové pece.

Poškození jednotlivých hladin trubky se mění spojitě, jestliže existuje kontinuita jak vnějších podmínek, tak i vlastností materiálu. Z poškození libovolné hladiny V_{ki} je pak možno odvodit poškození celého průřezu stěny trubky V_{kc}. Tuto závislost lze vyjádřit vztahem

$$V_{kc} = f(V_{ki}) ,$$

kde f znamená funkce.

Hodnota objemového podílu kavit libovolné hladiny V_{ki} se vypočte pomocí vztahů publikovaných ve Studii ČSAV č. 8/77 "Mezikrystalový lom při vysokoteplotním creepu kovů a slitin" autorů Skleničky,

Saxla, Čadka - Academia 1977 :

$$V_{ki} = N_{si} \cdot \bar{d}_i^2 \qquad /-/$$

kde N_{si} je plošná hustota výskytu mezikrystalových (mezidentritických) kavit,

$\bar{d}_i$ střední hodnota průměru kavit .

Hodnoty N_{si} a $\bar{d}_i$ se získají z následujících vztahů :

$$N_{si} = N_i/A_i \qquad /1/m/$$

$$\bar{d}_i = L_i/N_i \qquad /m/$$

kde N_i je počet kavit,

A_i vyšetřovaná plocha v m^2

L_i celková délka středních průměrů kavit v m metalografického výbrusu sledované hladiny i .

Celkové poškození má svou hranici, která se navenek projeví prasknutím trubky. Lom nastane v okamžiku, kdy jsou poškození jednotlivých hladin zhruba na stejné úrovni a dosáhnou mezní hodnoty. Znalost tohoto limitního poškození je nezbytná při stanovení jak zbytkové, tak celkové životnosti materiálu. V citované studii bylo experimentálně prokázáno, že hodnota mezního poškození může být popsána geometrickým kriteriem, které není příliš závislé na působících vnějších podmínkách a významně nezávisí na typu a strukturním stavu materiálu. Mezní poškození je možno uvažovat jako stav, který bezprostředně předchází nestabilnímu (katastrofickému) vzrůstu poškození. Tohoto mezního poškození se za podmínek vysokoteplotního creepu dosahuje v čase, který odpovídá asi 90% celkové životnosti materiálu. Při neměnných vnějších podmínkách lze do této doby uvažovat konstantní nárust poškození.

Hodnotu mezního poškození V_{mez} je možno stanovit, jak již bylo uvedeno, kupříkladu rozborem creepového vzorku, u něhož došlo k lomu za podmínek blížících se podmínkám provozním, přičemž se stanoví podíl mezikrystalových dutin v činné části vzorku, mimo oblast magistrální trhliny. Pro odstředivě litý materiál procesních reformingových trubek je $V_{mez} = 0,01$.

Dále byla předběžně stanovena závislost mezi objemovým podílem kavit povrchové hladiny V_{kp} a sumárním objemovým podílem kavit celé stěny trubky V_{kc}. Aproximací výsledků metalografických rozborů stupně poškození řady vzorků (viz připojená Tabulka hodnot měření), odebraných z části reformingových trubek o Ø 132x16, zhotovených z mat. 40Cr25Ni20, metodou nejmenších čtverců byl získán vztah :

$$V_{kc} = (a_1 \cdot V_{kp} + a_2 \cdot V_{kp}^2 + a_3 \cdot V_{kp}^3)^{1/2}$$

kde $a_1 = 7,0816419$

$a_2 = - 7,6284424 \cdot 10^2$

$a_3 = 3,1045440 \cdot 10^4$

Kritická oblast trubky byla zjištěna z rozboru řady havarií. Ke creepovému lomu docházelo vždy pravidelně v oblasti kolmé na rovinu radiační sekce reformingové pece a to ve vzdálenosti cca 200 mm od sváru mezi třetí a čtvrtou částí (počítáno od příruby) reformingové trubky. Trhlina byla vždy orientována osově.

Na základě výše uvedených závěrů a rozboru konkretního případu možné aplikace byl pak stanoven obecný postup zkoušení, který může být použit při zjišťování zbytkové životnosti všech dílců a součástí, jež dlouhodobě pracují v oblasti vysokoteplotního creepu a u nichž je možno stanovit funkční závislost mezi poškozením povrchové hladiny a celkovým poškozením dílce v kritickém místě.

Výbrus povrchu dílce či součásti je možno provést v praxi běžně zvládnutými metalografickými metodami, po předchozím odstranění provozem znehodnocené vrstvy. Opakovaný výbrus je možno provést přímo v místě prvního výbrusu anebo - z důvodů bezpečnosti- v místě bezprostředně vedle něho. Metalografické vyhodnocení stupně poškození se provede buď přímo na vyšetřovaném místě anebo pomocí otisku či fotografie plochy výbrusu, které je možno nadto i archivovat. Vyhodnocení stupně poškození je možno popřípadě výrazně zproduktivnit zavedením automatické obrazové analýzy.

Doba určená k provedení prvního metalografického výbrusu u vyšetřovaného souboru dílců a následné vyhodnocení stupně poškození

povrchové hladiny dílců se stejně jako interval mezi následujícími, opakovanými metalografickými vyšetřeními volí v závislosti na provozních podmínkách, zejména také s ohledem na plánované odstávky technologického zařízení. Pro stanovení termínu opakovaných měření je rozhodující kromě toho i stupeň poškození sledovaného souboru dílců, zjištěný při předchozím vyšetření. Pro konkretní případ trubek reformingové pece se z důvodů zajištění potřebné provozní spolehlivosti zařízení interval mezi jednotlivými měřeními volí v rozmezí 1/2 až 1 1/2 roku.

Nový postup zjišťování zbytkové životnosti kovových materiálů umožní dokonalé, celkové vyčerpání žárupevných vlastností materiálu. Tím se docílí nejen úspory vysocelegovaného materiálu, ale i úspory energie potřebné k výrobě nového dílce, přičemž zanedbatelná není ani úspora nákladů na dopravu a montáž tohoto dílce. Aplikace navrženého postupu přinese kromě toho bezesporu i výrazné zvýšení provozní jistoty zařízení.

Kromě reakčních trubek pecí pro parní reforming je možno postupu podle vynálezu použít i pro stanovení zbytkové životnosti tzv. pig-tailů, tj. trubic, kterými je výstup reformingových trubek napojen na horký kolektor, anebo u těchto kolektorů samotných, popřípadě u trubek, trubkových hadů či haedrů ohřevných trubkových pecí. Obecně pak u všech kovových dílců, které musí dlouhodobě vydržet vysokoteplotní namáhání.

Tabulka hodnot měření

253 371

Č.měř.	$V_{kp} \cdot 10^{-3}$	$V_{kc} \cdot 10^{-3}$	Č.měř.	$V_{kp} \cdot 10^{-3}$	$V_{kc} \cdot 10^{-3}$
1	0,225	63,319	31	0,419	37,363
2	1,981	109,731	32	0,656	46,863
3	0,069	5,419	33	0,656	67,819
4	0,044	14,481	34	4,156	137,600
5	0,019	6,900	35	0,913	85,981
6	0,013	6,381	36	0,406	22,338
7	0,500	81,419	37	0,763	38,563
8	0,419	66,713	38	3,619	124,919
9	0,156	28,181	39	1,213	83,300
10	1,994	94,619	40	1,044	80,838
11	0,956	73,538	41	0,538	27,881
12	0,419	45,338	42	0,156	11,519
13	1,719	113,363	43	0,281	12,681
14	0,406	24,981	44	0,000	0,000
15	0,131	54,719	45	10,000	160,000
16	0,750	71,781			
17	0,225	36,919			
18	0,256	59,038			
19	1,713	114,881			
20	0,275	13,663			
21	0,175	9,719			
22	0,625	59,981			
23	0,894	85,081			
24	0,625	29,663			
25	0,731	43,819			
26	0,388	36,481			
27	0,819	110,381			
28	0,281	25,463			
29	0,994	73,963			
30	0,638	80,363			

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

253 371

Způsob nedestruktivního zjišťování zbytkové životnosti kovových materiálů u dílců dlouhodobě namáhaných vysokoteplotním creepem, kupříkladu reakčních trubek reformingových pecí, založený na použití mikrostrukturní analýzy, vyznačený tím, že

a) u vyšetřovaného dílce, popřípadě souboru dílců se zjistí jejich kritické místo,

b) určí se mezní hodnota poškození použitého kovového materiálu a

c) stanoví se závislost poškození povrchové hladiny na jejich celkovém poškození, načež se

d) po předem stanovené době provozu u jednotlivých vyšetřovaných dílců provede metalografický výbrus dílce v kritickém místě a

e) metalograficky se vyhodnotí stupeň poškození povrchové hladiny dílců, přičemž se

f) ze stupně zjištěného poškození povrchové hladiny dílců podle vztahu z bodu c) vypočte celkové poškození dílce, načež se

g) postup podle bodů d) až f) u každého ze souboru vyšetřovaných dílců nejméně jednou opakuje, přičemž se metalografický výbrus provede opět v kritickém místě dílců, a

h) ze srovnání časově závislého nárustu poškození dílců a předem určeného mezního poškození užitého materiálu se odvodí zbytková životnost materiálu dílců.

Vytiskly Moravské tiskařské závody,
střed. 11 100, tř.Lidových milicí 3, Olomouc

Cena: 2,40 Kčs