

Txirbil-harroketan erabilitako ebaketa-jariakinaren eragina laser bidezko prozesu gehigarrian konformaziorako trokelen konponketaren kasuan

(Analysis of the interaction of the residual cutting fluid with the Laser Metal Deposition process in the repair of dies and molds)

Jon Iñaki Arrizubieta*, Magdalena Cortina, Marta Ostolaza,
Aitzol Lamikiz, Eneko Ukar

Mekanika Saila, Bilboko Ingeniaritza Eskola (UPV/EHU)

LABURPENA: Fabrikazio-prozesu gehigarri eta kengarrien arteko konbinaketa oso erabilgarria da geometria konplexuko eta balio-erantsi altuko piezen konponketarako. Prozesuak bateratzeko aukera onena haiek makina bakarrean barneratzea da. Alabaina, bateratze horretan erronka anitz agertzen dira, besteak beste, mekanizazio-prozesuan erabiltzen diren ebaketa-jariakinek jarraiko gehitze-prozesuan izan dezaketen eraginaren ezjakintasunaren ondorioz. Egoera horren aurrean, berotako trokelgintzan ohikoa den AISI H13aren kasurako ebaketa-jariakinarekin kutsaturiko gainazalean laser bidez materiala eranstean ager daitezkeen akatsen azterketa gauzatu da. Olio-maila anitzekin egin dira saiakuntzak, eta gainazal garbian egindako erreferentziatzko saiakuntzarekin alderatu dira lorturiko emaitzak. Aldaera morfologikoak nabaritzeaz gain, % 100 olio-kontzentraziooko ebaketa-jariakina erabiltzen den kasuan erantsitako materiala arrakalatu egiten dela ikusi da, eta egoera horretan fabrikaturiko piezak balioagabetu egiten dira. Hortaz, beharrezkoa dela ikusi da AISI H13aren kasuan gehitze-prozesuaren aurretik gainazalean egon daitezkeen ebaketa-jariakinen garbiketa.

HITZ GAKOAK: Laser bidezko ekarpena, fabrikazio hibridoa, konformazioko trokelak, ebaketa-jariakina, arrakalak.

ABSTRACT: The combination of additive and subtractive manufacturing processes is especially useful for repairing complex geometries and high-added-value components. The best solution for combining both processes is to integrate them in a single machine. Nevertheless, this combination entails a series of challenges, such as the impact that the use of cutting fluids in the subtractive operation may have on the subsequent additive process. In view of this situation, the present work aims to evaluate the effects of the deposition of AISI H13 hot work tool steel on a substrate impregnated with cutting fluid. For this purpose, different oil concentrations have been considered, and the attained results have been compared with the reference tests, performed on a clean substrate. In addition to morphological variations, it has been observed that when high oil concentrations are used, the deposited material is cracked, invalidating the parts manufactured through this approach. Therefore, in the case of AISI H13 tool steel, it has been determined that a cleaning stage is highly necessary in order to remove any cutting fluid that may be on the surface of the substrate before the additive operation is performed.

KEYWORDS: Laser Metal Deposition, hybrid manufacturing, hot stamping tools, cutting fluid, cracking.

* **Harremanetan jartzeko / Corresponding author:** Jon Iñaki Arrizubieta. Mekanika Saila. Bilboko Ingeniaritza Eskola. Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU). Plaza Torres Quevedo, 1 (48013 Bilbao). – joninaki.arrizubieta@ehu.eus – <https://orcid.org/0000-0002-6030-4941>.

Nola aipatu / How to cite: Arrizubieta, Jon Iñaki; Cortina, Magdalena; Ostolaza, Marta; Lamikiz, Aitzol; Ukar, Eneko (2020). «Txirbil-harroketan erabilitako ebaketa-jariakinaren eragina laser bidezko prozesu gehigarrian konformaziorako trokelen konponketaren kasuan»; *Ekaia*, 38, 2020, 327-337. (<https://doi.org/10.1387/ekaia.21754>).

Jasoa: 25 maiatza, 2020; Onartua: 07 uztaila, 2020.

ISSN 0214-9001 - eISSN 2444-3255 / © 2020 UPV/EHU



Obra hau Creative Commons Atribución 4.0 Internacinal-en lizentziapean dago

1. SARRERA

Azken hamarkadan mundu-mailako makina-erremintaren fabrikatzaile nagusiak fabrikazio gehigarriko eta txirbil-harroketako egiturak (mekanizazioak eta artezketakoak, besteak beste) makina bakarrean barneratzen hasi dira. Horrela, makina hibrido deituriko makina mota berria sortu da [1]. Makina horiek eragiketa desberdinak kokatze bakarrean egitea errazten dute. Horri esker, beharrezkoa den fabrikazio-denbora gutxitzen da, eragiketen arteko denbora hilak murrizten direlako. Bestalde, bukarako piezaren zehaztasuna hobetzeaz gain, geometria konplexuagoak fabrikatzea ahalbidetzen dute. Gaur egun, dozena bat garapen baino gehiago daude, eta, horren ondorioz, mota anitzeko makina hibridoak aurkitu daitezke merkatuan. Kasu kasu, lehiakideek baino prestazio hobekuntza eskaintzeko helburuarekin, fabrikatzaileak beste funtzionaltasun batzuk hasi dira barneratzen; adibidez, kontrol- eta monitorizazio-sistemak edo CAD/CAM garapen bereziak [2]. Makina hibridoek salneurri altuaren ondorioz, haien aplikazio nagusiak balio altuko piezen fabrikazioa, konponketa eta estalketa dira. Bereziki, sektore aeronautikora, energetikora eta trokelgintzara bideraturiko aplikazioak gailentzen dira [3].

Makina hibrido gehientsuenak mekanizazio prozesuetarako diseinatzen dira eta laser bidezko prozesu gehigarria xehetasunen bat txertatzeko edo gune zehatz batean konponketa gauzatzeko gehituriko funtzionalitate bezala uler daiteke [4,5]. Material-gehikuntza prozesu horretarako laserrean oinarrituriko prozesu ugari erabil daitezkeen arren, makina hibridoetan ohikoena zuzeneko material-gehikuntza edo ingelesezko *Laser Metal Deposition (LMD)* izenez ezagutzen den prozesua da.

LMD eta mekanizazioa uztartzen dituzten makinek aurre egin beharreko erronka nagusiak LMDa bost ardatzetan aplikatetik eta gehitze- eta kentze-prozesuen konbinaketatik eratorriak dira. Alde batetik, izaera guztiz desberdineko bi prozesu makina berdinean batzen dira. LMDan ez bezala, mekanizazioan errendimendu altuko makinek zehaztasun eta dinamika-eskakizun handiak bete behar dituzte. Beste aldetik, gehituriko geruzaren altuera egonkorra bermatzeko, LMD prozesuak ardatzen interpolazio-abiadura egonkorren beharra du, hala nola, ibilbidearen leuntze-algoritmoena.

Azkenik, kontuan izan behar da aurretiazko mekanizazio-eragiketetan erabilitako ebaketa-jariakinen eta txirbilien arrastoek LMD prozesuan izan dezaketen eragina. Mekanizazio-prozesuan, hozketa-jariakinen erabilera beharrezkoa da prozesuaren eraginkortasuna handitzeko. Alabaina, jariakin hori kaltegarria izan daiteke LMD prozesuarentzat [6]. Alde batetik, LMD prozesuan erabiltzen diren hauts-partikulak jariakinarekin nahas daitezke, eta sortzen den nahasteak laserraren xurgapenari zuzenean eragin diezaioke. Hortaz, laserrak piezan izango duen sarkortasuna eta LMD prozesuaren diluzioa esperotakoan aldean desberdinak izango dira. Beste aldetik, mekanizazio-eragiketan erabilitako ebaketa-jariakinaren arrastoak lurrundu

egino dira jarraiko LMD prozesuan. Horren ondorioz, sortzen diren gasek erantsitako materialaren porositate-hazkuntza ekar dezakete, bai eta erabiltzen ari den laser-buruaren optikaren kaltetze edota haustura ere [7].

Ezjakintasun horren aurrean, lan honen helburua mekanizazio-prozesuan erabiltzen den ebaketa-jariakinaren arrastoak jarraiko LMD prozesuan izan dezakeen eragina aztertzea da. Zehazki, ikerkuntza berotako trokelen konponketaren kasurako egingo da, AISI H13 materialarentzat. Izan ere, material horrek arrakalatzeko joera nabarmena erakusten du eransketa-prozesuko baldintzak egokiak ez direnean. Helburu hori lortzeko, berotako trokelgingtzako altzairuen gainean laser bidez materiala gehitzerakoan ebaketa-jariakinaren arrastoak izan dezakeen eragina aztertzeko metodologia bat garatu da. Lehendabizi, erreferentziatzko saiakuntza egin da, eta gainazal garbiaren gainean gehitu da materiala. Horren ostean, ebaketa-jariakinez maila desberdinetan kutsaturiko piezen gainazalean gehitu da materiala, kutsadura-mailaren eragina eta aurkitu daitezkeen akatsen arteko erlazioa zehazteko.

2. JARRAITUTAKO METODOLOGIA ETA ERABILITAKO MATERIALAK

Saiakuntza esperimentalak egitura kartesiarreko laser-zentro batean egin dira, eta horri 1 kW-eko potentziadun Rofin FL010 zuntzeko laserra konektatu zaio. Multzo guztia Fagor 8070 zenbakizko kontrol bidez kontrolatzen da. Hauts-formatuan dagoen eranste-materialaren emaria Sulzer Metco Twin 10C elikagailuaren bidez kontrolatzen da, eta jarraian, pita jarraitu koaxial baten bidez bideratzen da laserrak sortzen duen galda-bainura. Hautsaren garraiorako zein gehitze-prozesuaren gunea oxigenoaren eragnetik babesteko, 2X kalitatezko Argona erabili da.



1. irudia. Saiakuntza esperimentaletarako erabiltzen den laser-zentroa.

AISI H13a berotako erreminta-altzairua da, kromo, molibdeno eta banadio bezalako osagaien maila altua duena. Elementu aleatzaile horiei esker, altzairu honek talka termiko eta nekerako erresistentzia-maila oso onak eskaintzen ditu, eta baita temperatura altuetan bere propietateak mantentzeko gaitasuna ere. Haren konposizio zehatza 1. taulan erakusten da. Material honek eskaintzen dituen propietateak direla-eta, oso egokia da berotako trokelen fabrikaziorako. Horregatik aukeratu da AISI H13, DIN 1.2344, materiala ikerlan honetarako, eta hura erabili da bai oinarri, bai gehitze-material gisa.

1. taula. AISI H13ren konposizioa (pisu ehunekoan) [8].

Materiala	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Fe
AISI H13 (DIN 1.2344)	0,41	0,80	0,25	5,12	1,33	1,13	oreka

Gehitze-materiala Flame Spray Technologies enpresak hornitua izan da, eta 53 eta 150 μm bitarteko hauts-partikulez osatuta dago. Hauts metalikoa atomizazio bidez ekoizten da, eta horrela, partikulen forma ia-esferikoa berma daiteke. Gehitze-prozesuan erabilitako parametroak 2. taulan zehazten dira.

2. taula. Erabilitako prozesuko parametroak.

Prozesu-parametroak	
Laser-potentzia (W)	600
Aitzinapen-abiadura ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)	450
Kordioen arteko gainjartzea (%)	50
Hautsaren fluxu masikoa ($\text{g}\cdot\text{min}^{-1}$)	3,3
Babes-gasaren emaria ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$)	14
Laserraren diametroa lan-planoan	1,5 mm

Materiala erantsiko den gainazalean egon daitezkeen ebaketa-jariakina-
ren arrastoek LMD prozesuan izan dezaketen eragina aztertzeko helburua-
rekin, 3. taulan adierazten diren saiakuntzak gauzatu dira. Oinarria HOCUT
B-750 olio- eta ur-proporzio desberdinetako nahasketarekin inpregnatu da.
Olio hau aukeratu da, ohikoa delako hura mekanizazio-eragiketetan erabil-
tzea; haren propietate fisiko garrantzitsuenak 3. taulan erakusten dira.

3. taula. HOCUT B-750en propietate fisikoak eta erabilera-gomendioak [9].

Propietate fisiko ohikoak	
Dentsitatea 20 °C-tara (kg · l ⁻¹)	0,98
Faktore errefraktometrikoa (-)	1,1
Kontzentratuaren itxura	Kolore marroidun olio nahasia
Emulsioren itxura	Zurixka
Erabilerako pH-a (-)	8,9-9,3
Erabilera-gomendioak	
Mekanizazio orokorra	%4-6
Arbastaketa-mekanizazioa	%6-12
Material ferrikoen artezketa	%4-6

Saiakuntzak olio-kontzentrazio anitzekin egin dira: % 5, % 10 eta % 100, hain zuzen. Lehengo bi kontzentrazio-mailak mekanizazio eragiketetan erabiltzen diren ebaketa-jariakinen olio-mailen ohiko balioei dagozkie; hirugarren balioa, aldiz, Minimum Quantity Lubrication (MQL) teknika erabili den mekanizazio-egoeraren adierazgarri da. Teknika honetan, olio-tantak aire-korrante batean nahastu eta ebaketa-gunera bideratzen dira. Ebaketa-jariakinekin alderatuta, erabiltzen den olio-emia askoz txikiagoa da, baina gainazalean gelditzen den arrastoak %100 olio-kontzentrazioa du. Kasu bakoitzean eskuraturiko emaitzak erreferentziatzeko saiakuntzarekin alderatu dira. Erreferentziatzeko lagin honetan, gainazala inolako ezpurutasunetatik eta kutsatzaileetatik aske dagoela ziurtatzeko, oinarri-materiala gehitze-prozesuaren aurretik garbitu da, ultrasoinu bidez.

4. taula. Egingako saiakuntzak eta haiei dagozkien irudi azaltzaileak.

Saiakuntza-zkia.	Ebaketa-jariakina
1	Ebaketa-jariakin gabe (erreferentzia)
2	%5 olio
3	%10 olio
4	%100 olio

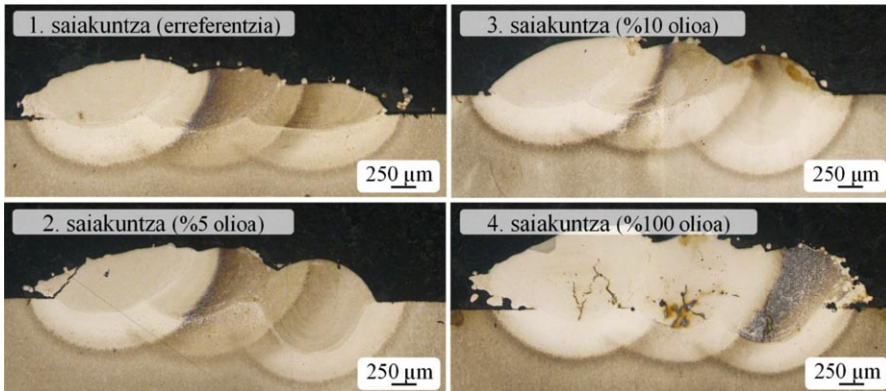


2. irudia. LMD bidez materiala gehitzeko prozesuaren argazkiak erreferentziatzko kasuan (ezkerreko irudia) eta ebaketa-jariakinaren arrastoak garbitu ez diren kasua (eskuineko irudia).

Saiakuntza bakoitzean hiru probeta fabrikatu dira, eta horietako bakoitzean zeharkako bi sekzio aztertu dira. Horretarako, probeta bakoitzaren gainazalean 50 mm luzeko 3 kordoi gehitu dira joan-etorriko estrategia erabiliz, eta elkarren jarraiko kordoiaren artean 1 mm-ko gainjartzea aplikatu da, hain justu, kordoi bakunaren zabaleraren % 50. Ostean, probetak moztu, leundu eta kimikoki erasotu dira, analisi metalografikoa gauzatu ahal izateko. Mozketetako sekzioen azterketa Leica DCM3D mikroskopia optikoaren bidez egin da.

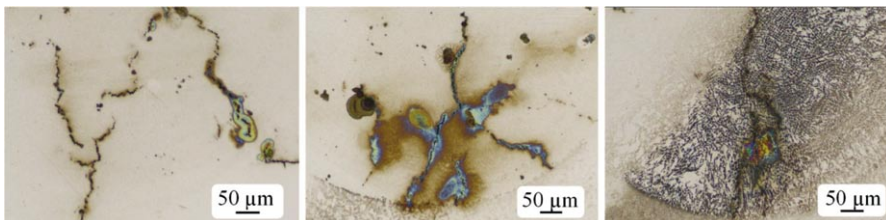
3. EMAITZAK

Azpian dugun 3. irudian, egindako saiakuntzetan eskuraturiko emaitzen analisi metalografikoaren laburpena erakusten da. Saiakuntzetan lorturiko emaitzak erreferentziatzkoarekin (1. saiakuntza) alderatuz gero, ezberdintasunak ikus daitezke erantsitako materialak oinarrian duen diluzio edo sarkortasunari dagokionez. Alde batetik, 2., 3. eta 4. saiakuntzetako probetek diluzio aldakorra erakusten dute elkarren jarraian erantsitako kordoietan; sarkortasun maximoa lehenengo kordoiaren lortzen da. Kontuan izan behar da 3. irudian erakusten diren argazki guztietan lehenengo kordoa eskuinean dagoena dela. Hortaz, ebaketa-jariakinarekin kutsaturiko gainazalean LMD bidez AISI H13a gehitzean sortzen diren kordoiak morfologia ezberdina erakusten dute erreferentziatzkoarekin alderatuz. Beste alde batetik, ebaketa-jariakinaren lurrunketaren ondorioz inolako pororik agertu ez den arren, % 100 olio osaturiko ebaketa-jariakinaren kasuan probeta guztiak arrakalatu direla baieztatu da.



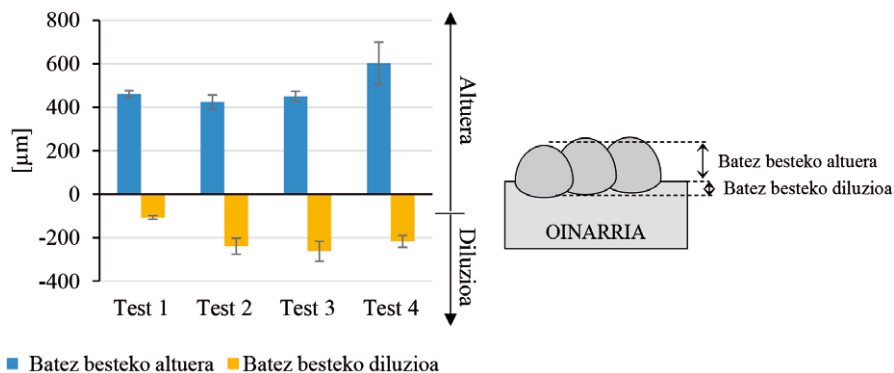
3. irudia. Saiakuntzen zeharkako sekzioen adibideak.

Laugarren saiakuntzako probeten zeharkako sekzioetan aurkituriko arrakalak eta akatsak sakonago aztertu dira, eta ondorengo 4. irudian ikus daitezke haien xehetasunak. Kasu guztietan, arrakalak erantsitako materialaren eta oinarri-materialaren arteko lotura gunean sortu dira, eta gero kordoian zehar gorantz hedatu dira.



4. irudia. 4. saiakuntzan (100% olioia) aurkitutako barneko akatsen xehetasunak.

Saiakuntza bakoitzean gehituriko materialaren formari eta diluzioen balioei dagokienez, azterketa sakonago bat egiteko helburuarekin, haien neurketa dimentsionala gauzatu da. Neurketen emaitzak 5. irudiko barra-diagraman laburbiltzen dira. Han, saiakuntza bakoitzeko batez besteko altuera eta diluzioaren balioak erakustez gain, neurketen desbideratzeari dagozkien errore-barrak irudikatu dira.



5. irudia. Saiakuntza bakoitzean neurtutako kordoen altuera eta diluzioa.

Ikus daitekeen bezala, alde batetik desberdintasun nabarmena dago altuerari dagokionez 4. saiakuntzaren eta gainerakoen artean, bai batez besteko balioan, bai eta emaitzen dispersioan ere. Alabaina, 2. eta 3. saiakuntzek erreferentziazkoaren antzeko altura-balioak erakusten dituzte. Bestalde, diluzioaren balioari dagokionez, 2., 3. eta 4. saiakuntzetan lorturiko balioak erreferentziazkoarenak baino altuagoak dira, hala batez besteko balioan, nola neurketen dispersioan.

4. EMAITZEN EZTABAIDA

Aurkezturiko saiakuntza esperimentalen emaitzak aztertu ostean, ebaketa-jariakinarekin kutsaturiko gainazalaren gainean LMD bidez materiala gehitzean alde nabarmenak aurkitu dira erreferentziazkoarekin alderatzerakoan. Gehituriko materialaren barnean ez da aurkitu harrapaturiko gasekin erlazonaturiko poro edo hutsunerik, ez eta fusio faltarik ere (*Lack of Fusion* edo *LOF* ingelesez). Gainera, %10eko olio-kontzentrazioa baino txikiagoa erabili den kasuetan inolako arrakalarik gabeko kordoiak eranstea lortu da. Baina olio-maila handitzen denean arrakalaa- arazoak ager daitezke, eta %100 olio-a erabili denean probeta guztiak arrakalatu dira.

Arrakalatze horren atzean Hidrogenoak Eragindako Haustura (*Hydrogen Induced Cracking* edo *HIC*, ingelesez) dago. Haustura-mekanismo hori gertatzeko, beharrezkoa da gogortasun altuko mikroegitura (kasu honetan egitura martensitikoa lortzen da LMD prozesuaren ostean), trakzioko hondar-tentsioen (gehitze-eragiketaren ostean kordioan agertzen direnak) eta hidrokarburoen (ebaketa-jariakinaren arrastoei bermatzen dutena) aldibereko presentzia. % 5 eta % 10eko olio-kontzentrazioak erabili direnean,

gehitze-prozesuan zehar laserrak olioak lurruntzeko gaitasuna dauka, eta, hortaz, hidrokarburoak lurrundu egiten dira urtutako materialaren inguruan. Aldiz, olio-kontzentrazio altuak erabiltzen direnean, laserrak ez dauka jariakina bere osotasunean lurruntzeko gaitasunik, eta, aipatu berri diren hiru baldintzak beteko direnez, inolako zalantzarik gabe materialaren hausturaren arrazoi nagusia *HICa* dela baieztatu daiteke.

Era berean, fabrikaturiko probetetatik ateratako sekzioen azterketa metalografikoa egin ostean, desberdintasun ugari antzeman dira. Ildo horretan, gehituriko materialaren altueran nabarituriko aldaerek berebiziko garrantzia dute prozesuan. % 100eko olio-kontzentrazioko ebaketa-jariakina erabiltzen den kasuan kordioek altuera handiagoa dute, eta, ondorioz, gehituriko geruzaren gainean bigarren geruza bat erantsi nahi izanez gero, eta erreferentziatzko kasuan erabiltzen den gainjartze-bertikalaren balioa erabiliz gero, laserra fokuz kanpo egongo litzateke lanean. Fokuz kanpoko egoera horretan, LMD prozesuko lan-baldintzak aldatu egiten dira, eta ohikoa da kordioaren altuera gutxitzea edo erantsitako materialaren barnean akatsak agertzea, adibidez fusio faltak.

Ebaketa-jariakinarekin kutsaturiko AISI H13aren gainazalean materiala gehitzerakoan, lehenengo kordioak erreferentziatzko kasuan baino sarkortasun handiagoa du. Baina sarkortasunaren balioa jaitsiz doa hurrengo kordioetan, eta ebaketa-jariakinaren arrastoak egokiro garbitzen ez badira, bigarren eta hirugarren kordioetan diluzio-maila baxuak agertzen dira. Fenomeno hori kontuan hartu beharrekoa da; izan ere, diluzio-maila baxuegi batek erantsitako materialaren eta oinarriaren arteko lotura txarra dakar, eta kordioa oinarritik banandu daiteke. Ez hori bakarrik, lotura txarraren ondorioz ager daitezkeen hutsuneak, fusio falta izenez ezagutuak, tentsio-kontzentrazio guneak dira. Hortaz, kordioak elkarren adamenean eransterakoan materialak jasango dituen beroketa- eta hozketa-zikloen ondorioz arrakalaten hasteko gune aproposak dira. Era berean, laser bidez konponduriko trokelek beren bizitzan zehar jasan beharreko beroketa- eta hozketa-zikloen ondorioz ere antzeko haustura gerta daiteke. Alabaina, kontrako fenomeno ere gerta daiteke; izan ere, ebaketa-jariakinaren presentzian materiala gehitzen denean, lehenengo kordioak erreferentziatzkoaren kasuarekin alderatuz sarkortasun handiagoa erakusten du, eta horrek oinarriaren ginkaltetzea ekar dezake. Arazo hori bereziki larria izan daiteke materiala lodiera txikiko oinarrietan eransten denean.

Sarkortasun- eta altuera-aldakortasunen jatorria oinarriaren gainazalean aurkitzen den ebaketa-jariakinaren eta gehituriko hauts-partikulen artean sortzen den nahasketan dago. Lehenengo lerroa gehitzerakoan, laserrak ebaketa-jariakina aurkituko du, eta honen errekuntzan sortzen den beroak sarkortasun handiagoa dakar. Alabaina, lehenengo lerro honen gehikuntzan, bigarren lerroa gehitu behar den gunean hautsa pilatuz joango da, eta,

ondorioz, bigarren lerroa gehitserakoan, laserrak ez du joko oinarriaren gainazalean, baizik eta hauts-olio nahasketan. Hortaz, oinarria urtu beharrean nahasketa hori urtuko da, eta horrek justifikatzen du gero eta altuera handiagoa eta sarkortasun txikiagoa izatea bigarren lerroan olioaren kontzentrazio-maila igo ahala. Azpimarratu beharra dago hirugarren lerroan efektu hori areagotu egiten dela, eta, lerro gehiago atxikiz gero, gero eta arazo larriagoak agertuko liratekeela.

5. ONDORIOAK

Ikerlan honetan aurkezturiko saiakuntza esperimentalak egin ostean eta lorturiko emaitzak azterturik, honako ondorio hauek atera dira:

- AISI H13arekin lan egiten den kasuan, ebaketa-jariakinaren maila baxuek ez dute laser bidezko gehitze-prozesuan inolako arrakalarik sortzen. Alabaina, % 100 olioko ebaketa-jariakinarekin kutsaturiko gainazalean AISI H13a laser bidez gehitzean, erantsitako materialaren arrakalatzea gertatzen da, eta ondorioz, lorturiko piezak ez du izango bere funtzio mekanikoa betetzeko gaitasunik.
- Ebaketa-jariakina laser bidez lurruntzean sortzen diren gasek ez dute inolako porositatekerik edo barne-hutsunerik sortu AISI H13an.
- Erantsitako materialaren geometria eta itxurari dagokionez, desberdintasunak aurkitu dira erreferentziako saiakuntza eta ebaketa-jariakinarekin kutsaturiko probeten artean. Hala, % 100 olio-kontzentrazioa ebaketa-jariakina erabiltzen den kasuan atxikitako geruzaren altuera erreferentziarena baino altuagoa da. Gainera, emaitzek dispersio-maila handiagoa erakusten dute, eta hori prozesuaren eze-gonkortasun-maila handiagoaren adierazgarri da.

Eskuraturiko emaitzetan oinarrituz, ukaezina da AISI H13aren aurretiazko mekanizazio-prozesuan erabilitako ebaketa-jariakinaren arrastoek osteko laser bidezko gehitze-prozesuan eragin zuzena dutela eta bitarteko garbiketa-prozesua ezinbestekoa dela.

Arazo honen konponbidea mekanizazio- eta gehitze-prozesuen bitartean garbiketa-etapa bat gehitzea litzateke. Garbiketa horretan, aire-zorrotada bidez baztertu daitezke gainazaleko ebaketa-jariakinaren arrastoak, edo, bestela, materiala gehitzeko erabiltzen den laserrarekin berarekin olio lurrundu daiteke, baina potentzia baxuagoa erabiliz, oinarria ez kaltetzeko. Alabaina, garbiketa-prozesu horien eraginkortasuna frogatu beharra dago, eta etorkizuneko lanetan ildo horretan jarraituko da ikertzen.

6. ESKER ONAK

Ikerlan hau Eusko Jaurlaritzak finantzaturiko ADDISEND proiektuaren, Elkartek KK000115, baitan garatu da. Era berean, eskerrak eman nahi zaizkio Europar Batasunari, H2020-FoF13-2016 programaren bitartez PARADDISE proiektuaren (723440 beka zenbakiduna) finantzaketagatik.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] FLYNN J.M., SHOKRANI A., NEWMAN S.T., DHOKIA V. 2016, «Hybrid additive and subtractive machine tools –Research and industrial developments» *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, **101**, 79-101.
- [2] BOISSELIER D., SANKARÉ S., ENGEL T. 2014, «Improvement of the Laser Direct Metal Deposition Process in 5-axis Configuration». *8th Int. Conf. Laser Assist. Net Shape Eng. LANE 2014*, **56**, 239-249.
- [3] CORTINA M., ARRIZUBIETA J.I., RUIZ-SALAS J.E., UKAR E., LAMIKIZ A. 2018, «Latest Developments in Industrial Hybrid Machine Tools that Combine Additive and Subtractive Operations» *Materials*, **11**(12), 2583; doi.org/10.3390/ma11122583
- [4] KARUNAKARAN K., SURYAKUMAR S., PUSHPA V., AKULA S. 2010, «Low cost integration of additive and subtractive processes for hybrid layered manufacturing». *Robot. Comput. Integr. Manuf.* **26**, 490-499. doi.org/10.1016/j.rcim.2010.03.008
- [5] YAMAZAKI T. 2016, «Development of A Hybrid Multi-tasking Machine Tool: Integration of AM Technology with CNC Machining» *Proc. CIRP*, **42**, 81-86.
- [6] YAN, L.; ZHANG, Y.; NEWKIRK, J.W.; LIOU, F.; THOMAS, E.; BAKER, A. 2018, «Investigation of machining coolant residue cleaning methods for Ti6Al4V part fabrication through hybrid manufacturing process». *Manufacturing Letters*, **16**, 10-13.
- [7] CORTINA M., ARRIZUBIETA J.I., RUIZ J.E., UKAR E., LAMIKIZ A. 2018, « Análisis de la influencia del uso de fluido de corte en procesos híbridos de mecanizado y aporte por láser» *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, **22** (2), 33-39.
- [8] OH S., KI H. 2019, «Deep Learning Model for Predicting Hardness Distribution in Laser Heat Treatment of AISI H13 Tool Steel» *Applied Thermal Engineering*, **153**, 583-595; doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.01.050
- [9] HOCUT B 750aren Fitxa Teknikoa. <https://racingtolua.com/wp-content/uploads/2018/08/HOCUT-B-750-0912-ES.pdf> Azken sarrera: 2020-07-06.