MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

TERMIKUS SZÓRÁSSAL KÉSZÜLT NICRBSI ıRÉTEGEK MINŐSÉGÉNEK JAVÍTÁSA LÉZERSUGARAS ÚJRAOLVASZTÁSSAL

PHD ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

KÉSZÍTETTE

MOLNÁR ANDRÁS
OKLEVELES KOHÓMÉRNÖK,
OKLEVELES HEGESZTŐ SZAKMÉRNÖK, EWE/IWE

SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

GÉPÉSZETI ANYAGTUDOMÁNY, GYÁRTÁSI RENDSZEREK ÉS FOLYAMATOK

GÉPÉSZETI ANYAGTUDOMÁNY ÉS MECHANIKAI TECHNOLÓGIA

TÉMACSOPORT

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ

DR. TISZA MIKLÓS
A MŰSZAKI TUDOMÁNY DOKTORA, EGYETEMI TANÁR

TÉMACSOPORT VEZETŐ
DR. TISZA MIKLÓS
A MŰSZAKI TUDOMÁNY DOKTORA, EGYETEMI TANÁR

TUDOMÁNYOS VEZETŐK
DR. BALOGH ANDRÁS
PHD, EGYETEMI DOCENS

DR. BUZA GÁBOR
PHD, EGYETEMI TANÁR

Miskolc
2018

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

TERMIKUS SZÓRÁSSAL KÉSZÜLT NICRBSI ıRÉTEGEK MINŐSÉGÉNEK JAVÍTÁSA LÉZERSUGARAS ÚJRAOLVASZTÁSSAL

PHD ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

KÉSZÍTETTE:

MOLNÁR ANDRÁS
OKLEVELES KOHÓMÉRNÖK,
OKLEVELES HEGESZTŐ SZAKMÉRNÖK, EWE/IWE

SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

GÉPÉSZETI ANYAGTUDOMÁNY, GYÁRTÁSI RENDSZEREK ÉS FOLYAMATOK

GÉPÉSZETI ANYAGTUDOMÁNY ÉS MECHANIKAI TECHNOLÓGIA

TÉMACSOPORT

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ
DR. TISZA MIKLÓS
A MŰSZAKI TUDOMÁNY DOKTORA, EGYETEMI TANÁR

TÉMACSOPORT VEZETŐ
DR. TISZA MIKLÓS
A MŰSZAKI TUDOMÁNY DOKTORA, EGYETEMI TANÁR

TUDOMÁNYOS VEZETŐK
DR. BALOGH ANDRÁS
PHD, EGYETEMI DOCENS

DR. BUZA GÁBOR
PHD, EGYETEMI TANÁR

Miskolc
2018

BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG

elnök: **Prof. Dr. Tisza Miklós**
DSc, egyetemi tanár, (ME)

titkár: **Dr. Marosné, Dr. Berkes Mária**
PhD, egyetemi docens, (ME)

tagok: **Dr. Réti Tamás,**
DSc, egyetemi tanár,
(ME, SZIE, ÓE)

Dr. Tóth László
DSc, Dr. habil, egyetemi tanár,
(ME, DE, BAY LOGY. I.)

Dr. Sánta Imre
DSc, egyetemi tanár, (PTE)

HIVATALOS BÍRÁLÓK:

Dr. Bitay Enikő
PhD, egyetemi docens, (Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem)

Dr. Szigeti Ferenc
CSc, főiskolai tanár, (NYE)

1. BEVEZETÉS

1.1. ELŐZMÉNYEK

A felületmódosító technológiák bevezetése időszerű feladat az iparban és más termelő területeken. Korszerű kutatásokat csak akkor lehet végezni, ha ahhoz a megfelelő infrastruktúra rendelkezésre áll. A lézeres felületkezelés – ezen belül a termikus szórással készült rétegek – minőségének újraolvasztással történő javítása képezte az elmúlt években a tudományos kutatómunkámat. Ez az előzménye az értekezésben bemutatásra kerülő kutatási eredményeknek és az ezt megelőzően elvégzett kísérletsorozatok, valamint mérések szolgáltak alapul a technológia további finomításához.

A Miskolci Egyetem MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoport csoportjával, Gépészmérnöki és Informatikai Kar Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet Mechanikai Technológiai Intézeti Tanszékével, a Műszaki Anyagtudományi Kar Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet Fémtani és Képlékenyalakítási Intézeti Tanszékével, a Bay Z. Közhasznú Nonprofit Kft. Anyagtudományi és Technológiai Intézetével, a Debreceni Egyetem Műszaki Karának Gépészmérnöki Tanszékével és nem utolsó sorban a Budai Benefit Kft. lézertechnológiai üzemével való együttműködés tette lehetővé, hogy e területen kutatásokat végezzek. Az elméleti és gyakorlati kutatási eredmények előrevetítik a termikus szórással készült rétegek lézersugaras újraolvasztásának hasznosságát és alkalmazásának jobb megalapozását. A termikus szórással felvitt és lézersugárral megolvasztott rétegek alkalmazása a kopásnak ellenálló bevonatok kialakításában egyre nagyobb teret hódít. A Ni-alapú bevonatokat főleg növelt hőmérsékleten ható korróziónak és koptató hatásnak kitett felületi rétegek kialakításánál használják.

A Ni-alapú ötvözetek B és Si tartalma megkönnyíti a szórási és olvasztási folyamatot. A Si és B jelenléte növeli a Ni-alapú ötvözet hígfolyósságát és olvadási, illetve kristályosodási hőmérsékletét. A sokféle hatásáról közismert B jelenléte kb. 3,6 tömegszázalékig elősegíti a kemény fázisok kialakulását [1].

A lézeres megmunkáló rendszerek megjelenésükkel az iparban teljesen új alkalmazási teret nyitottak. Jelenleg a lézertechnika alkalmazása a gazdasági és privát élet valamennyi területét lefedi. A távközlésben lézervezérelt üvegszálas technológiát alkalmaznak az adatok leolvasásánál, a lapolvasók (szkennerek) felépítésénél, a CD-lejátszóknál, a távvezérléseknél, stb. Mindezen alkalmazásoknál alacsony teljesítményt igényel az anyagmegmunkáláshoz használt lézerekkel szemben [2, 3].

1.2. CÉLKITŰZÉS

A termikusan szórt NiCrBSi ötvözetből készült rétegek újraolvasztásának célja a felszórás utáni adhéziós kötés kohézióssá alakítása és a bevonat tömörségének növelése, vagyis a termikus szórásra jellemző porózus, üreges, salakos szerkezet minél tömörebbé formálása. A réteg újraolvasztásának egy nagyon fontos követelménye, hogy az így módosított bevonat alapanyaggal való felkeveredése, felhígulása a lehető legkisebb legyen [4, 5, 6]. A réteg újraolvasztásánál fontos szerepe van az alkalmazott hőforrásnak és ezzel együtt a fajlagos hőbevitelnek, amelyet a megfelelő technológiai értékek megfelelő beállításával lehet elérni.

Az újraolvasztás egyik nem elhanyagolható célja a termikus szórásból eredő szövetszerkezet megváltoztatása, továbbá az abban lévő hibák maradéktalan eltávolítása.

Az újraolvasztási feladatoknak a megoldásához kiválóan alkalmas a lézersugaras hőforrás [8, 9].

A kutató munkám kezdetén olyan célt tűztem ki, hogy a termikus szórással felvitt NiCrBSi réteg újraolvasztása során annak minősége a lehető legnagyobb mértékben javuljon. A megfelelő technológiai jellemzők (pl. előmelegítési hőmérséklet, az alkalmas hőforrás megtalálása, stb.) megválasztása mellett a próbatestben, vagy akár a kész munkadarabban a hőhatásövezet a lehető legkisebb méretű, az alapanyag és a réteganyag keveredése minimális legyen [8, 9, 10].

A kutatómunka elkezdésekor célként tűztem ki a felhasználásra kerülő NiCrBSi ötvözetekre vonatkozó irodalmi adatok összegyűjtését és célirányos feldolgozását. A megfelelő minőségű NiCrBSi por hozaganyagok kiválasztása során különös tekintettel voltam arra, hogy a későbbi alkalmazások során a lehető legszélesebb gyakorlati alkalmazási területet tudjam lefedni és azok vizsgálatokkal való megalapozása minél hitelesebb legyen.

A réteg újraolvasztása jelentős mennyiségű hőbevitel mellett történik, amely a munkadarab geometriájától és méreteitől függően megnöveli a darabban maradó mechanikai feszültségeket, Célul tűztem ki két olyan technológia vizsgálatát, melyek alkalmazása során a fajlagos hőbevitel jelentős (a réteg újraolvasztása lánggal), és vizsgáltam azt, amikor ez minimális értéken tartható (lézersugaras újraolvasztás). A gyakorlati alkalmazások során mindkét újraolvasztási technológia fontos szerepet kap, ezért a kutatásaimban egyik sem hagyható figyelmen kívül.

Az újraolvasztott réteg mátrixféme a nikkel, amelyben különböző keményfázisok ($Cr_{23}C_6$, CrB, stb.) alakulnak ki, és amelyeknek az elhelyezkedése a lehűlés után teljesen szabálytalan. Szakirodalmi adatok szerint a réteg újraolvasztás közbeni rezgetésével a kivált fázisok elhelyezkedése várhatóan rendezettebbé tehető, amely hatással lehet az újraolvasztott réteg koptató hatással szembeni ellenállására [12, 13, 14].

Annak érdekében, hogy a kész méretre való megmunkáláskor csak minimális anyag menjen veszendőbe a bevonat kialakításához felhasznált por alakú hozaganyag mennyiségének csökkentése szükséges A rétegben a nem megfelelő újraolvasztás során jelentős számú és mennyiségű hiba képződhet. Ezek a hibák akkor kerülnek a felszínre, amikor az alkatrész, vagy szerszám készre munkálásra kerül. Ez pl. az üvegipari szerszámok esetét említve nem engedhető meg. A vizsgálataim további célja, hogy az újraolvasztott bevonatban lévő hibákat csökkenteni, illetve minimalizálni tudjuk.

A vizsgálatok további célja olyan kiváló minőségű NiCrBSi bevonatok létrehozása termikus szórással és azt követő lézersugaras újraolvasztással, amelyet a gyártó vagy a felhasználó rövid időn belül hasznosítani tud.

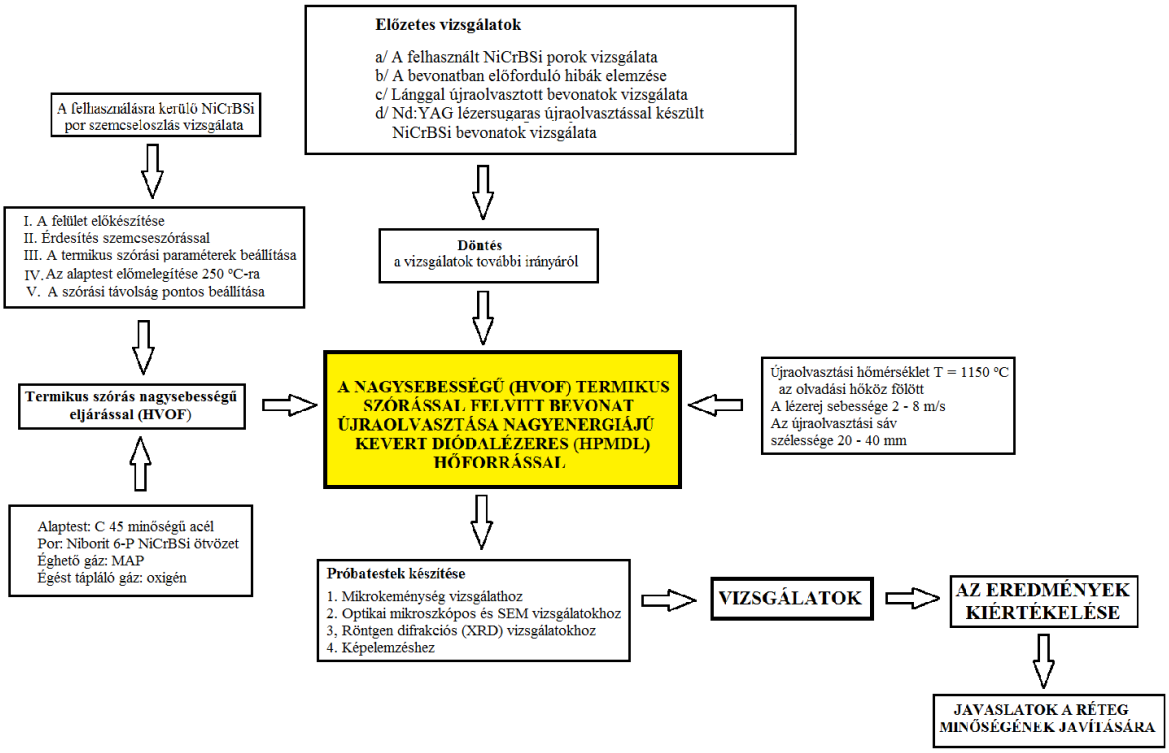
2. A FELADAT MEGOLDÁSÁNAK MÓDSZERE

A termikus szórással készült bevonatok minőségjavításánál a két munkafázisból álló módszert alkalmaztam. Az első fázisban termikus szórással (nagysebességű, vagy plazmaszórással) egy porózus bevonatot visznek fel a munkadarab (alaptest, szubsztrátum) előkészített felületére. A második fázisban egy erre alkalmas hőforrással a bevonat újraolvasztására kerül sor. A termikus szórással készült bevonat az alaptesthez való adhéziós tapadáson alapul, vagyis nincs kohéziós kapcsolat a réteg és az alaptest között. A NiCrBSi bevonatok adhéziós tapadását számos kutató vizsgálta és korábban beszámoltak ezekről az eredményekről. Hosszú időre visszatekintő saját tapasztalataim alapján az ilyen rétegek alkalmazásának kisebb szerepe van. A vizsgálataim során ezért arra törekedtem, hogy az adhéziós kötésű NiCrBSi rétegek alaptesthez való kötését kohéziós jellegűvé alakítsam, lehetőleg úgy, hogy a réteg anyaga ne híguljon fel jelentősen az újraolvasztás során.

2.1. A VIZSGÁLATOK TERVEZÉSE

A vizsgálataim során célul tűztem ki, hogy a termikus szórással felvitt NiCrBSi réteg minőségét újraolvasztással javítsam. A szakirodalom számos olyan hőforrással való újraolvasztásról számol be, amelyeket a gyakorlatban széleskörűen alkalmaznak (disszertáció, 3.7. ábra).

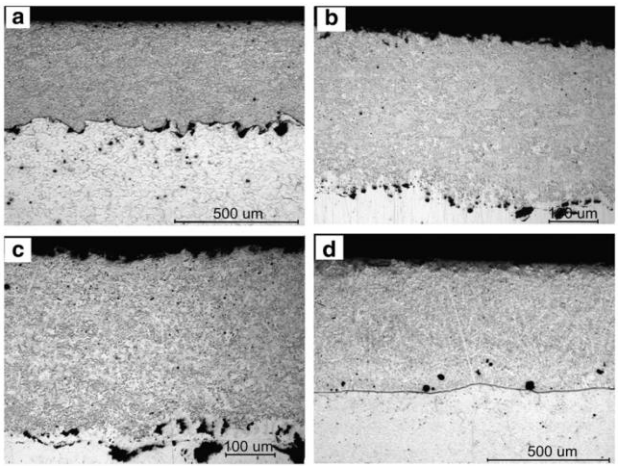
A vizsgálataim tervezésénél olyan hőforrást és újraolvasztási módszert választottam, amelynek alkalmazása a lehető legkisebb hőbevitel mellett jó minőségű réteget eredményez. A szakirodalom ajánlásaival egybevágóan én a kísérletek megtervezését az 1. ábrán mutatom be.



1. ábra. Vizsgálati terv

A vizsgálatoknál arra törekedtem, hogy olyan kemény réteget tudjak létrehozni, amely az ipari gyakorlatban a járműipari alkatrészek felújításánál és az új gyártmányoknál alkalmazható, ezért olyan NiCrBSi port választottam, amely az újraolvasztás után kb. 60 HRC keménységű réteget eredményez. A kísérleti terv kialakításánál számos korábbi kísérletem eredményét vettem figyelembe. A legkorábbi kísérleteim során a lánggal való újraolvasztásban szereztem tapasztalatokat, amellyel az alapfém és a bevonat között jó minőségű kohéziós kötés hozható létre, de a jelentős hőbevitel miatt a munkadarab erősen deformálódik és jelentős maradó feszültség keletkezik. Az is figyelemre méltó, hogy az alapfém hőkezelési állapota erősen megváltozik, a hőhatásövezet nagysága pedig erősen befolyásolja az adott alkatrész élettartamát.

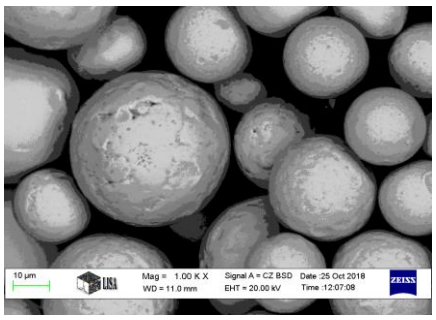
A vizsgálati terv készítését számos korábbi vizsgálat előzte meg, amelynél lánggal újraolvasztott próbatesteket vizsgáltunk. A vizsgálatok eredményéből már akkor levonható volt az a következtetés, hogy olyan hőforrást kell alkalmaznunk, amellyel kevesebb hőt viszünk a munkadarabba és az alaptest anyagával való felhígulás minimalizálható. A NiCrBSi réteg újraolvasztására a korszerű, lézersugaras újraolvasztási módszert választottam. Ennek számos előnyét és hiányosságát is felmértem és a következőkben olyan lézersugaras hőforrás alkalmazása felé fordultam, amelynél a fókuszfelület megváltoztatása mellett a hőbevitel is jól szabályozható. Így jutottam el a kevert diódalézer hőforrás alkalmazásához. A kísérleti munkám utolsó fázisában ezért olyan hőforrást alkalmaztam, amely egy jól behatárolható felületre sugározza a szükséges energiát. Ez az elvárás a felületi technológiákhoz is alkalmazott ún. kevertdiódalézeres (HPMDL) hőforrással valósítható meg [15]. A kísérletek tervezésénél olyan vizsgálatokat választottam, amellyel egyértelműen igazolható ennek a módszernek a hasznossága és a kezelt bevonat minőségének javulása. Ezt az eljárást jelenleg főleg felületi hőkezelésre használják, ezért a NiCrBSi réteg újraolvasztására elvégzett kísérletek teljesen újszerűek, vagyis tudomásom szerint ezt a módszert én alkalmaztam először ilyen célra.



2. ábra. Nagysebességű (HVOF) szórással felvitt NiCrBSi és különböző hőforrásokkal újraolvasztott bevonat fénymikroszkóppal készült felvételei: a) lánggal újraolvasztott, b) ellenállásfűtéssel újraolvasztott, c) kemencében újraolvasztott, d) lézersugárral újraolvasztott bevonatok [15].

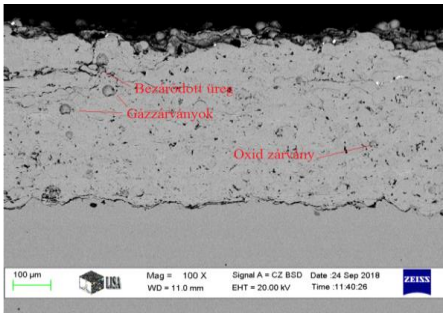
A termikusan szórt NiCrBSi bevonatot a kötés minőségének és a réteg tulajdonságainak javítása érdekében szinte minden esetben újraolvasztják. Az így újraolvasztott réteg más tulajdonságokat mutat, mint a termikusan szórt. Nagysebességű (HVOF) szórással felvitt és különböző hőforrásokkal újraolvasztott rétegeket mutat be a 2. ábra [16, 18. 19, 20, 21].

A vizsgált por szemcséi gömb alakúak, tömörek és nincsenek töredezett, meghatározatlan alakú szemcsék benne, ahogy ez a 3. ábrán is megfigyelhető.



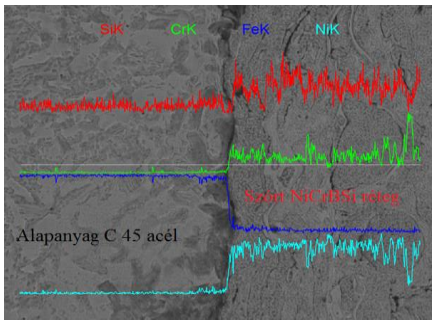
3. ábra. Niborit 6-P NiCrBSi por szemcséi 1000x nagyításban

A réteg és az alaptest kötése a szórt rétegekre jellemzően adhéziós jellegű, a réteg porozitástól valamint üregektől és salakzáródmányoktól sem mentes [22, 23, 24, 25, 26]. A 4. ábrán a szórt rétegben lévő néhány hibajet megjelőltünkjelöltem meg.



4. ábra. Nagysebességű szórással készített NiCrBSi réteg (C45E alapanyag, Niborit 6-P por, Marószer 4 %-os HNO_3,)

A 4. ábrán látható termikusan szórt mintadarab mikroszkópi képe alapján egyértelmű feladatnak tűnik az ilyen bevonatok minőségének javítása [27,28, 29, 30, 31]. Vonalmenti analízissel vizsgálva az alaptest és a réteg vegyi összetételét, az 5. ábrán látható eredményt kaptuk.. A C45E alapanyag és bevonat között a kötési zónában egy éles határvonal jelenik meg, amely arra utal, hogy a kötés teljes mértékben adhéziós jellegű.

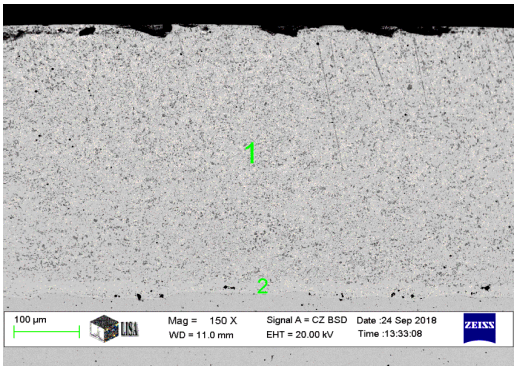


5. ábra. Szórt réteg minta0-line 700x 1 vonalmenti elemzés eredménye (Marószer 4 %-os HNO_3, N = 700x)

A termikus szórással felvitt NiCrBSi réteg újraolvasztását egy Fanuc robotra szerelt lézerfejjel végeztük. A 6. ábrán jól látható, hogy a robot egy optikai kábellel csatlakozott a lézerdióda egységeit tartalmazó berendezéshez.

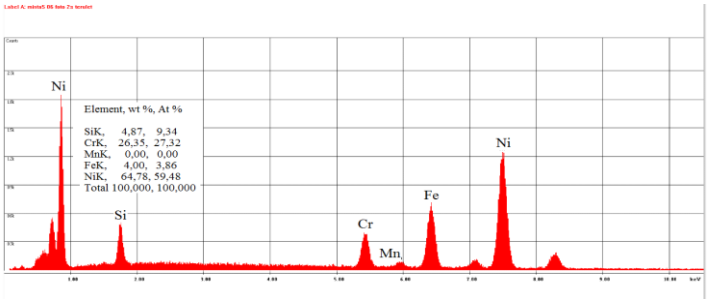
6. ábra. A szórt réteg újraolvasztása Fanuc robotra szerelt kevert lézeres hőforrással

A No5. próbatest újraolvasztott rétegében 10 µm vastag diffúziós zónát figyelhetünk meg (7. ábra). A rétegben és az említett diffúziós zónában egy-egy pontot kijelölve, azok összetételét is megvizsgáltuk. Az újraolvasztott réteg szinte teljesen hibamentesnek bizonyult.



7. ábra. No5. minta kevert lézerrel újraolvasztott rétege
(Marószer 4 %-os HNO_3) 1-es és 2-es terület kijelölve)

Az újraolvasztott rétegről összesen 8 képet készítettünk, ebből a rétegben kijelölt 1-es felület összetétele a 8. ábrán látható. A viszonylag magas mért krómtartalom arra enged következtetni, hogy a vizsgált zónában krómkarbid található.



8. ábra. A 7. ábrán bejelölt 1-es terület vegyi összetétele

A kevert lézersugaras (LMD) hőforrás bevonat újraolvasztására való alkalmazására eddig nem volt tapasztalat. Ez a hőforrás 1…10 mm széles és 10…70 mm hosszú sávban képes a réteg újraolvasztására. A kísérleteim közben egyetlen esetben sem tapasztaltam repedést. A kísérletek során a korábban beállított paraméterekkel négy próbadarab (No5-ös, No6-os, No7-es és a No8-as) készítésénél beállított értékekkel a kísérletet egy későbbi időpontban reprodukálhatósági ellenőrzés céljából megismételtem. Ezeknél a próbatesteknél sem tapasztaltam repedést egyetlen esetben sem.

9. ábra. LMD kevert-lézersugaras hőforrással újraolvasztott bevonat hőhatásövezete. (Marószer 4 %-os HNO_3, Nagyítás: 200x)

Az elvégzett újraolvasztási kísérleteknél beigazolódott, hogy a repedésmentes és egyenletes felületű újraolvasztott réteg előállítása nem egyedi, hanem az bármikor reprodukálható, tehát az alkalmazott technológiát ipari bevezetésre alkalmasnak tekintem. A 9. ábrán az No7. próbatestből kimetszett és előkészített, majd maratott minta réteg-alaptest átmenete látható 200x nagyításban. Jól látható, hogy az alaptest anyagával nincs felhígulás.

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

T1 A nagysebességű porhozaganyagos termikus szórással felvitt vékony rétegek kevertlézeres (HPMDL) hőforrással végzett, szabályozott újraolvasztásakor az olvadékban fellépő áramlások elősegítik a réteg kigázosodását, üregei jelentős hányadának megszűnését és a szilárd salakzárványok felúszását. A haladó mozgással jellemzett dinamikus újraolvasztás hatására (szemben a sorozatgyártásra alkalmas és minden vonatkozásában jól szabályozható kemencében végzett statikus jellegű újraolvasztással) az alaptest-réteg közötti kötési szilárdság és a rétegen belüli anyagszilárdság egyidejűleg növekszik.
(3)(10)(13)(41)(43)(46)(52)

T2 A NiCrBSi porötvözettel termikusan felszórt kemény rétegek célszerűen választott paraméterekkel történő, kevertlézeres (HPMDL) hőforrással végzett lézersugaras újraolvasztásával és szabályozott lehűtésével a mátrix karbid és borid keményfázisainak eloszlása homogénebbé válik és ezzel keménységeloszlása egyenletesebb lesz.
(11)(12)(51)

T3 A termikusan felszórt NiCrBSi porötvözet újraolvasztásának technológiáját úgy kell megtervezni és megvalósítani, hogy az alaptest és a réteg közötti felkeveredés (hígulás) minimális, ugyanakkor az alaptest és a réteg közötti kötésszilárdság a hegesztett kapcsolatokat megközelítő nagyságú legyen.
(13)(18)(50)

T4 A homogenizáló optikai rendszerrel felszerelt, 1...6 kW teljesítményű, kevert diódalézer hőforrások a technikai jellemzőik és a jó szabályozhatóságuk, továbbá a változtatható fókuszfelületen történő egyenletes hőbevitel lehetősége miatt különösen alkalmasak a NiCrBSi típusú ötvözetekkel felszórt rétegek sávos és nagysebességű újraolvasztásához.
(15)(16)(29)(46)

4. HASZNOSÍTÁS ÉS A TOVÁBBFEJLESZTÉS LEHETŐSÉGEI

A termikus szórással felvitt NiCrBSi bevonatok minőségjavítása a réteg újraolvasztásával egy nagyon fontos tényező a kétlépcsős technológia (termikus szórás + a réteg újraolvasztása) alkalmazása területén. A bevonat újraolvasztására a kutatók számos hőforrásmegoldást javasolnak (láng, W-ív, plazmaív, kemence és nem utolsó sorban a lézersugaras hőforrások). A réteg újraolvasztásának célja, hogy a szórt rétegben előforduló hibák mennyiségét csökkentsék és az alaptesttel kohéziós kötés alakuljon ki. A legjobb újraolvasztási eljárások azok, amelyeknél egy energianyaláb segítségével az újraolvadt rétegben a felszín felé irányuló áramlás hozható létre. Ez az áramlás részben megszünteti a termikus szórásból eredő szennyeződéseket és elősegíti az abban lévő zárványok felszínre emelkedését.

4.1. A RÉTEG ALAPANYAGGAL VALÓ FELHÍGULÁSÁNAK CSÖKKENTÉSE A MÓDOSÍTOTT TECHNOLÓGIA ALKALMAZÁSÁVAL

Vizsgálataim során a nagysebességű termikus szórással felvitt réteg újraolvasztásánál három technológiai megoldás alkalmaztam:

1. A szórt NiCrBSi réteg újraolvasztása lánggal.
2. A szórt NiCrBSi réteg újraolvasztása CO_2 lézersugárral.
3. A szórt réteg újraolvasztása kevertlézer hőforrással.

Az elvégzett metallográfiai vizsgálatok eredményeiből az a következtetés vonható le, hogy a NiCrBSi bevonatok minőségjavításában a kétlépcsős eljárás alkalmazása a helyes út az alkatrész felújítása és élettartam növelése területén. A termikusan szórt réteg vastagsága lehetőleg ne haladja meg az 500 µm értéket. Azok a NCrBSi porok, amelyek 15…17 % krómot tartalmaznak, nagyobb veszteséggel szórhatók fel. Az 500 µm-nél vastagabb réteg felszórásakor a szemcsék egymáshoz való tapadása csökken. Az újraolvasztási művelet során a lézerfej és a munkadarab távolsága állandó értéken tartandó [32,33, 34, 35].

Ennek a jelentős porveszteségnek az a magyarázata, hogy a szórt szemcséken a szórás közben oxidfilm alakul ki, továbbá a szórt réteg kismértékben oxidálódik (a szórt réteg felszórás közben levegővel érintkezik). A szórási idővel arányosan oxidálódott felületen már nehezebben tapadnak meg az ütköző és deformálódó részecskék.

1. A nagysebességű szórással felvitt réteg lánggal való újraolvasztása eredményesen csak kellő tapasztalat birtokában alkalmazható. Az újraolvasztott réteg felületi minősége nem minden esetben lesz megfelelő. A felületen elszíneződések jelentkezhetnek, vagy a réteg vastagsági méretei kismértékben változhatnak. Amennyiben nagyobb számú munkadarab felületi rétege kerül újraolvasztásra, akkor célszerű gépesíteni, azért, hogy a bevonat minősége minden egyes darabon ugyanolyan legyen.

2. A NiCrBSi bevonat lézersugaras újraolvasztásával tömör, üregektől és zárványoktól mentes felületi réteg nyerhető. Ugyanakkor egy lépésben kevésbé széles, mintegy 5...6 mm szélességű réteg kerül újraolvasztásra és az olvasztási átfedések mentén a réteg minősége (szövetszerkezete és mechanikai jellemzői) változhatnak [36, 37].

3. A kevertlézersugaras hőforrással való újraolvasztással egyenletes felületi minőség érhető el, ugyanakkor a réteg belső szerkezete és üregektől való mentessége minden esetben ugyanolyan lesz. Ez a minőségjavulás annak köszönhető, hogy a fókuszfelületen (a vizsgálataimban 40 x 8 mm) a hőáramsűrűség teljesen egyenletes és pontosan szabályozható.

A két lépcsőben való bevonatkialakítás előnye, hogy az újraolvasztás során nincs külön poradagolás, amelynek az olvasztásával egy domború, a felrakóhegesztésre jellemző varrat alakul ki. A kevertlézersugaras hőforrással való újraolvasztásnál a fókuszfelületen bevitt hő csaknem teljes egészében a réteg olvasztására fordítódik. Az újraolvasztási művelet során a lézerfej és a munkadarab távolságát szigorúan állandó értéken kell tartani.

4.2. A TECHNOLÓGIA TOVÁBBI JAVÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

Az újraolvasztás célja minden esetben a réteg minőségének javítása, ezen belül:

- a réteg és az alaptest közötti gyenge adhéziós kötés kohéziós kötéssé alakuljon,
- a rétegben lévő zárványok és szennyeződések eltávolítása,
- a rétegben a keményfázisok eloszlása lehetőleg egyenletes legyen,
- a réteg felhígulása az alaptest anyagával ne legyen számottevő.

Ezeket a követelményeket olyan hőforrás alkalmazása tudja kielégíteni, amely a réteg újraolvasztásakor egy megfelelő intenzitású és a keresztmetszetében egyenletesen eloszló energiájú sugárnyalábbal, lehetőleg minél nagyobb fókuszfelületen adja át a hőt az újraolvadó réteg felületén. A bevonat kemencében való újraolvasztása megoldható, de az olvadékban lévő szennyeződések eltávolítását legfeljebb az olvadékban lévő hőmérsékleti szintek közötti áramlás segíti elő, amely a teljes zárványtalanításhoz nem elégséges. A NiCrBSi termikus szórással készült bevonat újraolvasztásával akkor érhető el a legjobb eredmény, ha olyan hőforrást alkalmazunk, amely szabályozható hőbevitel mellett képes olyan áramlást generálni az olvadékban, hogy az abban lévő szennyeződések felszínre kerüljenek úgy, hogy közben az alaptest csak keskeny sávban olvadjon meg és csak minimálisan híguljon a réteg anyagával.

Az újonnan kifejlesztett LMD hőforrás és a hozzátartozó homogenizáló optika képes arra, hogy a NiCrBSi réteg újraolvasztása során az előre beállított program szerint változzon a fókuszfelület mérete és természetesen a hőáram szabályozására is lehetőség van. A disszertáció 6.2. ábrája azt a réteg újraolvasztási eredményt mutatja be, amely a hőmérséklet mérésére alapozottan az újraolvasztási sáv 22 mm-ről 53 mm-re szélesedett, majd újra az eredeti értékére csökkent.

Az ipari gyakorlatban, különösen a járműipar területén, az acél alapanyagból készült kopott alkatrészek felújításánál egyre nagyobb szerepet kap a NiCrBSi ötvözetek alkalmazása. A bevonatok termikus szórással való felvitelét szolgáló korszerű szórási technológiák és a rétegek minőségének javítását célzó eljárások fejlesztése a jövőben egyre fontosabbá válnak. A járműipar fejlesztése kiemelt feladat Magyarországon, ebben a tekintetben elsősorban az autóipar van előnyben. Ugyanakkor nem hanyagolható el a hazai vasúti, vagy a városi autóbusz és villamosközlekedés sem. A hazai gyakorlatban az alkatrészek felújítása és élettartam növelése nagy lehetőségeket rejt magában az anyaggal és energiával való

takarékosság területén. Ezen a területen számos korábbi sikertelen próbálkozás volt és sok helyen az idejétmúlt elírásokhoz való kötődés (pl. a vasúti közlekedésben) meglehetősen megnehezítik ezeknek a korszerű anyagoknak és technológiáknak a bevezetését. A NiCrBSi ötvözetek alkalmazása számos területen (pl. az üvegipari szerszámok gyártásában) sok új tapasztalatot hozott, azonban ezen a területen is nehézségekkel jár az új korszerűbb technológiákra való átállás (pl. a plazmaíves felrakóhegesztésről a lézersugaras felületmódosító technológiákra való átállás). A vasúti (metró, vagy elővárosi vasút) közlekedés javító telephelyein nagyon sok tengelyt azért selejteznek le, mert azokat „nem lehet hegesztéssel javítani", mindezt teszik egy régi elavult előírás miatt. A járműipari alkatrészek felújítása és élettartam növelése termikus szórással felvitt és lézersugaras technológiával újraolvasztott NiCrBSi ötvözetű bevonatok alkalmazása új szemléletet igényel a hagyományos merev előírásokkal szemben.

A termikus szórással felvitt NiCrBSi rétegek lézersugaras hőforrással való újraolvasztása a járműipari alkalmazásoknál biztonságot is jelent, mivel koncentrált hőbevitel lehetővé teszi a bevonat megfelelő megolvadását, a réteg gyenge adhéziós kötésének kohéziós kötéssé való átalakítását. A lézersugaras technológiák alkalmazásakor az alaptest hőkezelési állapota nem változik meg az alaptest teljes keresztmetszetében (mint pl. a lánggal végzett újraolvasztásnál), így a munkadarab vetemedése jóval kisebb, vagy egyáltalán nem következik be. A járműipari alkalmazásokon túl a jövőben várható a talajjal érintkező mezőgazdasági szerszámok (pl. kapák, ekevasak, tárcsák) élettartam növelésére való alkalmazás. Németországban a lézersugaras felületbevonás alkalmazásával nagyon jó eredményeket értek el, ugyanakkor bizonyítást nyert, hogy megfelelő gépesítést alkalmazva más megoldásokhoz képest a költségek csökkenthetők. A kétlépéses bevonat kialakítási eljárás a jövőben széles perspektíva elé néz. Az első lépésben a kopásnak kitett felületek felszórása NiCrBSi porral, majd a réteg újraolvasztása forradalmasíthatja ezeknek a szerszámoknak a gyártását. A talaj nagyon intenzív koptató hatásával szembeni ellenálló képesség további növelésére WC-nak, vagy TiC-nak a NiCrBSi porhoz való adagolásával nyílik lehetőség. A kétlépéses technológia alkalmazása során az alaptest anyaga (természetesen megfelelő hőbevitel esetén) nem olvad meg, így a réteg jó tulajdonságait az alaptest kevésbé ellenálló anyaga nem fogja rontani.

A kétlépéses technológia alkalmazásának egy új iparága lehet még a kohászati alkatrészek élettartam növelése. Ez a terület – mivel ezeken a helyeken az alkatrészek és szerszámok nagy koptató igénybevételnek vannak kitéve és nagy anyaghiányokat kell pótolni - utópisztikusnak tűnik a lézersugaras újraolvasztási technológia alkalmazása, de bizonyos lemezmegmunkáló, vagy a készprofilt kialakító ún. készhengereknél bekövetkező javításnál a bevonat szélessávú újraolvasztásának van létjogosultsága.

Az ipari felhasználás egy további területe az üvegipari alkalmazás. Ezen a területen nagyon sok gondot jelent az, hogy a szerszám megmunkálása után jelentkeznek a bevonat hibái és ez selejtet okoz. Ezen a felhasználási területen nem a legkeményebb bevonatot eredményező NiCrBSi porminőséget kell választani (itt a 40 HRC keménységet adó NiCrBSi porokat kell előnyben részesíteni.

Végezetül, de nem utolsósorban nagy lehetőségeket látok a hadiipari alkalmazásokban, például kopott fegyver- és járműalkatrészek felújítása terén.

Ugyan az ipari gyakorlatban nehéz mindenütt megvalósítani, de a kétlépéses technológia (termikus szórás, lézersugaras újraolvasztás) akkor lesz igazán eredményes, ha azt automatizálják. A gépesített fejmozgatás azt jeleneti, hogy a szórópisztoly és a munkadarab közötti távolság a teljes szórási művelet alatt állandó értéken tartható. A lézersugaras újraolvasztásra is hasonló követelmény vonatkozik: a réteg és a lézer sugárforrás közötti távolságot a művelet alatt nem szabad változtatni. Mindezeket a megoldásokat csak egy jól szervezett, a célra megfelelő robotokkal felszerelt üzemben lehet megteremteni.

5. A DISSZERTÁCIÓHOZ KAPCSOLÓDÓ JELENTŐSEBB PUBLIKÁCIÓK

IDEGEN NYELVŰ

(1) Pálinkás S., Fazekas L., Gindert-Kele Á., Molnár, A.: *Investigation of tillage elemenets of agricultural technology* pp. 66-67. 2 p. The 10th International Conference Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering, KOD 2018 Novi Sad, Szerbia : University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, (2018.) p. 347

(2) Pálinkás, S., Fazekas, L., Gindert-Kele Á., Molnár, A.: *Investigation of tillage elements of agricultural machinery* IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING 393 Paper: 012028 (2018.)

(3) Molnár, A., Buza, G., Fazekas, L. Pálinkás, S., Battáné, Gindert–Kele Á.: *Thermal Sprayed and Laser Remelted Wear Resistant NiCrBSi Coatings* pp. 358-365. Proceedings of the 5th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2017) University of Debrecen Faculty of Engineering, p. 650 (2017.)

(4) Pálinkás, S., Fazekas, L., Battáné, Gindert–Kele, Á., Molnár, A., Hagymássy, Z.: *Investigation of Hot Metal Powder Spray Fusing of Cultivator Tines After Tilth* pp. 397-405. Proceedings of the 5th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2017.) University of Debrecen Faculty of Engineering, p. 650 (2017.)

(5) Molnár, A., Fazekas, L., Csabai, Zs., Pálinkás, S.: *Properties of cold gas dynamic sprayed coatings* Proceedings of the 4th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2016). University of Debrecen Faculty of Engineering, pp. 336-346. (ISBN:978-963-473-944-9) (2016.)

(6) Molnár, A. Fazekas L., Csabai, Zs., Pálinkás, S.: *Durability improveing of agricultural machines part s with hard coatings* Proceedings of the 4th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2016). University of Debrecen Faculty of Engineering, pp. 347-356. (ISBN:978-963-473-944-9) (2016.)

(7) Molnár, A. Fazekas L., Csabai, Zs., Pálinkás, S.: *Durability improveing of agricultural machines part s with hard coatings* Proceedings of the 4th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2016). University of Debrecen Faculty of Engineering, pp. 347-356. (ISBN:978-963-473-944-9) (2016.)

(8) Fazekas, L., Menyhárt J., Molnár, A., Horváth, Cs.: *The connections between different types of cold flamesprayed distances on mechanical surface* Proceedings of the 3rd International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2015). University of Debrecen Faculty of Engineering, 2015. pp. 67-73. (ISBN:978-963-473-917-3) (2015.)

(9) Fazekas, L., Menyhárt, J., Molnár, A., Horváth, Cs.: *The connections between different types of cold flamesprayed distances on mechanical surface* Proceedings of the 3rd International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME

2015). University of Debrecen Faculty of Engineering, 2015. pp. 67-73. (ISBN:978-963-473-917-3) (2015.)

(10) Molnár, A., Fazekas, L., Csabai, Zs., Ráthy I.: *Laser surface remelting to improve the wear resistance of thermal sprayed NiCrBSi coatings* Proceedings of the 3rd International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2015.) University of Debrecen Faculty of Engineering, 2015. pp. 126-134. (ISBN:978-963-473-917-3) (2015.)

(11) Molnár, A., Buza, G., Balogh, A., Fazekas, L.: *HVOF sprayed coatings remelting with laser beam,* Proceedings of the International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2014). University of Debrecen Faculty of Engineering, pp. 96-102. (ISBN:978-963-473-751-3) (2014.)

(12) Molnár, A., Fazekas, L., Ráthy I., Balogh, A.: *Thermal Sprayed NicrBsi Coatings Modification with Different Methods* Proceedings of the International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2014). University of Debrecen Faculty of Engineering, pp. 103-110. (ISBN:978-963-473-751-3) (2014.)

(13) Molnár, A., Buza, G., Balogh, A., Fazekas, L.: *Effect of technological parameters for quality of remelted NiCrBSi coatings* Proceedings of the 1st international scientific conference on advances in mechanical engineering (ISCAME 2013) University of Debrecen Faculty of Engineering 229 p. pp. 132-137. (ISBN:978-963-473-623-3) (2013.)

(14) Molnár, A., Buza, G., Balogh, A.: *Hardness test and microstructure analysis of NiCrBSi sprayed, laser remelted coatings* ***PRODUCTION PROCESSES AND SYSTEMS*** Vol. 6.:(No. 1.) pp. 35-46. Link(ek): MIDRA (2013.)

(15) Molnár, A., Buza, G., Balogh, A., Fazekas, L.: *Microstructure analisys and hardness properties of NiCrBSi sprayed, flame-and laser remelted coatings* Proceedings of 18th Building Services, Mechanical and Building Industry days, International Conference. 307 p. University of Debrecen Faculty of Engineering Paper MAS 12-02]. (ISBN:978-963-473-591-5) (2012.)

(16) Molnár, A., Buza, G., Balogh, A.: *Mechanical properties and microstructures of nicrbsi coatings manufactured fs, hvof process and laser remelting* microCAD 2012, M szekció: Material Processing Technologies (Mechanikai technológiák): XXVI. International Scientific Conference. Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centrum, p. M2. 9 p. (ISBN:978-963-661-773-8) (2012.)

(17) Tiba Zsolt, Fazekas Lajos, Temesi Attila, Molnár András: *Plasma sprayed thermal barrier coatings applied on gas turbine engine parts [elektronikus dokumentum]* Proceedings of 18th Building Services, Mechanical and Building Industry days, International Conference. 307 p. University of Debrecen Faculty of Engineering Paper MAS 12-06. (ISBN:978-963-473-591-5) (2012.)

(18) Buza, G., Molnár, A., Felde, I., Balogh, A.: *Laser Treatment of Thermal Sprayed NiCrBSi Coating: Modeling, Study and Characterization* International Thermal Spray

Conference & Exposition 2011 (ITSC 2011). Düsseldorf: DVS Verlag, pp. 795-808. (ISBN:9781618395900) (2011).

(19) Molnár. A., Buza, G., Tiba, ZS., Fazekas, L.: *Quality improvement of flame and laser remelted NiCrBSi coatings International review of applied sciences and engineering 2* (2) pp. 89-94. (2011.)

(20) Molnár, A., Buza, G., Tiba, Zs., Fazekas, L.: *Quality improvement of flame and laser remelted NiCrBSi coatings [elektonikus dokumentum]* 17th Building Services, Mechanical and Building Industry Days Exhibition and International Conference = XVII. Épületgépészeti, Gépészeti és Épít_ipari Szakmai Napok: szakkiállítás és Nemzetközi Tudományos Konferencia [elektronikus dokumentum]. University of Debrecen Faculty of Engineering, pp. 1-9. (ISBN:978 963 473 464 2) (2011.)

(21) Molnár, A., Buza, G., Tiba, Zs., Fazekas, L.: *Quality improvement of flame and laser remelted NiCrBSi coatings* [elektonikus dokumentum]17th Building Services, Mechanical and Building Industry Days Exhibition and International [elektronikus dokumentum]. University of Debrecen Faculty of Engineering, pp. 1-9. (ISBN:978 963 473 464 2) (2011.)

(22) Molnár, A.: *Cold-gas dynamic spray technology investigation and application* microCAD 2011, K Section: XXV. International Scientific Conference. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2011.03.31-2011.04.01. Miskolc: Miskolci Egyetem Innovációs és Technológia Transzfer Centrum, 2011. p. CD. Material Science. Material Processing Technologies (ISBN:978-963-661-964-0) (2011.)

(23) Molnár, A.: *An investigation of the mechanical properties of NiCrBSi coattings carried out by in situ laser remelting* 17th Building Services, Mechanical and Building Industry Days Exhibition and International Conference = XVII. Épületgépészeti, Gépészeti és Épít_ipari Szakmai Napok: szakkiállítás és Nemzetközi Tudományos Konferencia [elektronikus dokumentum]. University of Debrecen Faculty of Engineering, p. CD. (ISBN:978 963 473 464 2) (2011.)

(24) Molnár, A., Fazekas, L., Tiba, Zs.: *Cold - Gas Dynamic Spray technology and applications* 16th Building Services, Mechanical and Building Industry Days. 181 p. University of Debrecen Faculty of Engineering, pp. 37-47. 2., Building Energy (ISBN:978-963-473-421-5) (2010.)

(25) Molnár, A., Balogh, A.: *Thermal and Microstructure Modeling* 16th Building Services, Mechanical and Building Industry Days. 181 p. University of Debrecen Faculty of Engineering, pp. 56-66. 2., Building Energy (ISBN:978-963-473-421-5) (2010.)

(26) Óvári, Gy., Gribovszki, L., Molnár, A.: *Thermal Spray Coatings (HVOF WC/Co) as a Replacement for Hard Chrome Plating on Aircraft Landing Gear* 16th Building Services, Mechanical and Building Industry Days. Vol. 1 GEOREN. 147 p. University of Debrecen Faculty of Engineering, pp. 77-87. (ISBN:978-963-473-422-2) (2010.)

(27) Fazekas, L., Tiba, Zs., Molnár, A.: *Metalspraying a break shaft, testing the sprayed layers* 15th Building Services, Mechanical and Building Industry Days. Vol. 3. 540 p.

University of Debrecen Faculty of Engineering, pp. 47-54. (ISBN:978-963-473-315-7) (2009.)

(28) Molnár, A., Fazekas, L., Tiba, Zs.: *The effects of the technological parameters on the interlaminar strenght of the Ni-based spray welded layers* 15th Building Services, Mechanical and Building Industry Days. Vol. 3. 540 p. University of Debrecen Faculty of Engineering, pp. 93-100. (ISBN:978-963-473-315-7) (2009.)

(29) Molnár András: *Advanced coating producing with High Power Diode Lasers (HPDL)* 15th Building Services, Mechanical and Building Industry Days. Vol. 3. 540 p. University of Debrecen Faculty of Engineering, pp. 39-46. (ISBN:978-963-473-315-7) (2009.)

MAGYAR NYELVŰ

(30) Molnár, A., Barkóczy, P., Battáné, Gindert-Kele, Á. ; Pálinkás, S.: *Termikus szórással acél szerkezetekre felvitt cink és alumínium korrózióálló bevonatok vizsgálata és alkalmazási lehetősége = Testing and Application of Zinc and Aluminum Corrosion Coatings* Wrapped by Steel Structures Thermal Spraying pp. 186-200., 15 p. Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2018. konferencia előadásai Debrecen, Magyarország: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, p. 442 (2018.)

(31) Pálinkás, S., Fazekas, L., Gindert-Kele, Á.,Jászai, Z. I., Molnár, A.: *Meleg fémporszórással felületkezelt kultivátor kapák vizsgálata talajművelés után* =Improvement of Tillage Elements with Hot Metal Spray Fusing pp. 248-251., 4 p. Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2018 konferencia előadásai Debrecen, Magyarország: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, p. 442 Közlemény: 3407610 (2018.)

(32) Fazekas, L., Pálinkás, S., Molnár, A.: *Kenőanyag tároló és leadó képesség vizsgálata termikus szórással felszórt felületeknél* = The Examination of Lubricant Storing and Releasing Ability of Thermally Spayed Surfaces pp. 135-138. OGÉT 2017: XXV. Nemzetközi Gépészeti Konferencia: 25th International Conference on Mechanical Engineering Kolozsvár, Románia: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), p. 500 Közlemény:3235490 Egyéb konferenciaközlemény (Konferenciaközlemény) (2017.)

(33) Molnár, A., Csabay, Zs., Fazekas, L., Pálinkás, S., Gindert-Kele, Á.: *Termikus szórással készült Ni-alapú rétegek újraolvasztása lánggal és a bevonat vizsgálata* pp. 278-282. OGÉT 2017: XXV. Nemzetközi Gépészeti Konferencia: 25th International Conference on Mechanical Engineering Kolozsvár, Románia: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), p. 500 Közlemény:3235493 Egyéb konferenciaközlemény (2017.)

(34) Molnár, A., Csabai, Zs., Fazekas, L., Pálinkás, S., Gindert-Kele, Á.: *Termikus szórással készült Ni- alapú rétegek újraolvasztása lánggal és a bevonat vizsgálata* = Flame Remelting Method and Testing of Thermal Sprayed NI-Base Coatings pp. 304-310. Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2017: konferencia

előadásai Debrecen, Magyarország: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, p. 630 Közlemény:3257218 Könyvrészlet (2017.)

(35) Pálinkás, S., Fazekas, L., Gindert-Kele, Á. Molnár, A.: *Talajművelő elemek élettartam javítása meleg fémporszórással* = Improvement of Tillage Elements with Hot Metal Spray Fusing pp. 307-310. OGÉT 2017: XXV. Nemzetközi Gépészeti Konferencia: 25th International Conference on Mechanical Engineering, Kolozsvár, Románia: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), p. 500 Közlemény:3235501 Egyéb konferenciaközlemény (2017.)

(36) Pálinkás S., Fazekas L., Gindert-Kele, Á., Molnár, A., Konyhás, D.: *Mezőgazdasági munkagépek talajművelő elemeinek élettartam javítása* Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016. 799 p. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2016.05.25 Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, pp. 502-509. (ISBN:978-963-7064-33-3) (2016.)

(37) Fazekas, L., Molnár, A.: *Hidraulikus berendezések zavarmentes üzemelésének feltételei, az alkalmazott hidraulika folyadékok felügyelete és karbantartása* Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban 2015. 591 p. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2015.06.11 Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, pp. 257-264. (ISBN:978-963-7064-32-6) (2015.)

(38) Molnár, A, Csabay, Zs, Ráthy, I, Fazekas, L:*Termikusan szórt NiCrBSi bevonatok minőségének javítása* Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban 2015. 591 p. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2015.06.11 Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, pp. 530-536. (2015.)

(39) Molnár, A., Csabay, Zs., Ráthy, I., Fazekas, L.: *Hová tart a termikus szórási technológia fejlődése?* MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-KELET MAGYAROR-SZÁGI RÉGIÓBAN 591 p. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2015.06.11 Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2015. pp. 300-306. (ISBN:978-963-7064-32-6) (2015.)

(40) Molnár, A., Buza G., Benke, M., Balogh, A.: *Szóró hegesztéssel készült NiCrBSi rétegek vizsgálata* ***HEGESZTÉSTECHNIKA*** 26.:(2.) pp. 17-21. (2015.)

(41) Molnár, A., Buza, G., Balogh, A.: *100 éves a termikus szórás* OGÉT 2014: XXII. Nemzetközi Gépészeti Találkozó. Konferencia helye, ideje: Nagyszeben, Románia, 2014.04.24-2014.04.27. Kolozsvár: Erdélyi Magyar M_szaki Tudományos Társaság (EMT), pp. 256-260. (2014.)

(42) Molnár, A., Balogh, A.: *A termikus szórás szerepe a repülőgépgyártásban és karbantartásban* Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2014. 435 p. Konferencia helye, ideje: Szolnok, Magyarország, 2014.05.13 Debrecen: MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, 2014. pp. 138-147. (Elektronikus Műszaki Füzetek; 14.) (ISBN:978-963-508-752-5) (2014.)

(43) Molnár, A., Balogh, A., Buza, G.: *Termikus szórással készült NiCrBSi bevonatok minőségének javítása lézersugárral történt újraolvasztással* ***HEGESZTÉSTECHNIKA*** 25. évf.:(4. sz.) pp. 23-28. (2014.)

(44) Molnár, A., Búza, G., Balogh, A.: *100 éves a termikus szórás* OGÉT 2014: XXII. Nemzetközi Gépészeti Találkozó. Konferencia helye, ideje: Nagyszeben, Románia, 2014.04.24-2014.04.27. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), pp. 256-260. (2014.)

(45) Molnár, A., Balogh, A.: *A termikus szórás szerepe a repülőgépgyártásban és karbantartásban* Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2014. 435 p. Konferencia helye, ideje: Szolnok, Magyarország, 2014.05.13 Debrecen: MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, 2014. pp. 138-147. (Elektronikus Műszaki Füzetek; 14.) (ISBN:978-963-508-752-5) (2014.)

(46) Molnár, A., Búza, G., Balogh, A.: *Termikus szórással és lézersugaras felrakó-hegesztéssel készült rétegek minőségének javítási lehetőségei* 27. Hegesztési Konferencia HEGKONF: PROCEEDINGS. 450 p. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2014.05.22-2014.05.24. Budapest: Óbudai Egyetem, pp. 373-379. (ISBN:978-963-08-8585-0) (2014.)

(47) Fazekas, L., Molnár, A., Ráthy, I.: *Hideg fémporszórással létrehozott felületi réteg olaj felvevő és leadó képesség vizsgálata* Proceedings of the 1st international scientific conference on advances in mechanical engineering (ISCAME 2013) : 10-11 October 2013, Debrecen, Hungary. 229 p. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2013.10.10-2013.10.11. Debrecen: Debreceni Egyetem M_szaki Kar, pp. 43-47. (ISBN:978-963-473-623-3) (2013.)

(48) Molnár, A., Buza, G., Balogh, A., Fazekas, L.: *NiCrBSi újraolvasztott bevonatok minőségének javítása a hibák elemzésének figyelembevételével* Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2013: konferencia előadásai. 518 p. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2013.06.04 Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, pp. 237-247. (Elektronikus Műszaki Füzetek; 13.) Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban (ISBN:978-963-7064-30-2) (2013.)

(49) Molnár, A., Buza, G., Balogh, A., Fazekas, L.: *Alumíniumbronz formák felrakó-hegesztése NiCrBSi porokkal* Proceedings of the 1st international scientific conference on advances in mechanical engineering (ISCAME 2013) : 10-11 October Debrecen, Hungary. 229 p. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2013.10.10-2013.10.11. Debrecen: Debreceni Egyetem Műszaki Kar, 2013. pp. 126-131. (ISBN:978-963-473-623-3) (2013.)

(50) Molnár, A.: *Termikus szórással készült NiCrBSi bevonatok minőségének javítása lézersugárral végzett újraolvasztással* Doktoranduszok Fóruma Gépészmérnöki és Informatikai Kar Szekciókiadványa. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2012.11.08 Miskolc: Miskolci Egyetem

(51) Molnár, A., Buza, G., Balogh, A.:*Termikus szórással készült NiCrBSi rétegek utókezelése lézersugaras újraolvasztással* OGÉT 2013 XXI Nemzetközi Gépészeti Találkozó. Konferencia helye, ideje: Arad, Románia, 2013.04.25-2013.04.28. Kolozsvár: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT), pp. 285-288.

(52) Molnár, A., Buza, G., Balogh, A.: *Maradó feszültség mérése nagysebességű (HVOF) szórással és lézersugaras újraolvasztással készült bevonatokban* Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2013: konferencia előadásai. 518 p. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2013.06.04 Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2013. pp. 226-236. (Elektronikus Műszaki Füzetek; 13.) Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban (ISBN:978-963-7064-30-2) (2013.)

(53) Molnár, A., Buza, G., Balogh, A.: *Termikus szórással készült, lézer sugárral újraolvasztott NiCrBSi bevonatok vizsgálata* ***GÉP*** 63. évf.:(11. sz.) pp. 17-22. (2012.)

(54) Molnár, A., Buza, G., Balogh, A.: *Kobaltalapú (stellit) ötvözetek és lézersugaras felrakó hegesztés alkalmazási lehetőségei a melegüzemi kisméretű alakító szerszámok élettartam növelésében* XIV. Képlékenyalakító konferencia: Miskolc 2012. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2012.02.16-2012.02.18. Miskolc: Miskolci Egyetem, pp. 156-164. (ISBN:978-963-661-985-5) (2012.)

(55) Fazekas, L., Kalácska, G., Molnár, A.: *Hideg fémszórással létrehozott felületi réteg tulajdonságai és technológiájuk kapcsolata* Tudáshálózat és klaszterépítés: Az Észak-Magyarországi Régió tudásközpontjainak a regionális gazdaságfejlesztéshez és klaszterépítéshez kapcsolódó kutatási eredményei és hasznosítható tapasztalatai. Miskolc: Norria Észak-Magyarországi Regionális Innovációs Ügynökség Nonprofit Közhasznú Kft., pp. 203-223. (ISBN:978-963-88345-3-9) (2011.)

(56) Molnár, A.: *Termikus szórással és lézersugaras eljárással készült bevonatok* Tudáshálózat és klaszterépítés: Az Észak-Magyarországi Régió tudásközpontjainak a regionális gazdaságfejlesztéshez és klaszterépítéshez kapcsolódó kutatási eredményei és hasznosítható tapasztalatai. Miskolc: Norria Észak-Magyarországi Regionális Innovációs Ügynökség Nonprofit Közhasznú Kft., pp. 251-265. (ISBN:978-963-88345-3-9) (2011)

6. A TÉZISFÜZETBEN HIVATKOZOTT IRODALOM

[1] Knotek, O., Lugscheider, E. und Eschnauer, H.: *Hartlegierungen zum verschleiss – schutz*, Verlag Stahleisen M. B. H. Düsseldorf, (1975.)

[2] Buza, G., *Lézersugaras technológiák I.* EDUTUS Főiskola (2012.)

[3] Bitay, E.,: *Lézeres felületkezelés és modellezés* Erdélyi Múzeum Egyesület, Kolozsvár, (2007.)

[4] Houdková S., Smazalová, E., Vostřák, M., Schubert, J.: *Properties of NiCrBSi coating,as sprayed and remelted by different technologies* Surface & Coatings Technology 253 14–26 (2014.)

[5] Aluru, R, Gale, WF, Chitti, SV, Sofyan, N, Love, RD, Fergus, JW.: *Transient liquid phase bonding of dissimilar nickel base superalloys—wettability, microstructure and mechanical properties.* Mater Sci Technol 24 (5): 517–528 (2008.)

[6] Serres, N., Hlawka, F., Costil, S., Langlade, C., Machi, F., *Corrosion properties of in situ laser remelted NiCrBSi coatings comparison with hard chromium coatings*, J. Materials Processing Technol., Vol. 211, p. 133-140 (2011.)

[7] Hecht, J,: *Short history of laser development Optical Engineering* pp.49-99, 091002 September (2010.)

[8] Wu, J., Ma, W., Tangc, D., Jiab, B. Yang, B., Liu, D. and Dai, Y.: *Thermodynamic description of Si-B binary system*, Procedia Engineering 31 (2012) 297 – 301

[9] Tokunaga, T., Nishio, K., Ohtani, H. and Hasebe, M.: *Phase Equilibria in the Ni–Si–B System* Materials Transactions, Vol. 44, No. 9 (2003) pp. 1651 to 1654 (2003.)

[10] Girish, D. R., Paul C. P., Gandhic, B. K., Jain, S. C.: *Erosion wear behavior of laser clad surfaces of low carbon austenitic steel* Wear. – Vol. 266. – P. 975-987. (2009).

[11] Xuan, H.-F., Wang, Q. Y., Bai, S. L.: *A study on microstructure and flame erosion mechanism of a graded Ni–Cr–B–Si coating prepared by laser cladding* / Surface and Coatings Technology. –Vol. 244. – p. 203-209. (2014.)

[12] Rojacz, H., Zikin, A., Mozelt, C.: *High temperature corrosion studies of cermet particle reinforced NiCrBSi hardfacings* / et al. // Surface and Coatings Technology. – Vol. 222. pp. 90-96. (2013.)

[13] Żórawski, W., Skrzypek, S. J.: *Tribological properties of plasma and HVOF-sprayed NiCrBSi–Fe_2O_3 composite coatings* /Surface and Coatings Technology. – Vol. 220. – pp. 282-289. (2013.)

[14] Serres, N., Hlawka, F., Costil, S., Langlade, C., Machi, F., *Corrosion properties of in situ laser remelted NiCrBSi coatings comparison with hard chromium coatings*, J. Materials Processing Technol., Vol. 211, p. 133-140 (2011.)

[15] Brand, T., Schmidt, I.,: *'Design and performance of a compact 600 W cw Nd:YAG rod laser system pumped by microchannel-cooled stacked diode laser arrays'*, Technical Digest Conference on Lasers and Electro-Optics Europe, Sept. 8-13, p.4. (1996.)

[16] *Fraunhofer Institut, Werkstoff - und Strahitechnik communications*., Winterbergstr. 28, Dresden, Rochler et. al., private

[17] Wagner, M.: *Lokales Laserumschmelzverfestigen von crashbelasteten Karosseriefeinblechstrukturen Hrsg.*: Fraunhofer IWS, Dresden 2018, 146 S., zahlr., teils farb. Abb. u. Tab., Softcover Fraunhofer Verlag

[18] Graf, B.: *Laser-Pulver-Auftragschweißen in der additiven Prozesskette für Legierungen aus dem Turbomaschinenbau Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin* Fraunhofer Verlag ISBN 978-3-8396-1387-0

[19] Moser, R.: *Laser-μ-Bearbeitung von GaN-basierten Leuchtdioden mit ultrakurzen Laserpulsen*, Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2013, II, 184 pp. Zugl.: Freiburg/Brsg., Univ., Diss., 2013 ISBN: 3-8396-0600-4

[20] Mrdak, M., Bajić, N., Veljić, D., Rakin, M., Pekez, J., Karastojković, Z.: *Testing adhesive bond strength and fracture mechanisms of thicker and porous plasma spray coatings* ISSN: 1584-2665 a free-access multidisciplinary publication of the Faculty of Engineering Hunedoara (2016.)

[21] González, R., Cadenas, M., Fernández, R., Cortizo, J.L. and Rodríguez, E. *Wear Behaviour of Flame Sprayed NiCrBSi Coating Remelted by Flame or by Laser*. Wear, 262, 301-307. (2007.)

[22] Navas, C., Colaco, R., de Damborenea, J., Vilar, R.: *Abrasive wear behaviour of laser clad and flame sprayed-melted NiCrBSi coatings.* Surface Coatings Technology 200:6854–6862 (2006)

[23] Sakata, K., Nakano, K., Miyahara, H., Matsubara, Y., Ogi, K.: *Microstructure control of thermally sprayed co-based self-fluxing alloy coatings by diffusion treatment*. Journal of Thermal Spray Technology 16 (5–6):991–997 (2007)

[24] Harsha, S., Dwivedi, D. K., and Agarwal, A.: *Influence of CrC addition in Ni-Cr-Si-B flame sprayed coatings on microstructure, microhardness and wear behaviour*. Int Journal of Advanced Manufacture Technology (2008)

[25] Zhang, G., Liao, H., Yu, H., Costil, S., Mhaisa lkar, S.G., Bordes, J-M., Coddet, C.: *Deposition of PEEK coatings using a combined flame spraying–laser remelting process.* Surface Coatings Technology 201:243–249 (2006)

[26] Vijaya, B.M., Krishna Kumar R., Prabhakar, O., Gowri Shankar, N.: *Simultaneous optimization of flame spraying process parameters for high quality molybdenum coatings using Taguchi methods.* Surface Coatings Technology 79:276–288 (1996)

[27] Yang-Feng, T., Jun, L., Ying-Hao, L., Lie-Feng, H.: *Effect of heat treatment on residual stress and wear behaviors of the TiNi/Ti2Ni based laser cladding composite coatings* Optics and Laser Technology 97 379–389 (2017)

[28] Shang, S.: *Laser beam profile modulation for microstructure control in laser cladding of an NiCrBSi alloy* / S. Shang, Dan Wellburn, Y.Z. Sun, et al. //Surface and Coatings Technology. Vol. 248. – P. 46-53. (2014.)

[29] Finch, C.B. Cavin, O.B., Becher, P.F.: *Crystal growth and properties of trinickel boride, Ni3B /* Journal of Crystal Growth. Vol. 67. – P. 556–558. (1984.)

[30] Oliver W.C. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments /W.C. Oliver, J.M. Pharr // Journal of Materials Research. Vol. 7. – No. 6.– P. 1564-1583. (1992.)

[31] Hainsworth, S.V.: *Using nanoindentation techniques for the characterization of coated systems: a critique* / Surface and Coatings Technology. — Vol. 61. – Is. 1-3. – P. 201-208. (1993.)

[32] Chen, J., Dong, Y., Wan, L., Yang, Y., Chu, Z., Zhang, J., He, J., Li, D.: *Effect of induction remelting on the microstructure and properties of in situ TiN-reinforced NiCrBSi composite coatings*, Surface & Coatings Technology 340 pp. 159-166 (2018.)

[33] Makarov, A.V., Korshunov, Yu, L.G., Malygina, I., Solodova, I. L.: *Raising the heat and wear resistances of hardened carbon steels by friction strengthening treatment* Metal Science and Heat Treatment. – Vol. 49. – Is. 3-4. – P. 150-156. (2007.)

[34] Shabana, M.M.M. Sarcar, K.N.S. Suman, Kamaluddin S.: *Tribological and Corrosion behavior of HVOF Sprayed WC-Co, NiCrBSi and Cr_3C_2-NiCr Coatings and analysis using Design of Experiments* Materials Today: Proceedings, Volume 2, Issues 4–5, Pages 2654-2665 (2015.)

[35] Li, G. l., Li,Y. l. Dong, T. s., Wang, H. d., Zheng, X. d. and Zhou, X. k.: *Microstructure and Wear Resistance of TIG Remelted NiCrBSi Thick Coatings*, Advances in Materials Science and Engineering Volume, Article ID 8979678, 10 pages (2018.)

[36] Miguel, J. M., Guilemany, J.M., Vizcaino, S.: *Tribological study of NiCrBSi coating obtained by different processes*, Tribol. Int. 36 181–187. (2003.)

[37] Sidhu, T. S., Prakash S., Agrawal, R. D.: *A comparative study of hot corrosion resistance of HVOF sprayed NiCrBSi and Stellitee-6 coated Ni-based super alloy at 900°C*, Mater. Sci. Eng. 445 210–218. (2007.)