

fázisvezérelt vizsgálófejek alkalmazása, amelyeknél a plexi előtét cserélhető. Ez azt jelenti, hogy a vizsgálófejek cseréje helyett a plexi előtét cseréjére van szükség, valószínűleg nem csökken a szükséges szerelések ideje, de jelentős mértékben csökken a csatlakozóknál felépülő kontakthibák száma.

Az idei évben elkezdődik a primerkörü csővezetékek gépi ultrahangos vizsgálatához szükséges manipulátor park kiépítése, illetve a reaktor-tartály geometriai okok miatt nehezen vizsgálható 5-ös számú varratának külső vizsgálatára alkalmas mechanika kifejlesztése.

Összefoglalva a fent leírt folyamatokat, megállapíthatjuk, hogy vizsgálati területtől függően a hibakimutatás mellett egyre nagyobb szerepet kap a vizsgálatok finomítása, az érzékenység növelése. Mindez azt jelenti, hogy a gépi ultrahangos vizsgálatok egyre több területre történő kiterjesztése mellett fontos feladat a már jól működő vizsgálatok továbbfejlesztése is. Mindkét esetben kulcskérdés a megbízható elfogadási kritériumok megléte, mert csak erre az információra épülő fejlesztések lehetnek hatékonyak és az időszakos vizsgálatok ilyen szempontból hosszú vizsgálati idejét figyelembe véve elég gyorsak.

Gázturbinás erőművi egységek állapotvizsgálatának tapasztalatai

Rózsavölgyi Zsolt* – Bánki Gábor*

A hazai energiatermelő rendszerben egyre nagyobb számban jelennek meg korszerű, környezetbarát gázturbinás erőművi egységek. A jobb hatásfok elérése érdekében nemcsak a villamosenergia-termelésében vesznek részt, hanem jelentős hőszolgáltató szerepük is van. Éppen ezért a megbízhatóság, csúcserőművek esetében pedig a rendelkezésre állás, kiemelt fontosságú. Ennek biztosítása érdekében rendszeres állapotellenőrző vizsgálatra van szükség, mely több ponton eltér a hagyományos, fosszilis energiaforrású erőművekben alkalmazottól. A cikk rövid áttekintést kíván adni a gázturbinás egységek szerkezeti anyagairól, azok vizsgálatára alkalmazható roncsolásmentes, mechanikai és analitikai vizsgálatokról.

Bevezetés

Környezetvédelmi, gazdasági és megbízhatósági követelmények indokolják, hogy hazánkban egyre több gázturbinás egység üzemel, illetve több erőmű távlati fejlesztési terveiben szerepel ez a megoldás. A gázturbinás erőművek egy modernebb technológiát képviselnek a hagyományos, fosszilis tüzelésű, szubkritikus gőzparaméterekkel rendelkező energiatermelő rendszerben. Nemcsak hatásfokuk nagyobb (önálló gázturbina $\eta = 0,32-0,38\%$, kombinált gáz-gőz körfolyamattal $\eta = 50-55\%$), hanem a beépített szerkezeti anyagok, illetve alkalmazott technológiai és diagnosztikai rendszerük alapján is korszerűnek tekinthetők, szemben a magyar energiarendszer 35% körüli összhatásfokával és 100 000 üzemórát meghaladó korával.

A gázturbinás erőművi egységek kompaktnak, jellemzően típusstervek alapján épülnek. Fejlődésük folyamatos volt, azonban az utóbbi 20–25 évben ugrásszerű változásokon mentek át a beépített anyagok. A cél mindig is a hatásfok növelése volt, ez pedig a turbinába belépő gázközeg hőmérsékletének emelésével érhető el legegyszerűbben. Az alkalmazható legmagasabb hőmérsékletnek mindig a felhasznált anyagok tulajdonságai (elsősorban a hő- és korrózióállóság, valamint a tartam-szilárdság) és az alkatrészek hűtésének hatásossága szabta határt. A mai korszerű, illetve fejlesztés alatt álló gázturbinák munkaközége 1100 °C vagy e feletti hőmérsékletű, viszont az égőkamrák, illetve a turbina első fokozataiban a beépített anyag hőmérséklete nem haladhatja meg a 850–900 °C-ot huzamosabb időn keresztül. Ezért a kritikus alkatrészek (pl. a turbina első lapátsora, az égőkamrák) hűtötték és bevonattal ellátottak.

A gázturbinás erőművek jellemzően változó terhelési igények (csúcserőművek), illetve hőszolgáltatói igény (kombinált ciklusú erőmű) kielégítésére szolgálnak. Üzemeltetési technológiájuk a konvencionális gőzerőművektől eltérő, rugalmasabb üzeműek, de ebből adódóan a szerkezeti elemek nagyobb hő- és/vagy mechanikai igénybevételre szenvednek el. Ez különösen az indítás során jelent problémát, hiszen a leggyorsabban indítható gázturbinák esetében az indítás és a maximális teljesítmény elérése között kb. 30 perc telik el, és a 7. perctől kezdve

folyamatosan növekvő teljesítmény mellett üzemelhetnek. A beépített anyagok által megengedett hőfeszültség-változás sebessége határozza meg a megengedett terhelésváltoztatási sebességet.

A gázturbinák szerkezeti anyagai

Az alkalmazott szerkezeti anyagok kiválasztását az üzemeltetési paraméterek és a környező közeg állapota határozzák meg. Ebből a szempontból az égőtér és a turbina első lapátsora a kritikus helyek, hiszen ezek szenvedik el a legnagyobb hő- és mechanikai igénybevételt. A nagy hőmérsékletű gázturbinák lapátanyagaként nikkell- és kobaltbázisú szuperötvözeteket alkalmaznak. A futólapátokat általában nikkell-ötvözetből, míg az állólapátokat kobalt-ötvözetből készítik.

Az első generációs lapátanyagok kezdetben a hagyományos (polikristályos) króm-nikkel acélöntvények, majd később már nikkellbázisú ötvözetek voltak. A króm-tartalom fokozatos csökkentése mellett jelentek meg más, szilárdságnövelést előidéző ötvözők (molibdén, volfrám, nióbbium). A kúszási tulajdonságok szempontjából kulcsszerepük van a kristályhatároknak, ezért a tartam-szilárdság javítása érdekében kifejlesztették az irányított dermedésű (directionally solidified – DS), oszloposan kristályos lapátokat. További hőmérsékletnövelést tesz lehetővé az egykristályból (single crystal – SC) álló lapátok alkalmazása.

A második generációs szuperötvözetek már irányított kristályosítású, réniummal-ötvözött anyagok. Igen fontos követelmény a szilárdságnövelés mellett az oxidációs ellenállás növelése és a hőtágulási egyűthetőség csökkentése.

A fejlesztés következő lépcsőfokát a keramikus anyagok (oxide dispersion strengthened – ODS) jelentik, amelyek jelenleg kísérleti stádiumban vannak, konkrét üzemi tapasztalatok még nem állnak rendelkezésre velük kapcsolatban.

A fejlesztés másik irányát a lapátok bevonattal való ellátása és intenzív hűtése képezi. A bevonat feladata elsősorban a nagy hőmérséklettel járó korrózióval szembeni védelem biztosítása és hőszigetelő réteg létrehozása a lapát felületén. A legkorszerűbb lapáthűtési mód az ún. szívárogtató filmhűtés, amelynél a turbinalapát felületén képződő határ-réteg látja el a hővédelmet.

A berendezések legjellemzőbb károsodási formái

A beépített anyag, a konstrukció és az üzemeltetési paraméterek egymásra hatásából számos károsodási forma léphet fel a gázturbinákban.

A leggyakrabban előforduló anyagfolytonossági hiány a felületi repedés, mely gyakran anyagfáradásra vezethető vissza. A legtöbb alkatrész üzem közben váltakozó mechanikai igénybevételnek, rezgésnek és nagy hőmérsékletnek van kitéve, amelynek eredőjeként mikrorepedések, majd makroszkópos méretű hibák keletkezhetnek. Ezek elsősorban a mozgó alkatrészek (pl. kompresszor- és turbina-lapátok) vagy a tűztéri kamrák esetében veszélyesek. A tengelyen a fáradásos repedé-

*AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző Rt.

sek keletkezésének veszélyét a rendszer kiegyensúlyozottsága és egyenletes járása jelentősen csökkenti. Elsősorban az anyagválasztás, a konstrukciós kialakítás és a gyártásközi vizsgálatok biztosítják, hogy a meghibásodások kockázata minimális legyen.

A kúszás a nagy hőmérsékleten mechanikai húzófeszültséggel terhelt alkatrészek (pl. forgó lapátok) esetében fordul elő.

A forró égéstermékek áramlásának útjában többféle meghibásodás léphet fel. Létrejöhét erózió, elsősorban azokon a helyeken, ahol az áramlás irányt vált, de a füstgázok áramlási útvonalán nagy hőmérsékletű korrózió játszódhat le. Rossz minőségű olaj tüzelése esetén fennáll a kén vagy nehézfémek által okozott korrózió veszélye is.

A gyors indítás vagy forszírozott üzem esetében helyi túlhevülések, és termikus fáradás léphet fel. Ez igen durva meghibásodási forma, az alkatrész elégtelen hűtésére utal.

A gázturbinák állapotellenőrzése

Az AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző Rt. Anyagvizsgáló Üzletága több esetben vett részt állapotellenőrző vizsgálatokban, illetve végzett károsodás analízist.

A nagyobb volumenű vizsgálatokra 3–4 évenként kerül sor, elsősorban a gyártó cég, a felülvizsgálatban résztvevő szakértő cég és az üzemeltető tapasztalatai alapján. A köztes időszakban csak kisebb felülvizsgálatokra kerül sor, amelyek csak a legfontosabb alkatrészek ellenőrzését fedik le, szemben a nagy terjedelmű állapotellenőrzéssel, amely gyakorlatilag a gázturбина teljes szétszerelésével jár, és az összes berendezésre kiterjed.

A felülvizsgálat során jellemzően vizuális, videoendoszkópos és folyadékbehatolós vizsgálatokat kell végrehajtani, de a kritikusnak ítélt berendezések esetében ez kiegészül örvényáramos, ultrahangos, illetve mágnesezhető poros repedésvizsgálattal az előírások, az alkatrész vagy a tapasztalt korábbi meghibásodások függvényében. A vizsgálatok folytonossági hiányok, repedések, erózió, oxidáció vagy lerakódások kimutatására irányulnak, nemcsak a berendezések, hanem a hegesztési varratok felületén is.

A szemrevételezés a leggyakrabban használt eljárás, és általában a berendezések teljes külső és belső felületének és a varratok 100%-ára terjed ki. A nehezen elérhető vagy zárt helyeken a videoendoszkóp használata kerül előtérbe. A módszer elsősorban vizuális információt ad, de a korszerű berendezések már színes és mérethelyes képet adnak, segítségével a jellemző geometriai méretek is megadhatók. Szükség esetén manipulátorral kiegészítve lehetőség nyílik a lerakódásokból vagy korróziós termékekből mintát venni a további analízis céljára, illetve idegen tárgyak is eltávolíthatók az adott helyről.

A folyadékbehatolós anyagvizsgálatot a kritikus helyeken vagy a hegesztési varratokon 100%, míg egyéb, kevésbé frekvenciált helyeken 10–20% terjedelemben végzünk. Ezt a gyártó cég, a szakértő és az üzemeltető határozza meg. A vizuális és folyadékbehatolós anyagvizsgálattal feltárt eredmények dokumentálására a fényképfelvételek készítése a legjobb módszer, vagy pedig a befoglaló hibaméretek megadásával készített jellegrajzok és vázlatok.

A gőzturbinák vizsgálatára széles körben használt mágnesezhető poros repedésvizsgálat és ultrahangos anyagvizsgálat több esetben nem végezhető el, illetve alkalmazását számos körülmény nehezíti. A rendszer több berendezése nem mágnesezhető anyagból készül, vagy keramikus bevonattal rendelkezik. Az első sorú turbinalapátok vizsgálatát tovább nehezítik a belső – hűtőlevegő eloszlására szolgáló – furatok és csatornák, illetve a porózusabb külső felület.

A fluoreszkáló mágnesezhető poros repedésvizsgálat, illetve az örvényáramos technika elsősorban a kisméretű fáradásos repedések kimutatására használatos a kompresszor és a bevonat nélküli turbinalapátokon, valamint a nagy mechanikai feszültségi szinten üzemelő alkatrészekben.

Az ultrahangos eljárások közül a falvastagság mérés végezhető el a gázelosztó csővezeték-rendszer kritikus helyein és ívein. Ezek a vezetékeken elengedhetetlen a varratok ultrahangos vizsgálata is. A többi helyen található varratok vizsgálati terjedelmét és az alkalmazható

módszereket a csővezeték átmérője, a varrat vastagsága, az anyagminőségek és a várhatóan előforduló hiba típusa, mérete határozza meg a berendezés meghibásodási kockázatának függvényében.

A gázturbinához kapcsolódó hőhasznosító kazán, gőzturбина és hőcserélők vizsgálata hasonló a gőzerőművekben megszokotthoz. A vizuális vizsgálat itt kiegészülhet geometriai méretellenőrzéssel, a gyűjtőkamrákon és főgőzvezetéken feltágulás méréssel, a hegesztési varratok keménységmérésével, illetve helyszíni szövetszerkezeti vizsgálattal. A gőzcsövek falvastagság mérése, varratok vizsgálata, valamint a turbinaöntvények (szelepházak, turbinaház) roncsolásmentes vizsgálata szintén fontos információkat ad a rendszer aktuális állapotáról.

Amennyiben anyagfolytonossági hiányokat tár fel a vizsgálat, azokat a gyártó és/vagy szakértő cég értékeli. A hibák egyik csoportja nem javítható, ebben az esetben a hibás alkatrész cseréje szükséges. Amennyiben nem szorul cserére az alkatrész, úgy a hibát vagy kijavítható, vagy nem, de ez utóbbi esetben fokozott figyelemmel kell eljárni a további üzemeltetés és későbbi felülvizsgálatok során. A gyártó cég által adott üzemeltetési, karbantartási utasítások és tapasztalatok alapján egy-egy berendezésre általában meghatározottak a megengedett hibatípusok, azok elhelyezkedése, eloszlása és határértéke, mely alapján a minősítés elvégezhető.

A laboratóriumi vizsgálatok elsősorban a feltárt hibák és elváltozások további analizésére, a hibát kiváltó okok elemzésére használhatók fel. A lerakódások, korróziós termékek analitikai, röntgen-diffrakciós és elektronmikroszkópos energiadiszipatív röntgenanalízise (EDS), valamint a feltárt repedések mikroszkópos elemzése a legfontosabb vizsgálati módszerek, amelyek széles körben alkalmazhatók. A helyszíni szövetszerkezeti elemzés (replika technika) a nagyméretű vagy még javítható hibákat tartalmazó alkatrészekben hajtható végre, tulajdonképpen roncsolás nélkül.

A kombinált ciklusú gázturbinás erőmű esetében a maradék élettartam meghatározása a gázturбина mozgó turbinalapátain, míg a gőzturбина gőzvezetékein, alkatrészein és házán hajtható végre, elsősorban a kúszási igénybevételnek kitért alkatrészekben. A maradék élettartam meghatározásához a kúszás- és fáradásos vizsgálatok használhatók fel. A gázturbinák esetében fokozottan érvényes, hogy a karbantartások terjedelme, az elvégzendő vizsgálatok és a mindenképpen cserére szoruló alkatrészek összefüggésben vannak az üzemórával és az indítási számmal.

Összefoglalás

Az AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző Rt. Anyagvizsgáló Üzletága több esetben vett részt állapotellenőrző vizsgálatokban, illetve végzett hibaok analízist.

A gázturbinás erőműi egységek felülvizsgálata több ponton eltér a hagyományos gőzerőművekben megszokottól. A vizsgálati terv a legtöbb esetben a gyártó cég által meghatározott karbantartási utasítások és javaslatok szerint kerül meghatározásra, a vizsgálatokban részt vesznek maguk a gyártó cég szakemberei és szükség esetén egyéb külső szakértő cégek is. Magát az anyagvizsgálatot végző szakemberek feladata elsősorban a hibakeresés és az elváltozások feltárása, valamint a minősítést és a döntéshozatalt elősegítő információk összegyűjtése, átadása. A gyártó minden esetben fenntartja magának a jogot a feltárt állapot minősítésére, a további felülvizsgálati teendők meghatározására, ezzel együtt a felelősségvállalásra.

Az erőműi gázturbinák nagyobb felülvizsgálatra 3–4 évenként kerül sor, a köztes időszakban csak kisebb, a kritikus alkatrészekre kiterjedő vizsgálatokat végeznek. A gőzturbinák vizsgálatához széles körben használt eljárások közül több nem, illetve csak bizonyos korlátok mellett használható.

A gázturbinás egységek felülvizsgálatára és állapotellenőrzéséhez a rendszeres időközönként végzett diagnosztikai jellegű vizsgálatok adnak információkat. Roncsolásmentes, mechanikai és analitikai vizsgálatok széles köre alkalmazható hibakeresésre és a meghibásodást kiváltó okok elemzésére. Az alkalmazott vizsgálati technológiát minden esetben a berendezés és a várható hiba alapján kell kiválasztani.