

Aluminiozko zoru meheen fresaketa: erronkak, teknikak eta gidalerroak

*(Aluminium thin-floor milling: challenges, techniques
and guidelines)*

Mikel Casuso Lomas^{*1}, Antonio Rubio-Mateos¹, Fernando Veiga², Aitzol Lamikiz³

¹ TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Donostia

² Nafarroako Unibertsitate Publikoa (UPNA/NUP), Iruñea

³ Bilboko Ingeniaritza Eskola (UPV/EHU), Bilbo

LABURPENA: Aluminiozko zoru mehek aplikazio industrial ugari dituzte, tartean hegazkinen fuselajea. Haien fabrikazioan hainbat operazio daude, baina azkenekoa da kritikoena. Azken operazio hori fresaketa mekanikoa izaten da, eta erronka garrantzitsuak ditu oraindik ere, batez ere hondar-tentsioek sortzen duten deformazioa murriztea eta ebaketa-indarrek eragiten dituzten bibrazioak —*chatterra* batez ere— saihestea, zeinak oso kaltegarriak baitira bai fresagailuarentzat, bai zoru mehearen gainazal-akaberarentzat. Hainbat teknika daude erronka horiei aurre egiteko, batik bat ebaketa-baldintza aproposen aukeraketa, egonkortasun-lobuluaren kalkulua bidez; eta tresneria eta lokailuen erabilera, zoru meheak zurruntzeko. Dena den, bali-teke teknika horiek bibrazioak guztiz ekidin ezin izatea, zoruaren zurruntasun izugarri txiki eta aldakorragatik fresaketan zehar. Horregatik, prozedura bat mahaigaineratzen da zoru meheen geometria anitzetara moldatzen den tresneriaren erabilera bultzatzeko. Ondorioz, baldintza egokiekien fresatuz gero zoruaren bibrazioak eta akatsik gabeko eremuak zedarritu ahalko dira.

GAKO-HITZAK: fresaketa-eragiketa, mekanizazioa, aluminioa, pieza meheak.

ABSTRACT: *Aluminium thin floors have many industrial uses, especially as aircraft fuselage. Their manufacturing involves many operations, and the last one is the most critical one. This operation is mechanical milling, and it entails important challenges, as reducing distortion as consequence of residual stresses and preventing vibrations as consequence of cutting forces (mainly chatter). They are highly damaging for the milling centre and the surface quality of the thin floor. There are many techniques for facing these challenges, as the selection of proper cutting conditions, by means of the calculation of stability lobes; and the use of fixturing and holding systems that stiffen the thin floors. In any case, these techniques are not always able to completely prevent vibrations, due to the very low and variable stiffness of thin floors during milling. Because of this, a procedure is posed that aims to boost the use of flexible fixturing systems. As consequence, areas without vibrations and defects may be mapped in the thin floors if they are milled under proper cutting conditions.*

KEYWORDS: *milling, machining, aluminium, thin parts.*

*** Harremanetan jartzeko/Corresponding author:** Mikel Casuso Lomas, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Gipuzkoako Parke Zientifikoa eta Teknologikoa (20009 Donostia).  <https://orcid.org/0000-0003-3923-3971>, mikel.casuso@tecnalia.com

Nola aipatu/How to cite: Casuso Lomas, Mikel; Rubio-Mateos, Antonio; Veiga, Fernando; Lamikiz, Aitzol (2025). «Aluminiozko zoru meheen fresaketa: erronkak, teknikak eta gidalerroak», *Ekaia*, 48, 2025, DOI: <https://doi.org/10.1387/ekaia.27216>

Jasoa: urtarirak 15, 2025; Onartua: maiatzak 23, 2025

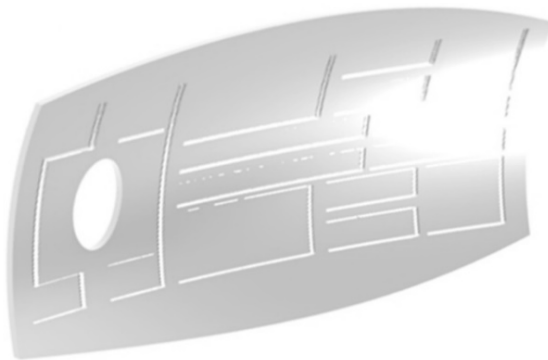
ISSN 0214-9001-eISSN 2444-3225 / © UPV/EHU Press



Lan hau Creative Commons Aitortu-EzKomertziala-PartekatuBerdin 4.0 Nazioartekoa lizentzia baten mende dago

1. SARRERA

Aluminiozko zoru meheak (ingelesez, *thin floor*) deritzen pieza mehe eta zabalak hainbat sektore industrialetan oso erabiliak dira, aeronautikoan batik bat. Hegazkinen hegaletan (*rib* deituriko piezak, esaterako) eta fuselajea (1. irudia) aurki daitezke, eta, zoru meheen lodiera zabalera baino askoz txikiagoa denez, 5 milimetrokoa asko jota, haien fabrikazioa punta-puntako erronka teknologiko eta industrial da.



1. irudia. Fuselaje-pieza. Moldatua [1].

Zoru hauek fabrikatzeko gaur egungo teknologia nagusia fresaketa mekanikoa da. Fresaketa mekanikoan piezari materiala txirbil-harroketa bidez kentzen zaio, horrela piezari nahi den forma eta neurriak emateko. Adibidez, fuselajearen piezak altzairuzko xafletatik abiatuta fabrikatzen dira, zeinei fresaketa bidez lodiera txikitu eta nahi den forma ematen baitzaie.

Beste teknika tradizional batzuk ere badaude zoru hauek ekoizteko, errematxaketa eta fresaketa kimikoa batik bat. Errematxaketan zoru mehe handiak lortzen dira txikiagoak errematxe bidez elkartuz. Fresaketa kimikoan konposatu bat erabiltzen da aluminioa disolbatzeko eta piezaren lodiera murrizteko. Dena den, teknika horiek gero eta gutxiago erabiltzen dira, aurrenak zoru irregularrak eta pisu gehiegizkoak produzitzen dituelako, eta bigarrena kutsakorra eta arriskutsua delako; eta horien ordean fresaketa mekanikoa ari da gailentzen, aluminiozko zoru mehe arinak eta homogeenak lortzen baititu, erresistentziaren eta pisuaren arteko erlazio onarekin [2].

2. ERRONKAK

Fuselajea bezalako aluminiozko zoru meheen fresaketa mekanikoa ez dago zailtasunetatik eta erronka teknologikoetatik salbu. Hasteko, zenbat

eta trinkoagoa eta pisu gutxiagokoa zorua, orduan eta pisu gutxiagokoa izango da hegazkina ere, eta, ondorioz, baxuagoa bere kontsumo energetikoa eta karbono-aztarna. Aluminiozko zoru meheen fresaketa, beraz, ez da fabrikazio-fasera mugatzen, eta hegazkinaren bizi-ziklo osoari eragiten dio. Gainera, aerodinamika eta segurtasuna direla eta, fabrikazio-perdoi zorrotzak ezartzen zaizkie zoru hauei ($\pm 0,1$ mm lodieran eta < 1.6 μm gainazal-akaberaren batez besteko zimurtasun aritmetikoan) [1, 3].

Baina —eta hemen agertzen da fresaketaren erronkarik gordinena— haien lodiera hain txikia izanik, haien zurruntasuna ere halakoxea da. Eta horrek zorua deformatzioa eta bibrazioa erraztu dezake fresaketa-indarren eraginpean, zeinak oso kaltegarriak baitira zehaztasunerako eta akaberarako. Gainera, zoruak txirbil-harroketak bidez galtzen duen bolumena eta masa handiak dira, erlatiboki behintzat, eta horrek zorua deformatzioaren etengabeko aldaketa dakar fresaketak aurrera egin ahala [4]. Bibrazio nagusia *chatter* deiturikoa da, auto-kitzikapenez sortutakoa [5], hau da, ebaketa-prozesuak berak sortua. Aurreko iraganaldian zorua gainazala uhindua geratzean eta hura berriz fresatzean txirbil-lodiera aldakorra sortzen denez agertzen da *chatter* bibrazioa. Horrek prozesu ezegonkor bat sortzen du. Fresaketa arruntetan *chatter*ak fresagailuari eragiten dio, baina pieza meheen kasuan piezari berari, bere zurruntasun txikiagoagatik. *Chatter*ak akats larriak eragin ditzake. Fresagailuaren elementuak hondatu ditzake, eta zoruetan gainazal-akabera okerra utzi, ezarritako fabrikazio-perdoietatik at. Hori bereziki kaltegarria da fuselajeetan.

Zoru meheetan agertzen den beste gertakari bat hondar-tentsioak dira. Izan ere, zoruak hainbat fabrikazio-prozesu jasaten ditu, eta fresaketa azkenekoa izan ohi da. Aurretiko prozesu horiek tentsio batzuk sortu dituzte piezan. Tentsioak orekan daude, baina fresaketak oreka apurtzen du, tentsioak oreka-egoera berri batean berrantolatzen dira, eta ondorioz zorua deformatzen dute [6]. Bi motatako hondar-tentsioak daude: alde batetik, fresaketaren aurretik piezan daudenak, aurreko operazioetan sortuak eta gehienetan nagusiak direnak; eta, beste aldetik, fresaketan bertan sortutako tentsioak. Gehienetan azken horiek ez dira nabarmenak, baina aluminiozko zoru meheen ezaugarria da hain zuzen ere haietan fresaketan sortutako tentsioek ere eragin nabarmena izatea ondorengo deformazioan [7].

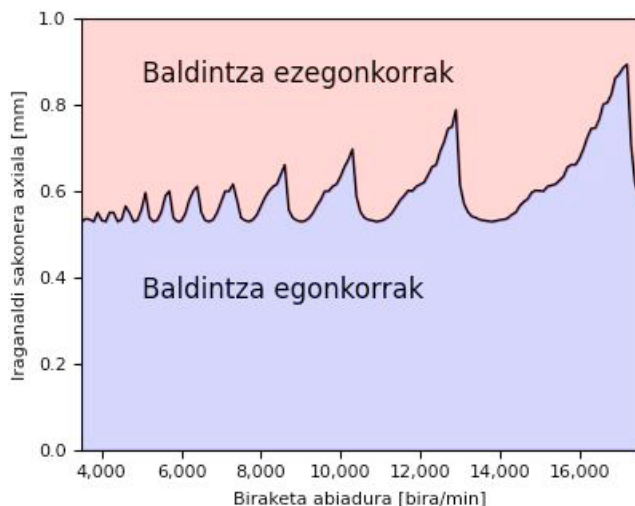
Bai bibrazioek, bai deformazioek zoruan akatsak eragin ditzakete, edo hura fabrikazio-perdoietatik kanpo utzi, pieza bazterteraino. Zorua baztertu beharra bereziki garesti suerta daiteke. Gehienetan fresaketa azken fabrikazio-operazioa da pieza hauetan, denbora eta energia asko inbertitu ostean aurreko operazioetan —ijezketa edo fabrikazio-gehigarria [8, 9]. Beraz, akatsik gabeko zoru mehe zehatzak lortzea helburu eta erronka nagusia da, bai ikuspuntu ekonomikotik, bai materia eta energia aurrezteko jomuga duen ikuspuntu ekologikotik.

3. TEKNIKAK

Hainbat teknika plazaratu dira erronka hauei heltzeko. Fresaketan zoru tresneria egokiarekin eustea da gakoa, zoruaren zurruntasuna handitu dezakeelako, eta hortaz bibrazioak murriztu eta deformazioak kontrolatu. Bestalde, fresaketa-prozesuaren azterketa matematikoa ebaketa-baldintza aiproposak kalkulatzeko eta erabiltzeko ere garrantzitsua da.

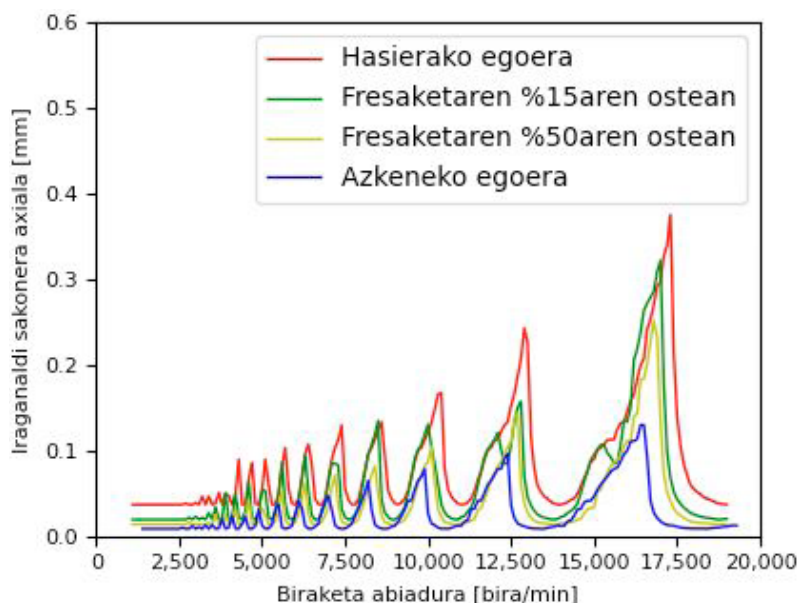
a) Ebaketa-baldintza aiproposen kalkulua eta aukeraketa

Fresaketa-prozesuaren azterketa matematikoan aurrerapen handiak egin dira [10]. Funtsean, azterketa horrek egonkortasun-lobuluak kalkulatzeko du helburu. Azterketok biraketa-abiadura bakoitzak iraganaldi-sakonera axialik egonkorrena zein duen ezartzen dute, hots, *chatter* bibrazioa saihesten duena. 2. irudian egonkortasun-lobuluaren adibide bat agertzen da. Lobulu izena baldintza egonkorra eta ezegonkorra banatzen dituen murraren formatik dator. Oro har, iraganaldi-sakonera axial handiek bibrazioak eta ezegonkortasuna sorrazten dute fresaketan. *Chatter* saihesteko, beraz, iraganaldi baxuak erabili behar dira, baina, horrek efizientzia baxuagoa duenez, lobuluak ahalbidetzen dute iraganaldirik emankorrena —hots, sakonena— kalkulatzeko. 2. irudiaren adibidean, 0,8 milimetrotako iraganaldia litzateke bibrazioak sortzen ez duen sakonerarik handiena, betiere 16.500 bira/min-ra fresatuz gero. Hitz gutxitan, azterketa matematikoari esker egonkortasun-lobuluak kalkulatu dira, eta horiek fresatzeko modurik egonkorrena adierazten dute.



2. irudia. Egonkortasun-lobuluaren adibidea (puntuak erabili da hamartar bereizle gisa).

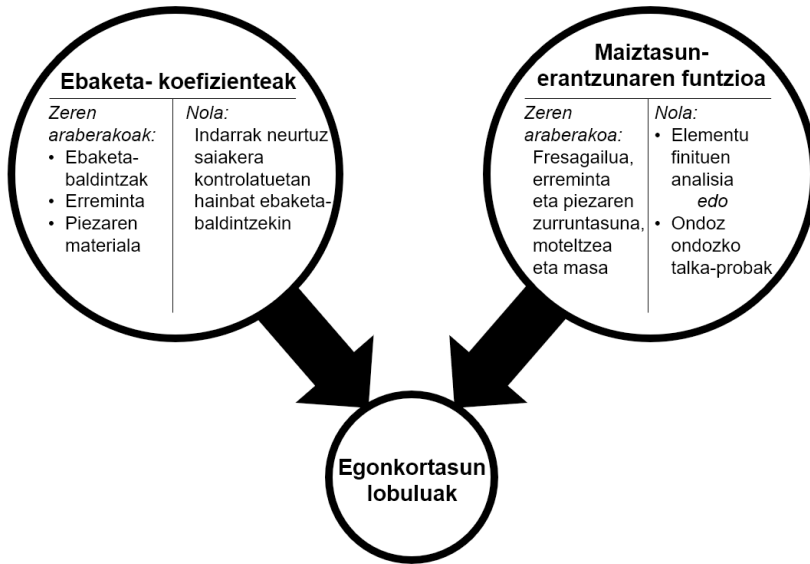
Zoru meheetan erronka handiagoa da, ondoz ondoko egonkortasun-lobuluak kalkulatu behar baitira. Izan ere, esan bezala, haietan masa- eta bolumen-galerak handiak dira fresaketan zehar, zoruua nabarmenki aldatuz doa, eta ondorioz ebaketa-baldintza egonkorrenak ere aldatzen dira [11]. Hori aintzat hartzeko, egonkortasun-lobuluak fresaketaren hainbat etapatan kalkulatu behar dira, 3. irudian erakusten den bezala [4].



3. irudia. Egonkortasun-lobuluaren aldaketa fresaketan zehar (puntuak erabili da hamartar bereizle gisa). Moldatua [12].

Lobuluak kalkulatzeko beharrezkoak dira ebaketa-koefizienteak eta maiztasun-erantzunaren funtzioak. Ebaketa-koefizienteek ebaketa-indarrak aurreikustea ahalbidetzen dute ebaketa-baldintzen, fresatutako material motaren eta erabilitako ebaketa-erremintaren arabera. Aldez aurretik eskuratu behar dira, baldintza ezberdinetan fresaketa-probak eginez eta eragindako indarrak neurtuz [13]. Bestalde, maiztasun-erantzunaren funtzioak fresagailuak eta piezak kanpo-kitzikapen baten aurrean duten erantzuna kuantifikatzen du. Konputazionalki lor daitezke, elementu finituen simulazio bidez; baina zehatzagoa da esperimentera eskuratzea, talka-probak eginez. Berez, ondoz ondoko hainbat talka-proba egin beharko dira fresaketan zehar, zoruaren materia- eta bolumen-galeraren eragina kontuan izatearren. Talka-probak burutzeko mailu dinamometrikoa eta azelerometroa behar dira. Lehenak talkan aplikatutako indarra neurtzen du, eta bigarrenak indar horrek fresagailuan eta zoruan sortzen duen bibrazioa [14].

Funtsean, ebaketa-koefizienteek fresaketa-baldintzen arabera indarrak kalkulatzea ahalbidetzen dute, eta maiztasun-erantzunaren funtzioek indarren arabera bibrazioa. Halakoak modu kontrolatuan lortu behar dira, zoru mehea fabrikatzen hasi aurretik. Horrekin guztiarekin, egonkortasun-lobuluak kalkulatzeko eta irudikatzea posible da, zeinekin fresaketa-baldintza proposenak aukeratzeko diren. Kalkulu honen eskema 4. irudian erakusten da.



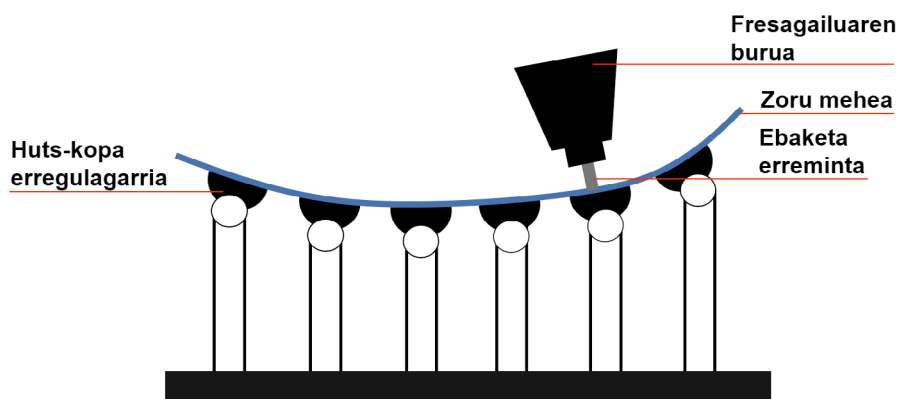
4. irudia. Egonkortasun-lobuluak kalkulatzeko urratsak.

b) Tresneriaren erabilera

Tresneriaren erabilera piezei eusteko eta haiek kokatzeko ohikoa da edozein fresaketa-prozesutan, baina zoru meheen kasuan tresneriak beste eginkizun bat ere dauka: zoruaren zurruntasuna handitzea eta bibrazioak moteltzea. Horretarako, industrian gehienbat huts bidezko lokailuak erabiltzen dituzte. Zorua haiei atxikitzen zaie fresaketan. Bi motatakoak dira: *ad hoc* deiturikoak, pieza-geometria jakin baterako espresuki sortuak (monomorfoak ere deitzen zaie [15]); eta moldakorrak (edo ortomorfoak), hainbat pieza-geometria ezberdinetara moldagarriak (5. irudia) [16].

Ad hoc lokailuen abantaila argia da: zoruari hobeto atxikitzen zaizkio, hobeto sostengatzen dute eta haren zurruntasuna hobekien handitzen. Desabantaila ere bistakoa da: zoru mota bakar batentzat balio dute. Sektore aeronautikorako garestiegiak eta erabilgaitzak dira, piezak sorta txikitik ekoitzi ohi baititu. Bere aldetik, tresneria moldakorraren kasua aurkakoa da: geometria ezberdinetara moldakortasun ageriki handia du, baina zu-

rruntasun agian ez-nahikoa eta, beraz, bibrazioak guztiz ekiditeko ezintasuna. Tresneria horiek, oro har, huts-kopa erregulagarritz osaturiko mahai zabalak dira. Hori dela eta, zoruari lokalki eusten diote, baina zoruaren azaleraren zati handiak euskarririk gabe geratzen dira —huts-kopen artean daudenak, alegia—, zurruntasun txikiegiarekin zehaztasunezko fresaketa zorrotzak egiteko, sektore aeronautikoan eskatzen den modura.



5. irudia. Zoru meheei eusteko tresneria moldakorraren diagrama.

4. GIDALERROAK

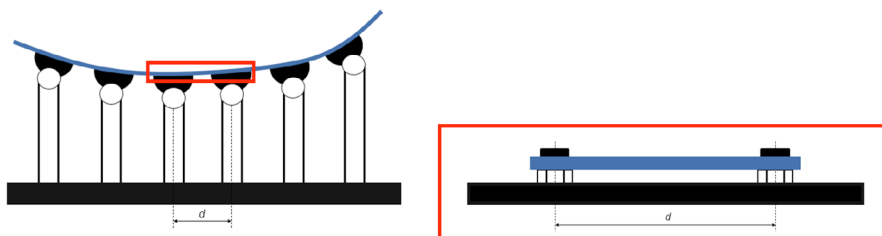
Aluminiozko zoru meheak fresatzeko, bereziki hegazkinen fuselajearen parte izango direnak, zenbait gidalerro eta prozedura proposa daitezke, aurreko teknikak erabiliz.

Tresneria moldakorraren ahalmen osoa garatzeko horiek egonkortasun-lobuluen kalkuluarekin konbina daitezke, hau da, alde batetik tresneriaren pieza-geometria ezberdinetara moldatzeko gaitasunaz baliatu, eta beste alde batetik ebatzi zein diren halako egoeran ebaketa-baldintza egonkorrenak.

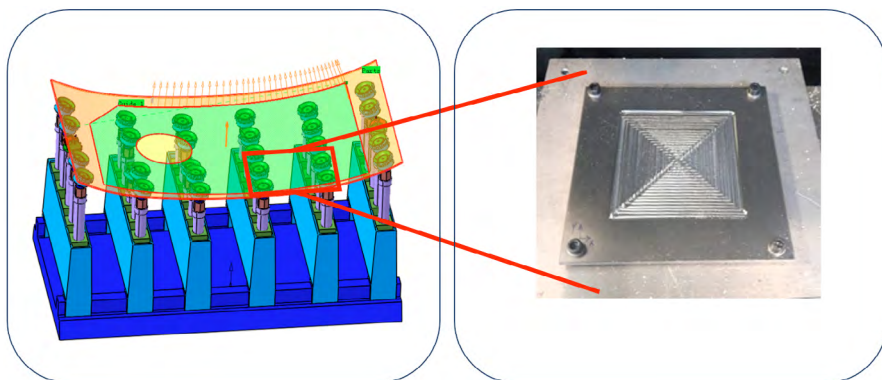
Berriki, indar eredu bat garatu da esperimentalki, kontuan hartzen dituen fresaketa-indarrak kalkulatzeko ez soilik ebaketa-baldintzak; baita zoruaren eta tresneriaren geometriak, ebaketa-erremintaren posizioa eta zoruaren bolumen-aldaketa fresaketan zehar ere. Eredu hau aproposa izan daiteke fabrikazio-prozesuan zehar hain aldakorrak diren zoru meheak bezalako piezetan aplikatzeko [17]. Bestetik, frogatu da *chatter* bibrazioa berez ez dela edonon eta uneoro agertzen, baizik eta soilik zoruaren eremu jakin batzuetan, zurruntasun txikienekoetan. Beraz, tresneria moldakorrean zedarritu ahalko lirateke fresaketa-eremu egonkorrak [12]. Dena den, garrantzitsuen da frogatu dela metodologia aproposari jarraituz gero posible dela bibrazioak, hein handi batean bederen, murriztea. Horretarako, zoru

meheak fresatu aurretik probak egin daitezke eremu egonkor horiek aurkitu eta mugatzeko. Entsegu-mahai batean, zoru mehea fabrikatu aurretik, tresneria moldakorraren baldintzak erreplika daitezke, eremu egonkorak zedarritu eta fresaketa-baldintza egonkorrenak zehaztu. Horrek tresneria moldakorraren erabilera bultza dezake.

Prozedura laborategian entsegu kontrolatuak egitean datza. Fuselaje osoa fresatu ordeztu, plaka meheak fresatu daitezke, torlojuak erabiliz huts-kopen ordeztu, betiere bihurtura eta atxikipen-indarren balioa mantenduz, baita huts-kopen arteko distantzia ere. Huts-kopen arteko eremu hori da, hain zuzen ere, zurruntasun txikiaren, eta, beraz, bibrazioak jasateko eremurik probabileena. Egonkortasun-lobuluak kalkulatu daitezke plaka horietan, baldintza egonkorrenak aukeratu ondoren, eta eurak erabiliz, plakaren eremu egonkorak eta ezegonkorak mapatu. Fresaketa-baldintza horiek eta huts-kopen arteko eremu egonkor horiek izango dira gero tresneria moldakorrean fuselajearen fresaketa egonkorrena ahalbidetuko dutenak. 6. irudian erreplikazio-ekintza horren eskema azaltzen da, eta 7. irudian kasu erreal bat.



6. irudia. Tresneria moldakorraren diagrama (ezk.) eta hartatik abiatutako erreplika (esk.).



7. irudia. Kasu erreala, plaka mehe bat fresatu dena tresneria moldakorraren erreplika gisa. Moldatua [18].

5. ONDORIOAK

Akatsik gabeko aluminiozko zoru mehe zehatzak lortzea operazio kritikoa da gaur egungo fuselajeen fabrikazioan, eta helburu ekonomiko eta ekologiko nabarmena. Zoritzarrez, halako zoruek deformazioak eta bibrazioak jasaten dituzte hondar-tentsioen eta ebaketa-indarren eraginpean. Zoruen zurruntasun txiki eta aldakorrek gaizkiagotzen ditu halako arazoak, eta erabiltzen den tresneriak ezin ditu beti arazook ekidin.

Horregatik, indar-eredu berriak garatu dira, hobeto azaltzen dutenak zoru meheen fresaketa, eta prozedura bat mahaigaineratu da zoru mehe horien fresaketa gidatzeko, ahalbidetzen duena baldintza egokiekin fresatuz gero zoruan bibraziorik eta akatsik gabeko eremuak zedarritzea.

ESKER ONAK

Eskerrik asko Eusko Jaurlaritzari, EKOHEGAZ2 (KK-2023/00051) proiektuaren bidez emandako finantzaketagatik.

BIBLIOGRAFIA

- [1] DEL SOL, I., RIVERO, A., LÓPEZ DE LACALLE, L. N., GAMEZ, A. J. 2019. «Thin-wall machining of light alloys: a review of models and industrial approaches». *Materials*, **12**, 2012.
- [2] HERRANZ, S., CAMPA, F. J., DE LACALLE, L. N. L., RIVERO, A., LAMIKIZ, A., UKAR, E., SÁNCHEZ, J. A., BRAVO, U. 2005. «The milling of airframe components with low rigidity: A general approach to avoid static and dynamic problems». *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, **219**, 789-801.
- [3] SLAMANI, M., CHATELAIN, J. F., IL, A., BALAZINSKI, M. 2021. «Statistical analysis and modeling of temperature distribution during various milling operations of thin walled aircraft parts». *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, **570**, 125842.
- [4] CAMPA, F. J., LOPEZ DE LACALLE, L. N., CELAYA, A. 2011. «Chatter avoidance in the milling of thin floors with bull-nose end mills: Model and stability diagrams». *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **51**, 43-53.
- [5] ARRIZUBIETA, J. I., CELAYA, A., UKAR, E., LAMIKIZ, A. 2019. «Makina-erremintaren errendimendua eta zehaztasuna». *EKAIA Euskal Herriko Unibertsitateko Zientzia eta Teknologia Aldizkaria*, ale berezia, 9-30.
- [6] WANG, J., ZHANG, D., WU, B., LUO, M. 2018. «Prediction of distortion induced by machining residual stresses in thin-walled components». *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **95**, 4153-4162.

- [7] LI, J., WANG, S. 2017. «Distortion caused by residual stresses in machining aeronautical aluminum alloy parts: recent advances». *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **89**, 997-1012.
- [8] ALDALUR, E., PANFILO, A., SÚAREZ, A., M. UGARTEMENDIA, J. 2021. «Hari metalikoetan eta arku elektrikoan oinarritutako fabrikazio-gehigarriko WAAM teknologiaren oinarriak eta aplikazioak». *EKAIA Euskal Herriko Unibertsitateko Zientzia eta Teknologia Aldizkaria*, **40**, 345-360.
- [9] GROSSI, N., SCIPPA, A., VENTURINI, G., CAMPATELLI, G. 2020. «Process parameters optimization of thin-wall machining for wire arc additive manufactured parts». *Applied Sciences*, **10**, 7575.
- [10] ALTINTAS, Y., ERHAN BUDAK. 1995. «Analytical Prediction of Stability Lobes in Milling». *CIRP Annals*, **44**, 357-362.
- [11] YUE, C., GAO, H., LIU, X., LIANG, S. Y., WANG, L. 2019. «A review of chatter vibration research in milling». *Chinese Journal of Aeronautics*, **32**, 215-242.
- [12] CASUSO, M., RUBIO-MATEOS, A., VEIGA, F., LAMIKIZ, A. 2022. «Influence of Axial Depth of Cut and Tool Position in Locally Supported Thin Floor Milling». *Materials*, **15**, 731.
- [13] GRADIŠEK, J., KALVERAM, M., WEINERT, K. 2004. «Mechanistic identification of specific force coefficients for a general end mill». *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **44**, 401-414.
- [14] QU, S., ZHAO, J., WANG, T. 2016. «Three-dimensional stability prediction and chatter analysis in milling of thin-walled plate». *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **86**, 2291-2300.
- [15] RUBIO-MATEOS, A., RIVERO, A., DEL SOL, I., UKAR, E., LAMIKIZ, A. 2018. «Capacitation of flexibles fixtures for its use in high quality machining processes: an application case of the industry 4.0 paradigm». *DYNA*, **93**, 608-612.
- [16] BAO, Y., WANG, B., HE, Z., KANG, R., GUO, J. 2022. «Recent progress in flexible supporting technology for aerospace thin-walled parts: A review». *Chinese Journal of Aeronautics*, **35**, 10-26.
- [17] CASUSO, M., RUBIO-MATEOS, A., VEIGA, F., LAMIKIZ, A. 2022. «Modeling of cutting force and final thickness for low stiffness 2024-T3 aluminum alloy part milling considering its geometry and fixtures». *Journal of Materials Research and Technology*, **21**, 2416-2427.
- [18] HU, F., LI, D. 2011. «Process planning and simulation strategies for perimeter milling of thin-walled flexible parts held by reconfigurable fixturing system». *Proceedings - 3rd International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, ICMTMA*, **2**, 922-926.