

Prehľad poškodzovacích mechanizmov vplyvujúcich na statické zariadenia a účinnosť diagnostických metód



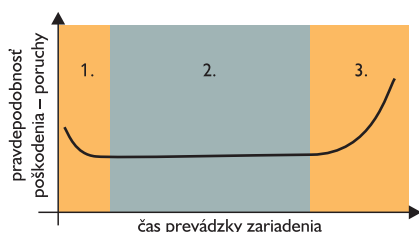
Úvod

Podnetom na spracovanie tohto článku bola skutočnosť, že na mnohých odborných konferenciách a seminároch o technickej diagnostike sa hovorí zväčša o diagnostike rotačných strojov, a pritom silne absentuje téma diagnostika statických zariadení. Treba si uvedomiť, že určitá časť statických zariadení je pod drobnohľadom v celej EÚ. Sú to najmä vyhradené tlakové a plynové technické zariadenia (VTZ). Tieto zariadenia sú regulované tak ako nový výrobok direktívou PED 97/23/ES (The Pressure Equipment Directive), ktorá je v Slovenskej republike transponovaná v nariadení vlády č. 576/2002 Z. z. Pre zariadenia, ktoré sú v prevádzke, platí národná legislatíva, a to vyhláška č. 718/2002 Z. z., ktorá hovorí najmä o riadení revíznej a inšpekčnej prehliadky z hľadiska ich bezpečnej prevádzky.

Cieľom tohto článku je informovať o spôsobe hodnotenia stabilných zariadení, ktoré podliehajú kategorizácii v zmysle vyhlášky č. 718/2002 Z. z. vzhľadom na závažnosť týchto zariadení, z hľadiska zaistenia bezpečnosti, ochrany životného prostredia a majetku.

Živostnosť zariadení

Každé stabilné zariadenie podlieha počas prevádzky opotrebeniu, ktoré je spôsobené rôznymi poškodzovacími mechanizmami. Prie-



Obr.1 Priebeh porúch stabilných zariadení

P.č.	Damage Mechanism	Poškodzovací mechanizmus
1	Sulfidation	Vysokoteplotná sulfidácia
2	Wet H ₂ S Damage (Blistering/HIC/SOHIC/SSC)	Poškodzovanie vlhkým H ₂ S
3	Creep/Stress Rupture	Tečenie
4	High temp H ₂ /H ₂ S Corrosion	Vysokoteplotná korózia H ₂ /H ₂ S
5	Polythionic Acid Cracking	Praskanie spôsobené kyselinou polytiónovou
6	Naphtenic Acid Corrosion	Korózia spôsobená kyselinou nafténovou
7	Ammonium Bisulfide Corrosion	Korózia spôsobená kyslým sírnikom amónnym
8	Ammonium Chloride Corrosion	Korózia spôsobená chloridom amónnym
9	HCl Corrosion	Korózia spôsobená HCl
10	High Temperature Hydrogen Attack	Vysokoteplotná vodíková korózia
11	Oxidation	Vysokoteplotná oxidácia
12	Thermal Fatigue	Únava materiálu spôsobená teplotou
13	Sour Water Corrosion (acidic)	Korózia spôsobená kyslou vodou
14	Refractory Degradation	Degradácia žiaruvzdornej výmurovky
15	Graphitization	Grafitizácia
16	Temper Embrittlement	Tepelné krehnutie
17	Decarburization	Vysokoteplotné oduhličenie
18	Caustic Cracking	Praskanie spôsobené zásadami
19	Caustic Corrosion	Korózia spôsobená zásadami
20	Erosion/Erosion – Corrosion	Erózia/Erózia – Korózia
21	Carbonate SCC	Praskliny spôsobené nauhličiením
22	Amine Cracking	Praskanie spôsobené amínmi
23	Chloride Stress Corrosion Cracking	Praskanie spôsobené chloridmi
24	Carburization	Vysokoteplotné nauhličenie
25	Hydrogen Embrittlement	Krehnutie spôsobené vodíka
26	Thermal Shock	Tepelný šok
27	Cavitation	Kavitácia
28	Graphitic Corrosion (see Dealloying)	Korózia uvoľňovaním grafitu
29	Short term Overheating – Stress Rupture	Lom pod napätím pri krátkodobom prehriatí
30	Brittle Fracture	Krehnutie
31	Sigma Phase/Chi Embrittlement	Krehnutie so vznikom sigma fázy
32	885°F (475°C) Embrittlement	Krehnutie pri 475 °C
33	Softening (Spheroidization)	Sferoidizácia

Tab.1a Poškodzovacie mechanizmy podľa normy API 571

beh porúch počas životnosti stabilných zariadení môže byť charakterizovaný tzv. Weibulovým rozdelením. Vysokú danú mieru spoľahlivosti stabilných zariadení, ovplyvnenú vhodným konštrukčným návrhom a výrobou možno zobrazit priebehom, kde intenzita porúch narastá na konci krivky tzv. „worst old“ (najhoršie staré; obr. 1). Túto krivku priebehu porúch počas životného cyklu možno rozdeliť na tri oblasti, podľa pravdepodobnosti výskytu poškodenia – poruchy.

Prvou oblasťou je obdobie nábehu, resp. skúšobnej prevádzky zariadenia, keď môže byť pravdepodobnosť výskytu poškodenia vyššia. Sú to tzv. detské choroby zariadenia, ktoré sú pri statických zariadeniach a korektnom dizajne zariadenia v podstate minimalizované a sú na úrovni druhej oblasti, a to stabilnej prevádzky. Teda druhá oblasť krivky životnosti predstavuje stabilnú prevádzku zariadenia s výskytom len náhodných poškodení – porúch. Tretí úsek krivky opisuje oblasť opotrebenia zariadenia, keď začína krivka pravdepodobnosti porúch prudko stúpať. Táto oblasť je veľmi dôležitá, nakoľko správnym detegova-

ním poškodovacích mechanizmov a aplikáciou účinných diagnostických metód možno zariadenie ešte bezpečne prevádzkovať s akceptovateľným rizikom aj v tejto oblasti, čím možno predĺžiť jeho životnosť.

Prehľad poškodovacích mechanizmov podľa API 571

Norma API 571 definuje a opisuje poškodovacie mechanizmy, ich výskyt, náchylnosť konštrukčných materiálov na poškodenie a možné nápravné opatrenia. API 571 delí poškodovacie mechanizmy na dve základné skupiny a tie na ďalšie podskupiny:

- Poškodovacie mechanizmy vyskytujúce sa vo všetkých priemyselných odvetviach:
 - mechanické a metalurgické,
 - všeobecná alebo lokálna strata hrúbky,
 - pri vysokej teplote (400 °F, resp. 204 °C),
 - spôsobené prostredím.
- Poškodovacie mechanizmy vyskytujúce sa v rafinérskom (chemickom) priemysle:
 - všeobecná alebo lokálna strata hrúbky,
 - spôsobené prostredím,
 - iné.

P.č.	Damage Mechanism	Poškodovacie mechanizmus
34	Reheat Cracking	Praskanie spôsobené opakovaným prehriatím
35	Sulfuric Acid Corrosion	Korózia spôsobená kyselinou sírovou
36	Hydrofluoric Acid Corrosion	Korózia spôsobená kyselinou fluorovodíkovou
37	Flue Gas Dew Point Corrosion	Korózia spôsobená dymovými plynmi pri rosnom bode
38	Dissimilar Metal Weld (DMW) Cracking	Trhliny zvarových spojov rôznych kovov
39	Hydrogen Stress Cracking in HF	Vodíkové praskanie pod napätím v prostredí HF
40	Dealloying (Dezincification/Denickelification)	Strata legovacieho kovu
41	CO ₂ Corrosion	Korózia CO ₂
42	Corrosion Fatigue	Únava materiálu
43	Fuel Ash Corrosion	Popolčeková korózia
44	Amine Corrosion	Korózia spôsobená amínom
45	Corrosion Under Insulation (CUI)	Korózia pod izoláciou
46	Atmospheric Corrosion	Atmosférická korózia
47	Ammonia Stress Corrosion Cracking	Praskanie spôsobené amoniakom
48	Cooling Water Corrosion	Korózia spôsobená chladiacou vodou
49	Boiler Water/Condensate Corrosion	Korózia kondenzátom kotlovej vody
50	Microbiologically Induced Corrosion (MIC)	Korózia spôsobená mikroorganizmami
51	Liquid Metal Embrittlement	Krehnutie spôsobené tekutým kovom
52	Galvanic Corrosion	Galvanická korózia
53	Mechanical Fatigue	Mechanická únava
54	Nitriding	Nitridácia
55	Vibration – Induced Fatigue	Únava materiálu spôsobená vibráciou
56	Titanium Hydriding	Hydrogenácia titánu
57	Soil Corrosion	Pôdna korózia
58	Metal Dusting	Vysokoteplotné nauhličenie formou rozpadu konštrukčného materiálu
59	Strain Aging	Starnutie v dôsledku vnútorných napätí po deformovaní za studena
60	Steam Blanketing	Parná pokrývka
61	Phosphoric Acid Corrosion	Korózia spôsobená kyselinou fosforečnou
62	Phenol (carbolic acid) Corrosion	Korózia spôsobená fenolom

Tab.1b Poškodovacie mechanizmy podľa normy API 571

Celkovo je zatiaľ v API 571 obsiahnutých 62 poškodovacích mechanizmov (ďalej len PM) rozdelených do týchto podskupín. Prehľad týchto PM podľa tejto americkej normy je v tab. 1a, 1b.

Diagnostika poškodovacích mechanizmov

Základnou metódou diagnostiky poškodovacích mechanizmov je vizuálna kontrola. Tú môžeme z hľadiska kvalifikácie personálu a metodiky rozdeliť na:

- Vizuálnu kontrolu v zmysle zákona č. 124/2006 Z. z. V podstate ide o vnútorné a vonkajšie odborné prehliadky zariadení, vykonávané oprávnenou osobou v zmysle zákona 124/2006 Z. z.
- Vizuálnu kontrolu podľa normy EN 970. Kvalifikáciu personálu v tomto prípade predpisuje norma EN 473 a v prípade kontroly tlakových VTZ aj smernica 97/23/ES. Hodnotenie kritérií prípustnosti opisuje norma EN 5817.

Nakoľko má vizuálna kontrola objektívne obmedzenia na citlivosť detekcie poškodovacích mechanizmov, v praxi sa využívajú ďalšie účinné diagnostické metódy:

- RT – skúšanie prežarováním,
- UT – ultrazvuková kontrola čelnou, resp. uhlovou sondou,
- PT – skúšanie kapilárnymi metódami,
- MT – skúšanie magnetickou práškovou metódou,
- AT – akustická emisia,
- ET – skúšanie vírivými prúdmi,
- LT – skúšanie netesností,
- Termovízia a iné.

Najzávažnejšou formou prejavu poškodovacích mechanizmov sú praskliny (trhliny), ktoré nie sú často zistiteľné vizuálnou kontrolou. Najprístupnejšími a zároveň najoperatívnejšími metódami na detekciu tohto typu poškodenia sú penetračná (kapilárna) metóda (ďalej PT) a magnetická prášková metóda (ďalej MT).

Výhody PT:

- Použitelnosť pri všetkých materiáloch.
- Nie je potrebná elektrická energia.

Nevýhody PT:

- Trhliny pod povrchom – neskúšateľné.
- Je nutná precízna úprava povrchu pred skúšaním.

Výhody MT:

- Indikuje aj trhliny tesne pod povrchom (do cca 3 mm).
- Je potrebná len čiastočná úprava skúšaného povrchu.

Nevýhody MT:

- Paramagnetický materiál – neskúšateľný.
- Potrebuje elektrickú energiu (s permanentným magnetom NIE).

Z predchádzajúceho vyplýva, že PT a MT sú použiteľné len pri povrchových trhlinách, MT v obmedzenej miere aj pri podpovrchových

NDT typ	VT	PT	MT	ET	RT	UTA	UTS	AE	Poznámka
Porucha (API 580/581)									
Stenčenie (všeob., lokálne, pitting)	1-3	x	x	1-2	1-3	1-3	x	x	*
Povrchová trhlina	2-3	1-3	1-2	1-2	3-x	3-x	1-2	1-3	
Podpovrchová trhlina	x	x	3-x	1-2	3-x	3-x	1-2	1-3	
Mikrodutina	x	x	x	3-x	x	2-3	2-3	3-x	
Metalurgická zmena	x	x	x	x	x	x	x	x	**
Zmena rozmerov (napr. tečením)	1-3	x	x	x	1-2	x	x	x	***
Vodíková pluzgierovitosť	1-3	x	x	x	x	1-2	x	3-x	

Skratky:

- 1 – veľmi účinné
- 2 – mierne účinné
- 3 – ešte indikovatelné
- X – nemožno použiť

Poznámky:

- * Lokálne stenčenie UTT metódou skenovania
- ** Metalografia (technika replíky)
- *** Kontrola rozmerov

VT – vizuálna kontrola

PT – skúšanie kapilárnymi metódami

MT – skúšanie magnetickou práškovou metódou

UTA – ultrazvuková kontrola čelhou sondou

UTS – ultrazvuková kontrola uhlou sondou

UTT – ultrazvuková kontrola hrúbky

RT – skúšanie prežarováním

ET – skúšanie vírivými prúdmi

AE – akustická emisia

Tab.2 Súvislosť medzi poruchami a účinnosťou diagnostických metód

trhlinách. Preto sa pri stanovovaní poškodenia a typu trhliny používajú metódy uvedené v tab. 2. V tejto tabuľke sú uvedené najčastejšie sa vyskytujúce poruchy a účinnosť jednotlivých diagnostických metód na ich indikáciu.

Treba zohľadniť, že niektoré druhy poškodovacích mechanizmov nemožno identifikovať pomocou NDT metód a treba použiť tzv. metalografické skúšky, prípadne deštruktívne spôsoby skúšania.

Postupnosť krokov pri určovaní poškodovacích mechanizmov (PM) zariadení

Racionálny a efektívny prístup k určeniu PM zariadení vyžaduje identifikáciu nasledujúcich faktorov:

1. Charakteristika zariadenia:
 - a) konštrukčné parametre zariadenia (konštrukčný kód, materiál...),
 - b) prevádzkové podmienky zariadenia (teplota, tlak, médium...).
2. Kritické faktory poškodzovania (teplota, tlak, pH, vek zariadenia...).
3. Forma prejavu poškodzovacieho mechanizmu.
4. Najúčinnější spôsob stanovenia poškodenia.
5. Stanovenie poškodzovacieho mechanizmu.

Systém určovania PM je účinný vtedy, ak tento proces nie je jednorazový, ale systematicky prehodnocovaný, čo možno zabezpečiť nasledujúcimi krokmi:

1. hodnotenie, archivácia výsledkov skúšok,
2. prijímanie nápravných opatrení,
3. prehodnocovanie a zlepšovanie.

Celý systém stanovovania PM je účelný vtedy, ak sa dá pre dané zariadenie vypracovať inšpekčný plán. To pre prevádzkovateľa zariadenia znamená, že musí poznať dátum poslednej a nasledujúcej inšpekčnej činnosti na zariadení s využitím danej diagnostickej metódy.

Tvorba inšpekčného plánu je definovaná subjektívnymi vstupmi, ktorými sú stretnutia

expertného tímu a hodnotenie experta (napr. koróznym technik). Objektívnym vstupom je výpočet rizika zariadenia podľa vzťahu:

$$R = POF \times COF \quad (1)$$

kde R je riziko,

POF – koeficient pravdepodobnosti poruchy,

COF – koeficient dôsledku poruchy.

Záver

Cieľom včasného odhalenia PM je zabezpečenie disponibility zariadenia za podmienok:

- neohrozenia ľudí, zvierat, majetku,
- neohrozenia životného prostredia,
- plnenia hospodárskych cieľov spoločnosti.

Dobre udržiavané zariadenie vyžaduje dobrého hospodára, ktorý pozná problémy (potenciálne poruchy) a včasným zabezpečením kontrolných mechanizmov udržiava výrobu v optimálnych nákladoch v zhode s platnou legislatívou k spokojnosti majiteľa, verejnosti a v neposlednom rade aj poisťovacie spoločnosti.

Literatúra

[1] API RP 571.: Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry, First Edition, December, 2003.

[2] API 581.: Base Resource Document – Risk-Based Inspection, First Edition, May, 2000.

Ing. Štefan Zobel

TÜV Rheinland Slovensko, s.r.o.
e-mail: stefan.zobel@sk.tuv.com

Ing. Rastislav Peško

e-mail: rastislav.pesko@gmail.com

15