

# Hozketa-hodien fabrikazioa berotako trokeletan laser-ekarpen bidez

Study of the viability of manufacturing the cooling channels of hot stamping dies via Laser Metal Deposition

Jon Iñaki Arrizubieta\*<sup>1</sup>, Eneko Ukar<sup>1</sup>, Magdalena Cortina<sup>1</sup>,  
Jose Exequiel Ruiz<sup>1</sup>, Ines Aseginolaza<sup>2</sup>, Aitzol Lamikiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bilboko Ingeniaritza Eskola, UPV/EHU

<sup>2</sup> Batz S. Coop.

**LABURPENA:** Berotako estanzazioan xafla metalikoaren hozketa egokirako hain beharrezkoak diren hozketa-hodiak gaur egun zulaketa bidez fabrikatzea beste irtenbide teknologikorik ez dago. Hala, haien forma fabrikazio-prozesu horrek mugatzen du, eta, hortaz, ezinezkoa da trokelaren gainazal kurboekiko paraleloak diren hozketa-hodiak fabrikatzea. Ondorioz, konformaturiko xaflaren hozketa ez-homogeneoa lortzen da, eta bukaerako piezak propietate mekaniko aldakorrek dituen batean eta bestean. Murrizketa horri aurre egiteko helburuarekin, erabaki da hozketa-hodiak laser-ekarpeneko prozesuaren bidez fabrikatzea eta ikerlan honetan prozesu horren bideragarritasuna aztertu da.

**HITZ GAKOAK:** Laser bidezko ekarpena, LMD, berotako trokelgintza, hozketa-hodiak.

**ABSTRACT:** *The cooling channels required for ensuring the proper cooling of a metallic sheet in the hot stamping process, are nowadays manufacturing via drilling, which is technologically the only viable alternative. Therefore, the shape of the cooling channels is determined by this manufacturing method, and hence, it is impossible for them to follow the curved surface of the stamping die. Consequently, a non-homogeneous cooling of the hot sheet is obtained, what leads to variable properties between different regions. In order to cope with this limitation, it is decided to manufacture the cooling channels via Laser Metal Deposition and in the present research work the viability of this process is studied.*

**KEYWORDS:** *Laser Metal Deposition, LMD, hot stamping, cooling channels.*

\* **Harremanetan jartzeko / Corresponding author:** Jon Iñaki Arrizubieta Arrate. Ingeniaritza Mekanikoa Saila. Plaza Torres Quevedo, 1. 48013 Bilbao, Bizkaia, Euskal Herria. – [joninaki.arrizubieta@ehu.eus](mailto:joninaki.arrizubieta@ehu.eus) – <https://orcid.org/0000-0002-6030-4941>.

**Nola aipatu / How to cite:** Arrizubieta, Jon Iñaki; Ukar, Eneko; Cortina, Magdalena; Ruiz, Jose Exequiel; Aseginolaza, Ines; Lamikiz, Aitzol (2019). «Hozketa-hodien fabrikazioa berotako trokeletan laser-ekarpen bidez»; *Ekaia*, ale berezia 2019, 71-84. (<https://doi.org/10.1387/ekaia.19861>).

Jasoa: 1 ekaina, 2018; Onartua: 13 uztaila, 2018.

ISSN 0214-9001 - eISSN 2444-3255 / © 2019 UPV/EHU



Obra hau Creative Commons Atribución 4.0 Internacional-en lizentziapean dago

## 1. SARRERA

Laser bidezko ekarpena (edo laser-ekarpena) da industrian gero eta gehiago erabiltzen ari den fabrikazio-prozesua. Hainbat aldaera dituen arren, ikerlan honetan ingelesezko *Laser Metal Deposition* deituriko prozesuaz hitz egiten da, zeinari hemendik aurrera LMD izenaz deituko zaio [1]. Prozesu horrek oinarri-materialaren gainazalean material bera edo bestelakoa gehitzea ahalbidetzen du. Material gehigarria hauts- edo hari-formatuan atxikitzen zaio oinarriaren gainazalari, laser-izpi batek oinarri-materiala eta gehigarria, biak aldi berean, urtuz. Hori dela medio, LMD prozesuari esker piezaren erabileran zehar agertzen den higadura edo fabrikazio-prozesuan zehar kaltetuak diren piezak konpon daitezke. Gainera, LMD bidez konponduriko piezek jatorrizkoarekin alderagarriak diren ezaugarri mekanikoak dituzte, eta, ondorioz, jatorrizkoen funtzio berdinetarako erabil daitezke [2].

LMDren ezaugarriak esanguratsuena balio erantsi handiko piezak fabrika ditzakeela da, errepikakortasun handiarekin eta kostu erlatiboki baxuarekin. Are gehiago, material-gehikuntzako prozesua guztiz automatiza daiteke, prozesuaren gaineko langilearen eragina ia desagertu arte murriztuz. Beraz, LMDk trokelgintzako enpresa ugariaren interesa piztu du azken urteetan [3].

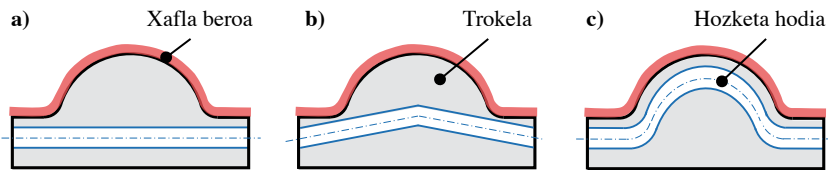
Trokelgintza-sektoreak garrantzi handia dauka gaur egungo fabrikazio-arloan [4]. Izan ere, masa-produkzioan ekoizten diren produktu eta xaflazko pieza gehienak trokelak edo tolesgailuak darabiltzaten konformazio-prozesuen bidez fabrikatzen dira. Ondorioz, trokelek, prozesuaren efizientzian eragin zuzena izateaz gain, bukaerako produktuaren kalitatea ere zehazten dute [5]. Ildo berean, azken urteetan autogintza-industriak gero eta erresistentzia handiagoko materialen erabilera bultzatu du, horiei esker onura ekonomiko eta autoaren segurtasun-hobekuntza nabariak lortzen direlako. Alabaina, ezinezkoa da material horien fabrikazioa hotzetako estanpazioaren bidez lortzea, eta muga horrek berotako estanpazio-prozesuaren garapen eta hedapena bultzatu du [6].

Berotako estanpazio-prozesua egokiro zertzen dela bermatzeko, lehenengo pausoa, eraldatu beharreko xafla labe barnean austenitizazio-tenperaturatik gora berotzen da (900-950 °C). Temperatura igoera horri esker, elastikotasun-modulu ultra-altuko altzairuak (700 MPa-etik gorako elastikotasun-muga) konformatzea posiblea da trokela askorik higatu gabe. Bigarren pausoa, barnetik hoztuta dagoen trokel multzo batera eramaten da, eta xafla-konformazioa eta tenplaketa aldi berean gertatzen dira. Hozketa-prozesu horri esker, beroketa-prozesuan altzairuak eratu duen mikroegitura austenitikoa martensitiko bihurtzen da. Aipaturiko egitura-aldaketa 420 eta 280 °C bitartean gertatzen da, eta, desio ez den mikroegitura perlitikoaren agerpena saihesteko, xafla konformazio-prozesuan zehar xaflaren

temperatura  $27^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ -ko hozketa-abiadura minimoan  $200^{\circ}\text{C}$ -ko tenperaturatik behera jaitsi behar da [7]. Hozketa egokiro gertatzen dela ziurtatzeko, trokelek barneko hozketa-sistema baten beharra daukate, eta hozketa-sistemaren diseinu egokiaren arabera dira xafla konformatuaren propietate mekanikoak zein trokelaren iraupena [8].

Hozketa-hodien eraginkortasunak pieza konformatuaren hozketa-dentzora zehazten du, eta, ondorioz, baita prozesuaren produktibitatea ere. Gainera, konformaturiko piezetan agertzen diren akats gehienak trokelaren hozketa-sistema desegokiaren ondorio izaten dira, eta hodien diseinu egokiaren bitartez saihestu daitezke [9].

Trokelgintzan zulaketa da hozketa-hodien fabrikazio-metodorik ohikoena, eta, hori dela eta, hodiekin forma zuzena besterik ezin dute eduki (ikus 1.a eta 1.b irudiak). Beraz, barneko hozketa hodien fabrikaziorako metodo tradizionalen erabilerak murrizten du trokelaren bukaerako geometriaren forma. Ondorioz, hodi zuzenen bitartez ezinezkoa da gainazal kurbo baten profila lortzea, eta hozketa ez-uniforme bat lortzen da xaflaren berotako konformazio-prozesuan.



**1. irudia.** Trokel kurbo baten hozketa-sistema diseinatzen diren aukerak: a) zulaketa-hodi zuzen bakarra; b) zulaketa-hodi zuzen bi; c) laser-ekarpeneko prozesuaren bidez fabrikaturiko hozketa-hodia.

Azken urteetako laser bidezko ekarpenaren eta antzeko fabrikazio-prozesu gehigarrien garapenak eta hobekuntzak ahalbidetu du kalitate metalurgiko oneko eta dentsitate handiko piezen fabrikazioa. Gainera, LMD prozesuak geometria-mugarik gabeko piezen diseinurako modua ematen du, eta horrek geometria konplexuko hozketa-hodien fabrikaziorako aukera [10].

Adis Huskic ingeniari alemaniarrek gidaturiko ikerkuntza-taldeak 2012an izaniko Fabrikazio lasterreko jardunaldian adierazi bezala, SLM (*Selective Laser Melting*) prozesuaren bidez fabrikaturiko berotako forjako trokelak ikertu zituen [11-12]. Lortutako emaitzek erakusten dute ekarpen-prozesuaren bidez fabrikaturiko trokelek forja-prozesuan zehar agertzen diren kargak jasateko gaitasuna dutela. Ildo berean, Koreako Chosun Unibertsitateko Dong-Gyu Ahn ikertzaileak eta beraren taldeak mekanizazio- eta ekarpen-prozesuak konbinatuz injekziozko moldeen hozketa-hodiak fabrikatu zituzten [13]. Molde horien funtzionamendua ohiko moldeenarekin al-

deratuz gero, injekzio-prozesuaren ziklo-denbora murrizteaz gain, prozesuak behar duen energia-kantitatea ere murriztu da. Bestalde, Alemaniako IWU zentroko ikertzaile den Muller-ek mekanizazio- eta ekarpen-prozesuen konbinazioari esker hozketa-hodiak barneratuta dituzten txertaketa-takoak fabrikatu zituen, eta esperimentalki haien portaera egokia frogatu [14].

Alabaina, LMD prozesuaren prestaketak dituen zailtasunen ondorioz, ez da aurkitu berotako trokelen hozketa-hodiak nola fabrikatu azaltzen duen ikerlanik. Hori dela eta, ikerlan honen helburu nagusia berotako trokelen hozketa-hodiak LMD prozesuaren bidez fabrikatzearen bideragarritasuna aztertzea da.

## 2. ERABILITAKO MATERIALAK

Berotako konformazio-prozesuan trokelek jasaten dituzten temperatura altuen eta higadura-baldintza gogorren ondorioz, ondorengo baldintzak bete behar ditu hozketa-hodien itxiturarako erabili beharreko materialak:

- Konpresio-indarrak jasateko, materialak gogortasun handia izan behar du.
- Materialak erresistentzia nahikoa izan behar du, konformatu beharreko xafla beroa trokelaren gainazaletik desplazatzean trokela lasterregi ez higatzeko.
- Temperatura altuetan bere propietate mekanikoak mantentzeko gaitasuna izan behar du.
- Xafla beroaren hozketa bizkorra ahalbidetzeko, eroankortasun termiko handia izan behar du.

Horiek guztiak kontuan izanik, eta LMD prozesuaren bidez oinarrikoa ez bezalako materiala gehitu daitekeela kontuan izanda, lan honetan kobalto oinarri duen Stellite 6 izeneko materiala aukeratu da gehigarri modura. Material horrek higadurarekiko erresistentzia handia lortzen du mikroegituraren oinarri den CoCr-ko matrizean zehar sakabanatuta agertzen diren karburoei esker. Eroankortasun termiko onargarria izateaz gain (ikus 2. taula), Stellite 6-k bere propietate mekanikoak 500 °C-ko temperatura arte mantentzeko gaitasuna dauka. Gainera, laser bidezko ekarpen-prozesurako material egokia da. Material hori Oerlikon-ek ekoitzi eta hornitzen du hauts-formatuan MetcoClad 6 izenarekin [15].

**1. taula.** Stellite 6-ren osaera kimikoa (ehunekotan) [15].

Co	Cr	W	C	Bestelakoak
Oinarria	27-32	4-6	0,9-1,4	Ni, Fe, Si, Mn, Mo

**2. taula.** Stellite 6-ren propietate termikoak [15].

Temperatura (°C)	95	205	315	425	540
Eroankortasun termikoa [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]:	20,9	22,5	24,2	25,3	25,6
Hedapen-koefizientea [ $10^{-6} \cdot K^{-1}$ ]:	10,4	11,3	11,8	12,2	12,6

Oinarri modura, saiakera guztietan Orvar Supreme berotako erreminta-altzairua erabili da. Material hori Uddeholm-ek ekoitzia da [16], AISI H13 eta DIN 1.2344 altzairuen baliokidea.

**3. taula.** AISI H13-ren osaera kimikoa (ehunekotan) [16].

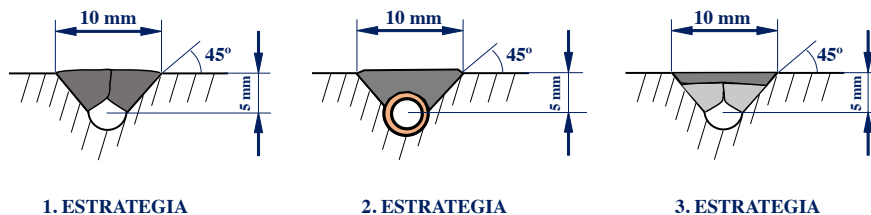
Fe	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
Oinarria	0,39	1,0	0,4	5,2	1,4	0,9

**4. taula.** AISI H13-ren propietate termikoak [16].

Temperatura (°C)	20	400	600
Eroankortasun termikoa [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]:	25	29,0	30,0
Hedapen-koefizientea [ $10^{-6} \cdot K^{-1}$ ]:	—	12,6	13,2

### 3. PROZEDURA ESPERIMENTALA

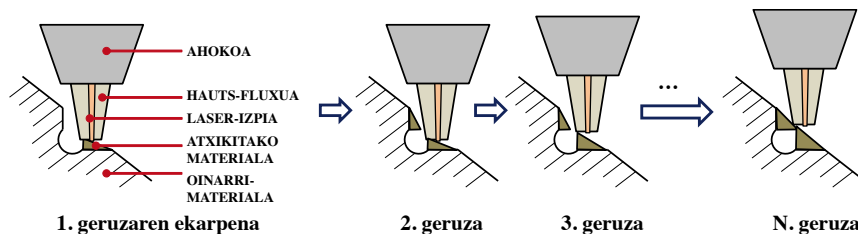
Hozketa-hodiaren itxitura-aukerak aztertu aurretik, lehendabizi AISI H13-zko berotako trokelaren gainean Stellite 6 gehitzeko prozesu-baldintza egokiak zehaztu dira. Atxikitako materialaren barneko akats-gabezia eta ekarpen-tasa handia lortzeko xedez prozesu-baldintzen egokitasuna aztertu da. Baldintza optimoak zehaztu direnean, hozketa-hodien itxiturarako hiru estrategiak aztertu dira:



**2. irudia.** Hozketa-hodien itxiturarako aztertu diren hiru estrategiak.

### 3.1. Lehenengo estrategia

Geometria prestatzeko, 4 mm-ko diametroko punta esferikoko fresa batekin hozketa-hodiaren beheko erdia izango den arteka mekanizatu da. Oinarri-materialaren gainean zuzenean Stellite 6 gehituz lortu da hozketa-hodia ixtea. Hozketa-hodia egokiro ixten dela bermatzeko eta, aldi berean, bere barnetik hozketa-jariakina inolako arazo barik igarotzen dela ziurtatzeko, «erromatar zubi» deituriko material-gehikuntzako estrategia erabili da. 3. irudian ikusten den bezala, albo bietan materiala txandaka gehituz doa, N. geruzan hodia ixtea lortu arte.

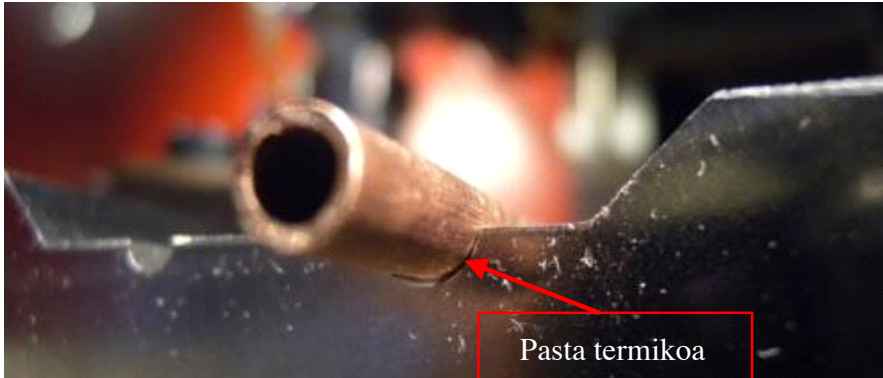


**3. irudia.** Hozketa-hodien itxiturarako erabilitako «erromatar zubi» strategiaren eskema.

### 3.2. Bigarren estrategia

Aurreko kasuan ez bezala, bigarren estrategian hozketa-hodia ez da ixten LMD prozesuaren bidez, baizik eta lehenengo pausoan kobrezko hodia aurretiaz mekanizaturiko artekan kokatzen da, eta, bigarren pausoan, nahi den altuera lortu arte horren inguruan materiala gehitzen. Lehenengo estrategiarekin alderatuz, hozketa-jariakinaren fluxu berdina bermatzeko helburuarekin, kobrezko hodiak 4 mm-ko barne-diametroa dauka, eta 6 mm-ko kanpo-diametroa. Hortaz, kasu honetan, geometriaren prestaketarako 6 mm-ko diametroko punta esferikoko fresarekin mekanizatu da kobrezko hodia ahokatuko duen arteka-erdia.

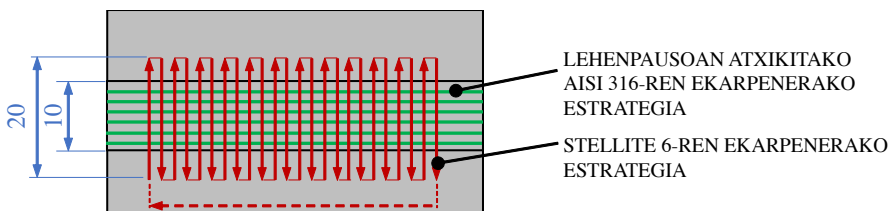
Kobrezko hodiaren eta mekanizaturiko artekaren arteko ahokadura eta gainazal bien artean bero-transferentzia egokia ziurtatzeko, zilarra oinarri duen eroankortasun handiko pasta termiko bat erabili da, ikus 4. irudia.



**4. irudia.** Kobrezko hodiaren eta AISI H13-zko oinarriaren arteko ahokaduraren xehetasuna.

### 3.3. Hirugarren estrategia

LMD prozesuan agertzen diren barne-tentsioak direla eta, atxikitako materiala arrakalatzeko arriskua dago. Arazo horiek saihesteko helburuarekin, erabaki da hirugarren estrategian oinarritzko materialaren eta Stellite 6-ren artean AISI 316 altzairu herdoilgaitzezko geruza bat erabiltzea. Horretarako, lehenengo estrategian aipaturiko «erromatar zubia» altzairu herdoilgaitzez eraiki da, eta, ostean, bukaerako trokelari beharrezko gainazal-gogortasuna eta higadurarekiko erresistentzia eskainiko dizkion Stellite 6 materiala gehitu (ikus 2. irudiko eskuineko eskema). 5. irudian ikusten den bezala, arteka ixtea lortu arte AISI 316-ren ekarpenerako luzetarako estrategia erabili da; aldiz, Stellite 6-ren kasuan, zeharkakoa. Ekarpenera norabideak aldatzeari esker, bukaerako trokelak norabidezko portaera izatea saihestu da, eta, horrela, propietate mekaniko isotropikoak bermatu.



**5. irudia.** AISI 316-ren eta Stellite 6-ren ekarpenerako erabilitako estrategiak.

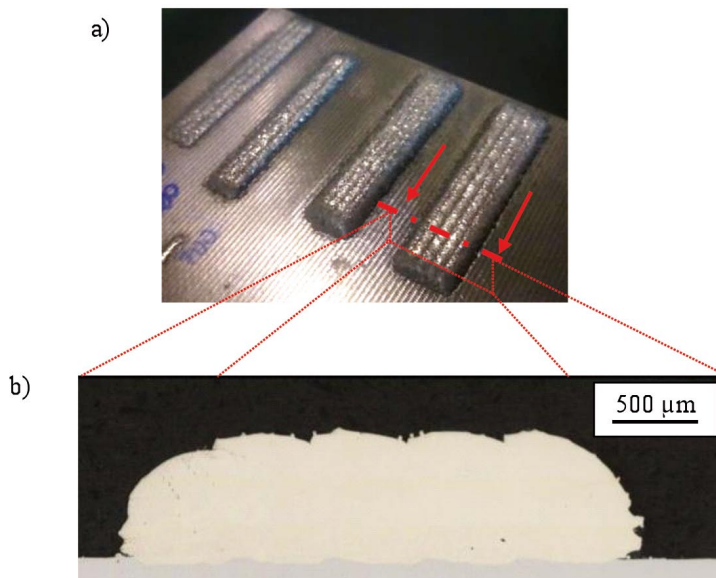
## 4. EMAITZEN AZTERKETA

### 4.1. Ekarpren-prozesuaren baldintzak

Stellite 6-ren ekarpren-prozesuaren baldintza optimoak zehazteko, lehendabizi prozesu baldintza onenak zehaztu dira lerro bakarrerako, eta, ostean, zenbait lerro gainjarriz lortzen diren geruzen altueraren eta zabaleraren balioak zehaztu dira (ikus 6. irudia). Balio horiek oinarritzat hartuz, prozesuaren portaera aurreikusi, eta LMD modu automatikoan programa daiteke. Ondoz ondoko bi lerroren artean 2 mm-ko distantzia utzi behar da, eta geruza bakoitzarekin 0,4 mm-ko altuera-gehikuntza lortzen da. Ondorengoak dira prozesuko aldagaien baldintzak:

**5. taula.** Stellite 6-ren ekarpren-prozesurako baldintza optimoak.

Parametroa	Balioa
Laser-potentzia [W]	800,0
Aitzinapen-abiadura [ $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	500,0
Hauts-emia [ $\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	5,5
Laserraren foku-diametroa [mm]	1,5
Babes-gasaren emaria [ $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	14,0
Arraste-gasaren emaria [ $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	4,5



**6. irudia.** a) Stellite 6-zko zenbait kordoiren gainjartzea ; b) mikroskopio azpian ikusitako Stellite 6-zko bost kordoiko hiru geruzen zeharkako sekzioa.



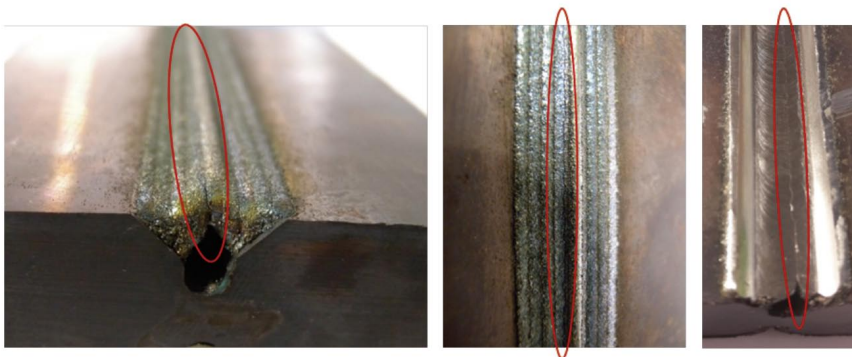
#### 4.2. Hozketa-hodien zuzeneko ekarpena

7. irudian ikusten den bezala, lehenengo estrategiaren bitartez hozketa-hodia egokiro ixtea lortu da. Gainera, hodi-barnea hozketa-prozesurako kaltegarriak diren eta LMD prozesuan ohikoak diren hauts-partikulen proiektzioetatik garbi dago. Ordea, gehituriko materialaren gogortasun handia dela medio eta sorturiko geometria kontuan izanik, tentsioen kontzentrazioguneak agertzen dira.



**7. irudia.** Ekarpen-prozesua bukatu osteko hozketa-hodiaren itxura. Atxikitako materialaren gainazala mekanizatu dago.

Erromatar zubia ixten den gunea tentsio-kontzentrazioko gunea da, eta, ondorioz, luzetarako arrakala bat agertzen da pieza osoan zehar. Arrakalaren sakonera aztertzeko helburuarekin, gehituriko materialaren gainazala mekanizatu, eta arrakala barruraino heltzen dela baieztatu da (ikus 8. irudia).

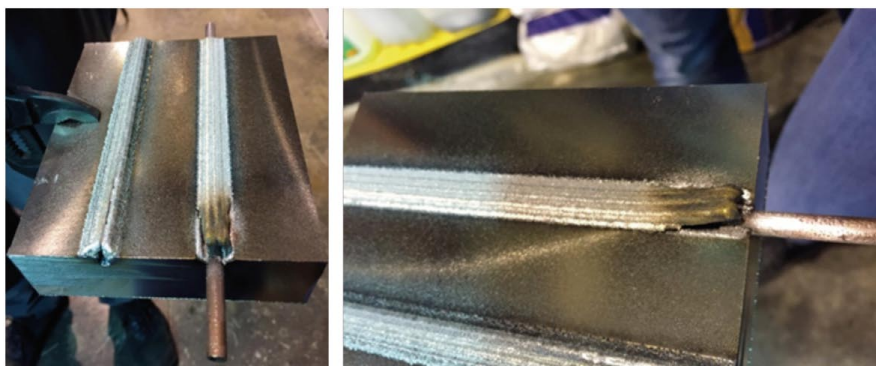


**8. irudia.** Piezaren ekarpena bukatu ostean ikusi den arrakalaren xehetasuna.

Arrakalaren agerpena zuzenean lotuta dago Stellite 6-ren izaera hauskorrekin. Are gehiago, arrakala ekarpen-prozesuan zehar sortzen da, orduantxe ikusi eta entzun baita barne-tentsioen bat-bateko askapena. Hori dela eta, arrakalen agerpena ezin ekidin daiteke ekarpen-prozesuaren osteko piezaren barne-tentsioak murrizteko tratamendu termikoaren bitartez, eta, hortaz, bestelako estrategiaren bat aurkitu behar da.

#### **4.3. Kobrezko hodiaren bidezko hozketa-hodien eraketa**

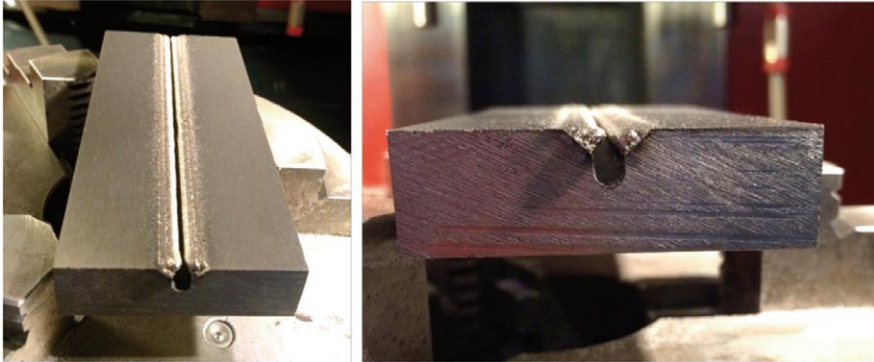
Kobrezko hodiaren gainean materiala gehitzean, lehenengo geruzaren ostean ekarpen-prozesuak egokiro funtzionatzen duen itxura izan arren, atxikitako material kopurua handitu ahala, barne-tentsioak areagotuz doaz, eta, 9. irudian ikusten den bezala, atxikitako materiala eta hodia banatzen dira. Aipaturiko fenomeno hau gertatzearen arrazoia kobreaken islatze-koeffiziente handia da, horrek ez baitu ahalbidetzen material gehigarriaren eta kobreaken arteko lotura egokia. Ondorioz, material bi horien arteko lotunea mekanikoki oso ahula da, eta hautsi egiten da.



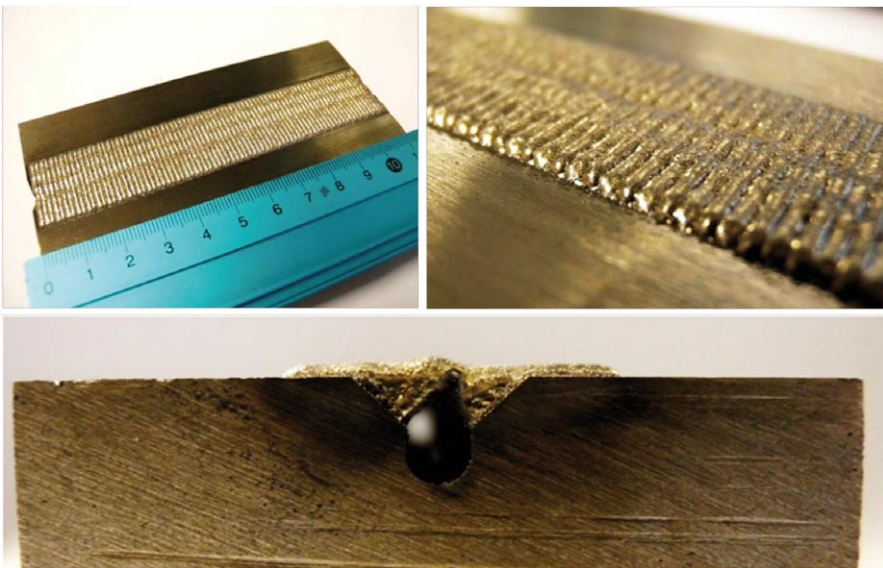
**9. irudia.** Kobrezko hodia erabili ostean agertu den materialaren askatzea.

#### **4.4. Bitarteko materialaren erabilera bidezko ekarpena**

Metodo honen bitartez oso emaitza onak lortu dira. 10. irudian hozketa-hodia ixtear dagoen aldiunea erakusten da. Erromatar zubia ixtean agertzen diren tentsioak altzairu herdoilgaitzak, barne-deformazioari esker, eusteko gaitasuna dauka, eta, lehenengo estrategian ez bezala, ez da inolako arrakalarik agertu. Hozketa-hodia ixtea lortutakoan, Stellite 6-zko geruza bi gehitu dira, eta 11. irudian piezaren bukaerako itxura ageri da. Begiz ikuskatzeaz gain, likido sarkorren bidezko analisisia ere egin da, eta bi kasuetan ez da aurkitu inolako arrakalarik edo gainazal-akatsik. Ondorioz, baieztatu da bitarteko material biguna erabiltzearen estrategia egokia dela.



**10. irudia.** Piezak duen itxura hozketa-hodiaren albo bakoitzean AISI 316-zko sei geruza gehitu ostean.



**11. irudia.** Laser bidezko ekarpenaren bidez itxitako hozketa-hodiaren ikuspegi orokorra eta xehetasunak.

## **5. EMAITZEN EZTABAIDA**

Ikerlan honetan ikusi da nola oinarri gogorraren gainean material gogorra gehitzean, ekarpen osteko hozketa-prozesuan agertzen diren barne-tentsioen ondorioz, ezin ekidin daitekeela arrakalen agertzea. Alabaina, prozesuko barne-tentsioei bere deformazioaren bidez euts diezaiekeen material bigunagoa tartean txertatuz (altzairu herdoilgaitza kasu honetan), arrakalen agerpena saihestea lortu da.

Bestalde, jakina da altzairu herdoilgaitzak Stellite 6-k eta AISI H13-k baino eroankortasun txikiagoa duela. Ordea, M. Cortina ingeniariak bere ikerlanean ondorioztatu zuen bezala, altzairu herdoilgaitzezko geruza finak ez du eraginik trokelaren bukaerako hozketa-gaitasunean [17].

Hozketa-hodiaren geometriari dagokionez ikusi da laser bidezko ekarpen-prozesuak mugatzen duela bere forma, eta garaturiko erromatar zubiarren estrategiak beti utziko duela goiko aldean ertz zorrotz bat. Hala, gune hori tentsioaren kontzentrazio-gunea da, eta estrategia horrekin fabrikaturiko trokela produkzioan sartu aurretik beraren nekearekiko portaera aztertu beharko litzateke.

Are gehiago, kontuan hartu behar da laser-ekarpen bidez hozketa-hodiak ixtean zulaketaren kasuan baino gainazal-zimurtasun handiagoa izango dutela eta horrek hozketa-jariakinaren fluxuari eragingo diola. Alabaina, gainazal zimurrago batek turbulentsia-maila handiagoa dakar, eta hori desiragarria da konbekzio bidezko hozketa-prozesurako.

Azkenik, kobrearen islatze-koefiziente altuagatik, azterturiko bigarren estrategian Stellite 6 kobrezko hodiaren gainazalari atxikitzeko zailtasunak aurkitu dira. Hortaz, altzairu herdoilgaitzezko hodiak erabiltzearen aukera ikertu da. Hala ere, estrategia horren bidez forma konplexuko trokelaren hozketa-hodiak fabrikatzea ezinezkoa da, ezin daitekeelako bermatu trokelaren eta hozketa-hodiaren luzera osoan zehar kontaktu jarraitua egongo denik, eta aukera hori bertan behera utzi da.

## **6. ONDORIOAK**

Ikerlan honi esker, berotako trokelaren hozketa-hodiak LMD bidez fabrikatzearen bideragarritasuna bermatu da. Horretarako, geometria konplexudun hozketa-hodiak LMD bitartez fabrikatzea ahalbidetzen duen estrategia berri bat garatu da.

Gehituriko materialaren arrakalatzea ekiditeko bitarteko AISI 316 material bigunagoaren beharra ere frogatu da. Alabaina, material bigunagoaren erabilerak trokelaren hozketa-gaitasunean duen eragina aztertu beharra dago, eta, horregatik, etorkizunean ildo horretan ikertzen jarraituko da.

## 7. ESKERRAK

Ikerlan hau Ekonomia, Industria eta Lehiakortasun Ministerioak finantzatu du 2015eko *Retos-Colaboración* programaren bitartez (RTC-2015-4194-5 *AddiClean*), Europar Batasuneko FEDER funtsekin batera finantzatua.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- [1] TOYSERKANI, E., KHAJEPOUR, A. eta CORBIN, S. 2005. *Laser Cladding*. CRC Press LLC.
- [2] RIEDELSBERGER, H. 2013 «Laser cladding in ship and other offshore applications». *The Laser User*, **69**, 8.
- [3] CHEN, C., WANG, Y., OU, H., HE, Y. eta TANG X. 2014 «A review on remanufacture of dies and moulds». *Journal of Cleaner Production*, **64**, 13-23.
- [4] JHAVAR, S., PAUL, C.P. eta JAIN, N.K. 2013 «Causes of failure and repairing options for dies and molds: A review». *Engineering Failure Analysis*, **34**, 519-535.
- [5] ALTAN, T., LILL, Y B., YEN, Y.C. eta ALTAN, T. 2001 «Manufacturing of Dies and Molds». *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, **50**, 404-422.
- [6] STEINBEISS, H., SO, H., MICHELTISCH, T. eta HOFFMANN, H. 2007 «Method for Optimizing the Cooling Design of Hot Stamping Tools». *Production Engineering*, **1**, 149-155.
- [7] ERIKSSON, M., OLDENBURG, M., SOMANI, M.C. eta KARJALAINEN, L.P. 2002 «Testing and Evaluation of Material Data for Analysis of Dorming and Hardening of Boron Steel Components». *Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, **10**, 277-294.
- [8] HOFFMANN, H., SO, H. eta STEINBEISS, H. 2007 «Design of hot stamping tools with cooling system». *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, **56**, 269-272.
- [9] HÖLKER, R.; JÄGER, A. eta TEKKAYA, A.E. 2017 «Additive Manufacturing of Tools and Dies for Metal Forming». «Laser Additive Manufacturing» liburuko 17. atala, 439-464 orrialdeak. Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials Duxford Cambridge, Erresuma Batua.
- [10] SCHIECK, F. HOCHMUTH, C., POLSTER, S. eta MOSEL, A. 2011 «Modern tool design for component grading incorporating simulation models, efficient tool cooling concepts and tool coating systems». *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, **4**, 189-199.
- [11] HUSKIC, A., BEHRENS, B.A., GIEDENBACHER, J. eta HUSKIC, A. 2013 «Standzeituntersuchungen generative hergestellter Schmiedewerkzeuge». *Schmiede Journal*, **92013**, 66-70.
- [12] HUSKIC, A., GIEDENBACHER, J., PSCHEBEZIN, U. eta WILD, N. 2012 «Rapid Tooling für Umformwerkzeuge». *RTEjournal – Forum für Rapid Technologie*, **9**.

- [13] AHN, D.G., KIM, H.W. eta PARK, S.H. 2010 «Manufacture of mould with a high energy efficiency using rapid manufacturing process». AIP Conference Proceedings, **1252**, 185-191.
- [14] MÜLLER B. 2013 «Konturnahe Temperierung beim Presshärten». Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik (IWU). <https://www.iwu.fraunhofer.de/content/dam/iwu/de/documents/Infoblatt/Infoblatt-Konturnahe-Temperierung-beim-Pressh%C3%A4rten.pdf> (*eguneratua 2018/05/11*)
- [15] <https://www.oerlikon.com/metco/en/products-services/coating-materials/laser-pta-weld-overlay/laser-cladding/> (*eguneratua 2018/05/11*)
- [16] [https://www.uddeholm.com/files/PB\\_orvar\\_supreme\\_english.pdf](https://www.uddeholm.com/files/PB_orvar_supreme_english.pdf) (*eguneratua 2018/05/11*)
- [17] CORTINA, M., ARRIZUBIETA, J.I., CALLEJA, A., UKAR, E. eta ALBERDI, A. 2018. «Case Study to Illustrate the Potential of Conformal Cooling Channels for Hot Stamping Dies Manufactured Using Hybrid Process of Laser Metal Deposition (LMD) and Milling». *Metals*, **8**, 102.