

Egyedi csepperóziós eszköz kialakítása ASTM G73-10 szabványos mérések kivitelezéséhez

Unique designed drop erosion device for ASTM G73-10 standard measurements

TAKÁCS Richárd¹, DR. ZSOLDOS Ibolya², KISS Norbert, DOBOS Balázs

1, Széchenyi István Egyetem, Járműhajtás Technológia Tanszék, 9026 Győr, Egyetem tér 1., takacs.richard@ga.sze.hu

2, Széchenyi István Egyetem, Anyagtudományi és Technológia Tanszék, 9026 Győr, Egyetem tér 1., zsoldos@sze.hu

Abstract

The erosion of solid bodies by impact with water droplets is a deeply studied phenomenon. Its industrial application first appeared in steam turbines and has now been extended to many engineering fields. One of the most recent areas of investigation is turbocharger blades in internal combustion engines, which can suffer significant erosion by high velocity collisions with water droplets condensed in the recirculated exhaust gas.

To test this phenomenon under standardised conditions, the so-called ASTM-G73-10 standard has been developed over the years, which gives a detailed description of the most important aspects of the evaluation, from solid surface preparation to water droplet parameters. Several researchers have also developed specific equipment which, to a greater or lesser extent, meets the requirements of this standard. This document describes a similar, but different in several details, apparatus that meets all the criteria of this standard. The use of this apparatus makes it possible to test a wide range of specimens of any material quality.

Keywords: erosion, droplet collision, ASTM-G73-10, turbocharger, material properties

Kivonat

A szilárd testek vízcseppekkel való ütközés általi eróziója egy régóta kutatott jelenség. Ennek ipari vonatkozása először a gőzturbinákon jelent meg, napjainkra pedig már számos mérnöki területre kiterjedt. Az egyik legújabb vizsgálati terület a belsőégésű motorok turbófeltöltőjének sűrítő lapátjai, melyek a visszavezetett kipufogógázban lekondenzálódott vízcseppekkel nagy sebességű ütközést produkálnak, ezáltal jelentős mértékű eróziót szenvedhetnek el.

Ezen jelenség szabványos körülmények között történő vizsgálatára az évek során az úgynevezett ASTM-G73-10 szabvány került kidolgozásra, amely részletes leírást ad a szilárd test felületének előkészítésétől a vízcsepp paraméterein át a kiértékelés legfontosabb aspektusaiig. Több kutató is létrehozott egyedi berendezéseket, amelyek kisebb vagy nagyobb mértékben, de megfelelnek ezen szabvány előírásainak. Ezen dokumentumban egy hasonló, ám több részletében is eltérő berendezés kerül ismertetésre, amely minden, az említett szabványnak megfelelő kritériumot teljesít. A berendezés használatának segítségével bármely anyagminőségű próbatest széles paraméterskálán történő vizsgálata válik lehetővé.

Kulcsszavak: erózió, vízcsepp ütközés, ASTM-G73-10, turbófeltöltő, anyagminőség

1. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A szilárd testek vízcseppekkel való ütközése során kialakuló erózióját Worthington [1] már az 1870-es években vizsgálta. Kísérleteinek célja az ütközés vizuális megjelenítése volt, amely később lehetővé tette a jelenség mechanikai leírásának fejlesztését. Később a gőzturbinák elterjedésénél szélesedett ki az ezzel foglalkozó kutatási ágazat, mivel az utolsó lapátfokozatokon megjelenő jelentős mértékű erózió a gépcsoport tönkremenetelének kockázatát idézte elő, valamint jelentős mértékű hatásfokcsökkenés is tapasztalható volt az energiatermelésben [2,3].

Napjainkban már számos műszaki területen jelent kihívást ezen jelenség minél pontosabb leírása, valamint az erózióval szembeni védekezés. Szélturbinák és repülőgépek esetében az esőcseppek nagy

sebességű ütközése különböző bevonatolási és anyagválasztási technikákat hozott létre [4,5]. A turbinával is ellátott tüzelőanyag-cellák esetében a sűrítő után jelenlévő, akár jelentős abszolút páratartalommal rendelkező gőz a turbinán expandálva bizonyos munkapontokon elérheti a telítési gőznyomás állapotát, így az létrejött folyadék kondenzátum pedig nagy sebességű ütközést produkál a turbina lapátokkal, vagy az ezek előtt elhelyezett állító mechanizmussal (VTG) [6]. Turbófeltöltők esetében ez egyre gyakrabban alkalmazott alacsony nyomású kipufogógáz-visszavezetés bizonyos munkapontokon olyan állapotot idézhet elő, amelyben a relatív magas hőmérsékletű, vízgőzben dús kipufogógáz a beérkező friss levegővel keveredve folyadékkondenzációt eredményezhet. Az így létrejött folyadékcseppek nagy sebességgel ütköznek a jellemzően alumínium ötvözetből készült sűrítőkerékkel, jelentős mértékű eróziót előidézve ezzel [7]. Karstadt kutatásában [8] kimutatta, hogy ezen erózió mértéke már alacsony futásteljesítmény esetén is veszélyeztetheti a teljes rotorszerkezet stabilitását, valamint jelentős mértékű izentrópikus hatásfokcsökkenés is létrejöhet.

A szóban forgó jelenséget további számos kutató vizsgálta, így napjainkra már precíz elméletek és matematikai modellek állnak rendelkezésünkre. A további vizsgálatok kivitelezésére és azok összehasonlíthatóságának érdekében meghatározásra került az ASTM-G73 szabvány, amelynek legújabb kiadása az ASTM-G73-10 [9]. A szabvány előírja a szilárd testtel való folyadékcsepp ütköztetés paramétereit és geometriai kritériumait, valamint előírja a szilárd test felületének előkészítési követelményeit, valamint a szükséges anyagszerkezeti, anyagtulajdonsági vizsgálatok elvégzését.

A következő fejezetben bemutatott egyedi vizsgálóberendezés az ezen szabványnak való megfelelés szemléletében épül, így alkalmas az abban leírt kritériumok nagy pontosságú és minden paraméterére kiterjedő vizsgálatára.

2. EGYEDI, SZABVÁNYOS (ASTM-G73-10) CSEPPERÓZIÓS BERENDEZÉS BEMUTATÁSA

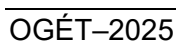
A valódi gépszerkezeteken végbemenő eróziós folyamat reprodukálása egy rendkívül költséges és időigényes folyamatot képezne. Egy egyedi vizsgálóberendezéssel azonban mindezek jelentősen csökkenthetők. Ennek feltétele, hogy azonos ütközési paramétereket hozzunk létre, valamint azonos anyagminőségű próbatesteket alkalmazzunk.

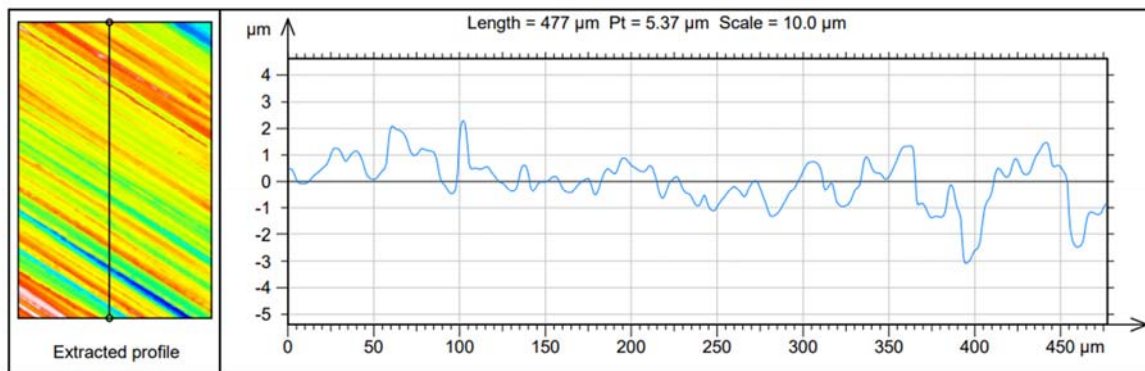
2.1 Az ütközés fizikai paramétereinek létrehozása

a, Az erózió kialakulásának mértéke elsősorban a vízcseppek és a szilárd felület relatív sebességkülönbségétől függ. XY kutatásában kimutatta, hogy ezen paraméter növelése az erózió mértékének XY hatványával arányos és az alábbi képlet szerint számítható:

$$v_{\bar{u}} = \sqrt{v_k^2 + v_{csepp}^2 - 2v_k v_{csepp} \cos(\alpha)}$$

A forgó mozgást végző szilárd próbatestek eróziós sávjában mért kerületi sebesség (v_k) egy sűrített levegővel meghajtott rotorszerkezet által került beállításra. A fordulatszám mérését egy Hall-jeladó végzi, amelynek kimeneti jelét egy PID szabályzó dolgozza fel, beállítva ezzel a szükséges sűrített levegő tömegáramot. Az ütköző vízcseppek sebességének beállítása szintén egy sűrített levegős forrás, valamint egy folyamatosan feltöltött hidrofor tartály alkalmazásával történik. Ez utóbbi elem lehetővé teszi az állandó nyomásérték fenntartását, amely nem csupán a számításoknak való megfelelés, de a következő alfejezetben bemutatott részecske generátor helyes működésének szempontjából is rendkívül fontos. Alapesetben a vízcseppek vertikálisan csapódnak be a szilárd test felületére, azonban ütközés szögét a forgó tárcsán jelenlévő geometriával tetszés szerint befolyásolhatjuk. Hattori kutatásában [10] kimutatta, hogy a legnagyobb mértékű erózió a vertikális becsapódás esetén jön létre, ahogyan azt az (1) formula is leírja. Az ettől való ütközési szögeltérés jelentős mértékben kisebb eróziót eredményez.





3. ábra: Felületi érdességprofil mérése

3. KONKLÚZIÓ

A bemutatott egyedi vízeróziós berendezés használatával lehetővé vált az ASTM-G73-10 szabványnak megfelelő, szilárd testek vízütés általi eróziójának széleskörű vizsgálata. A berendezés nagy pontossággal képes az ütközés sebességének beállítására, a vízcseppek azonos méretű és azonos ütközési frekvenciájú kialakítására. A dolgozat továbbá bemutatta az erózió szempontjából fontos anyagtulajdonságok, úgy, mint a felületi érdesség, valamint a keménységi érték meghatározásának egy-egy szabványos módját alumínium anyagminőségek esetére.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„A Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-24-... kódszámú EGYETEMI KUTATÓI ÖSZTÖNDÍJ PROGRAMJÁNAK a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.”

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Worthington A.M. *On the forms assumed by drops of liquids falling vertically on a horizontal plate*. Proc. Roy. Soc., 1877, 25, 261-279
- [2] Ahmad M., Casey M., Sürken N. *Experimental assessment of droplet impact erosion resistance of steam turbine blade materials*. Wear, 2009, 267, 1605-1618
- [3] Hesketh J.A., Walker P.J. *Effects of wetness in steam turbines*. Proceeding of International Mechanical Engineering, 2005, 219, 1301-1314
- [4] Tobin E.F., Young T.M., Raps D., Rohr O. *Comparison of liquid impingement results from whirling arm water-jet rain erosion test facilities*. Wear, 2011, 271, 2625-2631
- [5] Dashtkar A., Hadavinia H., Sahinkaya M.N., Williams N.A., Vahid S., Ismail F., Turner M. *Rain erosion-resistant coatings for wind turbine blades: A review*. Polymers and Polymer Composites, 2019, 1-33
- [6] Wittmann T., Lück S., Bode C., Friedrichs J. *Investigation of water droplet erosion in the radial turbine of a fuel cell turbocharger*. Proceeding of Global Power and Propulsion Society, 2021, 72
- [7] Serrano J.R., Piqueras P., Navarro R., Tari D., Meano C.M. *Development and verification of an in-flow water condensation model for 3D-CFD simulations of humid air streams mixing*. Computers and fluids, 2018, 167, 158-165
- [8] Karstadt S., Werner J., Münz S., Aymanns R.: *Effect of water droplets caused by low pressure EGR on spinning compressor wheels*. 19th Supercharging Conference, Dresden, 2014
- [9] ASTM-G73-10
- [10] Hattori S., Kakuchini M. *Effect of impact angle on liquid droplet impingement erosion*. Wear, 2013, 298, 1-7
- [11] Di J., Wang S., Yan X., Cai L., Xie Y. *Experimental investigation on effect of surface strengthening process and roughness on water droplet erosion behavior in turbomachinery*. Tribology International, 2021, 153
- [12] Kirols H.S., Kevorkov D., Uihlein A., Medraj M. *The effect of initial surface roughness on water droplet erosion behaviour*. Wear, 2015, 342, 198-209