

**30 URTEKO GARAPEN
TEKNOLOGIKOA
ALTZAIRUGINTZAN:
BERE ERAGINA
EUSKAL HERRIAN**

J.M. Rodríguez Ibabe

J.J. Urkola Galarza

RIEV. Revista Internacional de los Estudios Vascos

Año 43. Tomo XL. N.º 2 (1995), p. 327-344

ISSN 0212-7016

Donostia: Eusko Ikaskuntza

Artikulu honetan zehar altzairugintzaren arloan azken 30 urteotan izan diren aurrerapenak eta hobekuntzak aztertzen dira, berauen eragina Euskal Herriko lantegietan kontutan hartuz. Aurrerapen horiek alde batetik altzairuaren lorpenarekin erlazionaturik daude, eta bestetik, altzairuaren prozesaketa eta konformaketarekin. Artikuluan zehar adierazten denez, mendebaldeko altzairutegien etorkizuna nahitaez metalurgia fisikoa eta berrikuntza teknologikoetan oinarritu behar da. Euskal Herriko industria ere egoera horretan aurkitzen da.

En este artículo se analizan los avances y mejoras que han tenido lugar en los últimos 30 años en el campo del acero, señalando la influencia que los mismos han tenido en la industria del País Vasco. Los adelantos tecnológicos están relacionados, por una parte, con los procesos de obtención del acero y, por otra con el conformado y procesamiento del mismo. A lo largo del artículo se indica que el futuro de las acerías occidentales está en el dominio de la metalurgia física y en la aplicación de /as innovaciones tecnológicas. La industria del País Vasco se encuentra también en esa situación.

In this paper the advances and improvements, which have taken place during the last 30 years in the technology of the steel industry, and their implementation in the steel industry of the Basque Country, are analysed. The technological advances are related in part to the steels making and in part to the ulterior hot and cold working and processing. Along all the paper it is deeply emphasised that future of the steel works in the first world must be based in a sound acknowledgement of the Physical Metallurgy and the application of the technological innovations. It is also pointed out that the steel industry in the Basque Country is actually in this way

1. Sarrera

Euskal Herriko industriaren historia eta altzairugintza oso erlazionatuta izan dira. Mendez mende burdinaren eta altzairuaren teknologia aldatuz joan da, baina era batekoa edo bestekoa burdingintzak eta altzairugintzak gure industriaren zati garrantzitsu bat osatu dute beti. Aintzina haizeolak eta burdinolak, gero labegaraiak eta gaur egun labe elektrikoak lantegiak, erdi arotik honantz Euskal Herriko industrian burdingintzaren aipamanerik gabeko aldi bat nekez aurki daiteke.

Orain aldiz, altzairugintza jasaten ari den krisialdiaren ondorioz, badirudi industria-mota hau baztertu egin behar dela eta teknologia berriagotan (batzutan, moda-kontua da, besterik ez) oinarritutako beste industria-motetara jo egin beharko genukeela. Hau da, altzairugintza zer edo zer zahartuta bezala kontsideratzen ari da. Dena den, errealitatea ez dator bat lehen aipatutako analisiarekin. Idazlan honetan zehar azpimarratuko denez, altzairugintzaren munduan aurrerapen teknologiko asko izaten ari da eta gainera, une honetan altzairuaren garapena ezin da ulertu materialen zientzian izaten ari diren aurrerapenak kontutan hartu gabe.

Gaur egun merkatuan altzairu-mota asko dago, bere kopurua 2000 baino handiagoa izanik. Horietariko batzuk nahikoa arruntak dira eta bere produktzioan, maila teknologiko egokia baino garrantzitsuagoa da burdin mehategiak edukitzea ala energia edo laneskuak merkeak izatea. Ondorioz, gero eta gehiago altzairu-mota horiek hirugarren munduko edo oraindik industrializatze-bidean dauden herrietan egingo dira. Aldiz, propietate bereziak eduki behar dituzten beste altzairu-mota asko ere badago eta altzairu horiek ezin dira produkzitu materialen teknologia eta zientzia menperatu gabe. Menpekotasun hori une honetan herri industrializatuen eskutan dago. Euskal Herriko altzairugintza ere zalantzarik gabe herri industrializatuen taldean kontsideratzen dugu, bere abantaila eta desabantaila guztiekin.

Beraz, altzairuari buruz mintzatzerakoan berezitasun batzuk kontutan hartu behar dira eta ezin da zuzen-zuzenean orokortasunean kontsideratu. Puntu hau oinarritat hartuta, eta Euskal Herriko egoera ikusita (hau da, mehategi garrantzitsuak eta energi iturri merkeak eduki gabe), argi eta garbi gelditzen da hemengo altzairuaren produktzioa teknologian eta zientzian oinarrituta izan behar dela. Neurri handi batean, idazlan honetan adieraziko den bezala, hori horrela izan da.

Altzairuaren garapena bi adar nagusitan oinarritzen da. Alde batetik, aldaketa batzuk (konposizio kimikoa, ijezketa kontrolatua, tratamendu termomekanikoak eta abar) garatzen ari dira materialaren propietateak hobetzeko asmoz eta bestetik, produkzio-mailan hobekuntzak sortu dira altzairuaren produktibitatea edo prezioa konpetitiboagoa izateko (ijezketa jarraia, osagaien fabrikazioa ia bukaerako formen teknikak erabiliz, lantegi trinkoak eta abar). Ikuspuntu desberdin hauek ez dira guztiz banaturik izaten eta askotan (ia kasu gehienetan esango genuke), ikuspuntu batean oinarritutako aldaketaren batek beste arloan ere eragina dauka.

Artikulu honetan zehar bi adar horietan azken 30 urteotan izan diren aldaketa garrantzitsuenak kontutan hartuko dira. Era berean, aldaketa horiek Euskal Herriko altzairugintzan eduki dituzten eragin desberdinak aztertuko dira.

2. Metalurgia Fisikoa: altzairuaren hobekuntzaren oinarria

Altzairuen ezaugarriei buruz mintzatzerakoan ikuspuntu desberdinak kontutan har daitezke, garrantzitsuenak ondoko hauek izanik [1]:

- altzairuz egindako piezak edo osagaiak bete beharko dituen funtzioak. Ikuspuntu honek altzairuaren propietateak definituko ditu eta hauen artean propietate mekanikoak aurkitzen dira, adibidez.
- pieza erraz fabrikatzeko, hau da geometria eta dimentsio zehatz batzuk emateko, altzairuak ezaugarri batzuk eduki beharko ditu. Ikuspuntu honek ere altzairuaren zenbait propietate definituko ditu.
- eta amaitzeko, piezaren gainazalaren kalitatea. Aplikazio askotarako gainazalaren akaberak garrantzi handia dauka. Atal honetan ere ingurugiroaren eragina (korrosioa adibidez) kontutan har daiteke.

Hiru ikuspuntu horiez gain, azken urte hauetan gero eta garrantzi handiagoa hartzen ari den beste ezaugarri bat ere kontutan hartzea komenigarria da. Atal ekologiko bezala defini daiteke eta hemen barnean altzairuak duen birziklatzeko-ahalmena, altzairugintzan sortzen den kutsadura eta abar kontsideratzen dira. Beste material-motekin konparatuz, aluminioarekin adibidez, prozedura magnetikoak erabiliz zabor-biltegietan altzairua oso erraz berreskura daiteke eta ondoren, txatarra bezala birziklatu.

Azken 30 urteotan altzairuen propietateak mikroegiturarekin erlazionatzeko lan handia burutu da. Mikroegitura konposizio kimikoaren, tratamendu termikoen eta altzairuari aplikatutako berotako eta hotzetako deformazioen menpekota da. Erlazio horiek koalitatiboki ezezik, koantitatiboki ere ulertzeko metalurgia fisikoaren esparruan beharrezkoak izan diren oinarri teorikoak eta esperimentalak landu eta garatu egin dira.

Dislokazio-teorien garapena (metalen egitura kristalinoetan dauden akats batzuk dislokazio bezala ezagutzen dira) eta 60.eko hamarkadaren aurretik metalen azpiegitura aztertzeke transmisiozko mikroskopia elektronikoaren erabilpena metalurgia fisikoaren sustrai sendoenetariokoak izan dira. Horekin batera, 50.eko hamarkadan Hall-ek eta Petch-ek [2, 3] altzairuen (eta geroago beste material-motetan ere hori betetzen dela baieztatu zen) erresistentzia altzairuaren mikroegiturak duen aletamainarekin erlazionatuta dagoela baieztatu zuten (metalak material kristalinoak dira; mikroskopia optikoan behatzen direnean kristalez osatuta daudela baieztatzen da eta kristal bakoitzari ale deritzo). Lan honi jarraituz, 70.eko hamarkadan zehar Pickering eta Gladman ikerlari ingelesek [1, 4, 5], konposizio kimikoa eta mikroegitura ezagutuz gero, altzairu-mota desberdinen propietate mekanikoak auresateko adierazpen empirikoak argitaratu zituzten. Ikerlan horien emaitzak oso lagungarriak izan dira altzairuen hobekuntzak lortzeko eta ildo horretatik jarraituz, orain ere mendebaldean eta Japonian ikerlan asko martxan dago ekuazioak eta ereduak ahalik eta zehatzenak lortzeko.

Une honetan zenbait esparrutan (automobilgintzaren sektorean eta eraikuntzan adibidez) altzairuari eskatzen zaizkion ezaugarriak lortzeko nahitaez metalurgia fisikoaren oinarrietara jo behar da. Mikroskopia optikoarekin batera, transmisiozko eta eskanerrezko mikroskopioren erabilpena, tratamendu termomekanikoen simulazioa laborategi-mailan eta propietate mekanikoak neurtzeko zenbait saiakuntz makinaren erabilpena, gaur egungo kalitatezko altzairuen oinarria da [6].

Metalurgia fisikoaren aurrerapenak laborategien zentru teknologikoetan eta unibertsitateetan burutu dira bereziki. Ondoren, lortutako emaitzak industriari aplikatuz joan dira eta horretarako, laborategien eta industrien arteko erlazioak oso garrantzitsuak izan dira. Euskal Herrian zorritzarekin erlazio hori ia ez da existitu duela gutxi arte. Alde batetik, unibertsitatea ez izatean duela denbora gutxi arte (konparaketa gisa, Sheffield-eko Unibertsitatearen Metalurgia Saila (Britain Handia) joan den mendean sortu zen eta lurralde horretan urte askotan zehar Ingalaterrako altzairugintza garrantzitsuena izan da) eta bestetik, lantegi gehienetan ikerkuntz laborategiak sortu ez zirelako, industriari aurrerapen teknologikoak kanpotar eskuen bitartez iritsi dira (konpetenziak egindako berrikuntzak, hornitzaileak proposatutako aldaketak edo bezeroak inposatutako berrikuntzak). Horren ondorioz, behin baino gehiagotan aldaketak aurrera eramanez joan dira oinarri teoriko sendoak edukituz gabe.

Hala ere, 80. hamarkadaren hasieran Eusko Jaurlaritzak babesturiko zentru teknologikoen sorrerak hutsune horren betetzea ekarri du. Lantegien eta zentru teknologikoen arteko erlazioari esker, azken urteotan zenbait ikerkuntz proiektu garatu eta garatzen ari da. Hauetariko batzuek CECA erakundearen (Ikatz-Altzairuen Elkarte Europarra) dirulaguntza jaso dute (AHV, GSB eta ACENOR (azken talde honek bere I+G laborategi propioak ditu)). Era berean, 1980. urtearen aurretik Donostiako Injineruen Goi Mailako Eskolan "Metalurgia Fisikoa eta Mekanikoa" deituriko Master Kurtsoa martxan jarri zen. Ordutik honantz eskola horretan eta CEIT-eko Material Sailan altzairuaren arloan egindako ikerlanen ondorioz 24 mastergo-tesiak eta 13 doktorego-tesiak aurkeztu dira.

3. Aurrerapen teknologiko nagusiak

Altzairuaren produkzioan teknologiaren ikuspuntutik aldaketa eta hobekuntza batzuk izan dira. Ondoren ikuspuntu garrantzitsuenak kontutan hartuko dira eta horretarako ondoko atalak bereiztuko dira: burdingintza integrala, labe elektrikoetako altzairugintza, altzairuaren bigarren finketa, isurketa jarraia eta altzairugintza trinkoa.

3.1. Labegariai edo burdingintza integrala

Burdintza integralean erabiltzen diren lehengai nagusiak burdin minerala eta kokea dira. Burdina lortzeko minerala erreduzitzen da labegaraietan. Lortutako metal likidoa bihurtzeko oxidatzen da eta, zenbait hondar-elementu egokitu ondoren, altzairua lortzen da. Prozedura honen erabilpenaren bat Bizkaiko Labegaraietan, hau da AHVetan, ematen da.

1960. urtean EEBBen altzairuaren produkzioaren kopuru handiena labegaraietan bitartez lortzen zen eta % 8 labe elektrikoetan bakarrik. 90.eko hamarkadaren hasieran labe elektrikoaren produkzioa % 40raino iritsi da [7]. Japoniaren kasua ere antzekoa da: 1973. urtean, hau da energiaren krisia hasi baino lehen, labegaraietan bitartez lortzen zen altzairu-produkzioa % 82 zen; gaur egun, aldiz, ez da % 50era iristen.

Adibide hauek ulertzeko munduan izaten ari diren altzairu-produkzioaren aldaketak kontutan hartu behar dira (ikus 1. eta 2. irudiak). 1970. urtetik 1993. urteraino Txina, India, Taiwan, Hego Korea, Brasil eta hirugarren munduko beste herrietan altzairu-produkzioa 120 milioi tonaraino igo da. Herri horietan produktu nagusia labegaraietan bitartez lortutako altzairu arrunta da. Horretarako, labegaraietan oinarritutako produktu burdin minerala dela kontutan hartu behar da. Beraz, labegariai minerala bera dagoen tokian kokatzen baldin bada, altzairuaren prezioa baxuagoa izango da (hau da Brasilgo kasua). Gauza bera gertatzen da lanekuarekin. Labegaraietan produktibitatea arku elektrikoetako labeena baino baxuagoa izatean [7], laneku merkea erabiltzea oso garrantzitsua da (Txina, India eta Hego Korearen adibidea hori da). Bi faktore hauen ondorioz, labegaraietan kopurua eta garrantzia jaisten ari da Europar Batasunean eta EEBBetan eta, era berean, hirugarren

munduan kopurua handitzen ari da. Euskal Herria ez da prozesu horretatik kanpo gelditzen eta bere siderurgia integrala desagertzera doa (Bizkaiko Labegaraiak itxi egingo direnean). Bestalde, Europar Batasunean lanean geldituko diren labegaraietan izaten eta izango diren aldaketa teknologikoak kontsumo energetikoaren jaitsierarekin eta produktibitatearen igoerarekin erlazionatuta izango dira.

Labegaraiatik lortzen den produktua arrabio bezala ezagutzen da eta bere karbono-edukina handia denez, ondoren deskarburazioa eta hondar-elementuen kontrola egin behar da. Hori lortzeko prozesu garrantzitsuenetariko bat oxigeno-bihurgailu basikoa da. Bihurgailuan lehen esandako helburuak lortzeko lantza baten bidez likidora oxigenoa sartzen da. Azken berrikuntzen artean, likidoaren homogenotasuna hobetzeko asmoz bainua irabiatzen da prozesuan zehar gas geldo bat sartuz bihurgailuaren beheko aldetik [8]. Gainera, sistema honi esker erreakzio kimikoak azkarraigo izaten dira eta altzairua gero eta garbiagoa da.

3.2. Labe elektrikoak altzairugintza

Labe elektrikoaren lehengai txatarra da. Beraz, kasu honetan ez da burdin mineralatik hasten altzairua lortzeko, labegaraietan gertatzen den bezala. Garai batean, txatarra urtu ondoren labe bertan egiten zen altzairuaren finketa (konposizio kimikoa egokitu eta ezpurutasun-kopurua jaitsi). Azken urteotan prozesu hori gero eta gehiago zalian egiten da. Beraz, labean txatarra urtu besterik ez da egiten, eta ondoren, finketa eta konposizio kimikoaren doiketa zalian burutzen da. Prozedura honi bigarren mailako metalurgia edo zali-metalurgia deritzo.

AHVn izan ezik, Euskal Herriko gainontzeko lantegietan altzairuaren lorpena labe elektrikoaren bidez da. Kasu gehienetan txatarra da lehengai, baina zenbait kasutan txatarrarekin batera burdina harroa edo aurre-erredukzioaren bidez burdin mineralatik lortutako produktu solidoa ere erabiltzen ari da. Aukera hori mementuko lehengai desberdinen prezioarekin eta lortu nahi den altzairuaren garbitasunarekin erlazionatuta dago.

Energia elektrikoaren kontsumoa handia denez, bultzatzen ari diren labe elektrikoaren hobekuntzak energi aurreztearekin erlazionatuta daude. Horretarako laborearen aldagaiak ordenadoreen bitartez kontrolatzen dira, eta gero eta gehiago sistema adimentsuak ere aplikatzen ari dira, 1992. urtean Madriilen antolatuta zen "4th European Steel Congress" deituriko kongresuan agerian gelditu zen bezala [9]. Euskal Herriko kasuan energia elektrikoa Europako beste tokitan (Frantzia adibidez) baino garestiagoa denez, labeen kontsumoaren jaitsiera oso garrantzitsua da. Oraindik arlo honetan zenbait gauza egiteko dago.

3.3. Bigarren finketa

Lehen esan denez, altzairuaren finketa-prozesua gero eta gehiago zalian egiten da. Sistema honen bitartez ondoko helburuak bilatzen dira:

- kalitate handiko altzairuetan honako elementuen portzentaiak ahal diren txikiak izatea: hidrogenoa, nitrogenoa, sufrea eta fosforoa.
- altzairuaren homogenotasuna igotzea eta, era berean, ahal den garbiena izatea
- altzairua aleatzea eta konposizio kimikoaren kontrol zehatza lortzea

Bigarren finketaren bidez hobekuntza desberdinak lortzen dira eta gaur egun altzairuaren kalitate-kontrola fase horretan burutzen dela azpimarratu behar da. Horretarako, prozedura teknologiko desberdinak garatu dira (ikus [6] erreferentzia adibidez), garrantzitsuenak honako hauek izanik: likidoaren irabiatzea (homogenotasuna ahal den handiena izateko) gas geldo baten bidez,

injekzio-prozedurak (altzairua desulfuratzeko eta aleazio-elementuak sartzeko adibidez), hutsezko desgasifikazioa eta zaliaren berotzea (zaliari berotze-tresnak gehitzen zaizkio finketaren fasea luzatzeko asmoz).

Euskal Herriko lantegi gehienetan altzairuaren konposizio kimikoaren kontrola zalian burutzen da. Horrez gain, labe elektrikoa txatarra urtzeko bakarrik erabiltzerakoan, energi kontsumoa jaitxi egiten da eta produktibitatea igo. Zenbait arlotan, automobilgintzarena adibidez, sortzen ari diren altzairu-mota berrien kalitate-kontrola zalian izaten da bereziki. Datoren urteotan gure altzairu-produkzioan izango diren kalitate-doiketa gehienek (altzairuen garbitasunaren igoera, elementu interstizialen kontrola, mikroaleatuen erabilpena, eta abar) bigarren finketaren fasean edukiko dute abiapuntu garrantzitsua (ondorengo konformaketaren garrantzia ahaztu gabe).

3.4. Isurketa jarraia eta altzairugintza trinkoa

Altzairuaren finketa amaitu ondoren, isurketa-prozesuari hasiera ematen zaio. Gaur egun, bi isurketa-mota erabiltzen dira batez ere: isurketa lingotontzietan eta isurketa jarraia. Lehenengo kasuan, solidotu ondoren, lingotea hozten uzten da eta altzairua lortzeko prozesua amaitutzat kontsidera daiteke. Hala ere, altzairua ez da lingote gisa saltzen eta tamaina eta forma egokiak edukitzeko berotako konformaketa aplikatzen zaio.

Bigarren prozedura isurketa jarraia da (3. irudia). Kasu honetan altzairua ez da lingotontzietan solidotzen. Metal likidoa metatu egiten da eta gero emaria kontrolatuz produkzio-linea desberdinetara banatzen da. Ondoren urez hoztutako kobrezko molde batean solidotzeko hasiera ematen zaio. Prozesuan zehar moldea gora eta behera higitzen da, horrela solidotutako geruza moldetik askatu egiten delarik. Metalaren gainazala solidotuta dago, baina oraindik barnealdea likido dago. Solidotzea amaitzeko, uraren bidez hozten da eta bitartean metala zilindro batzuen bidez bideratzen da. Bukatzeko, materiala moztu egiten da neurri egokitan eta prozesua amaituta gelditzen da. Isurketaren abantailak produkzio-kostuarekin erlazionaturik daude. Dimentsio berdineko produktua lortzeko, ohizko isurketarekin konparatuz energi kontsumoa eta laneskua txikiagoak dira. Euskal Herriko altzairutegi gehienetan isurketa jarraia prozedura martxan dago.

Azken urteotan isurketa jarraia eta ijezketa batera aplikatzearen posibilitatea ikertzen ari da [10]. Oraindik metala guztiz solidotu gabe, prozedura berri hauetan ijezketa aplikatzen da. Horrela, metalaren erresistentzia txikiagoa izanik, konformatzeko erabili behar den energia askoz txikiagoa da. Sestaon eraiki nahi den AHVren lantegi berria teknologia berri honetan oinarrituko da. Hasieran arazo teknologiko asko izango da, baina lantegi horrek Euskal Herriko gainontzeko altzairutegietan eduki dezakeen berrikuntz eragina oso handia izan daiteke.

4. Altzairuaren konformaketaren eta prozesaketaren aldaketak

Lehenengo atalean altzairuaren produkzioan izan diren aldaketa garrantzitsuenak aipatu dira. Hala ere, altzairuaren munduan aldaketak ez dira esparru horretara bakarrik mugatu. Altzairuaren erabilpena ere aldaketa asko izaten ari da. Aldaketa horiek ia arlo guztietan izaten ari dira. Hemen horietariko batzuk kontutan hartuko dira, eta aukera hori Euskal Herriko industrian automobilgintzarekin erlazionatuta dauden sektoreen garrantzia kontsideratu da. Ondoren, altzairuaren erabilpenean izaten ari diren aldaketak adierazteko, honako bi adibide hauek aztertuko dira: tratamendu termomekanikoak eta injinerutzarako altzairuak.

4.1. Tratamendu termomekanikoak

Tratamendu termomekanikoak 60.eko hamarkadan British Steel-en inguruan asmatu ziren. Gara hartan British Steel-eko ikertzaile batzuek karbono urriko altzairuekin ondoko emaitzak lortu zituz-

ten: konposizio kimikoan kopuru txikitan niobio elementua sartzean eta ijeketa tenperatura baxutan amaitzean, eta ondoren altzairua airetan hoztuz, altzairuaren propietate mekanikoak oso onak izaten direla. Propietate horien artean ondoko bi hauek aipatu behar dira: elastikotasun-muga handia (iraunkorki deformatzeko material bati aplikatu behar zaion tentsioa elastikotasun-muga bezala ezagutzen da) eta trantsizio-tenperaturaren balio baxua (tenperaturaren arabera altzairu baten portaera hauskorra ala harikorra izan daiteke; hauskor-portaeratik harikor-portaerara gertatzen den tenperaturaren balioa trantsizio-tenperatura bezala definitzen da). Beraz, alde batetik altzairuaren erresistentzia igotzerakoan, eta bestetik trantsizio-tenperatura jaisterakoan (hau da lan-tenperaturaren tartean altzairuaren portaera ahal den harikorrarena izaten saiatzea) altzairuaren kalitatea nabarmenki hobegotzen da.

Propietate hauek ere ohizko prozedura erabiliz lortu egiten dira. Horretarako, lehenbizi altzairuari forma ematen zaio ijeketa ala forjaketaren bidez. Ondoren, propietate egokiak lortzeko tratamendu termiko bat aplikatu behar da. Aldiz, tratamendu termomekanikoen bidez ijeketa edo forjaketara aplikatu ondoren propietate egokiak lortzea bilatzen da, era horretaz ondorengo tratamendu termikoaren beharra desagertuz. Beraz, altzairuari forma egokia ematea eta behar diren propietate mekanikoak batera lortzea tratamendu termomekanikoen helburua da. Horrela piezaren lorpenean energia gutxiago behar da eta prozesaketa-kostuak ere murriztu egiten dira.

Tratamendu termomekanikoak aplikatzeko altzairuaren konposizio kimikoa egokitu behar da (altzairu mikroaleatuak) eta konformaketa prozesu zehatz eta berezi baten bitartez egin behar da (ijeketa kontrolatua, adibidez). Gainera, zenbait kasutan ere berotako deformazioaren ondorioz hozte azkarra aplikatu behar da.

Hasieran, tratamendu termomekanikoak karbono urriko altzairuei aplikatu zitzairen, berauen mikroegitura ferritiko/perlitikoa eta geometria leuna (xafila mehe eta lodiak eta abar) izanik. Altzairu-mota honetan, kontutan hartu behar den mikroegiturazko ezaugarri garrantzitsuenak ferritaren ale-tamaina da. 4. irudian adierazten denez, ale-tamaina gero eta txikiagoa izatean altzairuaren erresistentzia igo egiten da eta bere zailtasunarekiko portaera gero eta hobea da (trantsizio-tenperatura jaitsi egiten da). Beraz, material-mota honetan propietateak hobegotzeko ale-tamainaren finketa izan da helburu nagusi. Ohizko prozeduretan, piezaren geometria lortu ondoren, mikroegitura xehea lortzeko altzairuari tratamendu termiko bat aplikatzen zaio. Tratamendu honi normalizazio deritzo eta altzairua 900 eta 950°C-ren tartean berotu egiten da eta ondoren, airetan hoztu. Tratamenduak sortzen duen prezio-igoera galerazteko tratamendu termomekaniko desberdinak garatu dira. Ondoren garrantzitsuenak kontutan hartuko dira.

Mikroegitura ahal den xeheena lortzeko, tratamendu termikorik gabe, "ijeketa kontrolatua" burutu zen. Prozedura honetan altzairuaren bukaerako ijeketaren tenperatura ohizkoarena baino baxuagoa izaten da (850°C-ren inguru). Baldintza horietan eta altzairua niobioarekin mikroaleatuz gero (bere kopurua % 0.02-0.03 izanik) materiala ez da birkristaltzen. Beraz, ijeketaren ondorioz mikroegitura oso deformatuta dago eta hozterakoan ale xeheaz osatutako mikroegitura lortzen da. Sistema honi esker lortutako altzairuaren propietate mekanikoak hobegotu egiten dira. Hala ere, ijeketan erabili behar den tenperatura ohizkoarena baino baxuagoa izatean, altzairua gogorragoa aurkitzen da eta ondorioz, ijeketa-prozesuan erabili behar diren indarrak handiagoak dira. Lantegietan dauden ijeketa-makinekin hori burutzea askotan pentsaezinezkoa da. Beraz, nahiz eta prozedura berri hau oso egokia izan altzairuaren propietateak hobegotzeko, gero praktikan ijeketa kontrolatuaren hedapena oso mugatuta izan da. Euskal Herrian ere gauza bera gertatu da.

70.eko hamarkadan EEBBetan beste sistema baten garapenean hasierari eman zitzaion. Prozedura honetan ijeketa-tenperatura ohizkoarenaren bezalakoa da, baina altzairuaren konposizio kimikoa egokitu egiten da zenbait aleazio-elementuekin. Hauetarikoen artean ezagunena titanioa

da. Elementu honi esker, altzairuan TiN partikulaz osatutako prezipitazioa sortzen da, eta ondorioz, ale-hazkundera galerazten da (ale-hazkundera termikoki aktibatutako mekanismoa izaterakoan, tenperatura gero eta handiagoa, orduan hazkundera gero eta azkarragoa). Ijezketa amaitu ondoren, hozterakoan sortzen den mikroegitura nahikoa xehea da eta beraz, propietate mekanikoak egokiak. Prozedura honetan erabilitako tenperatura ohizkoarena bezalakoa izatean, lantegietan ez daude arazo teknologikoak halako sistema martxan jartzeko.

Bukatzeko, azken aurrerapenak hozte azkarraren teknologiarekin erlazionaturik daude. Lehen aipatutako prozeduran mikroegituraren transformazioaren tenperatura-tartean, altzairuari hozte azkarra aplikatzen baldin bazaio, orduan lortutako mikroegitura oraindik xeheagoa da. Aldaketa hau gure inguru industrialean gero eta gehiago kontutan hartzen ari da (hauetariko adibide bat Bizkai-ko Labegarietan dago).

4.2. Injinerutzarako altzairuak

Talde honen barnean injinerutza-mailan gaur egun eskatzen diren propietate mekanikoak dituzten altzairu forjatuak aurkitzen dira. Propietate mekaniko horiek honakoak dira: erresistentzia handia, zailtasun egokia, nekearekiko eta marruskadurarekiko erresistentzia handiak eta mekanizagarritasun egokia.

Propietate mekaniko horiek lortzeko karbono ertaineko altzairuak erabiltzen dira (karbono-portzentaia % 0.20 eta % 0.50-ren tartean), bere aleazio-elementuen kopurua baxua izanik (aleazio-elementu guztien portzentaia % 5 baino txikiagoa izaten da). Forjatu ondoren altzairu hauei tenplaketa-eta iraketa-tratamendu termikoak aplikatzen zaizkie. Euskal Herriko altzairugintzaren eta metalaren industrian altzairu-mota honen garrantzia oso handia da. Kontutan hartu behar da automobilaren osagai mekaniko asko (birabarkiak, ardatzak, bielak eta abar) egiteko altzairu hauek erabiltzen direla. Beraz, ondoren aipatuko denez, material hauen eboluzioa automobilgintzan izaten diren aldaketa eta hobekuntzekin oso erlazionatuta dago.

Tenplaketa- eta iraketa-tratamenduak aplikatzeko, hau da altzairuak tenplagarriak izateko, 30.eko hamarkadan EEBBetan lan esperimetal sakon baten ondorioz Ni eta Mo aleazio-elementuak kopuru handitan zituzten altzairuak garatu ziren. Bi elementu horiek oso garestiak direnez gero, 2. Mundu-Gerra izan ondoren Mn/Cr, Mn/Cr/Mo edo Ni/Cr/Mo (kasu honetan nikel-edukina % 1 baino baxuagoa izaten da) aleazio-elementuak zituzten altzairu berriak garatu ziren. Geroago boroak tenplagarritasunean duen eragin baikorra aurkitu ondoren, elementu honen erabilpena zabaldu zen. Beraz, altzairuaren propietate egokiak lortzeko aleazio-elementu desberdinen konbinazioa hasi zen garatzen, era honetaz tenplagarritasun/prezio erlazioa ahal zen egokiena bilatuz. Eboluzio hau amaitzen da altzairuaren bigarren mailako finketarekin. Aldaketa guzti hauek, nahiz eta atzerrian asmatuta izan, berehala aplikatu ziren Euskal Herriko industrian, eta gaur egun arte, altzairu berezien talde handi baten produkzioa lehen adierazitako ezaugarrietan oinarritzen da.

70.eko hamarkadan altzairuaren prezioa gehiago jaitea, aleazio-elementuen kopurua hobeto egokitzuz, ia ez zen posible. Beraz, automobilgintzak eskatzen zuen kostuaren jaitsiera prozesuaren eta, bereziki, tratamendu termikoen aldaketaren bidez egokitu behar izan zen. Horretarako, altzairu-mota hauei ere tratamendu termomekanikoen aplikazioaren posibilitatea hasi zen kontutan hartzen. Lehenengo frogak Alemanian egin ziren. % 0.4 - % 0.5 C zuen altzairu bati % 0.1 V gehitu ondoren, posible zen forjaketaren ondoren pieza airetan hoztu eta erresistentzia egokia lortu. Hau da, piezaren erresistentzia ohizko prozedurarekin egindakoarena bezain ona zen, baino tenplaketa- eta iraketa-tratamendu termiko garestiak aplikatu gabe. Beraz, bide berria irekitzen zen altzairuen konpetibitatea hobegotzeko.

Gaur egun automobilaren merkatuan dagoen konpetentzia kontutan hartuz, tratamendu termomekanikoak gero eta garrantzi handiagoa hartzen ari dira. Euskal Herriko industria ere ezin da

aldaketa hauetatik at gelditu eta haien artean une honetan hiru prozedura desberdinak garatzen ari dira: airetan hoztutako altzairuak, forjaketa ondorengo tenplaketa zuzena eta zehaztasun-forjaketa (edo epeletako forjaketa). Ondoren mota bakoitzaren ezaugarri garrantzitsuenak kontutan hartuko dira.

4.2.1. Airetan hoztutako altzairuak

Prozedura honetan berotako forjaketa edo ijeketa aplikatu ondoren, altzairuak airetan hoztu egiten dira (batzutan altzairuaren hoztea haize-zorrotaden bitartez areagotu egiten da). Giro tenperaturaren lortutako mikroegiturari esker, altzairu hauen erresistentzia eta tenplaketa gehi irakotaren bitartez lortutakoak oso antzekoak dira. Hori horrela izateko, altzairuaren konposizio kimikoan % 0.1 V gehitzen da. Hozte-prozesuan zehar oso xeheak diren banadio karbueroak prezipitatu egiten dira, era honetaz altzairuaren gogortasuna hobea egotuz. Teknologia hau ez da berria. Duela 20 urte Europan garatu zen, baina industri arloan, EEBBetan eta Japonian martxan jarri arte, sistema hau ez da guztiz onartua izan. Une honetan prozeduraren abantaila ekonomikoak kontutan hartuta, automobilgintzan gero eta gehiago aplikatzen ari dira altzairu-mota hauek (birabarkiak, bielak eta abar).

Forma eman ondoren zuzen-zuzenean hoztean, piezen distorsio geometrikoa, ohizko prozedurarekin konparatzen denean (hau da, tenplaketa eta irakotekin), txikiagoa izaten da. Hala ere, nahiz eta altzairu-mota honen erresistentzia mekanikoaren balioa antzekoa izan tenplata eta irakotuta izan diren altzairuarekin konparatuz, bere zailtasuna apalagoa da kasu gehienetan. Hau dela eta, gai hau zenbait laborategitan ikertzen eta aztertzen ari da. Ildo honetatik jarraituz, Euskal Herrian ere arazo hau aztertzen ari da (Donostiako CEIT zentruak eta GSB (Azkoitia eta Legazpia) lantegiak CECA proiektu baten barnean gai hau ikertu dute). Lan horretan burutu diren emaitzen eta ondorioen arabera, altzairuaren konposizio kimikoa egokitzuz eta forjaketaren ondorioz hozte azkarraren baldintza berezitan aplikatzen baldin bada, altzairuaren zailtasuna nabarmenki hobea egotzen da (5. eta 6. irudiak [11]) eta bere balioa ohizko altzairuekin dutenarekin guztiz konparagarria da [12,13]. Era berean, emaitzak antzekoak lortzen dira barren berotako ijeketa tenperatura baxuagotan amaitzen baldin bada. Une honetan laborategian lortutako emaitza horiek lantegi-mailan errepikagarriak izateko behar diren baldintzak egokitzen ari dira. Automobilgintzan izaten ari diren aldaketak ikusita, altzairuaren teknologia berri hauek datozen urteotan gero eta garrantzi handiagoa edukiko dute.

4.2.2. Tenplaketa zuzena

Tenplaketa zuzenaren prozedura forjatutako piezen prezioa jaisteko erabiltzen ari da. Sistema hau karbono-altzairuei eta altzairu aleatuei, bereziki boro elementuarekin bitartez aleatuak izan direnei, aplikatzen ari zaie. Metalurgiaren ikuspuntutik, forjaketa-prozesua tenperatura altutan egiten denez, sortutako mikroegiturak ondorengo tenplaketa-tratamendua lagundu egiten du; baina era berean, mikroegitura horrek altzairuari hauskortasun-portaera eman diezaike. Arazo honi aurre egiteko asmoz, altzairu-mota hauei ale-tamaina kontrolatzeko konposizio kimikoan Ti eta Nb sar dakieke, nitrogenoaren kopurua ere nahikoa altua mantenduz. Tenplaketa zuzena ere karbono urriko altzairuekin erabiltzen da (altzairuaren karbono-edukina % 0.05en inguruan izaten da eta B eta Ti elementuen bidez aleatuta dago). Kasu hauetan tenplatu ondoren altzairuaren erresistentzia/zailtasuna erlazioa nahikoa egokia izaten da, irakotaren tratamenduaren beharra ez izanik.

Teknologia hau erabiliz GSB lantegian (aintzinako Legazpiko Patricio Echeverria) nekazaritzarako zenbait ereminta egiten da. Pieza horien ale-tamaina titanio nitruoen partikulen bidez kontrolatzen da. Horiatariko partikula baten adibidea transmisiozko mikroskopia elektronikoan egindako 7. irudiaren mikrografian ikus daiteke [14].

Forjatu ondoren tenplaketa zuzenaren erabilpena gero eta gehiago zabalduko da datozen urteotan. Kostuak murriztea eta era berean kalitate handiko produktuak lortzea izango dira teknologia honen helburu nagusiak.

4.2.3. Epeletako zehaztasun-forjaketa

Piezen mekanizazioaren kostua oso handia denez, forjaketa amaitu ondoren piezak ia bukaerako forma edukitzea eta ondorioz, bukaerako mekanizazioa murriztea, forjaketa-mota honen helburu nagusia da. Beste bi kasuetan bezala, sistema hau ere automobilgintzan erabiltzen ari da batez ere.

Epeletako forjaketan altzairua 500 - 900°C-ren tartean deformatzen da eta ezaugarri honi esker, ohizko prozedurarekin konparatuz, materialaren errendimendua eta piezaren gainazalaren bukaerako kalitatea handiagoak dira. Hotzetako forjaketarekin konparatuz, altzairua deformatzeko ez da hainbeste indarra aplikatu behar eta gainera, forjatu baino lehen altzairua ez da bigundu behar tratamendu termiko baten bitartez (tratamendu honi suberaketa deritzo).

Epeletako forjaketaren bidez piezak eduki behar dituen propietate mekanikoak lor daitezke tratamendu termikoak aplikatu gabe. Ezaugarri hauek lortzeko zenbait altzairu berezi garatu da, berauen konposizio kimikoetan banadio aleazio-elementua sartuz. Gaur egun, beste altzairu berrien garapenaren beharra dago, prozedura hau merkatuaren beste esparruetara zabaltzeko.

4.2.4. Mekanizagarritasun hobetutako altzairuak

Garai batean automobil baten osagai nagusia altzairua zen, baina materialen zientziaren garapenari esker, altzairuaren eta beste material-moten artean gero eta kompetentzia handiagoa dago, 1. Taulan adierazten den bezala [15]. Kompetentzia honi aurre egiteko forjatutako pieza baten kostuetan parte hartzen duten osagai desberdinak kontutan hartu behar dira. 8. irudian forjaketaren bidez lortutako automobilaren hiru pieza desberdinen kostu-banaketa adierazten da [15]. Ikusten denez, hiru kasuetan mekanizazioaren garrantzi ekonomikoa oso handia da. Beraz, altzairuzko piezen kompetibitatea mantentzeko mekanizazioak duen eragina produktuaren prezioan kontutan hartu behar da, eta ahal den neurrian txikiagotu.

1. Taula. Material desberdinen erabilpen erlatiboa automobiletan (%) [15]

Materiala	urtea			
	1947	1975	1985	1995
Altzairua	80	63	60	50
Burdinurtua		16	13	5
Aluminioa		2	6	10
Plastikoak		4	9	25
Gainontzekoak		9	12	10

Lehen esan denez, mekanizazioaren eragin ekonomikoa jaisteko asmoz osagaien fabrikazioa ia bukaerako formen teknikak erabiliz garatzen ari dira. Ohizko konformaketa-prozedurak aldatu gabe, beste bide bat altzairuen mekanizagarritasuna hobetzea da. Prozedura hau ez da berria eta altzairuen artean badago mota bat non mekanizagarritasun handia bere ezaugarri nagusia baita. Baina altzairu hauetan propietate mekanikoak nahikoa apalak izaten dira.

Atal honetan kontsideratzen diren altzairuen propietate mekanikoak oso onak izan behar direnez, ohizko mekanizagarritasun handiko altzairuak ez dira egokiak. Horren ondorioz, beste altzairu batzuk garatzen ari dira. Material hauen konposizio kimikoan sufre-kopurua arinki igotzen da (maximoa % 0.1 izaten da; aldiz, mekanizagarritasun handiko ohizko altzairuetan % 0.4 izan daite-

ke). Bestalde, sulfuro inklusioak elkarturik ez izateko, altzairuari kopuru txikitan Ca edo Te elementuak gehitzen zaizkio (prozedura hau zalian garatzen da). Tratamendu honi esker altzairuaren propietate mekanikoak ahalik eta isotropoenak izatea bilatzen da. Gaur egun, kaltzioaren tratamendua inklusioen geometria eta banaketa kontrolatzeko asmoz ia Euskal Herriko altzairutegi gehienetan menperatzen da.

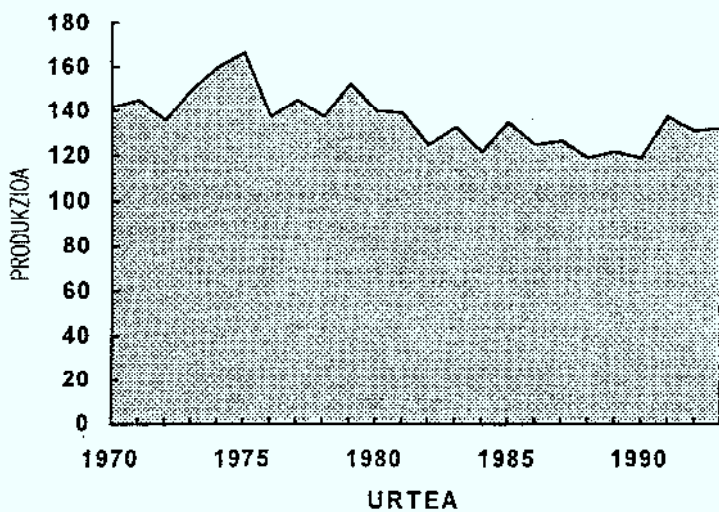
5. Ondorioak

Artikuluaren zehar adierazienez, altzairuaren munduaren teknologia ez da egoera estatikoan aurkitzen. Hemen adibide batzuk aipatu dira, baina une honetan Euskal Herriko altzairutegietan aldaketa asko izaten ari da. Haietariko batzuk hauexek dira: soldadurarik gabeko hodiaren fabrikazioa tratamendu termomekanikoak aplikatuz (Tubos Reunidos, Amurrio), hodi bimetalikoen garapena (Tubacex), hotzetako konformaketarako xaflaren garapena suberaketa jarraia aplikatuz (AHV) eta karbono urriko hariaren lorpena labe elektrikoaren bitartez (E. Orbegozo, Zumarraga).

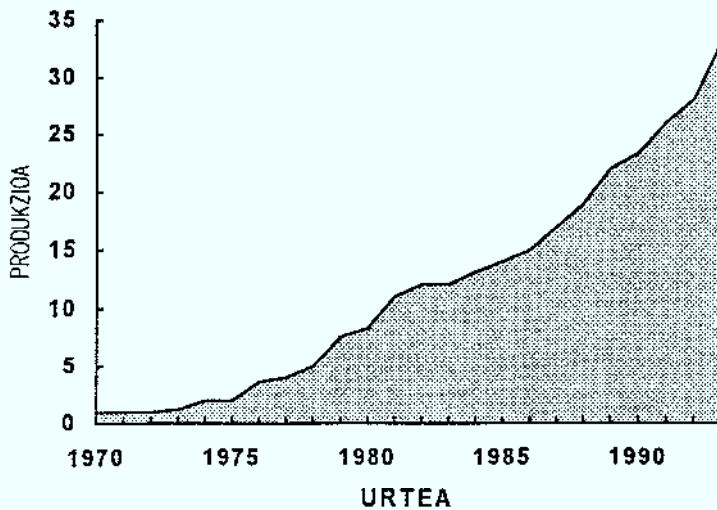
Altzairugintza-sektorearen krisia oso handia izan da eta artikuluaren zehar aipatu diren zenbait lantegien egoera ekonomikoa oraindik kezagarria izan daiteke. Hala ere, krisiaren irteera zalan-tzarik gabe hobekuntza teknologikoarekin erlazionatuta dago, beste ikuspuntuak ere ahaztu gabe (lantegien arteko elkartze-prozesuak, salmenta-sareen hobekuntza eta abar). Hobekuntza teknologiko horiek ikerlan jarrai batekin erlazionatuta izan beharko dute eta horretarako, industriaren eta ikerkuntza zentruen (edo unibertsitatearen) arteko harremanak gero eta garrantzi handiagoa edukiko dute.

6. Bibliografia

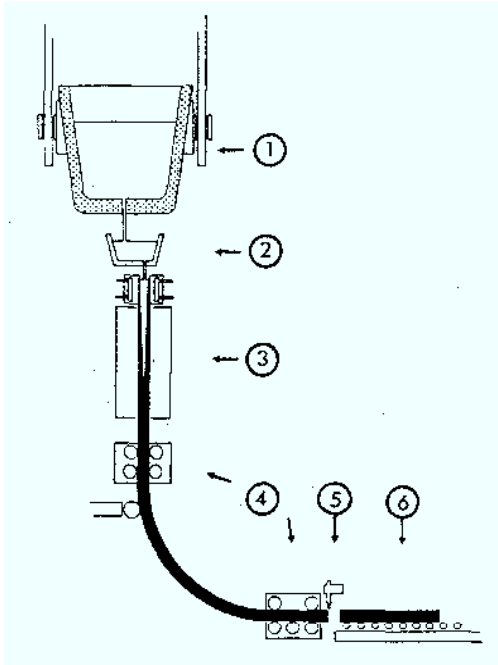
1. PICKERING, F.B.: "Physical Metallurgy and the Design of Steels", Applied Science Pub., Londres, 1978.
2. HALL, E.O.: Proc. Phys. Soc.Series B, 64, 1951, 747.
3. PETCH, N.J.: J. Iron Steel Institute, 174, 1953, 25.
4. GLADMAN, T., DULIEU, D. eta McIVOR, I.D.: "Proc. Microalloying 75", Union Carbide, 1975, 25.
5. PICKERING, F.B.: "Advances in the Physical Metallurgy and Applications of Steels", The Metals Society, 1982, 5-25.
6. RODRIGUEZ IBABE, J.M. eta URKOLA GALARZA, J.J.: "Altzairuaren Diseinurako Metalurgia Fisikoa", Elhuyar-Elkar, 1993.
7. HOLLEIS, G.: Rev. Métal. CIT, 1994, 146-160.
8. LLEWELLYN, D.T.: "Steels: Metallurgy and Applications", Butterworth-Heinemann, 1992, 7.
9. PROCEEDINGS OF THE "4TH EUROPEAN ELECTRIC STEEL CONGRESS", Madrid, 1992.
10. ROHDE, W., Rev. Métal.CIT, 1994, 529-540.
11. LINAZA, M.A., Doktorego-tesis, Donostiako Injineruen Goi Mailako Eskola, 1994.
12. LINAZA, M.A., ROMERO, J.L.: Rodríguez Ibabe, J.M. eta Urkola, J.J., Scripta Met. et Mat., 29, 1993, 451-456.
13. LINAZA, M.A., ROMERO, J.L.: Rodríguez Ibabe, J.M. eta Urkola, J.J., Scripta Met. et Mat., 29, 1993, 1217-1222.
14. FERNANDEZ LOPETEGI, F.: Mastergo-tesia, Donostiako Injineruen Goi Mailako Eskola, 1991.
15. NAYLOR, D.J.: Ironmaking and Steelmaking, 17, 1990, 17-25.



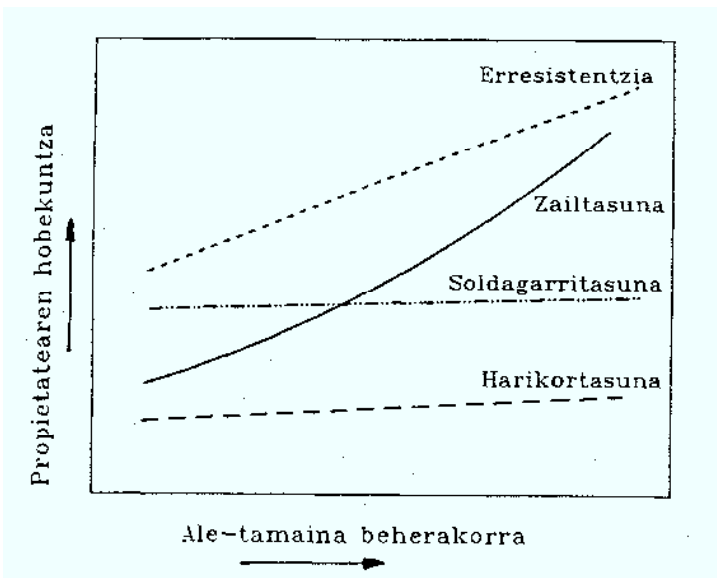
1. Irud. Elkarte Europarraren 1970. urtetik honuntz altzairu-produkzioa milioi tonatan. Ikusten denez, azken 10 urteotan produkzioa 120 eta 140 milioien artean mantendu da. Orokorki ikusita, 1975. urtetik joera beherakorra nabaritzen da.



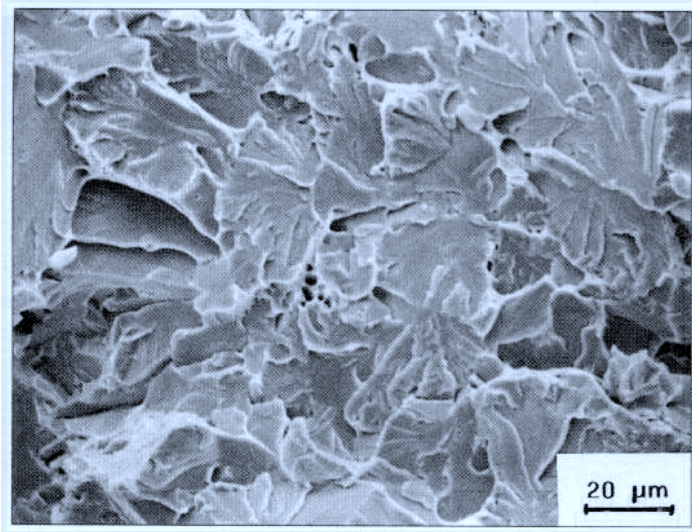
2. Irud. Hego Koreako altzairu-produkzioa milioi tonatan. 1970. urtean altzairuaren munduan Hego Korea ia ez zen existitzen. 1993. urtean bere produkzioak Britainia Handiarena eta Espainarena batera berdindu zuen.



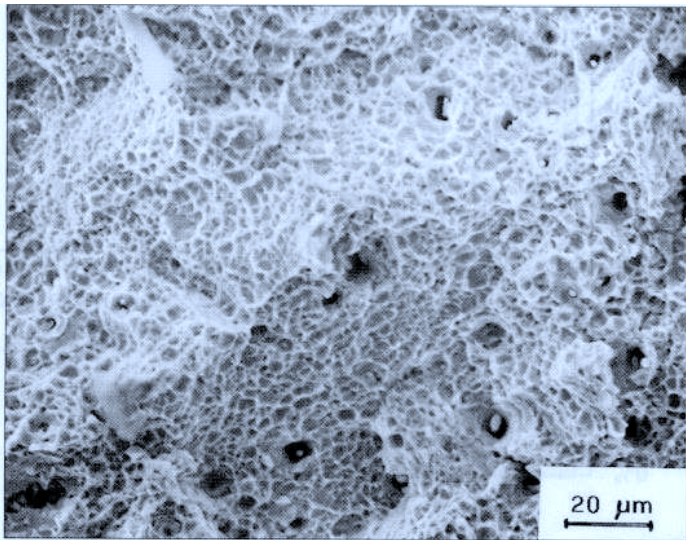
3. Irud. Isurketa jarraiaren eskema: (1) zalia, (2) likido-metaketa, (3) altzairuaren solidotzearen hasiera, (4) totxo-bideraketa, (5) material-mozketa eta (6) totxo airetan hoztea eta ondoren metaketa.



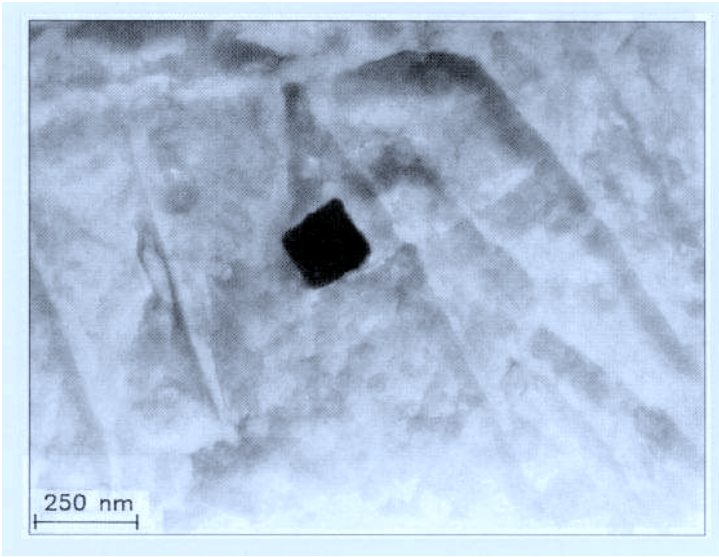
4. Irud. Altzairu baten propietate desberdinetan ale-tamaina txikiagotzeak duen eraginaren eskema.



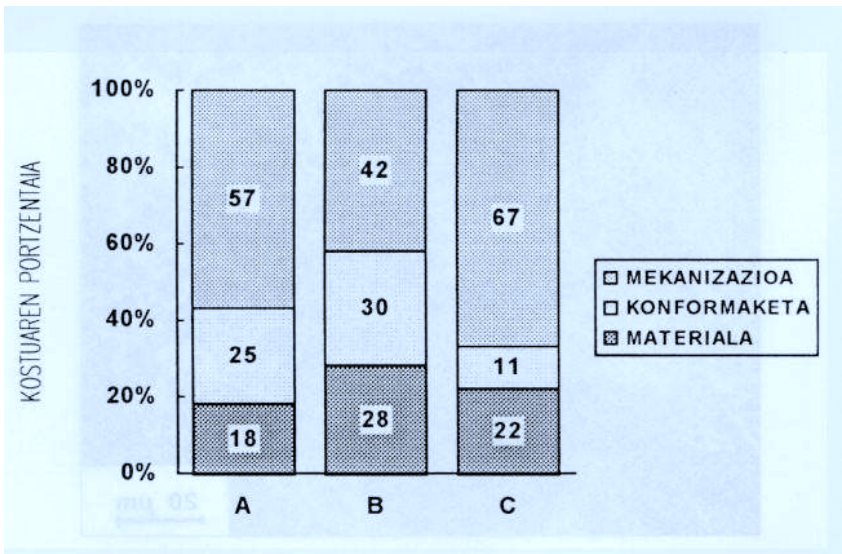
5. Irud. Ti/V altzairu batean eskanerrezko mikroskopia elektronikoan egindako fraktografia portaera guzti hauskorra erakutsiz (pieza iraunkorki deformatu baino lehen hautsi egin zen). Altzairuari ohizko ijeketa aplikatu zitzaion eta ondoren airetan hoztu [11].



6. Irud. 5. irudiaren altzairu beraren portaera harikorraren fraktografia (altzairua nabarmenki deformatu zen hautsi baino lehen). Kasu honetan altzairua 1.000°C-tan deformatu zen eta ondoren azkar hoztu [11].



7. Irud. C/Mn/B altzairu baten aletamainaren kontrola TiN partikulen bitartez. Transmisiozko mikroskopia elektronikoan egindako argazkia [14].



8. Irud. Forjaketaren bidez lortutako hiru pieza desberdinen kostu-banaketa. A : biela, B. norabide-erroa eta C ardatz eragilea [15]