

3D LÉZERES MEGMUNKÁLÓ GÉP TERVEZÉSE, ÖTLETTŐL A KIVITELEZÉSIG

DESIGN OF A 3D LASER ABLATION MACHINE, FROM IDEA TO EXECUTION

Szépligeti András, andras.szepligeti@aqq.se

ÖSSZEFOGLALÁS

A gázturbina iparban a lapátok védelmére széles körben alkalmazott kerámia bevonatok megmunkálása komoly kihívást jelent minden ipari szereplőnek. A hagyományos technológiák időigényesek és költségesek. Jelen írás bemutatja a kerámia bevonatok precíz 3D-megmunkálására alkalmas célgép tervezési folyamatát, a gép felépítését, működési elvét és képességeit.

ABSTRACT

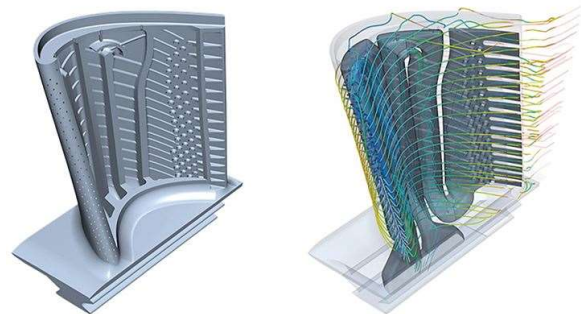
The machining of ceramic coatings, which are widely used to protect blades and vanes in the gas turbine industry, is a major challenge for all industry players. Conventional technologies are time consuming and expensive. This paper presents the design process, machine structure, operating principle and capabilities of a custom made machine suitable for precise 3D machining of ceramic coatings.

1. BEVEZETÉS

Az ipari gázturbinák a kedvezőbb hatásfok érdekében egyre magasabb hőmérsékleten üzemelnek, ezért kiemelt szerepe van a lapátok védelmének és hűtésének. A gázturbina lapátok jellemzően nikkel-bázisú szuperötvözet öntvények, melyeknek az üzem során az olvadáspontjuk feletti hőmérsékletet kell elviselniük. Ehhez folyamatos hűtésre van szükség, melyet a gázturbina kompresszorából a lapátok üregeibe vezetett friss levegővel oldanak meg. Az üregekből a levegő a lapátok hűtőfuratain keresztül a lapát felületén filmréteget alkotva távozik, így a konvektív hűtés mellett egy állandó hőszigetelő réteget is alkot, ezt szemlélteti az 1. ábra. Később járatosá vált, hogy a hőmérséklet további emelése érdekében a lapátokat hőszigetelő réteggé funkcionáló kerámia réteggel látták el, ahogy azt a 2. ábra mutatja.

A hűtőfuratokat az öntvényben jellemzően szikraforgácsolással munkálják meg, a hőszigetelő réteggé felvitt kerámia (YSZ)

bevonat viszont elektromosan szigetel, ezért ez a technológia nem alkalmazható. A furatozás előtt a bevonatot meg kell nyitni, az áramlási viszonyok megtartásával.



1. ábra. A Siemens honlapján található kép jól mutatja a lapát belső üregeit és a hűtőfuratok szerepét



2. ábra. Kerámia bevonattal ellátott forgó gázturbina lapát a General Electric honlapjáról

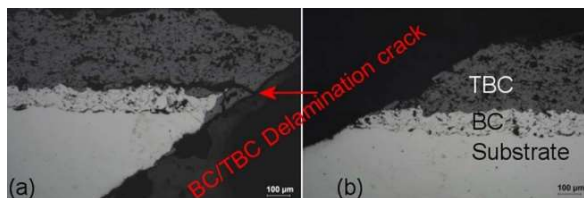
A kis átmérőjű (~0,5-1,5 mm) és a lapát felületével 20-30°-os szöget bezáró furatokat és néhány mm-es jellemző méretű diffúzor formákat pl. marással csak időigényesen és óriási szerszámköltséggel lehet megmunkálni. A kerámia bevonat nagyon kemény, rideg és könnyen sérül, ami minőségi problémát jelent. Ráadásul a bázis anyag teljesen más tulajdonságokkal bír, így a megmunkáláshoz szükséges 0,8-1 mm átmérőjű marószerszámot extra igénybevétel éri a két anyag találkozásánál.

2. TERVEZÉS ELŐZMÉNYEI

Az AQ Anton Kft. az öntvény lapátok furatozását közel 20 éve végzi saját építésű furat szikraforgácsoló gépein. A kerámia bevonat megmunkálása a kezdetben alkalmazott marással nem bizonyult gazdaságosnak, ezért terelődött figyelmünk a folyamatosan fejlődő lézertechnológia felé. A piacon található kevés számú lézeres célgép erre a feladatra nagyon drágának és lassúnak bizonyult, ezért született döntés saját fejlesztésű gép építéséről.

A géptervezést hosszú kutatómunka és sok lézeres céggel lefolytatott teszt előzte meg. A technológiával szembeni elvárás, hogy a kerámia ne égjen, ne olvadjon meg a leválasztás során, kellően nagy leválasztási ráta mellett. Fontos továbbá, hogy az eltávolított kerámia réteg alatt a bázis anyag se károsuljon.

A gázturbina iparban az erre a célra általánosan használt lézer technológiák nagy hő bevitellel dolgoznak, amelyek alkalmazása a nagyon eltérő hővezetési tényezővel rendelkező kerámia rétegek és bázis anyag között repedések kialakulásához vezethet. Ez a kerámia réteg leválását okozhatja [1], [2]. Ez a turbina üzemelése során a lapát gyors elhasználódásához vezet így jelentős minőségi kockázatot jelent.



3. ábra. Mikroszkopikus kép mutatja a leváláshoz vezető repedést a kötő réteg és kerámia bevonat között egy lézerral készített furat esetén [2]

A különböző lézeres cégeknél végzett tesztek kiértékelése után sikerült olyan új lézer technológiát találni, amely alkalmasnak bizonyult a megfelelő minőségben és sebességgel a gázturbina iparban használt bevonatok megmunkálására. A választott lézertechnológia nagyon hatékony a kerámia megmunkálásra, a fémes felületekre viszont elhanyagolható a hatása. Így biztosított a gázturbina –és repülőipar által szabott szigorú minőségi követelményeknek való megfelelés, a lézer ugyanis nem olvasztja, meg és nem képez repedéseket a bázis anyagban.

A tesztek után készített metszeteken nem látható repedés a kerámia bevonatban sem a

rétegek között, ami kiemelten fontos a technológia minősítésében, ahogy az a 4. ábrán látható.



4. ábra. Az AQ Anton által épített gép lézeres kerámia megmunkálása után készített metszet nem mutat leváláshoz vezető repedést

Fontos kiemelni, hogy a bázis anyagban, azaz az öntvényben a furatok továbbra is szikraforgácsolással készülnek, a lézertechnológia a kerámia megmunkálására korlátozódik.

3. GÉPTERVEZÉS, GÉP FELÉPÍTÉSE

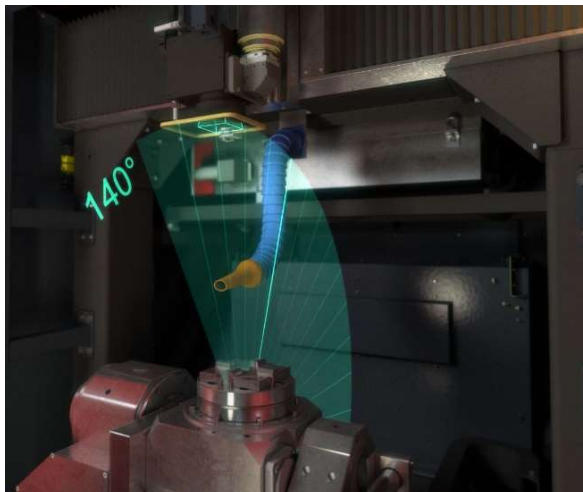
A gép tervezésének alapját az AQ Antonnál már hosszú ideje termelő 5-tengelyes furat szikraforgácsoló gépek adták. A gyártási folyamat szerint a bevonatos lapátok diffúzor és furat formái először a lézergépen kerülnek bontásra, ezután kerülnek a szikraforgácsoló gépekre. A kibontásoknál hozzáférhető öntvénybe kerülnek a furatok szikraforgácsolással. Ehhez fontos, hogy a két gép geometriája hasonló legyen, ezzel segítve a megfelelő pozícióra járást és az azonos készülék használhatóságát.

A lézeres megmunkáló gép fő mechanikai kialakításánál tehát kézenfekvő volt a szikraforgácsoló gép felépítését alapul venni illetve áttervezni. Természetesen a két technológia nagyon eltérő, ezért a gépvázon kívül szinte minden megváltozott.

A tervezett gép portál elrendezésű, 3+2 mechanikus és további két optikai tengellyel. A termék a billenést és forgatást végző körasztalra kerül rögzítésre, mely a gép alapjára épített vízszintes (X) tengellyel együtt mozog. Erre merőlegesen mozog a gerendán az Y-szán, azon pedig a függőlegesen mozgó Z-szán. A tengelyek a termék pozicionálását végzik, az egyes formák megmunkálása során a függőleges tengely kivételével nem mozognak.

A Z-szán aljára rögzített scanner-fej végzi a beérkező lézersugár munkadarab felületére irányítását a megfelelő pozícióban, a beépített

két kis tükör segítségével, melyeket nagy gyorsulású motorok mozgatnak.



5. ábra. A lézeres megmunkáló gép felépítése: az X-tengellyel együtt mozog a körasztal, a gerendán vízszintesen az Y-tengely, függőlegesen Z-tengely, vele együtt a lézersugarat irányító scanner-fej

A scanner-ig a lézersugár 5 darab 90°-os kitérítést biztosító tükör segítségével jut el. Nagy kihívást jelentett, hogy az utolsó kettő már az Y és Z tengelyekkel együtt mozog. Minden egyes tükör két irányban mozdíthatóan lett tervezve, valamint magukat a tükröket is lehet dönteni. Ez azért fontos, mert a lézer sugarat úgy kell vezetni, hogy mindig a következő tükör illetve végül a scanner közepébe érkezzen, ellenkező esetben veszteség lép fel és az így fellépő hőterhelés miatt károk is keletkezhetnek. A sugár folyamatos védelme is fontos, ezért végig zárt csövekben és harmonikákban halad, záró levegő alkalmazása mellett.

Minden mechanikus tengely hajtása szervó motorral valósul meg, a lineáris tengelyeket golyós-orsós rendszer mozgatja, a körasztalt csigahajtás működteti.

4. A GÉP MŰKÖDÉSE

A scanner optikájából kilépő sugár egy állandó távolságú pontban fókuszált, itt alkalmas a kerámia bontására. A két tükör folyamatosan nagy sebességgel mozgatja a fókuszált lézer sugarat a termék felületén a beolvasott CNC kód alapján, rétegenként eltávolítva a kerámia bevonatot tetszőleges (alámetszés nélküli) 3D formát kialakítva.

A leválasztott finom por folyamatos elszívása biztosított. A gép alkalmas a termékek bemérésére az integrált mérőfej segítségével. A gép burkolata úgy lett kialakítva, hogy a lézertény ne juthasson ki. A megmunkálás lézervédelmi ablakokon keresztül illetve a munkatérbe helyezett kamera segítségével követhető. A gép ajtajának tervezésénél fontos szempont volt, hogy a nehéz termékek daruval is behelyezhetőek legyenek. Teljesen automatikusan üzemel, az operátor feladata csupán a termékek rögzítése és megfelelő programok futtatása.

A választott technológia és a gép felépítése a bemutatott feladatra igazoltan bevált, jelenleg kettő gép üzemel három műszakban. A gépeket az AQ Anton Kft. kizárólag saját munkára építette, nem kerülnek értékesítésre.

6. IRODALOM

- [1] J. Kamalua, P. Byrdb, A. Pitmana: Variable angle laser drilling of thermal barrier coated nimonic
- [2] H. K. Sezer, L. Li, S. Leigh: Twin gas jet-assisted laser drilling through thermal barrier-coated nickel alloy substrates

CONTENTS

| | |
|--|--|
| <i>1. Babicsné Horváth Mária, Bór Dorina, Balla Bianka, Hercegi Károly: COLLECTION AND CATEGORISATION OF ERGONOMIC RISK ASSESSMENT METHODS 5</i> | <i>6. Oláh Zoltán, Gaják Gellért: DEVELOPMENT OF ALUMINUM DIE-CASTING TECHNOLOGY TO INCREASE TOOL LIFE 31</i> |
| <i>2. Dr. Borbás Lajos, Temesi Tamás, Dr. Csiszér Tamás: LASER JOINING OF STRUCTURAL STEEL AND FIBER-REINFORCED POLYMER 15</i> | <i>7. Pekárik János: DEVELOPMENT OF A ROBOTIC AUTOMATED PRESS BRAKE CELL AT PMT MACHINE TRADING AND SERVICING LTD. 35</i> |
| <i>3. Kimpán Gergő, Dr. Gróza Márton: STRENGTH ASSESSMENT OF RAILWAY BOGIE FRAME WITH FINITE ELEMENT METHOD AND EXAMINATION WITH STRAIN GAUGE MEASUREMENT 19</i> | <i>8. Seregi Bálint Leon, Ficzer Péter: COMPARISON OF ADDITIVE AND SUBTRACTIVE MANUFACTURING PROCESSES WITH A COMPUTATIONAL MODEL 39</i> |
| <i>4. Lévai Emese, Dr. Ficzer Péter: INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DRIVETRAIN REPLACEMENT USING CFD SIMULATIONS 23</i> | <i>9. Szépligeti András: DESIGN OF A 3D LASER ABLATION MACHINE, FROM IDEA TO EXECUTION 45</i> |
| <i>5. Málics Marcell, Dr. Körtélyesi Gábor: AUTOMATED DESIGN OF A METAL 3D PRINTED COMPONENT 27</i> | |

GÉP

INFORMATIVE JOURNAL

for Technics, Enterprises, Investments, Sales, Research-Development, Market of the Scientific Society of
Mechanical Engineering

Dr. Döbröczöni Ádám

President of Editorial Board

Vesza József

General Editor

Dr. Jármái Károly

Dr. Péter József

Dr. Szabó Szilárd

Deputy

Dr. Barkóczi István

Bányai Zoltán

Dr. Beke János

Dr. Bukoveczky György

Dr. Czítán Gábor

Dr. Danyi József

Dr. Dudás Illés

Dr. Gáti József

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Dr. Kalmár Ferenc

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Pálincás István

Dr. Patkó Gyula

Dr. Péter László

Dr. Penninger Antal

Dr. Szabó István

Dr. Szántó Jenő

Dr. Szűcs Edit

Dr. Tímár Imre

Dr. Tóth László

Dr. Varga Emilné Dr. Szűcs Edit

Dr. Zobory István

DEAR READER,

I'm happy to announce that in September 2021 despite the pandemic the GTE Construction Division could organise the 6th Conference on the Professional Culture of Mechanical Engineering.

It is an outstanding success that more presenters and participants registered for each of our conferences than ever, and the audience was able to follow a total of 38 presentations.

The plenary session was started by Dr. Krisztina Bárdos, the Strategic Director of GTE, as she outlined the new directions of GTE, then it was followed by more intriguing presentations with revolutionary topics, applications of augmented reality and artificial intelligence in mechanical engineering.

In the following parallel meetings we could listen to lectures on the following topics:

The section lectures were held in 3 sections and 6 topics:

- 1A Value Analysis
- 1B Constuction & Technology
- 2A Speciel purpose machines
- 2B Additive manufacturing
- 3A Simulation & modeling
- 3B Measurement & testing

This edition of GÉP magazine contains written formal of nine lectures.

Based on the success of our conference, we plan to have the 7th Professional Culture of Mechanical Engineering Conference in 2022.

We thank the sponsors of our conference:

- MTA Department of Engineering Sciences, Scientific Committee on Mechanical Engineering,
- BME Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine and Product Design,
- Knorr-Bremse Rail Systems Budapest Ltd.,
- SZTAKI Computer and Automation Research Institute

Yours sincerely, on behalf of the organizing committee:

Attila Metál

Secretary of GTE Construction Division

Managing Editor: Vesza József. Editor's address: 3534 Miskolc, Szervezet utca 67.

Phone/fax: (+36-46) 379-530, (+36-30) 9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1147 Budapest, Czobor u. 68., Postal address: 1371, Bp, Pf. 433

Phone: 202-0656, Fax: 202-0252, E-mail: mail@gteportal.eu, Web: www.gteportal.eu

Web: http://www.gepujsag.hu * Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Publisher: Dr. Bárdos Krisztina, Managing Director

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Telefon: 06-46/379-530 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Distributed to subscribers by Magyar Posta Zrt, Postal address: 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered at any Hungarian post office, from postmen, from the link: www.posta.hu WEBSHOP

(https://eshop.posta.hu/storefront/), via e-mail: hirlapelofizetes@posta.hu, by phone: 06-1-767-8262, or mail to: MP Zrt. 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered from overseas and to overseas at Magyar Posta Zrt. Visit: www.posta.hu WEBSHOP (https://eshop.posta.

hu/storefront/), mail to: 1900 Budapest, 06-1-767-8262, or hirlapelofizetes@posta.hu

Domestic subscription prices are: HUF 1,260 a single copy and HUF 2,520 a double copy.

INDEX: 25 343 ISSN 0016-8572

The published articles have been reviewed.

The publication is supported by the National Cultural Fund of Hungary



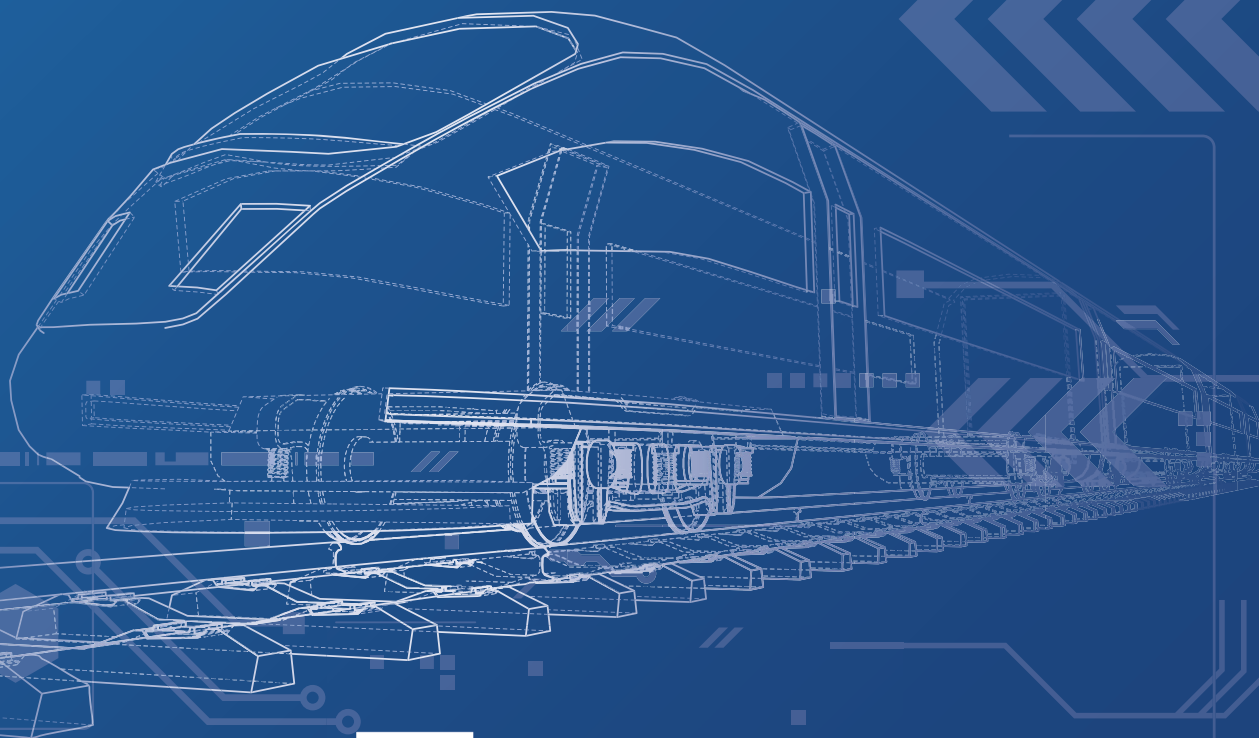
MÉRNÖKI CSÚCSTELJESÍTMÉNY MINDEN MEGÉRKEZÉS MÖGÖTT

45 SZABADALOM

DÍJNYERTES FÉKVEZÉRLŐ- ÉS FEDÉLZETI RENDSZEREK

GYÁRTÁSKÖZELI FEJLESZTÉSEK

HIGH-TECH ESZKÖZÖK



KNORR-BREMSE