

LÉZERES FELÜLETTECHNOLÓGIÁK KUTATÁSA A MECHANIKAI TECHNOLÓGIAI TANSZÉKEN

Kocsisné dr. Baán Mária¹, Rowshan Reza²

1. ABSTRACT

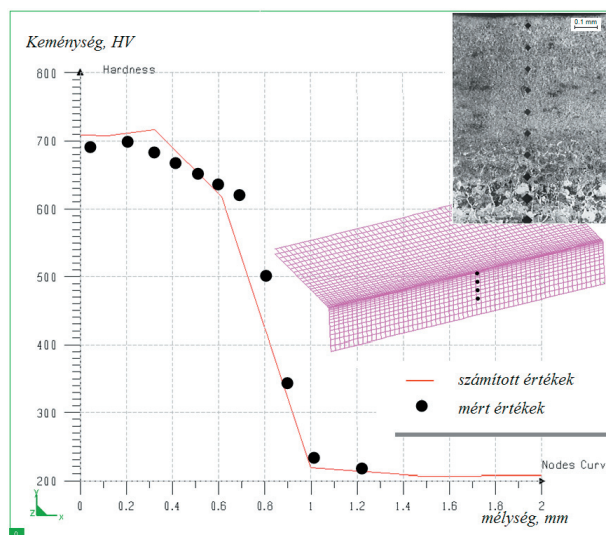
Napjaink egyik legnagyobb jelentőségű kérdése a technológia és tudástranszfer hatékonyságának növelése, s ennek révén a gazdasági versenyképesség fokozása. Cikkünk rövid áttekintést kíván adni arról, hogy egy sokoldalú, korszerű technológiai lehetőség, a lézerek ipari alkalmazása témakörében hogyan valósul meg a felsőoktatás és a kutatóintézetek együttműködése, a kutatási eredményeknek az oktatási programokba történő hatékony bevezetése, milyen sokoldalú kölcsönhatást gyakorolhat a nemzetközi együttműködés a felsőoktatás modernizációjára. A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke az elmúlt másfél évtizedben számos lézeres kutatási és tananyag-fejlesztési programban vett részt, melyek a tanszék szakterületeit szinte kivétel nélkül lefedték – vágás, hegesztés, felületkezelés – jóllehet a három szakterület lézertechnológiai kutatásai közel sem tekinthetők egyenszilárdságúnak. Összefoglalónk hangsúlyt helyez annak bemutatására, hogy e kutatások hallgatóink (köztük külföldi diákok) aktív részvételével (TDK dolgozatok diplomatervek, PhD disszertáció), és a Bay Zoltán Anyagtudományi és Technológiai Intézet (BAY-ATI) Lézertechnológiai osztályával kialakított szakmai tudományos együttműködés keretében valósultak meg.

A lézerral kapcsolatos tanszéki kutatómunkák legjelentősebb eredményeit a felülettechnológiák terén mutathatjuk fel, a felületi tulajdonságok befolyásolásának mindkét alapvető lehetőségét: a felület-módosítást és a felület-bevonást egyaránt alkalmazva. Előbbi esetben a lézeres felületedzés a láng- és indukciós edzéshez hasonlóan a felületre korlátozott austenitesítés és önedződés révén eredményez növelt élettartamot, a kifáradással szembeni növelt ellenállás és a kopásállóság fokozása következtében. A másik esetben a lézer segítségével igen változatos anyagpárosításokkal a tömbfémről eltérő anyagú új réteget vihetünk fel a szubsztrát felületére. A különböző anyagminőségeken, különböző technológiai paraméterekkel végzett kezelések eredményességét minden esetben csiszolatokon végzett mikroszkópi és mikro-keménységi vizsgálatokkal ellenőriztük.

2. LÉZERES FELÜLETEDZÉS KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA ÉS MODELLEZÉSE

A lézeres felületedzés a lejártszódó extrém folyamatok miatt napjainkig igen bonyolult és nehezen algoritmizálható mérnöki feladatot jelent. A végelesemes modellezés lehetőséget nyújt az összetett hatások kezelésére és optimálási feladatok megoldására. A SYSWELD rendszerben készült modellezés eredményeinek validálása céljából, valamint a technológiai paraméterek optimális tartományának kiválasztása és szabályozása érdekében kísérleteket végeztünk a BAY-ATI Lézertechnológiai Osztályának TRUMPF TLC 105 típusú CO₂ lézérével: a felületedzés külső hűtőközeg nélkül, valamint az abszorpciós tényező javítása érdekében a kezelést megelőzően alkalmazott grafit-felszóróással történt.

Az első kísérletsorozat egyedi nyomvonalak vizsgálatára irányult: C15-ös acélminőségre különböző teljesítmény és előtolási sebesség mellett vetettük össze a háromdimenziós termo-metallurgiai végelesemes modell hőeloszlás eredményeit a próbadarabokon mért keménységeloszlás adataival [1]. Ezt követően háromféle acélminőség lézeres edzésének (C45, C60, S100) egyedi nyomvonalait vizsgáltuk a modellezés verifikálása céljából [2]. A modellezés során a hőeloszlás metszeti és háromdimenziós ábrázolása mellett tetszőlegesen kiválasztott pontokra hőfok-idő diagramokat származtattunk, a fázisok mennyiségét és a keménységértékeket számítottuk (1. ábra).



1. ábra Számított és mért keménységértékek lézeres felületedzés nyomvonalának keresztmetszetében

¹ egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, www.met.uni-miskolc.hu, e-mail: m.kocsis.baan@uni-miskolc.hu

² Assistant Director of Laboratories, New York University Abu Dhabi (NYUAD), Egyesült Arab Emírség, e-mail: reza.rowshan@nyu.edu

A modellezés során arra is választ kerestünk, hogyan befolyásolják az eredményeket az energia eloszlás jellegére (Gauss-féle vagy kúpos eloszlás), illetve az abszorpciós együttható értékére vonatkozó becsléseink.

A lézeres felületedzés egyik alapvető problémája, hogy a nagy energiasűrűségű lézersugárral egyidejűleg csak viszonylag keskeny sávokban tudjuk felhevíteni az acélt, amely a lézersugár tovahaladását követően martensitesre edződik, a hideg belső tömeg hővezetéssel megvalósult hűtőhatásának következtében. Nagyobb kiterjedésű felületek kezelése egymás után felvitt nyomvonalak segítségével történhet, ahol az elsődleges kérdés a nyomvonalak közötti távolság, azaz az átlapolódás mértékének megválasztása. További kísérletsorozataink ennek vizsgálatára irányultak [3, 4, 5, 6], hasznosítva a korábbi, egyedi nyomvonalak vizsgálata során nyert tapasztalatokat is. A kísérletek célja az előtolási sebesség és a teljesítmény optimumának megválasztása volt különböző mértékű átlapolódás alkalmazásával, különféle acélminőségekre.

Az egymást követő nyomvonalak hőbevitelére esetén a felületedzésnél több hatásra is figyelemmel kell lenni, hiszen bizonyos zónákban így kétszeres edződés, míg más zónákban megeresztődés jelensége fordulhat elő. Egy másik tapasztalt probléma a hőtörődés jelensége, ami akár felületi megolvadáshoz is vezethet, vagy az anyagban felhalmozódott hő a nem kellő mértékű hőelvonást eredményezheti – azaz a martensit kialakulását veszélyezteti. Az átlapolódás eredményeként a megeresztés hatását mind a mikroszkópi képeken, mind a keménység-eloszlási görbéken egyértelműen észlelni lehetett.

A modellezés eredményeinek ellenőrzését célzó keménységeloszlás vizsgálati módszerét szükségesnek ítéltük alkalmasabbá tenni az inhomogén szerkezet megbízható leírására. A vizsgálattechnikai módszerek

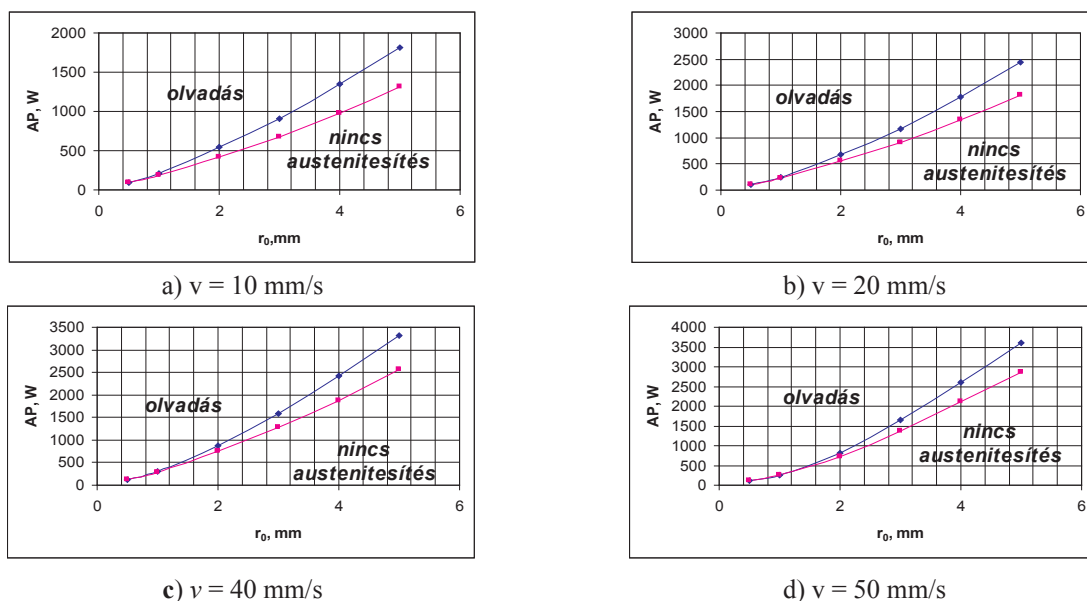
optimalizálása egy progresszív háló megalkotásával egy újabb diplomatervezési témája volt [7].

A kísérletekkel párhuzamosan egyre összetettebb problémák megoldására alkalmas szimulációs modellek kifejlesztésével folytatódott a munka egy PhD kutatás keretében [8], melynek főbb célkitűzései az alábbiak voltak:

- a szimulációk hőtani eredményeinek segítségével megfelelő kapcsolat teremtése a kimenő és a bemenő paraméterek között, továbbá a lézeres felületedzés optimális paramétertartományainak meghatározása kvázi-statisztikus állapotok esetén,
- a lézeres felületedzési folyamatok során alkalmazható új optimális szabályozási stratégia kidolgozása, amelynek lényege, hogy a bemenő lézer energiát szabályozzuk az előírt hőmérséklet intervallum elérése, vagy a munkadarab bármely pontján egy adott, állandó hőmérséklet elérése érdekében,
- a lézeres felületedzési eljárások átlapolódási jelenségeinek részletes vizsgálata, figyelembe véve a lehetséges fázisátalakulási és megeresztési folyamatokat.

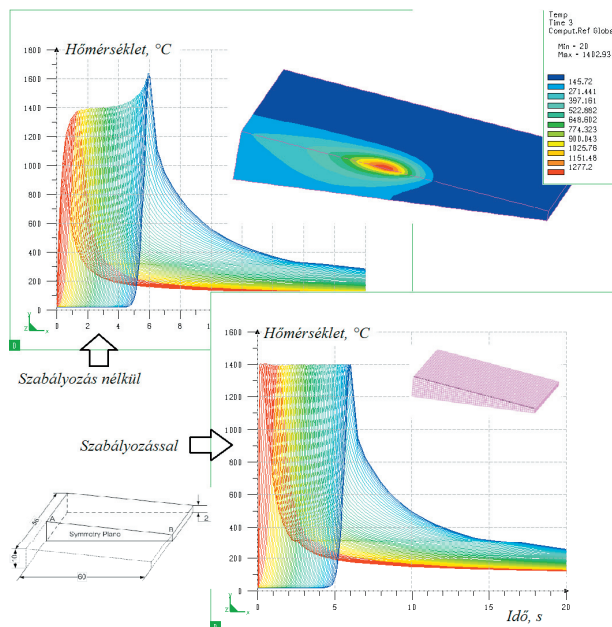
Szimulációs eljárásokkal elsőként lézeresen felületedzett egyedi nyomvonalak állandósult állapotú szakaszaira határoztuk meg az optimális paramétertartományokat (2. ábra), így bármely mélységben kiválasztott pontra az olvadás elkerülése mellett biztosítható a beedződés.

A SYSWELD VEM szoftverhez kapcsolódó Rendszer Interfész Nyelv (SIL) használatával a továbbiakban egy olyan hőmérséklet-szabályozási stratégiát dolgoztunk ki, amelynek alkalmazásával a bevitt lézereenergia úgy szabályozható, hogy akár egy állandó hőmérséklet intervallum, vagy akár egy állandó hőmérséklet biztosítható a munkadarab bármely kijelölt pontján, tekintet nélkül a folyamat állapotára és a geometria komplexitására. A



2. ábra A lézersugár rádiusza és a teljesítmény függvényében számított működési terület C45 acélok lézeres felületedzésekor, különböző előtolási sebességeknél

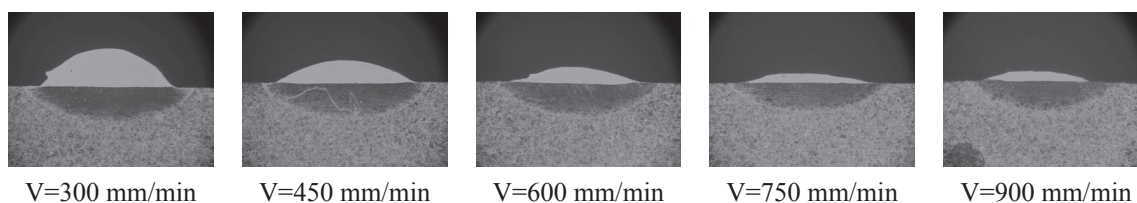
program egy tetszőlegesen kiválasztott pontra ellenőrzi, hogy a számított hőmérséklet az optimális intervallumba esik-e. Amennyiben ez nem teljesül, akkor a megadott matematikai képletek alapján a rendszer módosítja a hőáram-sűrűséget (q_0), vagyis a lézer teljesítményét, és ezt alkalmazza a következő csomópont esetében kiindulási adatként.



3. ábra A hőmérséklet szabályozási stratégia alkalmazásával az ék alakú munkadarab felületén állandó hőmérséklet biztosítható.

A bonyolult geometriájú munkadarabok, illetve átlapolódások hőfolyamatainak és fázisátalakulásainak követésével és az adatok visszacsatolásával lényegében egy virtuális szabályozási kört lehet létrehozni, melynek segítségével a kívánt mélységű és kiterjedésű, az adott lehetőségeken belül egyenletes keménységeloszlást eredményezhet a felületkezelés [9, 10].

A numerikus számításokra alapozott optimális működési paramétertartomány meghatározhatósága hozzájárulhat a lézeres felületedzési folyamatok sokkal hatékonyabb és szélesebb körű alkalmazásához. A hőmérsékletnek a teljes folyamat során történő szabályozása hatásos eszköz lehet arra, hogy elkerüljük a felület megolvadását, mialatt biztosítjuk az ausztenitesítési hőmérsékletet a munkadarab felületének kívánt mélységében.



4. ábra Az előtolási sebesség hatása a bevonat geometriájára 1,5 kW teljesítmény esetén [11].

3. LÉZERES BEVONATOLÁS - CLADDING

Amikor az alapanyag felületén egy, az adalékanyag olvadáspontját meghaladó hőmérsékletű eljárás során, hozzáadott anyag ráolvasztásával úgy hozunk létre egy új réteget, hogy az csak nagyon kis mértékben keveredjen az alapanyaggal, bevonatolásról (cladding) beszélünk. A lézeres bevonatolás lényegében a felrakó hegesztéssel rokon eljárás. E technológiához kapcsolódó első kutatási programunkban C45-ös acélon vizsgáltuk az átlapolódás nélküli, egylépéses technológiával létrehozott lézeres bevonatokat.

Próbatestenként öt különböző sebességgel (300 – 900 mm/min), azonos teljesítmény mellett felvitt bevonatokat vizsgáltunk, a kísérletet hat különböző teljesítményértéken (1,5 – 2,5 kW) megismételve térképeztük fel a kialakuló bevonati tulajdonságokat. A hozaganyag Cobázisú 45-75 μ m szemcseméretű Deloro Stellite 6 jelzésű por volt, minden próbatestnél azonos mennyiségben adagolva. Meghatároztuk a teljesítmény és az előtolási sebesség változásának hatására bekövetkező geometriai és elegyedési adatokat, kiválasztottuk a megengedett elegyedési mérték (3-6 %) elérését biztosító paraméterkombinációkat. A keménységértékek elemzése során megfigyelhető volt, hogy a bevonat alatti hőhatásövezetben nagy szilárdságú martensitesen átalakult réteg jön létre [11].

A további kutatások során X46Cr13 minőségű korrózióálló, martenzitesen edződő szubsztrátumra felvitt rétegeket vizsgáltunk. Ez esetben az előtolási sebesség állandósága mellett a teljesítményt és a por adagolás mértékét (5-11 g/min) változtattuk. A bevonatoláshoz Nd:YAG lézert alkalmaztunk, védőgázként Ar szolgált. Az eredmények alapján elmondható, hogy a bevonatok repedés- és pórusmentesek voltak, a poradagolás növelésével a keveredés mértéke csökken, így adott lézerteljesítményhez kijelölhető az a poradagolás, amely optimális keveredést biztosít [12].

4. KUTATÁSI EREDMÉNYEK BEVEZETÉSE AZ OKTATÁSBA

Tanszékünk kiemelt jelentőséget tulajdonít a kutatási eredményeknek az oktatási programokba való közvetlen beintegrálására. Egymást követő, EU pályázati támogatással megvalósult nemzetközi projektjeink keretében többnyelvű, a hőkezelés és felületkezelés témakörében fejlesztett tananyagok kidolgozásában vettünk

részt – a szakmai színvonalra az IFHTSE (International Federation of Heat Treatment and Surface Engineering) meghatározó szerepe biztosított garanciát [13, 14]. Kiemelést érdemel ezen projektek között a MinSE – European Master in Surface Engineering – ERASMUS projekt, amelynek keretében egy mester szintű, nemzetközileg elismert, akkreditált képzési program kidolgozása és tesztelése valósult meg, többnyelvű, e-learning kiegészítő elemekkel támogatott formában.



5. ábra A MinSE projekt oktatási portálja

Egy másik, befejezéshez közelítő, magyarországi projekt keretében szintén digitális tananyagelemeket fejlesztünk. A „Korszerű anyag-, nano- és gépészeti technológiákhoz kapcsolódó műszaki képzési területeken kompetencia alapú, komplex digitális tananyag modulok létrehozása és on-line hozzáférésük megvalósítása” című TÁMOP projekt egyik moduljában egy olyan interdiszciplináris ismeretanyagot összefoglaló tananyag született, amely a felhasználót először megismerteti a lézerfizika alapvető ismeretanyagával, majd arra építve a gépészetben alkalmazott technikák – diagnosztikai és gyártóberendezések – jelentős hányadát egységes szerkezetben tárgyalja.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A Mechanikai Technológiai Tanszéken az elmúlt másfél évtizedben számos kutatási program valósult meg, amely a lézer ipari alkalmazásának lehetőségeit elemezte. A BAY-ATI intézettel kialakított együttműködés keretében folytatott kísérleteken túlmenően ezeknek az összetett folyamatoknak a megismeréséhez nagyban hozzájárul a modellezés lehetősége is. Amint azt az előzőkben bemutatott kutatási programok és eredményeik is jól illusztrálják a lézer egy rendkívül sokoldalú anyagmegmunkáló eszköz, amely igen komplex műszaki szemléletmódot igényel, számos izgalmas kutatási témát tartogatva a jövő mérnökeinek.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A Szerzők ez úton is köszönetüket fejezik ki a közleményben felsorolt projektek által nyújtott támogatásért. Külön köszönetet mondunk azért, hogy egyes témakö-

rök a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával folytatódhatnak.

7. IRODALOM

- [1.] R. ROWSHAN: Laser surface treatment and it's modelling by FEM, Degree Thesis, University of Miskolc, 1998
- [2.] M. MAHMOUD HONEINEH: Modelling of Laser Surface Treatment, MsC Thesis, University of Miskolc, 1999
- [3.] SÁRKÖZI T.: Lézeres felületedzés vizsgálata, Diplomaterv, Miskolci Egyetem, 2004
- [4.] LAPIS E.: Lézeres felületedzés átlapolódó nyomvonalainak vizsgálata, Diplomaterv, Miskolci Egyetem, 2006
- [5.] Stijn Vanderbeken: Investigation of Laser Transformation Hardened Surfaces, Szakdolgozat, ERASMUS program, 2006
- [6.] ROHÁLY V.: Lézeres felületedzés átlapoló nyomvonalai közötti megeresztődés vizsgálata, Miskolci Egyetem, 2007
- [7.] KERÉKES G.: Lézersugaras technológiák ipari elterjedésének és egyes műszaki problémáinak vizsgálattechnikai elemzése, Diplomaterv, Miskolci Egyetem, 2008
- [8.] R. ROWSHAN: Process controll during laser transformation hardening, Ph.D. Thesis, University of Miskolc, 2007
- [9.] ROWSHAN R. - KOCSIS B. M.: Thermal and metallurgical modelling of laser transformation hardened steel parts, Materials Science Forum Vols. 537-538 (2007) pp. 599-606, Trans Tech Publication Ltd 2007
- [10.] ROWSHAN R.-KOCSISNÉ B. M.: Az acélok lézeres felületedzésének végeeselemes modellezése, Gép, LVIII. Évfolyam. 2007. p. 29-38.
- [11.] TÓTH K.: Lézeres bevonatolás (cladding) technológiájának vizsgálata, Diplomaterv, Miskolci Egyetem, 2004
- [12.] BÍRÓ A.: Acél alapanyag lézersugaras bevonatolásának (cladding) vizsgálata, Diplomaterv, Miskolci Egyetem, 2008
- [13.] KOCSISNÉ BAÁN M.: Nemzetközi együttműködés a „European Master in Surface Engineering” tananyagfejlesztésben, XXIII. Hőkezelő és anyagtudomány a gépgyártásban országos konferencia, Balatonfüred, 2008. október 1-3. GTE, pp.76-81.
- [14.] M. KOCSIS BAÁN: How to teach, how to learn Heat Treatment and Surface Engineering, International Conference on Reduction of Energy Consumption in Heat and Thermochemical Treatment Technologies and Installations, ATTIS&IFHTSE, Poiana-Brasov, 4-5 November 2010