POTENCIÁL VYUŽITÍ TERMOGRAFIE PRO DIAGNOSTIKU A ÚDRŽBU V ENERGETICKÉM PRŮMYSLU

POTENTIAL OF THERMOGRAPHY FOR DIAGNOSTICS AND MAINTENANCE IN POWER INDUSTRY

Michal Švantner a Milan Honner

Západočeská univerzita v Plzni

Abstrakt

Termografie je moderní diagnostická metoda s velkým potenciálem pro využití v diagnostice, údržbě, monitoringu nebo nedestruktivním testování energetických zařízení. K jejím hlavním přednostem patří její bezkontaktní a nedestruktivní charakter, možnost plošného testování a možnost kontroly nepřístupných nebo pohyblivých součástí. Příspěvek vychází z dlouholetých zkušeností a spoluprací pracoviště ZČU-NTC a zabývá se možnostmi termografických metod pro různé aplikace v energetice, např. diagnostika rotorů přečerpávacích elektráren, využití termografie pro testy únavových vlastností, zjišťování korozního poškození potrubních systémů v elektrárnách, prediktivní diagnostika poškození cyklicky namáhaných součástí nebo diagnostika v solárních technologiích. V příspěvku jsou představeny aplikace, termografické metody i potenciál pro jejich budoucí využití.

Abstract

Thermography is a modern diagnostics method with a significant potential for utilization in diagnostics, maintenance, monitoring, or non-destructive testing of power industry devices. The main advantages of thermography belong its non-contact and non-destructive basis, the possibility of area inspections, and a possibility of moving or hard-to-touch components. This contribution is based on long-term experiences and cooperation of the ZČU-NTC institute, and it deals with the possibilities of thermographic methods for different applications in the power industry. It describes thermography methods application, for example, for rotors diagnostics in pumped hydroelectric power plants, fatigue properties testing, identification of corrosion damage in pipe systems, predictive diagnostics of damage in cyclically loaded parts, or diagnostics in solar technologies. The contribution introduces applications, and thermographic methods, which potential in the power industry is discussed.

Úvod

Termografie je moderní diagnostická metoda využívající detekci infračerveného záření [1]. Jedná se o bezkontaktní, nedestruktivní a efektivní metodu, kterou lze pro diagnostiku strojů a zařízení využívat všude tam, kde je výskyt anomálií nebo závad spojen s tepelným projevem. K takovým tepelným projevům může v mnoha případech docházet i když je problém skrytý a je tak vnější indikací nejen rozvinutého, ale i počínajícího porušení nebo závady zařízení. Termografická diagnostika tak může významným způsobem přispět nejen k monitoringu provozu zařízení, ale také k prediktivnímu odhalování závad ještě před tím, než dojde k závažné poruše při provozu zařízení. V některých případech, kdy k tepelným projevům vlastní funkcí zařízení nedochází nebo nejsou dostatečné, lze využít vnějšího buzení a na základě tepelné odezvy testovaných komponent zkoumat jejich stav nebo výskyt defektů a závad. V těchto případech hovoříme o tzv. infračerveném nedestruktivním testování [2, 3] s využitím aktivní termografie. Tato metoda tak dále rozšiřuje možnosti a potenciál infračervené termografie a termografické inspekce v oblasti diagnostiky, údržby a monitoringu strojů a energetických zařízení nebo nedestruktivního testování komponent a materiálů těchto zařízení.

K hlavním přednostem termografických metod patří jejich bezkontaktní a nedestruktivní charakter a možnost plošného testování. To umožňuje nejen laboratorní použití, ale také použití

přímo v provozech a kontroly nepřístupných nebo pohyblivých součástí. Příspěvek vychází z dlouholetých zkušeností pracoviště ZČU-NTC a zabývá se různými možnostmi využití termografických metod v energetice. V příspěvku jsou představeny aplikace zaměřené na klasickou energetiku, např. diagnostika rotorů přečerpávacích elektráren, zjišťování korozního poškození potrubních systémů v elektrárnách nebo prediktivní diagnostika poškození cyklicky namáhaných součástí, ale i na obnovitelné zdroje energie, např. možnosti diagnostiky ve fotovoltaických nebo koncentrátorových solárních technologiích. V příspěvku jsou představeny aplikace, termografické metody i potenciál pro jejich budoucí využití.

Aplikace

K významným a velmi namáhaným komponentám v energetickém průmyslu patří rotační zařízení. Případné závady rychle rotujících částí při běhu zařízení mohou vést k poruchám se značnými škodami. Může se jednat např. o rotory generátoru elektrárny, které jsou zejména při rozběhu značně namáhány. Anomálie ve funkci nebo projevy závady se přitom projevují zejména nebo pouze při provozu zařízení, což značně ztěžuje jejich detekci běžnými metodami. Pomocí vysokorychlostní termografické diagnostiky se vzorkovací frekvencí až 1 kHz v průběhu náběhu zařízení lze odhalit teplotní anomálie indikující na jednotlivých pólech rotoru, které indikují možný materiálový nebo konstrukční problém v daném místě.

K dalším aplikacím v klasické energetice patří zjišťování skryté / vnitřní koroze ocelových komponent [4]. Jedná se především o potrubí technické vody, ale také o části tepelných výměníků nebo ocelových výstelek. Ke korozním poškození (otvory, úbytky tloušťky stěny) dochází na vnitřní nebo skryté straně součástí, takže je obtížné je objevit při běžné údržbě a projeví se většinou až při kritickém poškození. V těchto případech se nejvíce uplatňuje aktivní termografie, kdy při vhodném buzení (např. pomocí halogenových lamp) lze indikovat úbytek tloušťky materiálu bez zásahu do funkce zařízení. Velkou výhodou termografického testování je v tomto případě zejména bezkontaktnost, rychlost a plošná podstata, která umožňuje inspekci větších ploch a nabízí podklady k detailnější lokální inspekci objevených indikací, např. pomocí ultrazvukových metod. Podobné techniky aktivní termografie se pak využívají k inspekci tloušťky nebo úbytku tloušťky funkčních povlaků [5] případně jejich provozního poškození.

Významnou aplikací, kde jsou možnosti uplatnění termografické analýzy, je inspekce a diagnostika cyklicky namáhaných součástí. Ty se v průběhu provozu mohou poškodit buď únavovým mechanismem nebo vlivem materiálových příčin (ztráta mechanických vlastností, vznik a rozvoj trhlin v důsledku mechanického a tepelného namáhání apod.). Z tohoto důvodu je častý požadavek na provedení ověření vlastností materiálů nebo diagnostiku procesů při cyklickém namáhání. Termografická metoda může být použita pro zjišťování únavových vlastností materiálů [6], včetně např. vzorků s povlaky, při testech podobných klasickému únavovému testování. Ačkoliv metoda není normována a pro daný okruh úloh je tedy potřebné ověření výsledků standardními postupy, výhodou je zejména významně kratší čas experimentů a menší počet potřebných vzorků, tedy i zásadní snížení nákladů. Do kategorie technologických zkoušek pak patří inspekce procesů nebo konstrukcí při provozním nebo řízeným cyklickém namáhání [7], kdy lze pomocí termografické inspekce nalézt kritická místa nebo počátek iniciace plastického namáhání a trhlin v různých technologických testech.

Ke klasickým aplikacím s významným uplatněním termografických nástrojů v oblasti alternativních a obnovitelných zdrojů energie patří inspekce v solárních fotovoltaických technologiích. Termografická inspekce se uplatňuje od kroků vývoje a výroby solárních článků, kde se využívá pro infračervené nedestruktivní testování [8] se světelným nebo elektrickým buzením (často např. lock-in inspekce s LED buzením). Dále se uplatňuje v průběhu výroby pro kontrolu částí solárních panelů až po výstupní kontrolu, kdy se v zábleskových komorách testuje výkon a provádí inspekce celých panelů. V neposlední řadě se pak termografická inspekce využívá při

provozní kontrole již instalovaných panelů, kde slouží k odhalení vadných částí nebo příčin jinými metodami indikovaných problémů. V moderních solárních technologiích se pak objevuje možnost uplatnění termografické inspekce v oblasti kontroly součástí solárních koncetrátorových elektráren, např. při analýze rozložení teplotních polí pro optimalizaci, monitoring nebo řízení tepelných procesů nebo jako kontrola kvality pro inspekci homogenity tloušťky funkčních povlaků komponent těchto elektráren.

Shrnutí a závěr

Příspěvek přináší přehled aplikací termografické diagnostiky a inspekce v energetickém průmyslu. Uvedené aplikace z oblasti klasické (diagnostika rotačních součástí, identifikace korozního poškození, inspekce cyklicky namáhaných součástí) i obnovitelné energetiky (inspekce v solárních technologiích) ukazují široké možnosti uplatnění, kde se využívá hlavních výhod termografie, jako jsou bezkontaktní a nedestruktivní charakter inspekce, rychlost, možnost vzdálené inspekce a možnost inspekce rotujících nebo pohyblivých částí. V příspěvku nejsou jmenovány některé další aplikace, které se nezabývají přímo termografickou diagnostikou na součástech energetických zařízení, ale zcela jistě do této oblasti také patří. Jedná se např. o využití vysoko-emisivních barev pro úpravy teplosměnných ploch výměníků (a dalších zařízení) s cílem zvýšení optických radiačních vlastností, měření radiačních vlastností (emisivita, propustnost, odrazivost) materiálů využívajících se v energetických zařízeních nebo termodiagnostika při výrobě a zpracování komponent pro energetická zařízení.

Některé z uvedených aplikací jsou dlouhodobě prověřené a detailně popsané v odborných publikacích nebo existujících standardech. Lze však předpokládat, že s rozvojem termografické techniky a metod inspekce najde termografie uplatnění i v nových, moderních a dynamicky se rozvíjejících oblastech energetického průmyslu.

Poděkování

Práce vznikla za podpory projektu "LABIR-PAV / Předaplikační výzkum infračervených technologií" reg. č.: CZ.02.1.01/0.0/0.0/18_069/0010018 financovaného z EFRR.

Literatura

[1] MEOLA, C., ed. *Infrared Thermography Recent Advances and Future Trends,* Bentham Science Publishers, 2012, https://doi.org/10.2174/9781608051434112010 1

[2] MALDAGUE, X.P.V. *Nondestructive Evaluation of Materials by Infrared Thermography*, Springer London, 1993. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-1995-1

[3] USAMENTIAGA, R., VENEGAS, P., GUEREDIAGA, J., VEGA, L., MOLLEDA, J., BULNES, F.G. Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing, *Sensors*. 2014, vol. 14, issue 7, pp. 12305-12348. https://doi.org/10.3390/s140712305

[4] CHULKOV, A.O., VAVILOV, V.P. Comparing thermal stimulation techniques in infrared thermographic inspection of corrosion in steel, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng*., 2015, vol. 81, pp. 012100. https://doi.org/10.1088/1757-899X/81/1/012100

[5] ŠVANTNER, M., MUZIKA, L., HOUDKOVÁ, Š. Quantitative inspection of coatings thickness by flash-pulse thermography and time-power transformation evaluation, *Appl. Opt.*, 2020, vol. 59, pp. E29-E35. https://doi.org/10.1364/AO.388440.

[6] TESAŘ, J., ŠVANTNER, M., SKÁLA, J., HONNEROVÁ, P., NOVÁK, M. Thermographic method for fatigue limit determination at cyclic loading - Measurement procedure overview and validation. In: *Met. 2019 - 28th Int. Conf. Metall. Mater. Conf. Proc.*, 2019.

[7] ŠVANTNER, M., SKÁLA, J., MUZIKA, L., ČÍŽEK, P. Thermographic detection of damage initiation of cyclically loaded parts. In: *QIRT 2018 - Proc. 2018 Int. Conf. Quant. InfraRed Thermogr., QIRT Council, Berlin,* 2018, pp. 953-954. https://doi.org/10.21611/qirt.2018.129.

[8] MUZIKA, L., ŠVANTNER, M., KUČERA, M. Lock-in and pulsed thermography for solar cells testing, *Appl. Opt.*, 2018, vol. 57, pp. D90-D97. https://doi.org/10.1364/AO.57.000D90