



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

IV. IKERGAZTE NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2021eko ekainaren 9, 10 eta 11a
Gasteiz, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Zeharkako ebaketa prozesuaren
parametroen eragina
erresistentzia handiko
altzairuzko xafla lodietan**

*David Abedul, Lander Galdos,
Eneko Saenz de Argandoña
eta Elena Silvestre*

177-184 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.iv.03.22>



Zeharkako ebaketa prozesuaren parametroen eragina erresistentzia handiko altzairuzko xafla lodietan

Abedul, D.¹, Galdos, L.¹, Saenz de Argandoña, E.¹, Silvestre, E.²

*Mondragon Unibertsitatea – Mondragon Goi Eskola Politeknikoa¹,
Fagor Arrasate S. Coop.²
dabedul@mondragon.edu*

Laburpena

Zeharkako ebaketa prozesuak metalezko bobinak ebakitzeko edo aurre-formatuen murrizketetarako erabiltzen dira. Ebaketa eragiketaren emaitzak, ebaketa kalitateari eta prozesuaren indarrei dagokienez, prozesuaren parametroen eta materialaren portaeraren araberakoak dira. Prozesuaren parametroen ondorioak zehazteko, ebaketa prototipo hidrauliko bat erabiltzen da zeharkako ebakidura eragiketak eginez 10 mm-ko lodiera duen erresistentzia handiko altzairuzko xafla batean. Emaitza hauek prozesuaren indar eskakizunak ulertzen eta bezeroen ebaketa kalitatearen baldintzak betetzen lagunduko dute.

Hitz gakoak: Zeharkako ebaketa, prozesuaren parametroak, xafla lodiak, ebaketa indarrak eta ebaketaren kalitatea.

Abstract

Transversal cutting processes are usually employed for metal coil cutting or precut reduction operations. The final result of a cutting operation, in terms of sheared edge quality and process forces, is dependent on the process parameters and on the material's behavior. In order to determine the effects of the process parameters, an hydraulic blanking prototype is employed to perform transversal cutting operations on a High Strength Steel plate with 10 mm of thickness. These results will help to understand the force requirements of the process and to meet customers' sheared edge quality requirements.

Keywords: Transversal cutting, process parameters, thick plates, cutting forces and sheared edge quality.

1. Sarrera eta motibazioa

Ebaketa prozesuak asko erabiltzen dira txapa konformatzeko industrian. Gaur egun, hainbat prozesu daude mota honetako eragiketak egiteko, hala nola, laser bidezko ebaketa, plasma bidezko ebaketa, ur bidezko ebaketa eta ebaketa mekanikoa. Zaharrenak izanda ere, ebaketa mekanikoko prozesuak industrian erabili ohi dira aipatutako beste prozesuekin alderatuta ekoizpen tasa altuak dituztelako. Bestalde, makinaren indar handiko eskakizunak eta materialaren deformazio handiak suposatzen dituzte.

Azkenaldian, industrian errendimendu handiko materialak erabiltzeko joera egon da, hala nola automobilgintzan, eta horrek erresistentzia handiko altzairuen erabilera ekarri du. Gainera, industria-segmentu astunak altzairuzko xafla lodiak (≥ 5 mm-ko lodiera) erabiltzen dituzte, ontzigintza, eraikuntza edo petrolio industrietan adibidez. Bi faktoreek, materialen erresistentzia handiek eta xaflen lodiera handiek, ebaketa eragiketa egiteko indar eta energia handiak aplikatzea eragiten dute. Xaflak ebakitzeko makina fabrikatzaileek interes handia erakusten dute erresistentzia eta lodiera ezberdineko materialak ebakitzeko indar eta energia eskakizunetan hainbat eragiketa baldintzetan.

Argitalpen honetan, zeharkako ebaketa prozesuko bi parametroen eraginak aztertuko dira (ebaketa jokia eta ebaketa angelua), bai prozesuaren indar-desplazamendu kurbetan, bai lortutako ebaketa kalitatean. Análisi hau egiteko, erresistentzia handiko altzairuzko xafla lodi bat aukeratu da, zehazki 10 mm-ko lodierako xafla.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

2.1. Arloko egoera

Ebaketa-prozesuei buruzko ikerketak xafla meheko (<5 mm-ko lodiera) ebaketa eragiketetara bideratu dira batez ere, bereziki automobilgintzako aplikazioetarako, indar eta energia eskakizun nahiko baxuak izanik. MacKensen et al. (2010) argitalpenean, xaflaren orientazioaren, ebaketa angeluaren eta ebaketa jokoaren indarra murrizteko ahaltasunaren azterketa egin zuten. Material bezala, 300-1000 MPa bitarteko erresistentziako altzairuzko xaflak aukeratu zituzten, milimetro 1-eko lodieran. Behrens et al. (2014) artikuluan ere milimetro 1-eko lodierako altzairuzko xaflak erabili zituzten, 1000 MPa-eko erresistentziarekin. Kasu honetan, ebakitako ertzaren kalitatea ebaluatzeko modelizazio numerikoa erabili zuten, materialaren portaeran deformazio-abiadura eta tenperatura mendekotasuna kontuan hartuta. Hartmann et al. (2021) argitalpenean, deformazioa, deformazio-abiadura eta pitzaduraren bilakaera zeharkako ebaketa prozesuan aztertu zituzten, 4 mm-ko lodierako S355MC altzairu xafla baten, abiadura handiko kamera eta “Digital Image Correlation” teknika konbinatuz.

Bestalde, literaturan xafla lodien ebaketari buruzko argitalpenak ere aurkitu dira. Gustafsson et al. (2016) ebaketa jokoaren eta zapalketaren eraginak aztertu zituzten ebaketa indarretan, alboko indarretan, eta kalitatean, 5-6 mm-ko lodierako eta 300-1300 MPa bitarteko erresistentziako xaflatan. Demmel et al. (2015) artikuluan tenperatura neurketak egin zituzten puntzonaketa fineko eragiketetan S355MC 6 mm-ko lodierako altzairuzko xafla batekin. Beroak sortutako puntzoiaren eta altzairuzko xaflaren arteko potentzial ezberdintasuna neurtu dute eragiketan sortutako kontaktua aprobeztatuz, ebakitako zonaldean lortutako tenperatura zehaztuz.

2.2. Ikerketaren helburuak

Arloko egoera aztertu ostean, xafla finetan lan asko egin dela ondoriozta daiteke, xafla lodien azterketa baztertuz. Honengatik, argitalpen honen ikerketa lerroa xafla lodien zeharkako ebaketa prozesuetan oinarritu da. Zehazki, zeharkako ebaketa eragiketaren indar-desplazamendu kurbetan eta ebaketa kalitatean eragina duten prozesuaren bi parametro aztertu dira:

- Ebaketa jokoak: aihotzen arteko distantzia.
- Ebaketa angelua: aihotzen arteko angelua.

Azterketa honen ondorioz, bai ebaketa indar maximoan, bai ebaketa energian eta bai ebaketa kalitatean ematen diren aldaketak zehaztu nahi dira.

3. Ikerketaren muina

3.1. Zeharkako ebaketa prozesurako prototipoa

Fagor Arrasate S. Coop-ek, xafla prozesatzeko lerroen fabrikatzaileak, zeharkako ebaketa prototipo hidrauliko bat diseinatu eta fabrikatu du, lodiera handiko xaflatan zeharkako ebakidura prozesuaren karakterizaziora bideratua. Prototipoa 5 mm eta 25 mm arteko lodierak eta 600 mm-ko zabalerako xaflak ebakitzeko diseinatuta dago, 2000 kN-eko ebaketa indar maximoa emanez. Zilindro hidrauliko nagusi batek (ebaketa indarra), bi zilindro hidrauliko (zapaltzeko indarra), bi gida lineal, goiko aihotza (mugikorra), beheko aihotza (finkoa) eta gurpileko mahai batek osatzen dute prototipoa.

1. irudia. Zeharkako ebaketa prozesurako prototipo hidraulikoa.

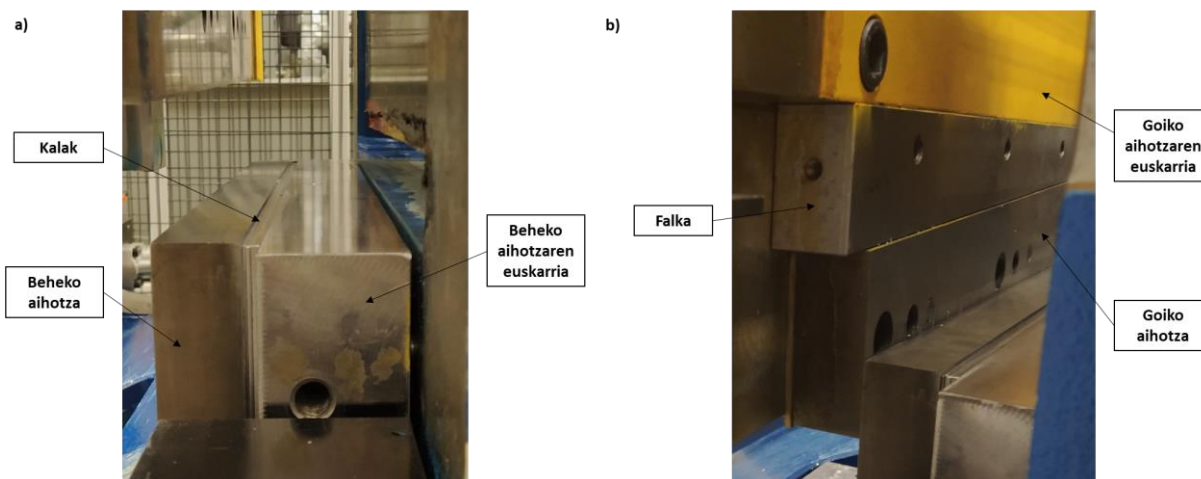


Prototipo honetan prozesuaren parametro desberdinekin zeharkako ebakidura eragiketak egin daitezke. Ebaketa jokoia eta ebaketa-angelua erabiltzailearen nahiaren arabera alda daitezke. Bestalde, aihotz mugikorraren abiadura ezin da aldatu, 32 mm/s-tan egin daitezke entseguak soilik.

Ebaketa jokoia aldatzeko, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2 eta 4 mm-ko lodierako kalak erabiltzen dira. Beheko aihotzaren eta beheko aihotzaren euskarriaren artean kalak gehituz edo kenduz, bi aihotzen arteko distantzia murriztu edo handitu egiten da (ikusi 2. irudia). Behin ebaketa jokoia ezarrita dagoenean, aihotzen arteko tarte galga kalibratuekin neurtzen da erabiltzaileak nahi duen ebaketa jokoia ezarri dela egiaztatzeko.

Ebaketa angelua aldatzeko, goiko aihotzaren eta goiko aihotzaren euskarriaren artean angelu ezaguneko falka bat kokatzen da, aihotzari inklinazio bat emanez (ikusi 2. Irudia). Gaur egun, hiru ebaketa angelu ezarri daitezke prototipo honetan: 1.5°, 2.25° eta 3°.

2. irudia. a) Ebaketa jokoia aldatzeko zatien konfigurazioa eta b) ebaketa angelua aldatzeko zatien konfigurazioa.



Indarrak bi norabideetan neurtu daitezke prototipoan. Alde batetik ebaketa indarra, bertikalean, bi presio zundekin neurtzen da. Zilindro hidraulikoko bi ganberen presioaren ezberdintasuna neurtuz prozesuan ebatzeko egiten den indarra kalkulatu daiteke. Neurtu daiteken bigarren indarra xaflaren sarreraren norabidean da, ebaketa lerroa eta indarraren norabide perpendikularrean. Indar hau bi karga zelulen bitartez neurtzen da, bakoitzak 500 kN-eko kapazitatearekin.

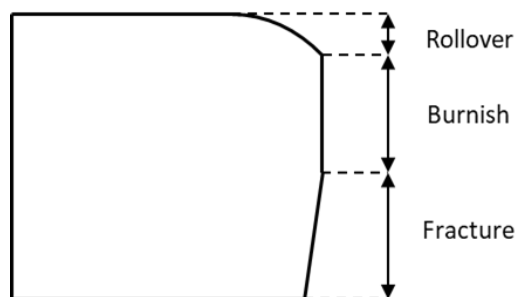
Azkenik, goiko aihotzaren desplazamendua ere neurtu daiteke. Horretarako, sentsore laser bat instalatu da prototipoan. Sentsore honek goiko aihotzaren kokapena neurtu dezake denboran zehar, eta ondorioz, bai aihotzaren desplazamendua eta bai abiadura neurtu daitezke.

Argitalpen honetarako 3 ebaketa jokorekin (lodierako %5, %10 eta %15-arekin) eta 3 ebaketa angelu ezberdinekin (1.5°, 2.25° eta 3°-rekin) egingo dira entseguak. Baldintza konbinazio bakoitzeko 3 saiakuntza egingo dira emaitzak errepikakorrek direla ziurtatzeko.

Saiakuntza guztiak egin ondoren, lortutako xafla zatiak makroskopia optiko batera (Leica DMS 1000) eramango dira ebaketaren kalitateko hurrengo zonalde ezaugarriak neurtzeko (ikusi 3. irudia):

- “Rollover”
- “Burnish”
- “Fracture”

3. irudia. Ebaketaren kalitateko zonalde ezaugarriak.



3.2. Materialaren propietateak

Argitalpen honetan adierazten den ikerketa burutzeko erresistentzia handiko altzairu bat aukeratu da, 10 mm-ko lodierako xafla formatuan eta beroko ijezketa prozesuarekin fabrikatuta. Materialaren propietate mekanikoak hurrengo taulan laburbiltzen dira:

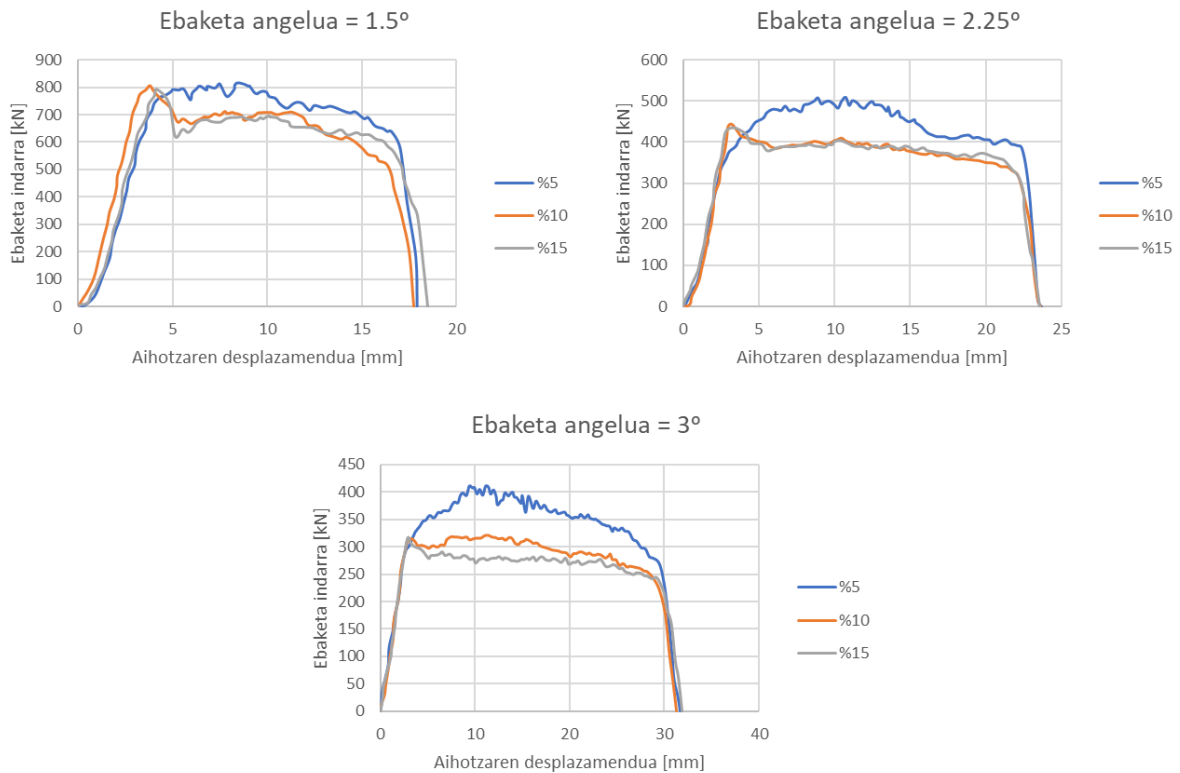
1. taula. Materialaren propietate mekanikoak.

Limite elastikoa [MPa]	Trakzioarekiko erresistentzia [MPa]	Elongazio maximoa [%]	Young-en modulua [GPa]
773.3	824.8	13.1	216.2

3.3 Emaitzak

Emaitzak aztertzeko, lortutako indar-desplazamendu kurbak begiratzuz hasiko gara.

4. irudia. Ebaketa jokoarekiko lortutako indar-desplazamendu kurbak.



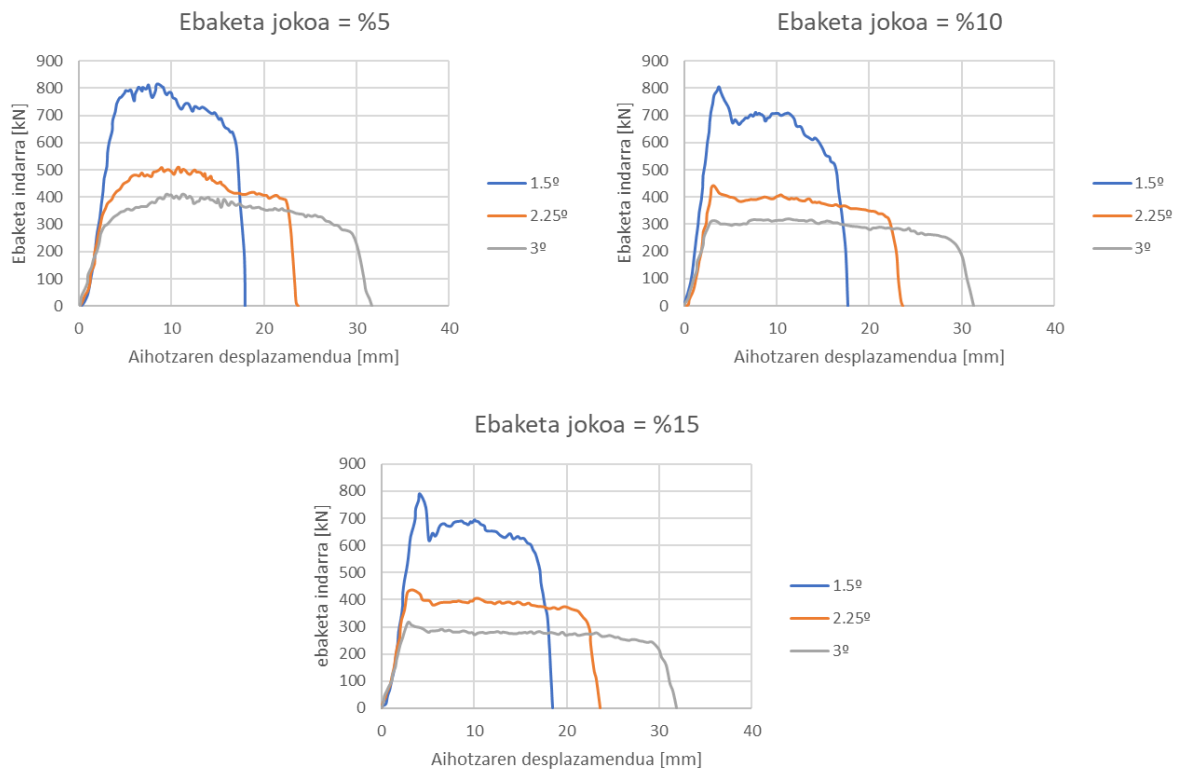
Ebaketa jokoak, bai ebaketa indar maximoan eta bai ebaketa energian (kurba azpian itxitako eremua) eragiten du, ebaketa angeluaren arabera emaitza ezberdinak emanez. 4. irudira begiratu, argi ikus daiteke ebaketa angelu altuetan ebaketa jokorik txikienak eragin handia duela indar maximoan eta energian (ikus 2. taula), baina %10 eta %15-eko jokoak konparatzerakoan ezberdintasun eskasak aurkitu daitezke. Angelu txikienarekin ordez, hiru kurben arteko ezberdintasunak murriztu egiten dira.

2. taula. Ebaketa energia neurketak .

		Ebaketa angelua		
		1.5°	2.25°	3°
Ebaketa jokoak	%5	11261 J	9492 J	10305 J
	%10	10494 J	8093 J	8542 J
	%15	10482 J	8218 J	8114 J

4. irudian atentzioa deitzen duen fenomenoak %10 eta %15-eko jokoekin ematen den indar gailurra da. Orokorrean, indarra hazi, limite batera ailegatu eta bertan mantendu egiten da indar murrizketa ailegatu arte, %5-eko jokoarekin gertatzen den bezala. Jokoa handitzean, geroz eta flexio distantzia gehiago uzten diogu xaflari, tentsio egoera aldatuz hausturara ailegatu arte. Tentsio egoeraren aldaketa horrek ezegonkortasunak sor ditzake materialaren haustura gertatzen den unean.

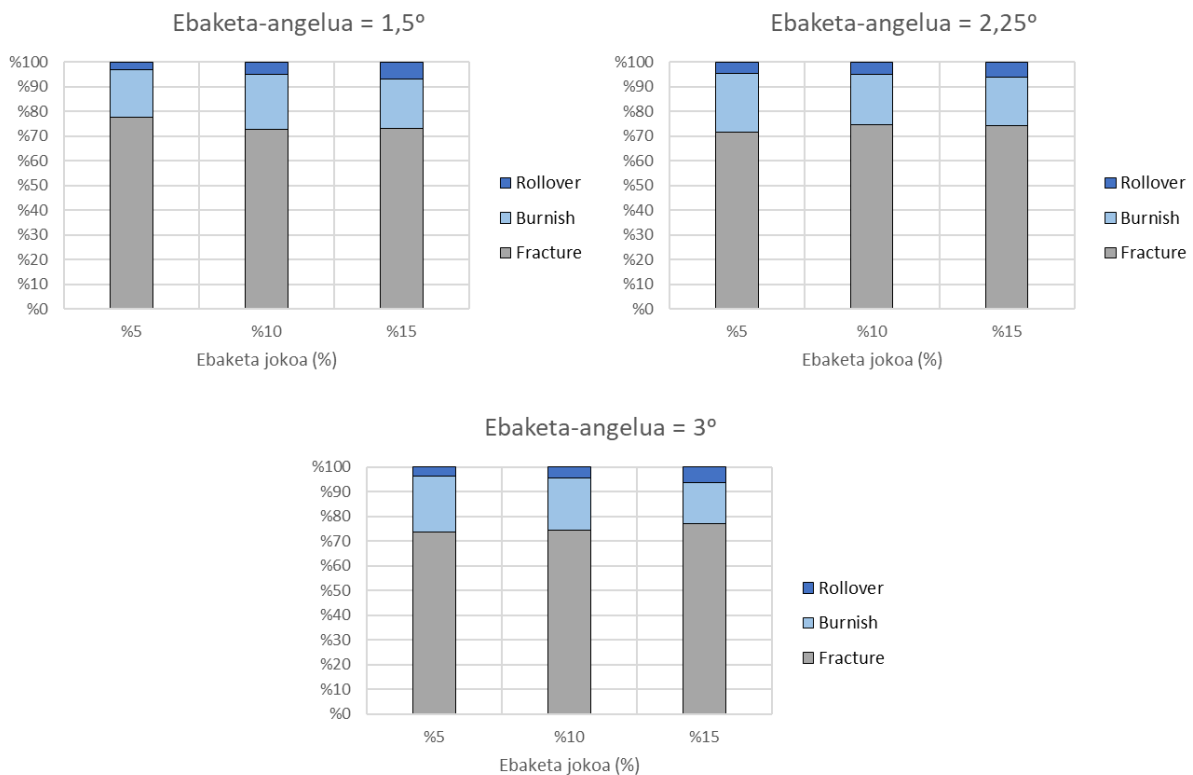
5. irudia. Ebaketa angeluarekiko lortutako indar-desplazamendu kurbak.



5. irudiak emaitza antzekoak adierazten ditu hiru ebaketa jokoentzako. Indar maximoaren murrizketa garrantzitsu bat lortzen da ebaketa angelua handituz, baina kontrari, aihotzak eragiketa bukatzeko behar duen desplazamendua handitu egiten da. Beraz, energia aldetik 2.25° eta 3°-ko ebaketa angeluak eraginkorragoak dira (ikusi 2. taula), eta aldi berean, indar maximoa murriztuz, malgutasun gehiago ematen die ebaketa lerro fabrikantei makina ez hain zurrunik diseinatzeko.

Ebaketa kalitatea neurketaren azterketarekin jarraituz, makroskopia optikoarekin argazkiak atera dira ebatutako gainazalari aurrez aurre begira, gero neurketak argazkietan bertan egin ahal izateko. 6. irudiak neurketa hauen ideia bat ematen digu.

6. irudia. Neurtutako ebaketa kalitatearen zonalde ezaugarrien dimentsioak.



Neurketek erakusten dutenez, ebaketa jokoak eta ebaketa angeluak eragin txikia dute ebaketa kalitatean. Ebaketa jokoak handitzean, “rollover” zonaldea handitu egiten da eta “burnish” zonaldea, aldiz, murriztu. Hau da, aihotzen arteko distantzia handitu egiten da eta material-fluxua erraztu egiten da deformazio handiagoak lortuz. Hala ere, saiaturako ebaketa jokoen arteko ezberdintasunak ez dira garrantzitsuak kalitateari begira. Horrez gain, ebaketa angeluak ez du kalitatean aldaketarik adierazten aztertutako material honetan.

4. Ondorioak

Egindako saiakuntzekin lortutako emaitzak aztertu ostean, ikerketa argitalpen honetatik atera daitekeen ondorioak hurrengoak dira:

- Ebaketa joko baxuek bai indar maximoa eta bai beharrezko energia handitzen dute. Aldiz, ez dute kalitatean hobekuntzarik ematen. Beraz, material honetan ez da komeni lodierako %10-eko ebaketa jokoak baino txikiagoak erabiltzea.
- Ebaketa angeluaren eragina indar maximoan ebaketa jokoarena baino askoz handiagoa da. Ebaketa angelua handitzean, aldiune bakoitzean ebatzen den material kantitatea murriztu egiten da, eragiketa luzatuz baino indarra murriztuz. Lortutako emaitzen arabera, 3°-ko ebaketa angelua erabiltzea komenigarria izango litzateke material honekin, indar maximoa murrizteko energia mantentzen den bitartean.
- %10-eko ebaketa jokotik gora indar gailur bat sortzen da lortutako kurba guztietan. Izan daiteke aihotzen arteko distantzia handitzerakoan ezegonkortasun bat sortzea aihotzak materialean sartu eta apurtu egiten duen bitartean.
- Ebaketa kalitatearekiko, ebaketa angeluek eta jokoek ez dute eragin handirik adierazten material honetan.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Etorkizunerako lan bezala, argitalpen honetan egindako analisia material berdineko beste lodierako xaflatan aplikatzea izango litzateke, bizarren neurketak gehituz. Azterketa berri honek, hirugarren parametro baten eragina gehituko luke ikerketara, xaflaren lodiera. Bide honetatik, beste egileek xafla finetan egin duten lana xafla lodietan aplikatu daiteken argituko luke.

Prozesuaren parametroez gain, abiadura handiko kamera baten bidez xaflan lortutako deformazioak eta deformazio abiadurak ezagutzea eta kamera termografiko baten bidez prozesuak xaflan eragindako tenperatura igoera neurtzea interesgarria izango litzateke. Informazio honek zer neurri heinetan karakterizatu behar den materiala zehaztuko luke, gero simulazioen bidez prozesua sakonki aztertu ahal izateko.

6. Erreferentziak

- Behrens B. A., Bouguecha A., Vucetic M., Krimm R., Hasselbusch T., eta Bonk, C. (2014): “Numerical and experimental determination of cut-edge after blanking of thin steel sheet of DP1000 within use of stress based damage model”, *Procedia Eng.*, 81, 1096-1101.
- Demmel P., Hoffmann H., Golle R., Intra C. eta Volk W. (2015). “Interaction of heat generation and material behaviour in sheet metal blanking”, *CIRP Ann. – Manuf. Technol.*, 64, 249-252.
- Gustafsson E., Oldenburg M. eta Jansson A. (2016). “Experimental study on the effects of clearance and clamping in steel sheet metal shearing”, *J. Mater. Process. Technol.*, 229, 172-180.
- Hartmann C., Weiss H. A., Lechner P., Volk W., Neumayer, S., Fitschen, J. H. eta Steidl, G. (2021): “Measurement of strain, strain rate and crack evolution in shear cutting”, *J. Mater. Process. Technol.*, 288, 116-127.
- MacKensen A., Golle M., Golle R. eta Hoffmann H. (2010): “Experimental investigation of the cutting force reduction during the blanking operation of AHSS sheet materials”, *CIRP Ann. – Manuf. Technol.*, 59, 283-286.

7. Eskerrak eta oharrak

Egileek eskerrak eman nahi dizkiete bai Fagor Arrasateri doktoretza honen finantzaketa burutzeagatik eta Mondragon Goi Eskola Politeknikoko teknikariei, ebaketa prozesurako prototipoa instalatzeagatik eta martxan jartzeagatik.